



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

2010-2011

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
ΥΠΟ ΤΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΝ 21^Ο ΑΙΩΝΑ**

ΣΑΚΚΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2011



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ
2010-2011

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
ΥΠΟ ΤΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΝ 21^Ο ΑΙΩΝΑ

ΣΑΚΚΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Τμήμα Γεωγραφίας

Επιβλέπων: Κατσαφάδος Πέτρος

ΙΟΥΛΙΟΣ 2011

Copyright © Σακκής Βασίλειος, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Ειδίκευσης στη Γεωγραφία του Χώρου του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Η έγκρισή της δεν υποδηλώνει απαραίτητως και την αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Βεβαιώνω ότι η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα δικής μου δουλειάς και δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής. Στις δημοσιευμένες ή μη δημοσιευμένες πηγές που αναφέρω έχω χρησιμοποιήσει εισαγωγικά όπου απαιτείται και έχω παραθέσει τις πηγές τους στο τμήμα της βιβλιογραφίας.

Υπογραφή: _____

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία ευρέως γνωστή και διαπιστευμένη αλλαγή του κλίματος, η οποία οφείλεται είτε στη φυσική μεταβλητότητα είτε στις δραστηριότητες του ανθρώπου.

Σκοπούς αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελούν η διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου, αλλά και η μελέτη μεταβλητότητας αιολικού και ηλιακού δυναμικού την περίοδο 2010 – 2030, 2046 – 2065 και 2070 – 2100 για την περιοχή της Ελλάδας.

Η μεθοδολογία αφορά στην επεξεργασία των δεδομένων από τα κλιματικά μοντέλα CCSM3 και HADGEM1 στα πλαίσια του σεναρίου A2, το οποίο έχει υιοθετηθεί μεταξύ άλλων μελετώμενων σεναρίων από την IPCC. Η μεταβλητή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μελετάται από τα δύο μοντέλα, ενώ η μεταβλητή του ανέμου μόνο από το HADGEM1. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μεταβολή ισχύος μίας πρότυπης ανεμογεννήτριας και ενός πρότυπου φωτοβολταϊκού πλαισίου σε όλες τις παραπάνω χρονικές περιόδους για τον Ελλαδικό χώρο.

Αναμένεται τάση αύξησης της παραγόμενης ισχύος από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε όλο τον ελλαδικό χώρο τον 21^ο αιώνα. Συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες αυξήσεις αναμένονται στην βόρεια Ελλάδα, στην οποία είναι εγκατεστημένο το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας. Η ανατολική Ελλάδα παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αύξηση και ακολουθεί η δυτική Ελλάδα. Η νότια Ελλάδα παρουσιάζει σταθερή μελλοντική παραγόμενη ισχύ.

Στον τομέα της αιολικής ενέργειας στην ανατολική Ελλάδα, στην οποία βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος αναμένεται αύξηση κατά την χρονική περίοδο 2011-2030. Τη μεγαλύτερη αύξηση από όλες τις περιοχές παρουσιάζει η δυτική Ελλάδα, ενώ μεγάλες αυξήσεις αναμένονται και στη βόρεια Ελλάδα. Στην χρονική περίοδο 2046-2065 δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές.

Συμπερασματικά, η κλιματική αλλαγή δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην αιολική ενέργεια, ενώ επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ηλιακή ενέργεια. Συνεπώς η κλιματική αλλαγή πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στον σχεδιασμό εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

Λέξεις-κλειδιά: κλιματική αλλαγή, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, κλιματικό μοντέλο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	i
Κατάλογος πινάκων.....	v
Κατάλογος χαρτών.....	vii
Κατάλογος διαγραμμάτων.....	x
Κατάλογος σχημάτων.....	xi
Πρόλογος.....	1
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	2
Κεφάλαιο 2. Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας.....	10
2.1. Επισκόπηση του CAM 3.0.....	10
2.2. Παραμετροποίηση της μικροκυματικής ακτινοβολίας.....	13
2.2.1. Ημερήσιος κύκλος.....	13
2.2.2. Διατύπωση της μικροκυματικής λύσης.....	17
2.3. Διατυπώσεις επιφανειακής ανταλλαγής.....	18
2.3.1. Έδαφος.....	19
2.3.1.1. Μήκος τραχύτητας και μηδενική-επίπεδη μετατόπιση.....	20
2.3.1.2. Η θεωρία ομοιότητας Monin-Obukhov.....	21
2.4. Σενάρια εκπομπών εκπομπών SRES (Special Report on Emission Scenarios) IPCC...	23
2.4.1. Ιστορική αναδρομή.....	23
2.4.2. Κατασκευή σεναρίων εκπομπών SRES.....	25
2.4.3. Περιγραφή σεναρίων εκπομπών SRES.....	27
2.4.4. Προβλέψεις των σεναρίων SRES.....	31
2.4.5. Σκοπός και χρήση των σεναρίων SRES.....	33
Κεφάλαιο 3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	34
3.1. Είδη – Μορφές ΑΠΕ.....	34
3.1.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.....	35
3.1.2. Ηλεκτρικό μέρος των μονάδων παραγωγής από ΑΠΕ.....	36

3.2. Αιολικά συστήματα.....	37
3.2.1. Χαρακτηριστικά του ανέμου.....	37
3.2.1.1 Γενικά.....	37
3.2.1.2. Η ταχύτητα του ανέμου.....	38
3.2.1.3. Ενεργειακό περιεχόμενο και ισχύς του ανέμου.....	41
3.2.1.4 Μοντελοποίηση του ανέμου.....	45
3.2.2. Διαμόρφωση και κύρια χαρακτηριστικά.....	46
3.2.2.1. Διαμόρφωση των Α/Κ.....	46
3.2.2.1.1. Α/Κ οριζοντίου άξονα.....	47
3.2.2.1.2. Α/Κ καθέτου άξονα.....	49
3.2.2.2. Παραγωγή ισχύος.....	50
3.2.2.2.1. Παραγωγή ισχύος από Α/Κ οριζοντίου άξονα.....	50
3.2.2.2.2. Παραγωγή ισχύος από Α/Κ καθέτου άξονα.....	54
3.2.2.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	55
3.3. Ηλιακή Ενέργεια.....	57
3.3.1. Χαρακτηριστικά της ηλιακής ενέργειας.....	57
3.3.1.1. Γενικά.....	57
3.3.1.2 Πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας.....	58
3.3.1.3. Η θέση ήλιου – συλλέκτη.....	61
3.3.1.4. Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	64
3.3.1.5. Υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας.....	66
3.3.1.6. Επίδραση των νεφών.....	67
3.3.2. Βασικές αρχές λειτουργίας Φ/Β συστημάτων.....	68
3.3.3. Τύποι Φ/Β Συστημάτων.....	71
Κεφάλαιο 4. Μεθοδολογία – Ανάλυση Δεδομένων.....	76
4.1. Γενικά.....	76
4.2. Προγνωστικά μοντέλα.....	82

4.3. Μεταβλητές.....	82
4.3.1. Μεθοδολογία της επεξεργασίας των χαρτών.....	82
4.3.2. Άνεμος.....	84
4.3.2.1. Ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος από το HADGEM1.....	86
4.3.2.1.1. Χρονική περίοδος 2011 – 2030.....	86
4.3.2.1.2. Χρονική περίοδος 2046 – 2065.....	90
4.3.3. Ηλιακή Ακτινοβολία.....	95
4.3.3.1. Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας από το CCSM3.....	95
4.3.3.1.1. Χρονική περίοδος 2011 – 2030.....	95
4.3.3.1.2. Χρονική περίοδος 2046 – 2065.....	99
4.3.3.1.3. Χρονική περίοδος 2080 – 2099.....	102
4.3.3.2. Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας από το HADGEM1.....	105
4.3.3.2.1. Χρονική περίοδος 2011 – 2030.....	105
4.3.3.2.2. Χρονική περίοδος 2046 – 2065.....	108
4.3.3.3. Σύγκριση των μοντέλων.....	110
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	113
Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία.....	115
Abstract.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Ονόματα και χημικά σύμβολα ή συντομογραφίες των ανθρωπογενών εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων και άλλων αερίων που εξετάζονται στα σενάρια εκπομπών.....	25
Πίνακας 3.1. Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ 100 KW.....	56
Πίνακας 3.2. Τιμές πυκνότητας ισχύος σε διάφορες θέσεις του ηλίου.....	61
Πίνακας 4.1. Γεωγραφικές συντεταγμένες των περιοχών στον Ελλαδικό χώρο.....	77
Πίνακας 4.2. Τα κλιματικά χρησιμοποιούμενα μοντέλα στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, η ανάλυση πλέγματος τους και οι εξεταζόμενες χρονικές περίοδοι και μεταβλητές.....	79
Πίνακας 4.3.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030.....	86
Πίνακας 4.4.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030.....	86
Πίνακας 4.5.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.....	90
Πίνακας 4.6.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.....	90
Πίνακας 4.7.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπο Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030.....	95
Πίνακας 4.8.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030.....	96
Πίνακας 4.9.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.....	99

Πίνακας 4.10.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.....	99
Πίνακας 4.11.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2080-2099.....	102
Πίνακας 4.12.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2080-2099.....	102
Πίνακας 4.13.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030.....	105
Πίνακας 4.14.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030.....	105
Πίνακας 4.15.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.....	108
Πίνακας 4.16.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.....	108

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 4.1. Ετήσια παραγόμενη ισχύς (MW) από τον άνεμο και πλήθος εγκατεστημένων αιολικών πάρκων στον Ελλαδικό Χώρο.....	80
Χάρτης 4.2.:Ετήσια παραγόμενη ισχύς (MW) από την ηλιακή ακτινοβολία και πλήθος εγκατεστημένων ηλιακών πάρκων στον Ελλαδικό Χώρο.....	81
Χάρτης 4.3. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Ιανουάριο του χρονικού διαστήματος 2011–2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM.....	87
Χάρτης 4.3. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	87
Χάρτης 4.4. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961 – 1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	88
Χάρτης 4.4. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	88
Χάρτης 4.5. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Νοέμβριο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961–1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	89
Χάρτης 4.5. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	89
Χάρτης 4.6. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Δεκέμβριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	91
Χάρτης 4.6. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	91
Χάρτης 4.7. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Ιανουάριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	92
Χάρτης 4.7. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	92

Χάρτης 4.8. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	93
Χάρτης 4.8. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	93
Χάρτης 4.9. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Νοέμβριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	94
Χάρτης 4.9. (β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1}).....	94
Χάρτης 4.10. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Ιανουάριο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3.....	97
Χάρτης 4.10. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})....	97
Χάρτης 4.11. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3.....	98
Χάρτης 4.11. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})....	98
Χάρτης 4.12. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Φεβρουάριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3.....	100
Χάρτης 4.12. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})...	100
Χάρτης 4.13. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Νοέμβριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3.....	101
Χάρτης 4.13. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})...	101
Χάρτης 4.14. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2080-2099 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3.....	103

Χάρτης 4.14. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})...	103
Χάρτης 4.15. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Οκτώβριο του χρονικού διαστήματος 2080-2099 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3.....	104
Χάρτης 4.15. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})..	104
Χάρτης 4.16. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	106
Χάρτης 4.16. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})...	106
Χάρτης 4.17. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	107
Χάρτης 4.17. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})...	107
Χάρτης 4.18. (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1.....	109
Χάρτης 4.18. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2})...	109

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1.: Μεταβολή ισχύος από ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό στοιχείο (W) στον 21 ^ο αιώνα με βάση το κλιματικό μοντέλο CCSM3.....	111
Διάγραμμα 4.2.: Μεταβολή ισχύος από ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό στοιχείο (W) στον 21 ^ο αιώνα με βάση το κλιματικό μοντέλο HADGEM1.....	111
Διάγραμμα 4.3.: Μεταβολή ισχύος από μία πρότυπη ανεμογεννήτρια (KW) στον 21 ^ο αιώνα με βάση το κλιματικό μοντέλο HADGEM1.....	112

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Μέση μηνιαία παγκόσμια ροή ενέργειας στην επιφάνεια της γης, στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας και η συνολικά κερδισμένη ενέργεια από την ατμόσφαιρα για κάθε μήνα.....	7
Σχήμα 2.1.: Σχηματική απεικόνιση των σεναρίων SRES.....	27
Σχήμα 2.2.: Σχηματική επεξήγηση των σεναρίων SRES.....	30
Σχήμα 2.3.: Σεσάρια εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από το 2000 έως το 2100 χωρίς επιπρόσθετες κλιματικές πολιτικές.....	32
Σχήμα 3.1. Φάσμα συχνοτήτων ανέμου.....	40
Σχήμα 3.2. Κατανομή Weibull.....	41
Σχήμα 3.3. Πυκνότητα πιθανότητας μέσης ταχύτητας ανέμου.....	43
Σχήμα 3.4. Συσσωρευτική καμπύλη διάρκειας.....	43
Σχήμα.3.5. Αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος για διάφορους τύπους Α/Γ.....	45
Σχήμα 3.6. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα.....	47
Σχήμα 3.7. Διατάξεις κυρίων τμημάτων Α/Γ.....	48
Σχήμα 3.8. Σχηματική παράσταση χώρου μηχανισμών (άτρακτος) Α/Γ.....	49
Σχήμα 3.9. (α) Ροϊκός σωλήνας.....	51
Σχήμα 3.9. (β) Πιέσεις κατά μήκος του ροϊκού σωλήνα.....	51
Σχήμα 3.10. Τυπικές καμπύλες μεταβολής του αεροδυναμικού συντελεστή C_p , με παράμετρο τη γωνία του βήματος της έλικας.....	53
Σχήμα 3.11. Ηλιακή Ακτινοβολία.....	59
Σχήμα 3.12. Ημερήσια μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ολικής, της απευθείας και της οριζόντια διάχυτης ακτινοβολίας, κατά μία αίθρια μέρα.....	60
Σχήμα 3.13. (α) Θέση του ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο.....	62

Σχήμα 3.13. (β) Θέση ηλιακού επιπέδου συλλέκτη.....	62
Σχήμα 3.14. (α) Ακραίες αποκλίσεις του ήλιου κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο.....	63
Σχήμα 3.14. (β) Αντίστοιχες τροχιές του ήλιου στον ουρανό, σε τόπο με γεωγραφικό πλάτος 38°	63
Σχήμα 3.15. Βέλτιστη κλίση ηλιακού συλλέκτη κατά τις αντίστοιχες ημερομηνίες...	63
Σχήμα 3.16. (α) Τυπικές μορφές διακυμάνσεως της ηλιακής ακτινοβολίας σε 4 χαρακτηριστικές ημέρες στο οριζόντιο επίπεδο.....	65
Σχήμα 3.16. (β) Τυπικές μορφές διακυμάνσεως της ηλιακής ακτινοβολίας σε 4 χαρακτηριστικές ημέρες σε συλλέκτη με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος.....	65
Σχήμα 3.17. Επίπτωση της παρουσίας νεφών στην ηλιακή ακτινοβολία.....	68
Σχήμα 3.18. Απόδοση υλικών στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	71
Σχήμα 4.1. Γεωγραφικές ενότητες του Ελλαδικού χώρου έτσι όπως καθορίστηκαν για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας.....	78

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, στο τμήμα Γεωγραφίας στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών με τίτλο «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου».

Συγγράφοντας τον πρόλογο της διπλωματικής μου εργασίας, αισθάνομαι ιδιαίτερα τυχερός λόγω της δυνατότητας να εκφράσω γραπτώς όλες μου τις σκέψεις, ειδικά τώρα που οδεύω στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την εξεταστική επιτροπή, η οποία με έκρινε κατάλληλο για την παρακολούθηση του μεταπτυχιακού προγράμματος του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου. Ευχαριστώ θερμά τον Λέκτορα κύριο Πέτρο Κατσαφάδο, ο οποίος ήταν πολύτιμος σύμβουλος κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και επόπτης της διπλωματικής μου εργασίας. Μου αφιέρωσε πολύτιμο χρόνο και με στήριξε σε όλη την προσπάθειά μου.

Σεβασμό και ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κύριο Ιωάννη Χαρβαλιά και στην κυρία Βασιλική Τζανετάκου για την πολύτιμη βοήθεια τους και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την βοήθεια που μου προσέφερε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η 17η Δεκεμβρίου 2008 αποτέλεσε μία ημέρα ορόσημο για το περιβάλλον στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς εγκρίθηκε το «κλιματικό κι ενεργειακό πακέτο» για την έκδοση δέσμης οδηγιών προς αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Το πακέτο μέτρων θα συμβάλλει στην επίτευξη του περίφημου στόχου «20-20-20» της Ευρωπαϊκής Ένωσης:

- 20% μείωση των αερίων θερμοκηπίου,
- 20% αύξηση ενεργειακής αποδοτικότητας και
- εισχώρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ποσοστό 20%.

Η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου μπορεί να μοιάζει εφικτή, όμως πρέπει να εξεταστεί αν θα διατηρηθεί μακροπρόθεσμα έως τα τέλη του 21^{ου} αιώνα. Ο λόγος είναι προφανής και αφορά στη μεταβολή διαφόρων τιμών των μεταβλητών, οι οποίες σχετίζονται άμεσα αλλά κι έμμεσα με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η μεταβολή των μεταβλητών εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την *Κλιματική Αλλαγή*, η οποία διαπιστώνεται από την Επιστημονική Κοινότητα σήμερα. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος (United Nations Environment Programme - UNEP) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος έχει δημοσιεύσει τις εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή, υποστηρίζοντας, ότι το κλιματικό σύστημα εξελίσσεται υπό την επίδραση της εσωτερικής του δυναμικής και εξαιτίας αλλαγών σε διάφορους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα. (IPCC, 2007a).

«Ως *Κλιματική Αλλαγή* ορίζεται μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους) από τις αλλαγές στο μέσο όρο ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του, και που υπάρχει για μια εκτεταμένη περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα με την πάροδο του χρόνου, η οποία οφείλεται είτε στη φυσική μεταβλητότητα είτε στις δραστηριότητες του ανθρώπου».

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα και οι επιλογές αντιμετώπισης είναι περιορισμένες. Στο πλαίσιο αυτό η IPCC προκρίνει την αναγκαία εκμετάλλευση των ΑΠΕ.

Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται μορφές ενέργειας εναλλακτικές των παραδοσιακών μορφών, η ηλιακή και η αιολική. (IPCC, 2007d)

Αναλυτικότερα, όσον αφορά στην αιολική ενέργεια, η μεταβολή της στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης εξετάστηκε από τους Pryor et al. Η συγκεκριμένη μελέτη στηρίχθηκε στα κλιματικά μοντέλα Rossby Centre Atmosphere-Ocean model (RCAO) και την ανάλυση – επεξεργασία του National Centers for Environmental Prediction (NCEP) / National Center for Atmospheric Research (NCAR). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης για την ταχύτητα του ανέμου σε υψόμετρο 10 μέτρων για περίοδο ελέγχου 1961 – 1990, η μέση απόλυτη διαφορά και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της μέσης ταχύτητας του ανέμου ανέρχεται σε 0,49 και 0,65 m/sec, αντίστοιχα. Ειδικότερα, η μέση απόλυτη διαφορά και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της μέσης ταχύτητας του ανέμου αντιστοιχεί στο 10% και 14% της μέσης ταχύτητας κατά την χρονολογική περίοδο 1961 – 1990. Με βάση τους Pryor et. al, έπρεπε να διερευνηθεί η ύπαρξη ή μη ουσιαστικών διαφορών στην ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου κατά την προγνωστική περίοδο 2071 - 2100 και για τα δύο σενάρια (A2 και B2) της IPCC αλλά και για τις οριακές συνθήκες, όπως επίσης κι αν οι διαφορές είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες σε μέγεθος μεταξύ του RCAO και του NCEP / NCAR. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν μείωση στη σχετική συχνότητα των ανατολικών ανέμων και μια επικρατούσα αύξηση της νοτιοδυτικής ροής συγκριτικά με την περίοδο ελέγχου. Το μέγεθος των αλλαγών της μέσης χωρικής κατανομής της ταχύτητας του ανέμου είναι μικρότερο συγκριτικά με τις διαφορές μεταξύ της προσομοίωσης των RCAO και NCEP / NCAR με την περίοδο αναφοράς. Επιπροσθέτως, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι σημαντικές αλλαγές στην αιολική ενέργεια πάνω από τη βόρεια Ευρώπη μεταξύ της περιόδου ελέγχου, αλλά και της χρονικής περιόδου προσομοίωσης της κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιώντας οριακές συνθήκες είτε από τα Γενικά Μοντέλα Κυκλοφορίας είτε από τα σενάρια.

Σύμφωνα με τους Pryor et. al υπάρχουν αποδείξεις για αυξημένη ενεργειακή πυκνότητα του ανέμου στα πεδία της κλιματικής αλλαγής. Οι προσομοιώσεις διεξήχθησαν, χρησιμοποιώντας οριακές συνθήκες από το συνδυαστικό παγκόσμιο μοντέλο ECHAM4/OPYC3, ιδιαιτέρως κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος). Αναφορικά με τις χωρικές μεταβολές και το μέγεθος των πιθανών αλλαγών στην αιολική ενέργεια, ο προσδιορισμός τους είναι αβέβαιος λόγω της υψηλής εσωτερικής μεταβλητότητας στην

ενεργειακή πυκνότητα και του υψηλού βαθμού ευαισθησίας στις οριακές συνθήκες από τα διαφορετικά Ατμοσφαιρικά Ωκεάνια Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα. (Pryor et al, 2005)

Οι αλλαγές στον άνεμο διαφέρουν περισσότερο μεταξύ των προσομοιώσεων από τις αλλαγές στις άλλες μεταβλητές. Κοινό χαρακτηριστικό αποτελεί η μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του χειμώνα στην περιοχή της Μεσογείου, στις περισσότερες προσομοιώσεις. Πολλές προσομοιώσεις καταδεικνύουν μείωση της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της Ισλανδίας και νοτιότερα, αλλά αύξηση σε δυτικοανατολικές κατευθύνσεις πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό, τις Βρετανικές Νήσους και τη νότιο Βαλτική Θάλασσα. Στατιστικά σημαντικές αυξήσεις στην ταχύτητα του ανέμου εμφανίζονται πάνω από τα μεγαλύτερα τμήματα της Βαλτικής Θάλασσας, της Λευκής Θάλασσας, της Θάλασσας του Μπάρεντς και του Βόρειου Ατλαντικού βόρεια της Ισλανδίας.

Επίσης το καλοκαίρι παρουσιάζεται μια τάση για μείωση της εποχικής μέσης ταχύτητας του ανέμου σε μεγάλα τμήματα, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής του Βορείου Ατλαντικού. Αντιθέτως, στη Μεσόγειο υπάρχουν περιοχές με αυξημένες ταχύτητες ανέμου σε πολλές από τις προσομοιώσεις. Αυτό μπορεί να συνδέεται με τις νέες μεταβαλλόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες, αφού η αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς πάνω από θαλάσσιες και χερσαίες περιοχές οδηγεί σε μεγαλύτερες οριζόντιες θερμοκρασιακές διαφορές σε τμήματα της περιοχής της Μεσογείου, καθώς η θάλασσα ζεσταίνει λιγότερο το περιβάλλον από τα εδάφη. Ισχυρότερες θερμοκρασιακές διαφορές με τη σειρά τους μπορούν να οδηγήσουν σε ισχυρότερες θερμικές κυκλοφορίες και ως εκ τούτου σε υψηλότερες ταχύτητες ανέμου σε ορισμένες περιοχές. (Kjellstrom et al., 2011)

Οι Raisanen et. al. σε σχετική μελέτη για το ευρωπαϊκό κλίμα τον 21^ο αιώνα αναφέρουν πως η δραστηριότητα του ανέμου μικραίνει στην περιοχή της Μεσογείου, ενώ στη βόρεια Ευρώπη συμβαίνει το αντίθετο. (Raisanen et. al., 2004)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Bloom et al. για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου οι ταχύτητες του ανέμου την περίοδο 2070 – 2100 παρουσιάζουν μια γενική αύξηση πάνω από την ξηρά και μείωση πάνω από τη θάλασσα. Εξάιρεση αποτελεί μια αξιοσημείωτη αύξηση πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παραπάνω μελέτη βασίστηκε στο περιοχικό μοντέλο PRECIS στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του Had3CM Ατμοσφαιρικού – Ωκεανικού Παγκόσμιου Μοντέλου

Κυκλοφορίας. Οι αλλαγές στα πεδία του ανέμου κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα προέκυψαν από τις προσομοιωμένες σημερινές τιμές (1961 – 1990) με τις αντίστοιχες από το A2 σενάριο εκπομπών της IPCC.

Επίσης με βάση την ανάλυση των μηνιαίων στοιχείων, οι διαφορές στις ταχύτητες του ανέμου μεταξύ του σημερινού και του μελλοντικού κλίματος εμφανίζουν σημαντική εποχικότητα. Είναι εμφανές ότι κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου και του Ιανουαρίου οι ταχύτητες ανέμου μειώνονται. Πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές τα κύρια χαρακτηριστικά είναι η αναμενόμενη μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Μαΐου και μια αξιοσημείωτη αύξηση πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος κατά τη διάρκεια του Απριλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν τις μεγάλες διαφορές στη συμπεριφορά μεταξύ των σημείων της Ανατολικής Μεσογείου και συνεπώς την ανάγκη βελτίωσης της ποσοτικοποίησης των μεταβολών της διαθεσιμότητας της αιολικής ενέργειας στον 21ο αιώνα. (Bloom et. al., 2008)

Οι Rockel and Woth καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα, δηλαδή στη μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του Δεκεμβρίου και του Ιανουαρίου. Επιπρόσθετα, στα συμπεράσματα τους περιλαμβάνεται μείωση του ανέμου στις χερσαίες περιοχές της Μεσογείου. (Rockel and Woth, 2007)

Οι Raisanen et al., 2004 χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά μοντέλα για το σενάριο A2, υπολόγισε την αύξηση του ανέμου στο μέλλον κατά 4% σε μεγάλο τμήμα πάνω από τα Βαλκάνια και 4–8 % πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος και την Τουρκία, ενώ βρέθηκε μείωση 4–8 % πάνω από την περιοχή της Μεσογείου. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης συμφωνούν με αυτά των δύο προηγούμενων μελετών. Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή της Ιταλίας και τμήματος της Ελλάδας, όπου οι Bloom et. al. καταδεικνύουν μία αύξηση του ανέμου, ενώ οι Raisanen et al. μείωση κατά 4 – 8 % για τις ίδιες περιοχές. (Bloom et. al., 2008) (Raisanen et al, 2004)

Αναφορικά με τις διαφορές στην ενεργειακή πυκνότητα, είναι ίδιες με αυτές της μέσης διαφοράς ταχύτητας του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, η πυκνότητα ενέργειας αυξάνει κατά 20 Wm^{-2} πάνω από την Νότια Ευρώπη, την Τουρκία και μέρος της βορειοανατολικής Αφρικής (Τυνησία και Λιβύη), ενώ μειώνεται εντονότερα για το υπόλοιπο της ξηράς ($30 - 40 \text{ Wm}^{-2}$) πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, με εξαίρεση το Αιγαίο (Bloom et. al., 2008).

Μία αντίστοιχη έρευνα με τη χρήση τριών διαφορετικών περιοχικών μοντέλων γενικής κυκλοφορίας διεξήχθη από τους Krichak et al για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Στην έρευνα υιοθετήθηκαν τα σενάρια A2 και B2 της IPCC και μελετήθηκαν μεταξύ άλλων κι οι μεταβλητές του ανέμου και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τη χρονική περίοδο 1961-1990. Η περίοδος προσομοίωσης Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου (ΔΙΦ) χαρακτηρίζεται από ήπιους δυτικούς – βορειοδυτικούς ανέμους πάνω από το νότιο τμήμα της περιοχής, δυτικούς, νοτιοδυτικούς ανέμους πάνω από το κέντρο, νότιους και νοτιοανατολικούς ανέμους πάνω από το βόρειο τμήμα και σχετικά ισχυρούς βορειοανατολικούς ανέμους ($\sim 4\text{msec}^{-1}$) πάνω από το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής της Μεσογείου. Οι πιο έντονοι άνεμοι ($> 4\text{msec}^{-1}$) εντοπίζονται πάνω από το βόρειο τμήμα της θαλάσσιας περιοχής της Κύπρου.

Αναφορικά με τις εκτιμώμενες μέγιστες τιμές της έντασης του ανέμου πάνω από τις περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και τη χωρική τους κατανομή, αυτές επιβεβαιώνονται με τις παρατηρήσεις. Ο άνεμος την περίοδο Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου (ΙΑ) είναι παρόμοιος με αυτόν της ΔΙΦ περιόδου στο νότιο και κεντρικό τμήμα, διαφέρει όμως σημαντικά στο βόρειο τμήμα, αφού βορειότερα εντοπίζονται βορειοανατολικοί άνεμοι.

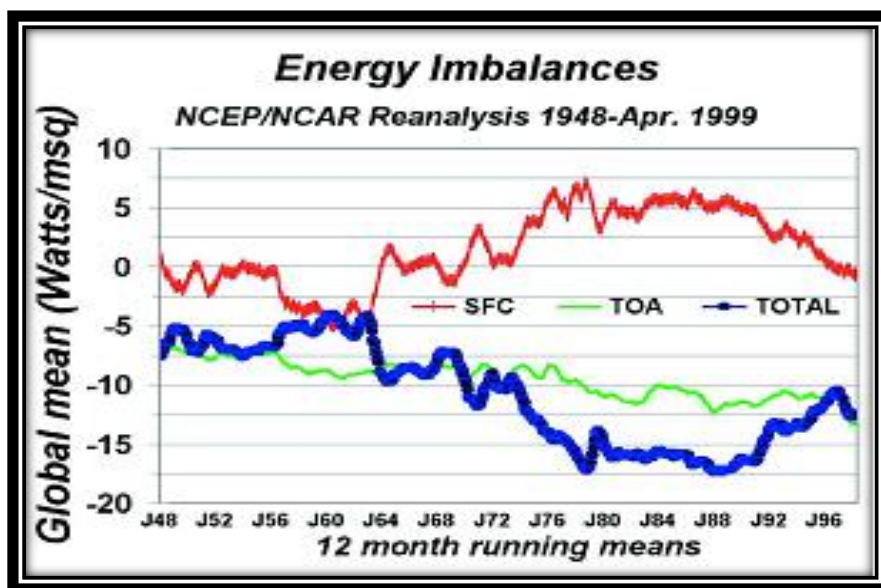
Σχετικά με τη μελλοντική συμπεριφορά του ανέμου στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, αναμένεται μείωση ($\sim 1\text{msec}^{-1}$) σε μεγάλο βαθμό της έντασης της νοτιοδυτικής ροής του αέρα πάνω από την κεντρική περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, η οποία οφείλεται στην κλιματική αλλαγή τόσο στην περίπτωση του σεναρίου A2 όσο και του B2. Στο νότιο τμήμα της περιοχής αναμένεται αλλαγή στον άνεμο την περίοδο ΔΙΦ, ενώ στο βορειοανατολικό τμήμα της θαλάσσιας περιοχής και πάνω από τη νήσο Κύπρο παρατηρείται ενίσχυση της τάξης των 0.5m/sec της βόρειας ροής του ανέμου σύμφωνα με το σενάριο A2. Τα αποτελέσματα του πειράματος προβάλλουν αποδυνάμωση της δυτικής ροής ($\sim 1\text{m sec}^{-1}$) πάνω από το κεντρικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, γεγονός το οποίο πιθανώς οφείλεται στην σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής. (Krichak et al., 2007)

Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία επικύρωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της ηλιακής και αιολικής ροής κοντά στη γήινη επιφάνεια για την συγκεκριμένη περιοχή. (Christensen and Christensen, 2003; Evans, 2004; Giorgi et al., 2004a, b).

Σχετικά με τη μελλοντική συμπεριφορά της μεταβλητής στην χρονική περίοδο 2070 – 2100, αναμένεται αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και στα δύο σενάρια εκπομπών A2 και B2

πάνω από το βόρειο τμήμα της περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου της τάξης του 25% (έως 20 Wm^{-2}) πάνω από το βόρειο τμήμα της περιοχής και περίπου 5% πάνω από το κεντρικό τμήμα. Για την περίοδο ΙΑ το πείραμα προβάλλει μια ελάχιστη αύξηση της ροής ακτινοβολίας πάνω από το βόρειο τμήμα της περιοχής. Δεν παρατηρούνται αλλαγές πάνω από την κεντρική περιοχή, ενώ πάνω από το νότιο τμήμα της περιοχής αναμένεται μια μικρή μείωση της έντασης ροής». (Krichak et. al., 2007)

Όσον αφορά στην ηλιακή ακτινοβολία, αναλυτικότερα η γη δέχεται στην κορυφή της ατμόσφαιρας ηλεκτρομαγνητική ενέργεια της τάξης του 1365 Wm^{-2} από τον Ήλιο. Μέχρι να γίνουν διαθέσιμα τα υψηλής ακρίβειας δορυφορικά δεδομένα, η ηλιακή παραγωγή ενέργειας θεωρούνταν ως σταθερά από πολλούς επιστήμονες, γνωστή κι ως ηλιακή σταθερά (J. Beer et. al., 2000). Σύμφωνα με τα στοιχεία πρόσφατων μελετών η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος δεν είναι σταθερή διαχρονικά, αλλά παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις ανά δεκαετίες. Οι διακυμάνσεις οφείλονται στη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης (παγκόσμια εξασθένιση) από τη δεκαετία του 1950 μέχρι τη δεκαετία του 1980 και η παγκόσμια ανάκαμψη, η οποία αποτελεί μία πρόσφατη ανακάλυψη. (Wild, 2009)



Σχήμα 1.1.: Μέση μηνιαία παγκόσμια ροής ενέργειας στην επιφάνεια της γης (SFC), στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας (TOA) και η συνολικά κερδισμένη ενέργεια από την ατμόσφαιρα για κάθε μήνα (TOTAL) (το σύνολο της SFC και TOA). Οι θετικές τιμές στην SFC και TOA προς τα κάτω, ενώ οι αρνητικές τιμές της TOTAL δείχνουν απώλεια ενέργειας στην ατμόσφαιρα.

Πηγή: Robert Kistler et. al., 2001

Το Σχήμα 1.1 αποτυπώνει την ανωμαλία στη μέση παγκόσμια ενέργεια στην επιφάνεια της γης και στην κορυφή της ατμόσφαιρας σε ένα 12μηνο μέσο υπολογισμό από τα 50 χρόνια της ανάλυσης. Στην κορυφή της ατμόσφαιρας υπολογίσθηκε σημαντική ανάκλαση της μικροκυματικής ακτινοβολίας στο διάστημα. Το έλλειμμα στο διάστημα αυξήθηκε κατά τη διάρκεια των ετών, με αποτέλεσμα την αύξηση της εξερχόμενης μακροκυματικής ακτινοβολίας, η οποία ήταν ιδιαίτερα έντονη στα τέλη της δεκαετίας του 1970. (Kistler et. al., 2001)

Αναφορικά με την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας, τα παγκόσμια μοντέλα γενικής κυκλοφορίας υπερεκτιμούν την καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. Η υπερεκτίμηση αυτή όμως μπορεί να αντισταθμιστεί με την υποεκτίμηση της προσπίπτουσας μακροκυματικής ροής κατά 10 Wm^{-2} , αλλά με χαμηλή στατιστική σημαντικότητα. (Garratt and Prata, 1996)

Έρευνα για το ενεργειακό ισοζύγιο με τη βοήθεια των δεδομένων από δορυφορικές παρατηρήσεις διαπίστωσε σε παγκόσμιο επίπεδο ότι η χωρική / χρονική μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων συσχετίζεται σαφώς με τις αντίστοιχες μεταβλητότητες των μετεωρολογικών δεδομένων και της παραμετροποίησης. Πολυάριθμες συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν με διαθέσιμες μετρήσεις της επιφάνειας της γης με σκοπό την επικύρωση. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι διαφορές οφείλονταν στην αβεβαιότητα των μετρήσεων. Σε μερικές περιπτώσεις, στις οποίες παρουσιάστηκαν μεγάλες διαφορές, αυτές μπορούν να αποδοθούν σε αναγνωρισμένες ανεπάρκειες των μετεωρολογικών δεδομένων και / ή στις μετρήσεις πεδίου. Οι συγκρίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων με αυτά των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας έδειξαν μεγάλες διαφορές, αλλά, στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτές οφείλονταν σε αναγνωρισμένες ελλείψεις στις προσομοιώσεις του μοντέλου.

Ο παγκόσμιος ετήσιος μέσος όρος και οι μικροκυματικές ροές διαπιστώθηκε ότι ήταν περίπου 185 και 161 Wm^{-2} , αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές είναι κατά $10\text{-}20 \text{ Wm}^{-2}$ μικρότερες από εκείνες που λαμβάνονται από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας, αλλά συμφωνούν με άλλες δορυφορικές εκτιμήσεις. Ο παγκόσμιος ετήσιος μέσος όρος και οι μακροκυματικές ροές διαπιστώθηκε ότι ανερχόντουσαν περίπου σε 348 και 248 Wm^{-2} , αντίστοιχα, δηλαδή κατά $10\text{-}15 \text{ Wm}^{-2}$ περισσότερο από τις αντίστοιχες τιμές των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας η απορρόφηση μικροκυματικής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα είναι κατά $10\text{-}15 \text{ Wm}^{-2}$ μεγαλύτερη από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με άλλες εκτιμήσεις που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα. (Gupta et al, 1999)

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της εργασίας, τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και περισσότερο κοινή συνείδηση η ανάγκη αποδοτικότερης χρησιμοποίησης των πηγών ενέργειας γενικά, ειδικότερα δε η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Έπειτα από μελέτη των προβλημάτων της κλιματικής αλλαγής, τα οποία αναφέρονται στις εκθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, αλλά και των μοντέλων που την περιγράφουν, τίθενται οι κάτωθι στόχοι στη συγκεκριμένη εργασία:

- Διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου
- Μελέτη μεταβλητότητας αιολικού και ηλιακού δυναμικού την περίοδο 2010 – 2030, 2046 – 2065 και 2070 – 2100 για την περιοχή του Ελλαδικού χώρου.

Στο κεφάλαιο 2 της συγκεκριμένης μελέτης περιγράφεται η γενική λειτουργία του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας CAM 3.0. Ειδικότερα, αναλύονται οι τρόποι υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και του ανέμου με βάση το μοντέλο αυτό. Ακολουθεί η ιστορική αναδρομή, η κατασκευή, η περιγραφή, οι προβλέψεις, καθώς και ο σκοπός και οι χρήσεις των σεναρίων της IPCC.

Τα χαρακτηριστικά του ανέμου και της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας περιγράφονται στο κεφάλαιο 3. Επιπροσθέτως, αναλύεται ο μηχανισμός μετατροπής του ανέμου και της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αιολική και ηλιακή ενέργεια, αντίστοιχα.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η μεθοδολογία, η οποία ακολουθείται, καθώς και ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η ανάλυση των παρατηρήσεων και η οπτικοποίηση τους με τη μορφή χαρτών.

Τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης παρατίθενται στο κεφάλαιο 5, στο οποίο αναφέρονται η ετήσια μεταβολή ισχύος στην Ελλάδα, η ετήσια μεταβολή της ισχύος σε περιοχές με τη μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ και οι μέγιστες ετήσιες μεταβολές των γεωγραφικών ενοτήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας

2.1. Επισκόπηση του CAM 3.0

Το CAM 3.0 αποτελεί την πέμπτη γενιά των (*National Center for Atmospheric Research*) NCAR ατμοσφαιρικών (Global climate model) GCMs. Το όνομα του μοντέλου έχει αλλάξει από Community Climate Model σε Community Atmosphere Model για να απεικονίσει το ρόλο του CAM 3.0 στο πλήρως συζευγμένο κλιματικό σύστημα. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές του ατμοσφαιρικού μοντέλου, το CAM 3.0 έχει σχεδιαστεί μέσω μιας διαδικασίας συνεργασίας μεταξύ των χρηστών και των υπεύθυνων της ομάδας εργασίας του ατμοσφαιρικού μοντέλου Atmosphere Model Working Group (AMWG). Το AMWG πρότεινε τη δοκιμή μιας ποικιλίας από δυναμικούς πυρήνες και κατακόρυφες παραμετροποιήσεις. Τα δεδομένα από αυτά τα πειράματα έχουν δημοσιευτεί ελεύθερα δια μέσου της AMWG, ιδιαίτερα με οργανώσεις-μέλη (π.χ. Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI)) με μεθόδους για τη σύγκριση κλιματικών μοντέλων με παρατηρήσεις. Οι προτεινόμενες σχηματοποιήσεις μοντέλων έχουν αξιολογηθεί αναλυτικά χρησιμοποιώντας ένα νέο πακέτο διαγνωστικών διαδικασιών που δημιουργήθηκε από τον M. Stevens και τον J. Hack (CMS). Οι σημαντικότερες αλλαγές στη φυσική αναφέρονται:

➤ Διεργασίες συμπύκνωσης υδρατμών: Οι αναθεωρήσεις παραμετροποιήσεων για την ρεαλιστικότερη επεξεργασία της συμπύκνωσης και της εξάτμισης σε μεγάλης κλίμακας διαδικασίες και το μεταβαλλόμενο μέρος σύννεφων περιγράφονται από τους Zhang et al. Η παραμετροποίηση έχει δύο συνιστώσες: 1) μία μακροφυσική συνιστώσα που περιγράφει την ανταλλαγή συστατικών του νερού μεταξύ της συμπύκνωσης και της φάσης εξάτμισης και της σχετικής αλλαγής θερμοκρασίας που προκύπτουν από αυτή την αλλαγή φάσης (Zhang et al, 2003) και 2) μία μικροφυσική συνιστώσα που ελέγχει τη μετατροπή από συμπύκνωμα υδρατμών σε υγρή μορφή (from condensate to precipitate) (Rasch and Kristjansson, 1998).

Ένα νέο θερμοδυναμικό πακέτο για τον πάγο της θάλασσας: Η φιλοσοφία πίσω από το σχεδιασμό της απεικόνισης του πάγου της θάλασσας του CAM 3.0 πρόκειται να χρησιμοποιήσει την ίδια φυσική, όπου είναι δυνατόν, όπως στο μοντέλο του πάγου της θάλασσας μέσα σε CCSM, το οποίο είναι γνωστό ως CSIM για το Community Sea Ice Model. Ελλείψει ενός ωκεάνιου μοντέλου, αποσυνδεδεμένες προσομοιώσεις με το CAM 3.0 χρειάζονται το πάχος και τη συγκέντρωση του πάγου της θάλασσας προκειμένου να διευκρινιστούν. Ως εκ τούτου η βασική

προτεραιότητα της προσομοίωσης του πάγου της θάλασσας στο CAM 3.0 είναι να υπολογιστούν οι επιφανειακές ροές. Η νέα διατύπωση του πάγου της θάλασσας στο CAM 3.0 χρησιμοποιεί παραμετροποιήσεις από CSIM για να προβλέψει το βάθος του χιονιού, αλατόνερο, μικρού μήκους μεταφορά ακτινοβολίας, ανακλαστικότητα επιφανείας, αντίσταση πάγου-ατμόσφαιρας, εναλλαγή επιφανειακών ροών.

➤ Χαρακτηριστική αναπαράσταση τμήματος της κάλυψης εδάφους και της κάλυψης πάγου της θάλασσας: Προηγούμενες εκδόσεις του παγκόσμιου ατμοσφαιρικού μοντέλου περιέλαβαν μια απλή μάσκα πάγου – εδάφους – ωκεανού - θάλασσας για να προσδιορίσουν τη βασική επιφάνεια του μοντέλου (underlying surface). Είναι ευρέως γνωστό ότι οι ροές του γλυκού νερού, της θερμότητας, και της ορμής μεταξύ της ατμόσφαιρας και της βαθύτερης επιφάνειας επηρεάζονται έντονα από τον τύπο της επιφάνειας. Το CAM 3.0 παρέχει μια ακριβέστερη αναπαράσταση των εναλλαγών ροής από τα παράκτια όρια, τις περιοχές νησιών, και τις περιοχές πάγου με τη θεώρηση ενός τμηματικού χαρακτηριστικού για το έδαφος, τον πάγο, και τον ωκεανό. Δηλαδή η περιοχή που καταλαμβάνεται από αυτούς τους τύπους επιφάνειας περιγράφεται σαν μια τμηματική μερίδα του ατμοσφαιρικού πλέγματος. Αυτό το τμηματικό χαρακτηριστικό δίνει έναν μηχανισμό για να υπολογιστούν οι διαφορές ροής λόγω της ανομοιογένειας των τύπων της επιφάνειας.

➤ Μια νέα, γενική, και ευέλικτη θεώρηση της γεωμετρικής επικάλυψης νεφών για τους υπολογισμούς του ισοζυγίου ακτινοβολίας: Οι νέες παραμετροποιήσεις υπολογίζουν τις μικροκυματικές και τις μακροκυματικές ροές και τα ποσοστά θέρμανσης για την τυχαία επικάλυψη, τη μέγιστη επικάλυψη, ή έναν αυθαίρετο συνδυασμό μέγιστης και τυχαίας επικάλυψης. Η περιγραφή του τύπου της επικάλυψης είναι ίδια για τις δύο ζώνες, και είναι εντελώς ξεχωριστό κομμάτι από τις παραμετροποιήσεις της ακτινοβολίας. Στο CAM 3.0, παρακείμενα στρώματα νεφών επικαλύπτονται στα ανώτατα όρια και ομάδες νεφών που χωρίζονται από τα στρώματα ελεύθερων νεφών επικαλύπτονται τυχαία. Οι παραμετροποιήσεις βασίζονται σε αναπαραστάσεις εξισώσεων μεταφοράς της ακτινοβολίας που είναι ακριβέστερες από τις προηγούμενες προσεγγίσεις. Η μεθοδολογία έχει σχεδιαστεί και έχει προτιμηθεί από υπολογισμούς που βασίζονται στην ανεξάρτητη προσέγγιση στηλών (Independent Column Approximation – ICA).

➤ Μια νέα παραμετροποίηση για τη μακροκυματική απορρόφηση και την εκπομπή ακτινοβολίας των υδρατμών: Αυτή η αναβαθμισμένη επεξεργασία συντηρεί τη φόρμα των

εξισώσεων μεταφοράς της ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας τη μέθοδο απορρόφησης/εκπομπής ακτινοβολίας. Εντούτοις, οι συνιστώσες της απορρόφησης και της εκπομπής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς έχουν αντικατασταθεί με νέους όρους που υπολογίζονται από το γενικό ατμοσφαιρικό μοντέλο μετάδοσης και ακτινοβολίας (General Line-by-line Atmospheric Transmittance and Radiance Model – GENLN3). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των βαθμών ψύξης από την αρχική μέθοδο και το GENLN3 είναι 0,2 °K/ημέρα. Αυτές οι διαφορές μειώνονται από τουλάχιστον έναν παράγοντα 3 χρησιμοποιώντας την αναβαθμισμένη παραμετροποίηση. Τα μέσα σφάλματα στις μακροκυματικές ροές επιφάνειας και τις μακροκυματικές ροές της ατμοσφαιρικής ανώτατης επιφάνειας για κανονικές (standard) ατμόσφαιρες μειώνονται σε λιγότερο από 1 Wm⁻². Η αναβαθμισμένη παραμετροποίηση αυξάνει τη μακροκυματική ψύξη στα 300 mb από 0,3 έως 0,6 °K/την ημέρα, και μειώνει την ψύξη πλησίον των 800 mb μέχρι 0,1 έως 0,5 °K/την ημέρα.

➤ Η απορρόφηση των υδρατμών στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα έχει αναβαθμιστεί. Στην αρχική μικροκυματική παραμετροποίηση για το CAM (Briegleb, 1992), η απορρόφηση από τους υδρατμούς προκύπτει από τους υπολογισμούς LBL σύμφωνα με τους Ramaswamy και Freidenreich (1991). Στη συνέχεια, οι υπολογισμοί LBL βασίζονται σε γραμμικά δεδομένα AFGL του 1983 (Rothman et al, 1983). Η αρχική παραμετροποίηση δεν περιέλαβε τα αποτελέσματα της συνεχούς εξάτμισης νερού στο ορατό και κοντινό-υπέρυθρο. Στη νέα έκδοση του CAM, η παραμετροποίηση βασίζεται στη γραμμική βάση δεδομένων HITRAN2k (Rothman et al, 2003), και ενσωματώνει τη θεωρία CKD 2.4 για τη συνέχεια. Το μέγεθος των σφαλμάτων στις αποκλίσεις ροής και τα ποσοστά θέρμανσης στους σύγχρονους υπολογισμούς LBL έχουν μειωθεί περίπου επτά φορές με σχέση με την παλιά CAM παραμετροποίηση.

➤ Τα ομοιογενή αερολύματα υποβάθρου έχουν αντικατασταθεί από κλιματολογικές τιμές της τρέχουσας ημέρας του θαλάσσιου αλατιού, θειούχων, ανθρακούχων αερολυμάτων καθώς και σωματιδίων σκόνης). Η κλιματολογία προκύπτει από ένα χημικό μοντέλο μεταφοράς ενισχυμένο με μετεωρολογικές αναλύσεις και επηρεάζεται από την αφομοίωση δορυφορικών μετρήσεων αερολυμάτων. Αυτά τα αερολύματα έχουν επιπτώσεις στην μικροκυματική ενεργειακή κατάσταση της ατμόσφαιρας. Το CAM 3.0 επίσης περιλαμβάνει έναν μηχανισμό για την επεξεργασία των μικροκυματικών και μακροκυματικών ακτινοβολιών που προκαλούνται από ηφαιστειακά αερολύματα.

➤ Εξάτμιση της κατακόρυφης βροχόπτωσης σύμφωνα με τον Sundqvist (1988) : Η αύξηση

της ατμοσφαιρικής υγρασίας μέσω αυτού του μηχανισμού αντισταθμίζει την ξήρανση που προκαλείται από αλλαγές στην μακροκυματική απορρόφηση και την εκπομπή ακτινοβολίας.

Άλλες σημαντικές εξελίξεις αποτελούν:

- Μία νέα βάση δεδομένων επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (ΕΘΘ): Αυτό το σύνολο δεδομένων ορίζει μέσες τιμές της ΕΘΘ και συγκέντρωσης πάγου για την περίοδο 1950 μέχρι το 2001. Χρησιμοποιεί την παγκόσμια βάση δεδομένων HadISSTOI πριν από το 1981 και το σύνολο δεδομένων Smith/Reynolds Empirical Orthogonal Function (EOF) μετά το 1981. Εκτός από την χρονική σειρά που αναλύεται, είναι επίσης διαθέσιμο μία σύνθεση του ετήσιου κύκλου για την περίοδο 1981-2001 μορφή μέσου κλιματολογικού συνόλου δεδομένων.
- Διαχωρισμός μεταξύ της φυσικής και της δυναμικής: Ο δυναμικός πυρήνας (dynamical core) μπορεί να συνδεθεί με την ακολουθία παραμετροποίησης (parameterization suite) μέσω διαχωρισμού (purely time split manner) είτε του χρόνου ή της διαδικασίας (purely process split one). Η διάκριση μεταξύ τους είναι ότι στη προσέγγιση διαχωρισμού της διαδικασίας (process split approximation), τόσο η φυσική, όσο και η δυναμική υπολογίζονται ταυτόχρονα από το ίδιο σύνολο δεδομένων, που προηγείται χρονικά, ενώ στην προσέγγιση διαχωρισμού του χρόνου (time split approximations) η δυναμική και η φυσική υπολογίζονται διαδοχικά, κάθε μια βασισμένη στα δεδομένα που προκύπτουν από την άλλη.

2.2. Παραμετροποίηση της μικροκυματικής ακτινοβολίας

2.2.1. Ημερήσιος κύκλος

Με τυπικές σταθερές ρυθμίσεις, τόσο τα μικροκυματικά, όσο και τα μακροκυματικά ποσοστά θέρμανσης υπολογίζονται κάθε ώρα του μοντέλου. Μεταξύ των υπολογισμών ανά ώρα, οι μακροκυματικές και μικροκυματικές ροές και οι αποκλίσεις ροής διατηρούνται σταθερές.

Στο CAM 3.0, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Berger (1978). Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να καθοριστεί για οποιαδήποτε χρονική στιγμή μέσα σε 10^6 έτη του Αστεροειδή 1950 DA. Αυτό διευκολύνει τη χρησιμοποίηση του CAM 3.0 για παλαιοκλιματικές προσομοιώσεις. Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία στο μέγιστο του μοντέλου της ατμόσφαιρας δίνεται από:

$$S_I = S_0 p^{-2} \cos \mu,$$

όπου S_0 είναι η ηλιακή σταθερά, μ είναι η ηλιακή ζενίθια γωνία, και p^{-2} είναι ο παράγοντας απόστασης. Στην τυποποιημένη διατύπωση, $S_0=1367.0\text{Wm}^{-2}$ το CAM 3.0 περιλαμβάνει έναν μηχανισμό για να διαχειρίζεται τις χαμηλές μεταβολές στην ηλιακή σταθερά πέρα από τον 11-ετή κύκλο και κατά τη διάρκεια των πιο μακροχρόνιων κοσμικών τάσεων. Μέσα στο μοντέλο συμπεριλαμβάνεται μια χρονική σειρά του S_0 για το χρονικό διάστημα από το 1870 μέχρι το 2100 που βασίζεται στους Lean et al. (1995).

Ο ετήσιος και ο ημερήσιος κύκλος της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζεται με ένα επαναλαμβανόμενο ηλιακό έτος ακριβώς 365 ημερών και με μια μέση ηλιακή ημέρα ακριβώς 24 ωρών, αντίστοιχα. Το επαναλαμβανόμενο ηλιακό έτος δεν επιτρέπει την παράλειψη κάποιου έτους. Οι εξισώσεις που καθορίζουν την ετήσια και ημερήσια αλλαγή της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία είναι:

$$\cos\mu = \sin\phi\sin\delta - \cos\phi\cos\delta\cos(H)$$

$$\delta = \arcsin(\sin\epsilon\sin\lambda)$$

$$\rho = \frac{1 - e^2}{1 + e\cos(l - \omega)}$$

$$\omega = \Pi + \psi$$

Όπου:

- ϕ : γεωγραφικό πλάτος σε ακτίνια
- δ : ηλιακή απόκλιση σε ακτίνια
- H : ωριαία γωνία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας
- ϵ : λοξότητα (obliquity)
- λ : πραγματικό γεωγραφικό μήκος της γης σχετικά με την εαρινή ισημερία
- e : παράγοντας εκκεντρότητας
- ω : γεωγραφικό μήκος του περιηλίου + 180° (longitude of the perihelion + 180°)
- Π : γεωγραφικό μήκος του περιηλίου που βασίζεται σε σταθερή ισημερία (longitude of perihelion based on the fixed equinox)
- Ψ : γενική μετάπτωση (general precession)

Η ωριαία γωνία H στη σχέση για το $\cos \mu$ εξαρτάται από την ημερολογιακή ημέρα d όπως και στο γεωγραφικό μήκος του μοντέλου:

$$H = 2\pi \left(d + \frac{\theta}{360^\circ} \right)$$

όπου θ : το γεωγραφικό μήκος του μοντέλου στους βαθμούς που αρχίζουν από το Γκρήνουϊτς (GMT). Σημειώνεται ότι η ημερολογιακή ημέρα d ποικίλλει συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου έτους και ενημερώνεται σε κάθε χρονικό βήμα του μοντέλου. Οι τιμές του d στο 0 GMT για τις 1 Ιανουαρίου και τις 31 Δεκεμβρίου είναι 0 και 364, αντίστοιχα. Αυτό θα σήμαινε, για παράδειγμα, ότι μία ημερολογιακή ημέρα του μοντέλου d που δεν έχει κανένα κλάσμα (όπως στο 182.00) θα αναφερόταν στα τοπικά μεσάνυχτα στο Γκρήνουϊτς, και στο τοπικό μεσημέρι στο γεωγραφικό μήκος 180° .

Η λοξότητα (obliquity) ϵ μπορεί να προσεγγιστεί από μια εμπειρική σειρά επεκτάσεων των λύσεων για τη γήινη τροχιά

$$\epsilon = \epsilon^* + \sum_{j=1}^{47} A_j \cos(f_j t + \delta_j)$$

όπου τα A_j , f_j και δ_j καθορίζονται από την αριθμητική εφαρμογή. Ο όρος $\epsilon^* = 23.320556^\circ$, και το t είναι ο χρόνος (στα έτη) σχετικά με το Αστεροειδή 1950 DA.

Δεδομένου ότι η σειρά επεκτάσεων για την εκκεντρότητα e είναι αργά συγκλίνουσα, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας:

$$e \begin{cases} \cos \\ \sin \end{cases} \Pi = \sum_{j=1}^{19} M_j \begin{cases} \cos \\ \sin \end{cases} (g_j t + \beta_j),$$

όπου τα M_j , g_j και β_j υπολογίζονται από την αριθμητική εφαρμογή. Μόλις υπολογιστούν αυτές οι σειρές, το γεωγραφικό μήκος περιήλιο Π υπολογίζεται χρησιμοποιώντας:

$$\Pi = \arctan \left(\frac{e \sin \Pi}{e \cos \Pi} \right)$$

Η γενική μετάπτωση δίνεται από μια άλλη εμπειρική σειρά

$$\psi = \tilde{\psi}t + \zeta + \sum_{j=1}^{78} F_j \sin(f_j t \delta_j t)$$

όπου $\tilde{\psi} = 50.43927300''$, $\zeta = 3.392506^\circ$, και F_j , f_j , και δ_j υπολογίζονται από την αριθμητική λύση για τη γήινη τροχιά.

Ο υπολογισμός του λ απαιτεί αρχικά τον προσδιορισμό δύο μέσων γεωγραφικών μηκών για την τροχιά. Το μέσο γεωγραφικό μήκος λ_{m0} στην εαρινή ισημερία είναι:

$$\lambda_{m0} = 2 \left\{ \left(\frac{e}{2} + \frac{e^3}{8} \right) (1 + \beta) \sin(\tilde{\omega}) - \frac{e^2}{4} \left(\frac{1}{2} + \beta \right) \sin(2\tilde{\omega}) + \frac{e^3}{8} \left(\frac{1}{3} + \beta \right) \sin(3\tilde{\omega}) \right\}$$

όπου $\beta = \sqrt{1 - e^2}$. Το μέσο γεωγραφικό μήκος είναι :

$$\lambda_m = \lambda_{m0} + \frac{2\pi(d - d_{ve})}{365}$$

όπου $d_{ve}=80.5$ είναι η ημερολογιακή ημέρα για την εαρινή ισημερία (το μεσημέρι στις 21 Μαρτίου). Το αληθινό γεωγραφικό μήκος λ δίνεται έπειτα από:

$$\lambda = \lambda_m + \left(2e - \frac{e^3}{4} \right) \sin(\lambda_m - \tilde{\omega}) + \frac{5e^2}{4} \sin[2(\lambda_m - \tilde{\omega})] + \frac{13e^2}{12} \sin[3(\lambda_m - \tilde{\omega})]$$

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία διατηρείται σταθερή σε όλη την εφαρμογή του μοντέλου. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προσδιοριστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος αφορά στον προσδιορισμό ενός έτους για τον υπολογισμό του t . Η τιμή του έτους διατηρείται σταθερή για όλη την εφαρμογή του μοντέλου. Το έτος πρέπει να είναι μέσα στο ποσοστό των 1950 ± 10^6 . Ο δεύτερος τρόπος είναι να οριστεί ο

παράγοντας εκκεντρότητας e , το γεωγραφικό μήκος στο περιήλιο $\tilde{\omega}=180^\circ$, και η λοξότητα E . Αυτό το σύνολο τιμών είναι αρκετό για να διευκρινιστεί η λειτουργία του μοντέλου.

2.2.2. Διατύπωση της μικροκυματικής λύσης

Η προσέγγιση δ -Eddington των Joseph et al (1976) και Coakley et al (1983) έχει υιοθετηθεί και περιγράφεται στο Briegleb (1992). Οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ μικροκυματικών παραμετροποιήσεων CCM3 και του CAM 3.0 είναι :

1. η νέα επεξεργασία της κατακόρυφης επικάλυψης σύννεφων (new treatment of cloud vertical overlap) (Collins, 2001)
2. ενημερωμένη παραμετροποίηση για την απορρόφηση στο κοντινό υπέρυθρο από τους υδρατμούς.
3. συνυπολογισμός των προβλεπόμενων συνόλων δεδομένων των αερολυμάτων (prescribed aerosol data) για τον υπολογισμό της έντασης της μικροκυματικής ακτινοβολίας από αυτά αερολυμάτων (shortwave aerosol radiative forcing)

Το ηλιακό φάσμα χωρίζεται σε 19 φασματικά και ψευδοφασματικά διαστήματα (7 για το O_3 , 1 για το ορατό, 7 για τους H_2O , 3 για το CO_2 , και 1 για το κοντινό υπέρυθρο κατά τον Collins (1998). Το CAM 3.0 ατμοσφαιρικό μοντέλο αποτελείται από ένα κατακόρυφο σύνολο οριζόντιων ομοιογενών «στρωμάτων» μέσα στα οποία τα ποσοστά θερμικής ακτινοβολίας θα διευκρινιστούν παρακάτω. Κάθε ένα από αυτά τα «στρώματα» θεωρείται ένας ομοιογενής συνδυασμός διάφορων ακτινοβολιών ενεργών συστατικών. Προσδιορίζονται η ηλιακή ακτινοβολία, η επιφανειακή ανακλαστικότητα για την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία σε κάθε φασματικό διάστημα, και το συνημίτονο της ηλιακής γωνίας. Η επιφάνεια της ανακλαστικότητας καθορίζεται σε δύο κανάλια (0.2 - 0.7 μm , και 0.7 - 5.0 μm) και διακρίνονται ανακλαστικότητες για την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία. Ανακλαστικότητες για ωκεάνιες επιφάνειες, εδαφικές επιφάνειες, και επιφάνειες πάγου - θάλασσας διαφέρουν μεταξύ τους.

Η μέθοδος περιλαμβάνει την αξιολόγηση της δ -Eddington λύσης για την ανακλαστικότητα και τη μεταβιβασιμότητα για κάθε «στρώμα» στο κατακόρυφο. Τα στρώματα συνδυάζονται για πολλαπλή σκέδαση μεταξύ τους επιτρέποντας τις προς τα πάνω και προς τα κάτω φασματικές ροές σε κάθε ενδιάμεσο όριο μεταξύ των στρωμάτων. Αυτή η διαδικασία

επαναλαμβάνεται για κάθε φασματικό ή ψευδοφασματικό διάστημα και τη δυαδική διαμόρφωση των νεφών για να συσσωρεύσει ροές εύρους, από τις οποίες το ποσοστό θέρμανσης μπορεί να αξιολογηθεί από τις διαφορές ροής από κάθε στρώμα. Το σχήμα δ-Eddington εφαρμόζεται έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να υπολογίζεται μία φορά κάθε ώρα του μοντέλου.

Η δ-Eddington προσέγγιση επιτρέπει την απορρόφηση αερολυμμάτων από τα O_3 , CO_2 , O_2 , H_2O . Συμπεριλαμβάνεται η μοριακή διασπορά και η διασπορά/απορρόφηση από τα σταγονίδια των νεφών και των αερολυμάτων. Στη μέθοδο των Briegleb (1992) και Collins (1998) χρησιμοποιείται ένα σύνολο δεδομένων από φασματικά διαστήματα και από την απορρόφηση/διασπορά με εξαίρεση τους H_2O . Το διαγνωστικό ποσό νεφών υπολογίζεται κάθε ώρα του μοντέλου ακριβώς πριν από τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας.

Χρησιμοποιώντας επτά ψευδοφασματικά διαστήματα, παρατηρείται απορρόφηση στο ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς περίπου 1000 και 18.000 cm^{-1} . Για κάθε διάστημα παρατηρείται μια σταθερή συγκεκριμένη απορρόφηση. Αυτές οι απορροφήσεις εφαρμόζονται για να ελαχιστοποιήσουν τα σφάλματα στα ποσοστά θέρμανσης και τις αποκλίσεις ροής που σχετίζονται με τους υπολογισμούς (LBL) για τις ατμόσφαιρες αναφοράς (Anderson et al., 1986) χρησιμοποιώντας το σχήμα GENLN3 (Edwards, 1992) που συνδέεται με την επίλυση της εξίσωσης μεταφοράς DISORT2 (Stamnes et al, 1988). Οι συντελεστές και τα βάρη έχουν τις ίδιες ιδιότητες όπως σε μέθοδο k-διανομής (k-distribution) (Lacis και Oinas, 1991), αλλά αυτή η παραμετροποίηση είναι ουσιαστικά ένα εκθετικό άθροισμα τιμών (π.χ., Wiscombe and Evans, 1977). Οι υπολογισμοί LBL εκτελούνται χρησιμοποιώντας τη γραμμική βάση δεδομένων HITRAN2k (Rothman et al., 2003) και το μοντέλο - έκδοσης 2.4.1 των Clough, Kneizys, and Davies (CKD). Η αναβαθμισμένη παραμετροποίηση αυξάνει την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τους υδρατμούς σύμφωνα με την μεθοδολογία που εφαρμόζεται στα CCM και CAM από τότε που άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τον Briegleb (1992).

2.3. Διατυπώσεις επιφανειακής ανταλλαγής

Η εναλλαγή θερμότητας, υγρασίας και ορμής μεταξύ των επιφανειών της ατμόσφαιρας και του εδάφους, των ωκεανών ή του πάγου εκτιμάται με μια σημαντική κοινή αποδεκτή μέθοδο. Αν και οι λειτουργικές μορφές των σχέσεων εναλλαγής είναι ίδιες, παρουσιάζονται οι περιγραφές αυτών των συνιστωσών όπως αναπτύσσονται και αναπαρίστανται στις διάφορες εφαρμογές του CAM 3.0. Οι διαφορές στις εκφράσεις είναι κυρίως στον καθορισμό των

ανομοιομορφιών των μηκών και των συντελεστών εναλλαγής. Η περιγραφή της επιφανειακής εναλλαγής για τον ωκεανό προκύπτει από τους Bryan et al (1996). Για ότι αφορά στις λίμνες, οι εναλλαγές υπολογίζονται από ένα μοντέλο λιμνών που ενσωματώνεται στο μοντέλο της επιφάνειας του εδάφους που περιγράφεται παρακάτω.

2.3.1. Έδαφος

Στο CAM 3.0, το μοντέλο επιφάνειας εδάφους NCAR (LSM) (Bonan, 1996) έχει αντικατασταθεί από το Community Climate Model (CLM2) (Bonan et al, 2002). Αυτό το νέο μοντέλο περιλαμβάνει τις συνιστώσες που προκαλούν τις υδρολογικές και βιογεωχημικές διαδικασίες, τη δυναμική βλάστηση, και τη βιογεωφυσική. Οι ροές της επιφάνειας του εδάφους της ορμής, της αισθητής, και λανθάνουσας θερμότητας υπολογίζονται από την θεωρία Monin-Obukhov που εφαρμόζεται στο επιφανειακό στρώμα της ατμόσφαιρας. Οι ζωνικές T_x και μεσημβρινές T_y ροές ορμής, οι ροές της αισθητής θερμότητας H και των υδρατμών E μεταξύ της επιφάνειας και του χαμηλότερου επιπέδου Z_1 του μοντέλου είναι:

$$T_x = -\rho_1 (\overline{u'w'}) = -\rho_1 u_*^2 (u_1/V_a) = \rho_1 \frac{u_s - u_1}{r_{am}}$$

$$T_y = -\rho_1 (\overline{v'w'}) = -\rho_1 u_*^2 (v_1/V_a) = \rho_1 \frac{v_s - v_1}{r_{am}}$$

$$H = \rho_1 c_p (\overline{w'\theta'}) = -\rho_1 c_p u_* \theta_* = \rho_1 c_p \frac{\theta_s - \theta_1}{r_{ah}}$$

$$E = \rho_1 (\overline{w'q'}) = -\rho_1 u_* q_* = \rho_1 \frac{q_s - q_1}{r_{aw}}$$

$$r_{am} = V_a/u_*^2$$

$$r_{ah} = (\theta_1 - \theta_s)/u_* \theta_*$$

$$r_{aw} = (q_1 - q_s)/u_* \theta_*$$

όπου ρ_1 , u_1 , v_1 , θ_1 και q_1 είναι η πυκνότητα (kgm^{-3}), οι συνιστώσες του ανέμου (ms^{-1}), η

δυναμική θερμοκρασία του αέρα (K) (air potential temperature) και η ειδική υγρασία στο χαμηλότερο επίπεδο του μοντέλου, αντίστοιχα. Εξ ορισμού, η επιφάνεια περικλείει τις u_s και v_s στην τιμή του μηδενός. Το σύμβολο θ_1 αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία, και το q_1 είναι η συγκεκριμένη υγρασία στην επιφάνεια. Οι όροι r_{am} , r_{ah} και r_{aw} είναι οι αεροδυναμικές αντιστάσεις ($s\ m^{-1}$) για την ορμή, την αισθητή θερμότητα (sensible heat), και τους υδρατμούς μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου του μοντέλου στο ύψος z_1 και της επιφάνειας στο ύψος $z_{0m}+d$ [$z_{0h}+d$]. Εδώ, z_{0m} [z_{0h}] είναι το μήκος τραχύτητας (m) για τις ροές ορμής, και το d είναι το ύψος μετατοπίσεων (displacement height) (m).

2.3.1.1. Μήκος τραχύτητας και μηδενική-επίπεδη μετατόπιση (zero-plane displacement)

Το αεροδυναμικό ύψος τραχύτητας z_{0m} χρησιμοποιείται για τον άνεμο, ενώ το θερμικό ύψος z_{0h} χρησιμοποιείται για τη θερμότητα και τους υδρατμούς. Γενικά, το z_{0m} είναι διαφορετικό από z_{0h} , επειδή η μεταφορά της ορμής επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της πίεσης στους τυρβώδεις κυματισμούς πίσω από τα αντικείμενα της τραχύτητας, ενώ για τη μεταφορά της θερμότητας και των υδρατμών δεν υπάρχει κανένας τέτοιος δυναμικός μηχανισμός. Για ότι αφορά γυμνή κάλυψη χώματος και χιονιού, η απλή σχέση από τον Zilitinkevich [1970] μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Zeng και Dickinson, 1998):

$$\ln \frac{z_{0m}}{z_{0h}} = a \left(\frac{u_* z_{0m}}{v} \right)^{0.45}$$

$$a = 0.13$$

$$v = 1.5 \times 10^{-5} m^2 s^{-1}$$

Η σχέση του ενεργειακού ισοζυγίου για τις περιοχές πάνω από τη βλάστηση δίνεται από τον τύπο

$$R_n - H - L_u E = 0$$

(όπου R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία που απορροφάται από την κάλυψη βλάστησης) και είναι ισοδύναμη για τη χρήση διαφορετικού z_{0m} έναντι z_{0h} πάνω από το γυμνό έδαφος. Ως εκ τούτου η θερμική τραχύτητα δεν χρειάζεται για την κάλυψη βλάστησης. (Zeng et al, 1998).

Το ύψος τραχύτητας z_{0m} είναι ανάλογο προς το ύψος της κάλυψης της βλάστησης και επηρεάζεται επίσης από την κλασματική κάλυψη βλάστησης, το δείκτη έκτασης φυλλώματος (Leaf Area Index-LAI), και τις μορφές φύλλων. Η τραχύτητα προέρχεται από την απλή σχέση $z_{0m}=0.07h_c$, όπου h_c είναι το ύψος της κάλυψης της βλάστησης. Ομοίως, το μηδενικό ύψος d μετατοπίσεων είναι ανάλογο προς το ύψος της κάλυψης της βλάστησης και επηρεάζεται επίσης από την κλασματική κάλυψη βλάστησης, το δείκτη περιοχής φύλλων, και τις μορφές φύλλων. Η σχέση $d/h_c = 2/3$ χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ύψους.

2.3.1.2. Η θεωρία ομοιότητας Monin-Obukhov

Παράμετροι κλίμακας τύρβης (Turbulence scaling):

Η κλίμακα μήκους (μήκος Monin-Obukhov) L καθορίζεται από :

$$L = \frac{\theta_v u_*^2}{kg\theta_{v*}}$$

όπου k είναι η σταθερά von Karman, και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. $L > 0$ υποδηλώνει σταθερές συνθήκες, $L < 0$ ασταθείς συνθήκες και για $L=\infty$ ουδέτερες συνθήκες. Η διέπουσα δυναμική θερμοκρασία (virtual potential temperature) θα προκύπτει από:

$$\theta_u = \theta_1(1 + 0.61q_1) = T_a \left(\frac{p_s}{p_l} \right)^{R/c_p} (1 + 0.61q_1)$$

όπου T_1 και q_1 είναι η θερμοκρασία αέρα και η ειδική υγρασία στο ύψος z_1 αντίστοιχα, θ_1 είναι η δυνητική θερμοκρασία, p_l είναι η ατμοσφαιρική πίεση, και p_s είναι η επιφανειακή πίεση. Η επιφανειακή ταχύτητας τριβής u_* δίνεται από :

$$u_*^2 = \left[(\overline{u'w'})^2 + (\overline{v'w'})^2 \right]^{1/2}$$

Η κλίμακα θερμοκρασίας θ_* και θ_{*u} και μια κλίμακα υγρασίας q_* δίνονται από:

$$\theta_* = -\overline{w'\theta'}/u_*$$

$$q_* = -\overline{w'q'}/u_*$$

$$\theta_{u*} = -\overline{w'\theta_u'}/u_* \approx -(\overline{w'\theta} + 0.61\overline{\theta w'q'})/u_* = \theta_* + 0.61\overline{\theta}q_*$$

όπου η μέση θερμοκρασία θ χρησιμεύει ως μια θερμοκρασία αναφοράς σε αυτήν την γραμμική μορφή του θ_u . Η παράμετρος σταθερότητας ορίζεται ως :

$$\zeta = \frac{z_1 - d}{L}$$

με τον περιορισμό ότι : $-100 \leq \zeta \leq 2$. Η βαθμωτή ταχύτητα του αέρα (scalar wind speed) ορίζεται ως:

$$V_a^2 = u_1^2 + v_1^2 + U_c^2$$

$$U_c = \begin{cases} 0.1 m s^{-1} & \text{αν } \zeta \geq 0 \\ \beta w_* = \beta \left(z_i \frac{g}{\theta_u} \theta_{u*} u_* \right)^{1/3} & \text{αν } \zeta < 0 \end{cases}$$

Εδώ w_* είναι η μεταφορική κλίμακα ταχύτητας (convective velocity scale), z_i είναι το μεταφορικό ύψος του οριακού στρώματος convective boundary layer height), και $\beta = 1$. Η τιμή του z_i θεωρείται 1000 μέτρα.

Σχέσεις ροής - κλίσης (Zeng et al., 1998):

Οι σχέσεις ροής - κλίσης (flux-gradient relations) δίνονται από :

$$\frac{k(z_1 - d)}{\theta_*} \frac{\partial \theta}{\partial z} = \Phi_h(\zeta)$$

$$\frac{k(z_1 - d)}{q_*} \frac{\partial q}{\partial z} = \Phi_q(\zeta)$$

$$\Phi_h = \Phi_q$$

$$\Phi_m(\zeta) = \begin{cases} (1 - 16\zeta)^{-1/4} & \text{για } \zeta < 0 \\ 1 + 5\zeta & \text{για } 0 < \zeta < 1 \end{cases}$$

$$\Phi_h(\zeta) = \begin{cases} (1 - 16\zeta)^{-1/2} & \text{για } \zeta < 0 \\ 1 + 5\zeta & \text{για } 0 < \zeta < 1 \end{cases}$$

Κάτω από πολύ ασταθείς συνθήκες, οι σχέσεις ροής-κλίσης δίνονται σύμφωνα με τους Kader and Yaglom (1990):

$$\Phi_m = 0.7k^{2/3}(-\zeta)^{1/3}$$

$$\Phi_h = 0.9k^{4/3}(-\zeta)^{1/3}$$

Για να εξασφαλιστεί ότι οι σχέσεις $\Phi_m(\zeta)$ και $\Phi_h(\zeta)$ είναι συνεχείς, η πιο απλή προσέγγιση είναι ο συνδυασμός των παραπάνω εξισώσεων σε $\zeta_m = -1.574$ για το $\Phi_m(\zeta)$ και $\zeta_h = -0.465$ για το $\Phi_h(\zeta)$.

Κάτω από πολύ ευσταθείς συνθήκες (δηλ., $\zeta > 1$), οι σχέσεις δίνονται σύμφωνα με τους Holtslag et al (1990):

$$\Phi_m = \Phi_h = 5 + \zeta$$

Ακέραιες μορφές των σχέσεων ροής-κλίσης:

Ολοκλήρωση της κατατομής του ανέμου:

$$V_a = \frac{u_*}{k} f_M(\zeta)$$

$$f_M(\zeta) = \left\{ \left[\ln \left(\frac{\zeta_m L}{z_{0m}} \right) - \psi_m(\zeta_m) \right] + 1.14 [(-\zeta)^{1/3} - (-\zeta_m)^{1/3}] \right\}, \zeta < \zeta_m = -1.574$$

$$f_M(\zeta) = \left[\ln \left(\frac{z_1 - d}{z_{0m}} \right) - \psi_m(\zeta) + \psi_m \left(\frac{z_{0m}}{L} \right) \right], \quad \zeta_m < \zeta < 0$$

$$f_M(\zeta) = \left[\ln \left(\frac{z_1 - d}{z_{0m}} \right) + 5\zeta \right], \quad 0 < \zeta < 1$$

$$f_M(\zeta) = \left\{ \left[\ln \left(\frac{L}{z_{0m}} \right) + 5 \right] + 5[\ln(\zeta) + \zeta - 1] \right\}, \quad \zeta > 1$$

2.4. Σενάρια εκπομπών εκπομπών SRES (Special Report on Emission Scenarios) IPCC

2.4.1. Ιστορική αναδρομή

Το 1990 και το 1992 η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) ανέπτυξε μακροπρόθεσμα σενάρια εκπομπών. Αυτά τα σενάρια έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως

στην ανάλυση της πιθανής αλλαγής κλίματος, των επιδράσεών τους και των δυνατοτήτων να μετριαστεί η κλιματική αλλαγή.

Συγκεκριμένα, το 1992 δημοσιεύτηκαν έξι σενάρια εκπομπών (Leggett et al., 1992) τα οποία παρουσίασαν εναλλακτικές εκπομπές των αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, για τα έτη από το 1990 μέχρι το 2100. Αυτά τα αέρια ήταν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το μεθάνιο (CH_4), το νιτρώδες οξείδιο (N_2O), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και το διοξείδιο του θείου (SO_2). Αυτά τα σενάρια προορίζονταν για τη χρήση τους από τους μελετητές της ατμόσφαιρας και του κλίματος, κατά την προετοιμασία των σεναρίων της ατμοσφαιρικής σύνθεσης και της αλλαγής του κλίματος. Αυτά τα έξι σενάρια αναφέρονται ως σενάρια IS92.

Από πολλές απόψεις τα σενάρια IS92 ήταν πρωτοποριακά. Ήταν τα πρώτα παγκόσμια σενάρια που παρείχαν εκτιμήσεις της πλήρους ακολουθίας των αερίων του θερμοκηπίου. Τότε, ήταν τα μόνα σενάρια που παρείχαν τις τροχιές εκπομπής για το SO_2 . Πολλά άλλαξαν κατά την περίοδο μετά από τη δημιουργία των σεναρίων IS92. Οι εκπομπές θείου αναγνωρίστηκαν ως ο σημαντικότερος παράγοντας της ακτινοβολούμενης δύναμης (Radiative Forcing-RF) από ότι άλλα αέρια σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου -εκτός του CO_2 -, ενώ υιοθετήθηκαν και μερικές περιφερειακές πολιτικές ελέγχου. Η αναδόμηση στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και της πρώην Σοβιετικής Ένωσης είχε πολύ ισχυρότερα αποτελέσματα στην οικονομική δραστηριότητα και τις εκπομπές από ότι είχε προβλεφθεί στα σενάρια IS92. Για μερικές περιοχές αυτά τα σενάρια δεν ήταν αντιπροσωπευτικά εκείνων που βρίσκονταν στη βιβλιογραφία. Η εμφάνιση των μοντέλων ολοκληρωμένης αποτίμησης (IA-Integrated Assessment) έδωσε τη δυνατότητα να δημιουργηθούν σενάρια εκπομπών που εξετάζουν από κοινού τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ενέργειας, της οικονομίας, και των αλλαγών στις χρήσεις γης.

Το 1995 οι Alcamo et al. διαπίστωσαν ότι οι εκπομπές του CO_2 στα σενάρια IS92 ήταν σχετικά αντιπροσωπευτικές των παραλλαγών που βρέθηκαν στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, όσον αφορά στη χρήση τους από τα ατμοσφαιρικά κλιματικά μοντέλα. Συνήχθη λοιπόν το συμπέρασμα ότι, εάν τα σενάρια προορίζονταν να έχουν ευρύτερες χρήσεις από το να είναι απλά ένα σύνολο εκπομπών που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα κλίματος, θα έπρεπε να αναπτυχθούν νέα σενάρια.

Η αξιολόγηση σύστησε επίσης ότι πρέπει να εξεταστούν οι σημαντικές αλλαγές (από το 1992) στην κατανόηση των αιτιών των εκπομπών και των μεθοδολογιών. Αυτοί οι αλλαγές στην κατανόηση αφορούν, π.χ. στη χρήση του άνθρακα για την παροχή ενέργειας, στη διαφορά εισοδήματος μεταξύ των αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών και στις εκπομπές του θείου. Αυτό οδήγησε σε μια απόφαση από την ολομέλεια της IPCC το 1996 να αναπτυχθεί ένα νέο σύνολο σεναρίων, τα οποία τελικά δημοσιεύτηκαν το 2000 (Special Report on Emissions Scenarios). (IPCC, 2000)

2.4.2. Κατασκευή σεναρίων εκπομπών SRES

Το σύνολο των σεναρίων της ομάδας SRES (Special Report on Emissions Scenarios, IPCC, Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart, 2000) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των αιτιών των μελλοντικών εκπομπών από δημογραφικές αλλαγές μέχρι τεχνολογικές και οικονομικές εξελίξεις. Τα σενάρια καλύπτουν διαφορετικές μελλοντικές εξελίξεις που μπορούν να επηρεάσουν τις πηγές προέλευσης και τις περιοχές απόληξης των αερίων του θερμοκηπίου, όπως είναι οι εναλλακτικές δομές των ενεργειακών συστημάτων και οι αλλαγές στις χρήσεις γης. Κανένα όμως από τα σενάρια δεν περιλαμβάνει οποιεσδήποτε μελλοντικές πολιτικές που εξετάζουν ρητά πρόσθετες πρωτοβουλίες για την αλλαγή του κλίματος - αν και όλα καλύπτουν απαραίτητα τις διάφορες υποτιθέμενες μελλοντικές πολιτικές άλλου είδους που μπορούν έμμεσα να επηρεάσουν τις πηγές και τις περιοχές απόληξης των θερμοκηπιακών αερίων.

Τα σενάρια εκπομπών SRES είναι βασισμένα σε μια εκτενή αξιολόγηση της βιβλιογραφίας, έξι εναλλακτικές προσεγγίσεις μοντέλων, και μια «ανοικτή διαδικασία» με την ευρεία συμμετοχή πολλών ομάδων και ατόμων. Το σύνολο των σεναρίων περιλαμβάνει τις ανθρωπογενείς εκπομπές όλων των θερμοκηπιακών αερίων, του διοξειδίου του θείου (SO₂), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και των πτητικών οργανικών υδρογονανθράκων (VOCs), όπως φαίνεται στον *πίνακα 2.1*.

Carbon Dioxide	CO ₂
Carbon Monoxide	CO
Hydrochlorofluorocarbons	HCFCs
Hydrofluorocarbons	HFCs
Methane	CH ₄
Nitrous Oxide	N ₂ O
Nitrogen Oxides	NO _x
Non-Methane Hydrocarbons	NMVO

Perfluorocarbons	PFCs
Sulfur Dioxide	SO ₂
Sulfur Hexafluoride	SF ₆

Πίνακας 2.1.: Ονόματα και χημικά σύμβολα ή συντομογραφίες των ανθρωπογενών εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων και άλλων αερίων που εξετάζονται στα σενάρια εκπομπών. (IPCC, 2000)

Τα σενάρια εκπομπών είναι ένα κεντρικό συστατικό οποιασδήποτε αξιολόγησης της αλλαγής κλίματος. Τα σενάρια διευκολύνουν την αξιολόγηση των μελλοντικών εξελίξεων στα πολυσύνθετα συστήματα που είναι είτε εγγενώς απρόβλεπτα είτε έχουν επιστημονικές αβεβαιότητες και η αξιολόγηση των μελλοντικών εκπομπών είναι ένα ουσιαστικό συστατικό της γενικής αξιολόγησης της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος από την IPCC. Όμως οι μελλοντικές εκπομπές και η εξέλιξη των θεμελιωδών παραγόντων τους είναι ιδιαίτερα αβέβαιες, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Αβεβαιότητες στην ανάλυση σεναρίων

Γενικά, υπάρχουν τρεις τύποι αβεβαιοτήτων: αβεβαιότητα όσον αφορά στην ποσότητα, αβεβαιότητα που αφορά τη δομή των μοντέλων και αβεβαιότητες που προκύπτουν από τις διαφωνίες μεταξύ των εμπειρογνομόνων για την τιμή των ποσοτήτων ή τη λειτουργική μορφή του μοντέλου. Πηγές αβεβαιότητας θα μπορούσαν να είναι η στατιστική διακύμανση, η υποκειμενική κρίση (συστηματικό λάθος), ο ατελής καθορισμός (γλωσσική ανακρίβεια), η φυσική μεταβλητότητα, οι διαφωνίες μεταξύ των εμπειρογνομόνων και η εκτίμηση κατά προσέγγιση. Άλλοι (Funtowicz and Ravetz, 1990) διακρίνουν τρεις κύριες πηγές αβεβαιότητας: αβεβαιότητες δεδομένων, αβεβαιότητες μοντέλων και αβεβαιότητες πληρότητας.

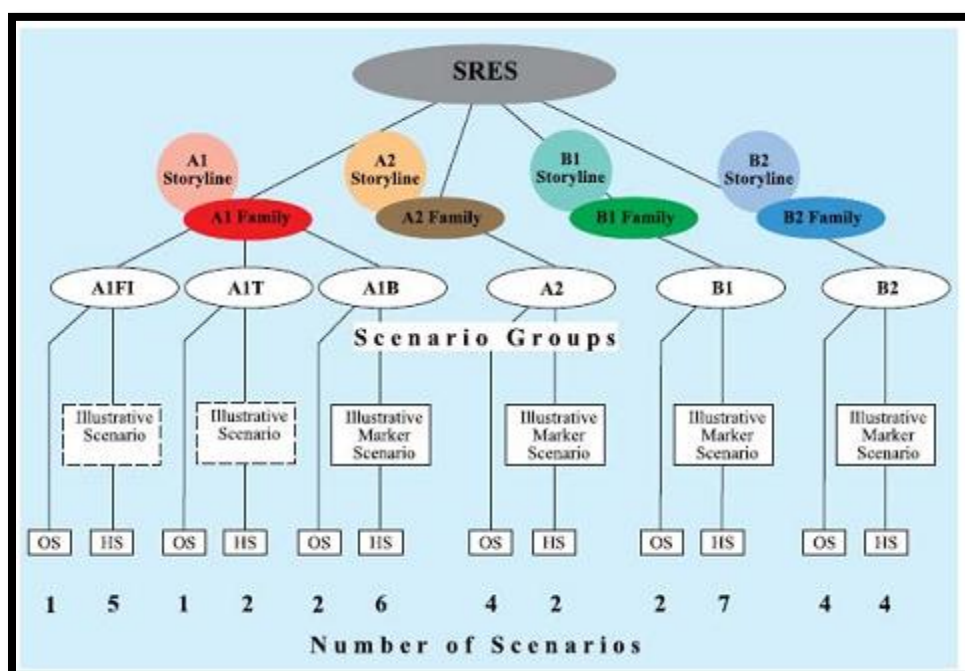
Στις εκθέσεις της IPCC οι ομάδες εργασίας χρησιμοποιούν τις τρεις κατηγορίες Funtowicz και Ravetz:

- Οι αβεβαιότητες δεδομένων προκύπτουν από την ποιότητα ή την καταλληλότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στα μοντέλα. Έτσι, παρουσιάζονται αβεβαιότητες στις μελλοντικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, που οφείλονται είτε στις μη καθορισμένες πλήρως σχέσεις των εκπομπών με τις κινητήριες δυνάμεις (driving forces) των εκπομπών (όπως ο πληθυσμός, η τεχνολογική ανάπτυξη, κτλ.) είτε στη μη ολοκληρωμένη κατανόηση των διαδικασιών του κύκλου του άνθρακα.

- Οι αβεβαιότητες των μοντέλων προκύπτουν από μια ελλιπή κατανόηση των φαινομένων που προσομοιώνονται, όπως των νεφών, από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος ή από τις παραδοχές που γίνονται.
- Οι αβεβαιότητες πληρότητας αναφέρονται σε όλες τις παραλείψεις λόγω της έλλειψης γνώσης. Είναι, σε γενικές γραμμές, μη προσδιορίσιμες ποσοτικά και αμείωτες.

2.4.3. Περιγραφή σεναρίων εκπομπών SRES

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι τέσσερις πλοκές οι οποίες παράγουν τέσσερα σύνολα σεναρίων αποκαλούμενων «οικογένειες»: A1, A2, B1, και B2. Συνολικά 40 σεσνάρια SRES έχουν αναπτυχθεί από έξι ομάδες μοντέλων. Όλα έχουν ίση ισχύ χωρίς να έχουν οριστεί πιθανότητες πραγματοποίησής τους. Το σύνολο σεναρίων αποτελείται από έξι ομάδες σεναρίων που προέρχονται από τις τέσσερις οικογένειες: μια ομάδα για κάθε οικογένεια A2, B1, B2, και τρεις ομάδες μέσα στην οικογένεια A1, που χαρακτηρίζει τις εναλλακτικές εξελίξεις των ενεργειακών τεχνολογιών: A1FI (εντατική χρήση ορυκτού καυσίμου), A1B (εξισορροπημένη), και A1T (κυρίως μη ορυκτά καύσιμα).



Σχήμα 2.1.: Σχηματική απεικόνιση των σεναρίων SRES. (IPCC, 2000)

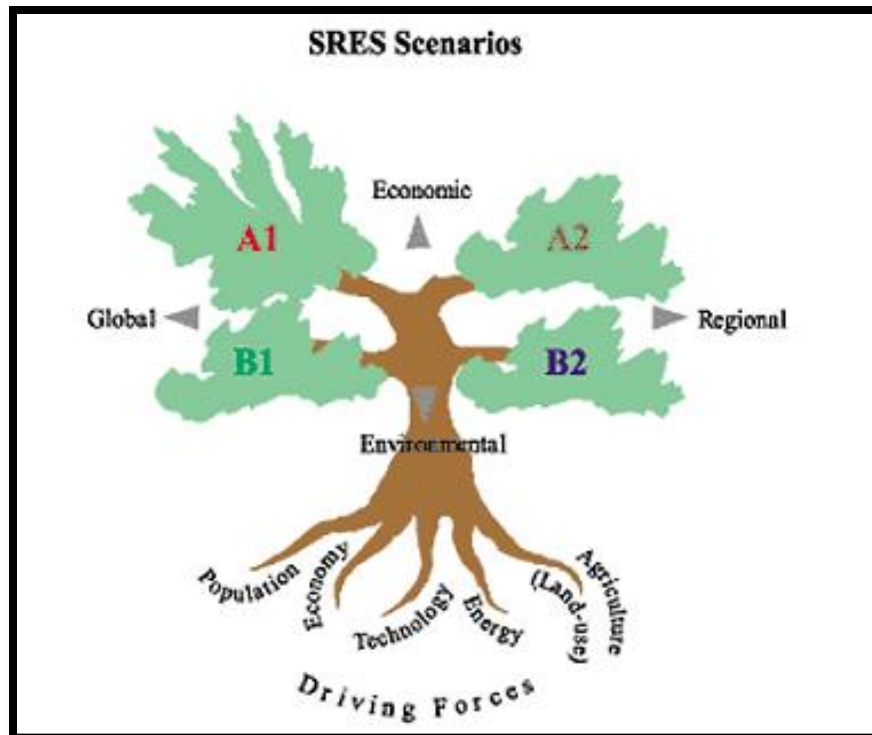
Μέσα σε κάθε οικογένεια και ομάδα σεναρίων, ορισμένα έχουν κοινά «εναρμονισμένες» υποθέσεις σχετικά με τον παγκόσμιο πληθυσμό, το ακαθάριστο παγκόσμιο προϊόν, και την τελική ενέργεια (final energy). Αυτά είναι χαρακτηριζόμενα ως «HS» (harmonized scenarios-εναρμονισμένα σενάρια). Το «OS» υποδηλώνει τα σενάρια που περιλαμβάνουν τις αβεβαιότητες στις αιτίες των εκπομπών πέρα από εκείνες των εναρμονισμένων σεναρίων. Στο *σχήμα 2.1* παρουσιάζεται ο αριθμός σεναρίων που αναπτύσσονται μέσα σε κάθε κατηγορία. Για κάθε μία από τις έξι ομάδες σεναρίων παρέχεται ένα επεξηγηματικό σενάριο (που είναι πάντα εναρμονισμένο). Μέχρι το 2100 ο κόσμος θα έχει αλλάξει με τρόπους που είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς – όσο δύσκολο θα ήταν στο τέλος του 19ου αιώνα να φανταστεί κάποιος τις αλλαγές των επόμενων 100 ετών. Κάθε πλοκή υποθέτει μια ευδιάκριτα διαφορετική κατεύθυνση για τις μελλοντικές εξελίξεις, έτσι ώστε οι τέσσερις πλοκές να διαφέρουν με όλο και περισσότερο μη αναστρέψιμους τρόπους. Μαζί περιγράφουν διαφορετικές εκδοχές του μέλλοντος που καλύπτουν ένα σημαντικό ποσοστό των ελλοχευουσών αβεβαιοτήτων στις κύριες αιτίες εκπομπών. Καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα βασικών «μελλοντικών» χαρακτηριστικών όπως η δημογραφική αλλαγή, η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική εξέλιξη. Για αυτόν τον λόγο, η αληθοφάνεια ή η δυνατότητα πραγματοποίησής τους δεν πρέπει να εξεταστεί απλώς βάσει μιας προέκτασης των σύγχρονων οικονομικών, τεχνολογικών και κοινωνικών τάσεων.

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων σεναρίων:

- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου A1 περιγράφει έναν μελλοντικό κόσμο πολύ γρήγορης οικονομικής ανάπτυξης, με παγκόσμιο πληθυσμό που κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και παρουσιάζει μείωση έκτοτε, και με ταχεία εισαγωγή νέων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Σημαντικά θέματα αποτελούν η σύγκλιση μεταξύ των περιοχών, η δυνατότητα κατασκευής υποδομών και οι αυξανόμενες πολιτιστικές και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, με μια ουσιαστική μείωση των τοπικών διαφορών στο κατά κεφαλήν εισόδημα. Η οικογένεια σεναρίου A1 αναπτύσσεται σε τρεις ομάδες που περιγράφουν τις εναλλακτικές κατευθύνσεις της τεχνολογικής αλλαγής στο ενεργειακό σύστημα. Οι τρεις ομάδες A1 διακρίνονται από την τεχνολογική έμφασή τους: εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων (A1FI), πηγές ενέργειας άλλες των ορυκτών καυσίμων (A1T), ή μια ισορροπία μεταξύ όλων των πηγών (A1B).
- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου A2 περιγράφει έναν πολύ ετερογενή κόσμο. Το ελλοχεύον θέμα είναι η αυτάρκεια και η συντήρηση των τοπικών ταυτοτήτων. Οι δομές σχετικές με τη γονιμότητα στις διάφορες περιοχές συγκλίνουν πολύ αργά, κάτι που οδηγεί στο συνεχώς

αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό. Η οικονομική ανάπτυξη είναι πρώτιστα τοπικά προσανατολισμένη και η κατά κεφαλήν οικονομική ανάπτυξη και τεχνολογική αλλαγή είναι τεμαχισμένες και πιο αργές απ' ό,τι σε άλλες πλοκές.

- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου B1 περιγράφει έναν συγκλίνοντα κόσμο με τον παγκόσμιο πληθυσμό να κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και να παρουσιάζει μείωση έκτοτε, όπως στην πλοκή A1, αλλά με γρήγορες αλλαγές στις οικονομικές δομές προς μια οικονομία υπηρεσιών και πληροφοριών, με μειώσεις στην πυκνότητα των υλικών και την εισαγωγή των καθαρών και αποδοτικών ως προς τους πόρους τεχνολογιών. Η έμφαση δίνεται σε παγκόσμιες λύσεις για οικονομική, κοινωνική, και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, συμπεριλαμβανομένου και ενός βελτιωμένου δικαίου, αλλά χωρίς πρόσθετες πρωτοβουλίες για το κλίμα.
- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου B2 περιγράφει έναν κόσμο στον οποίο η έμφαση δίνεται στις τοπικές λύσεις για την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Είναι ένας κόσμος με συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό με ένα ρυθμό χαμηλότερο από την A2, ενδιάμεσα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης και λιγότερο γρήγορη και πιο ποικίλη τεχνολογική αλλαγή απ' ό,τι στις B1 και A1 πλοκές. Ενώ το σενάριο προσανατολίζεται επίσης προς την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική αμεροληψία, εστιάζει στο τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.



Σχήμα 2.2.: Σχηματική επεξήγηση των σεναρίων SRES. (IPCC, 2000)

Το σχήμα 2.2 δείχνει ότι τα σενάρια στηρίζονται στους κύριους κινητήριους παράγοντες των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων. Κάθε οικογένεια σεναρίου είναι βασισμένη σε μια κοινή προδιαγραφή των κύριων κινητήριων παραγόντων. Οι τέσσερις οικογένειες σεναρίου παρουσιάζονται ως κλάδοι ενός δισδιάστατου δέντρου. Οι δύο διαστάσεις δείχνουν τον παγκόσμιο και τον τοπικό προσανατολισμό των σεναρίων και τον αναπτυξιακό και τον περιβαλλοντικό προσανατολισμό, αντίστοιχα. Στην πραγματικότητα, τα τέσσερα σενάρια μοιράζονται ένα χώρο με πολύ περισσότερες διαστάσεις, δεδομένων των πολυάριθμων κινητήριων παραγόντων και άλλων υποθέσεων που απαιτούνται για να καθορίσουν οποιοδήποτε σενάριο σε μια συγκεκριμένη προσέγγιση μοντέλου.

Οι όροι χρήσης των σεναρίων SRES απαιτούν μια πολυμοντελική προσέγγιση για την ανάπτυξη των σεναρίων εκπομπών. Εν γένει, έξι διαφορετικές προσεγγίσεις μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν για να παραγάγουν τα 40 σενάρια SRES. Αυτά τα έξι μοντέλα είναι αντιπροσωπευτικά των προσεγγίσεων που έγιναν κατά τη μοντελοποίηση των σεναρίων εκπομπών και των διαφορετικών πλαισίων ολοκληρωμένης αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία των σεναρίων και περιλαμβάνουν μακροοικονομικά μοντέλα (προσέγγιση από

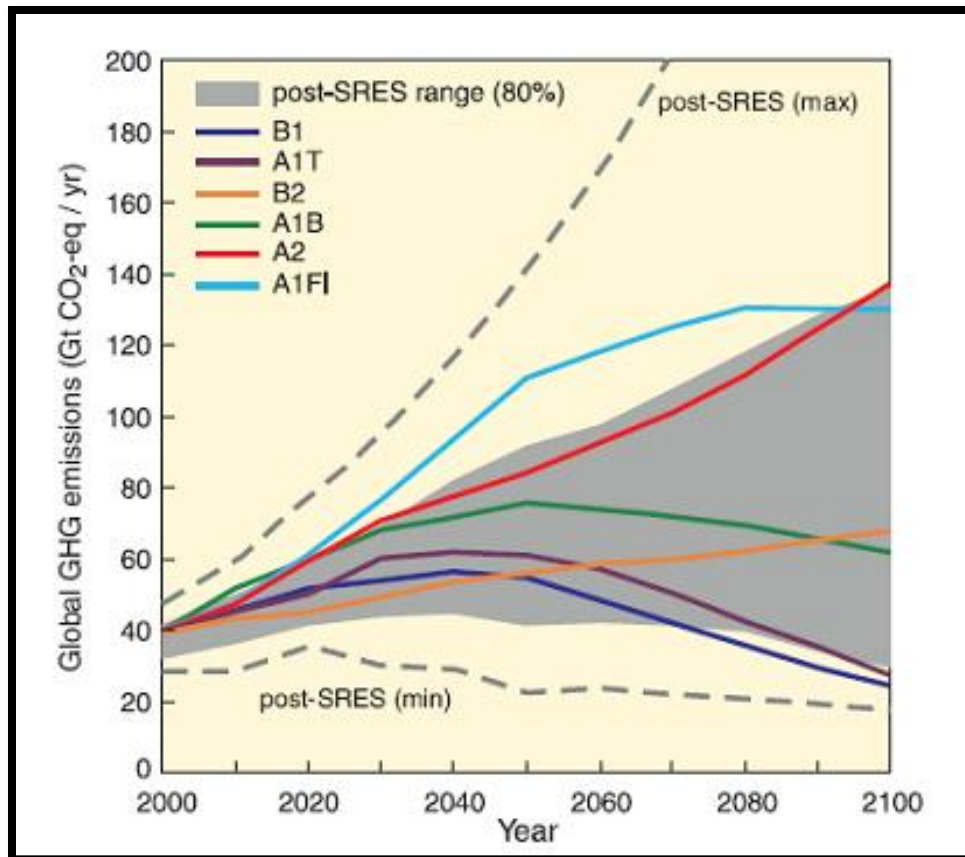
την κορυφή προς τη βάση) και μοντέλα μηχανικής συστημάτων (προσέγγιση από μηδενική βάση). Μερικές ομάδες μελέτης μοντέλων ανέπτυξαν σενάρια για να απεικονίσουν και τις τέσσερις πλοκές ιστορίας, ενώ κάποιοι παρουσίασαν σενάρια για λιγότερες πλοκές ιστορίας. Οι έξι προσεγγίσεις μοντέλων περιλαμβάνουν τα εξής μοντέλα:

- Asian Pacific Integrated Model (AIM), National Institute of Environmental Studies, Ιαπωνία (Morita et al., 1994)
- Atmospheric Stabilization Framework Model (ASF), ICF Consulting, ΗΠΑ (Lashof and Tirpak, 1990; Pepper et al., 1992, 1998; Sankovski et al., 2000)
- Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect (IMAGE), National Institute for Public Health and Environmental Hygiene (RIVM) (Alcamo et al., 1998; de Vries et al., 1994, 1999, 2000), σε συνεργασία με το Dutch Bureau for Economic Policy Analysis (CPB) WorldScan model (de Jong and Zalm, 1991), Ολλανδία
- Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation (MARIA), Science University of Tokyo, Ιαπωνία (Mori and Takahashi, 1999; Mori, 2000)
- Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE), International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), Αυστρία (Messner and Strubegger, 1995; Riahi and Roehrl, 2000) και
- Mini Climate Assessment Model (MiniCAM), Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), ΗΠΑ (Edmonds et al., 1994, 1996a, 1996b).

(IPCC, 2000)

2.4.4. Προβλέψεις των σεναρίων SRES

Τα σενάρια SRES εκτιμούν μια αύξηση των παγκόσμιων εκπομπών των βασικών θερμοκηπιακών αερίων κατά ένα εύρος από 9.7 έως 36.7 Gt ισοδύναμου CO₂ (CO₂-eq) για την περίοδο 2000-2030. Σε αυτά τα σενάρια, προβλέπεται, ότι τα ορυκτά καύσιμα θα διατηρήσουν την κυρίαρχη τους θέση ανάμεσα στις ενεργειακές πηγές παγκοσμίως έως το 2030. Ως εκ τούτου οι εκπομπές του CO₂ από την ενεργειακή χρήση μεταξύ 2000 και 2030 προβλέπεται να αυξηθούν 40 έως 110% κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου.



Σχήμα 2.3.: Σενάρια εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από το 2000 έως το 2100 χωρίς επιπρόσθετες κλιματικές πολιτικές. (IPCC, 2007d)

Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι παγκόσμιες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (σε Gt ισοδύναμου CO₂ ανά έτος) από το 2000 έως το 2100 χωρίς την εφαρμογή επιπρόσθετων κλιματικών πολιτικών που περιορίζουν την εκπομπή τους. Εμφανίζονται έξι επεξηγηματικά SRES σενάρια-δείκτες (χρωματισμένες γραμμές) και το εύρος σε ποσοστό 80% των πρόσφατων σεναρίων που δημοσιεύτηκαν μετά τα SRES σενάρια (γκρίζα σκιασμένη περιοχή). Οι διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν την πλήρη έκταση των μετα-SRES σεναρίων. Οι εκπομπές περιλαμβάνουν το CO₂, το CH₄, το N₂O και τους υδροφθοράνθρακες.

Οι μελέτες που έχουν δημοσιευτεί μετά τα σενάρια SRES έχουν χρησιμοποιήσει χαμηλότερες τιμές για μερικούς κινητήριους παράγοντες εκπομπών, ειδικότερα για εκτιμήσεις που αφορούν τον πληθυσμό. Εντούτοις, για εκείνες τις μελέτες που ενσωματώνουν αυτές τις νέες εκτιμήσεις, οι αλλαγές σε άλλους κινητήριους παράγοντες, όπως η οικονομική ανάπτυξη, οδηγούν σε μικρή αλλαγή στα συνολικά επίπεδα εκπομπής. Οι εκτιμήσεις οικονομικής

ανάπτυξης για την Αφρική, τη Λατινική Αμερική και τη Μέση Ανατολή έως το 2030 στα βασικά μετά-SRES σενάρια δίνουν χαμηλότερες τιμές απ' ό τι στα SRES, αλλά αυτό έχει μόνο δευτερεύοντα αποτελέσματα στην παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη και τις γενικές εκπομπές.

Τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα έχουν μια καθαρή επίδραση ψύξης και η παρουσίαση των εκπομπών ατμοσφαιρικών αιωρημάτων και των προδρόμων τους, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του θείου, του μαύρου άνθρακα και του οργανικού άνθρακα, έχει βελτιωθεί στα μετά-SRES σενάρια. Γενικά, αυτές οι εκπομπές εκτιμώνται να είναι χαμηλότερες από τις αναφερόμενες στα SRES σενάρια. (IPCC, 2007d)

2.4.5. Σκοπός και χρήση των σεναρίων SRES

Οι μελλοντικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι προϊόντα πολύ σύνθετων δυναμικών συστημάτων, που καθορίζονται από κινητήριους παράγοντες των οποίων η μελλοντική εξέλιξη είναι ιδιαίτερα αβέβαιη.

Η ανάπτυξη σεναρίων τα οποία καλύπτουν μια περίοδο 100 ετών είναι ένας σχετικά νέος τομέας. Οι δυσκολίες προκύπτουν όχι μόνο από τις μεγάλες επιστημονικές αβεβαιότητες και την ανεπάρκεια δεδομένων, αλλά και επειδή οι άνθρωποι δεν είναι συνηθισμένοι στην πρόβλεψη τέτοιων μεγάλων περιόδων. Παραδείγματος χάριν, μέσα στον επόμενο αιώνα αναμένονται τεχνολογικές ασυνέχειες και ενδεχομένως σημαντικές αλλαγές στις κοινωνικές αξίες και στην ισορροπία των γεωπολιτικών δυνάμεων. Η μελέτη παλαιότερων τάσεων για τέτοιες μεγάλες περιόδους παρακωλύεται επειδή οι περισσότερες βάσεις δεδομένων είναι ελλιπείς εάν είναι περισσότερο από 50 χρονών. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα χασμάτα στα δεδομένα, τις μεθόδους και την κατανόηση, τα σενάρια είναι ο καλύτερος τρόπος να ενσωματωθεί η δημογραφική, οικονομική, κοινωνική και τεχνολογική γνώση με την γνώση που υπάρχει για τα οικολογικά συστήματα, για την αξιολόγηση των πηγών και των απολήξεων των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων.

Τα σενάρια είναι τελικά εναλλακτικές εικόνες για το πώς μπορεί να εξελιχθεί το μέλλον και είναι ένα κατάλληλο εργαλείο για την ανάλυση της αλλαγής του κλίματος, συμπεριλαμβανομένων και των μοντέλων κλίματος και της αξιολόγησης των επιδράσεων, της προσαρμογής και του μετριασμού των επιπτώσεων. Η πιθανότητα όμως ότι οποιαδήποτε ενιαία πορεία εκπομπών θα εμφανιστεί όπως περιγράφεται στα σενάρια είναι ιδιαίτερα αβέβαιη (IPCC, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

3.1. Είδη – Μορφές ΑΠΕ

Ο όρος Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), αναφέρεται κυρίως στις ακόλουθες:

- 1)Την ηλιακή ενέργεια
- 2)Τα μικρά υδροηλεκτρικά
- 3)Τις κυψέλες καυσίμου
- 4)Την ενέργεια του θαλάσσιου κυματισμού
- 5)Τη γεωθερμική ενέργεια
- 6)Την ενέργεια της βιομάζας.

Με βάση τις υφιστάμενες σήμερα τεχνολογίες, ο καλύτερος τρόπος αξιοποίησης των ΑΠΕ είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που επιτυγχάνεται άμεσα από τις πηγές. Ειδικότερα:

- 1) Η αιολική ενέργεια αξιοποιείται μέσω των «Ανεμογεννητριών» -Α/Γ, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.
- 2) Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται είτε, συνηθέστερα, μέσω των «Φωτοβολταϊκών»-Φ/Β γεννητριών, οι οποίες μετατρέπουν απ' ευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική είτε, σπανιότερα, με τη συγκέντρωση των ηλιακών ακτινών μέσω ηλιακών συλλεκτών ώστε να επιτευχθούν υψηλές θερμοκρασίες και τελικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επί πλέον, εκτεταμένη χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται για τη θέρμανση νερού ή χώρων (σε χαμηλές γενικά θερμοκρασίες).
- 3) Με τα μικρά υδροηλεκτρικά, γίνεται συνήθως εκμετάλλευση υδάτινων ρευμάτων, για τα οποία δεν απαιτούνται μεγάλα έργα αποθηκεύσεως (φράγματα κ.λπ.).
- 4) Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν απ' ευθείας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, με την χρήση κατάλληλων διατάξεων και ηλεκτρολυτών.
- 5) Η κινητική ενέργεια των θαλασσίων κυμάτων, γίνεται προσπάθεια να μετατραπεί σε ηλεκτρική, μέσω κατάλληλων διατάξεων.
- 6) Η γεωθερμική ενέργεια, είναι γενικά η θερμότητα εσωτερικών στρωμάτων της γης, η οποία γίνεται εκμεταλλεύσιμη όταν υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες.

7) Η βιομάζα συνίσταται από τα πάσης φύσεως γεωργικά και δασικά υπολείμματα, από τα οποία με κατάλληλες θερμοχημικές επεξεργασίες μπορούν να ληφθούν καύσιμα. (Παπαδόπουλος Μ., 1997)

3.1.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι η πιο εύχρηστη και φιλική προς τον άνθρωπο μορφή ενέργειας, καθώς και το ότι η παραγωγή της από συμβατικές (κάρβουνο, πετρέλαιο) ή και πυρηνικές πηγές, γίνεται τόσο οικονομικότερη όσο αυξάνει το μέγεθος των Σταθμών Παραγωγής, οδήγησε στην ανάπτυξη των σύγχρονων διασυνδεδεμένων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας - ΣΗΕ. Συγκεκριμένα, από τις πρώτες 10-ετίες του 20ου αιώνα και ιδιαίτερα μετά την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας παρατηρείται μία συνεχής αύξηση του μεγέθους των σταθμών παραγωγής, με αντίστοιχη αύξηση των τάσεων των δικτύων μεταφοράς και παράλληλα την επέκταση των δικτύων διανομής σε κάθε κατοικούμενη περιοχή, τουλάχιστον στις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες. Παρατηρήθηκε δηλαδή μία συνεχής συγκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και επέκταση των δικτύων.

Οι ΑΠΕ καθώς και οι εγκαταστάσεις συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού, οι οποίες επίσης αναπτύσσονται ραγδαία τα τελευταία χρόνια, αποτελούν μονάδες μικρής σχετικά ισχύος και είναι διάσπαρτες σε διάφορες περιοχές και θέσεις. Επιπλέον, σχεδόν για το σύνολο τους, η αποδοτική τους εκμετάλλευση επιβάλλει την σύνδεση και παράλληλη λειτουργία τους στο δίκτυο του ΣΗΕ (κατά κανόνα το δίκτυο Διανομής), το οποίο έτσι λειτουργεί ως αποθήκη πολύ μεγάλης («απείρου») χωρητικότητας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την Αιολική και Ηλιακή παραγωγή καθώς και των Θαλάσσιων κυμάτων, για τις οποίες ο έλεγχος του ρυθμού παροχής της πρωτογενούς ενέργειας (ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας κ.λπ.) είναι αδύνατος.

Η αδυναμία ελέγχου του ρυθμού της ροής της πρωτογενούς ενέργειας (ή της «παροχής καυσίμου»), σε ορισμένες ΑΠΕ αποτελεί ένα σοβαρό μειονέκτημα αυτών, δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και καταναλώνεται ταυτόχρονα (πρακτικώς), ενώ η αποθήκευση της σε μεγάλες σχετικά ποσότητες είναι τεχνικά δύσκολη αλλά και αυξάνει το κόστος. Το μειονέκτημα αυτό αναδεικνύεται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μικρών αυτονόμων ΣΗΕ (όπως π.χ. των νησιών), όπου η παραγωγή από ΑΠΕ μπορεί να καλύπτει μεγάλο ποσοστό της καταναλώσεως. Στις περιπτώσεις αυτές προσφέρεται ιδιαίτερα η έστω και βραχυχρόνια αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Οποσδήποτε οι «αποκεντρωμένες μονάδες» παραγωγής των ΑΠΕ, με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, στις οποίες πρέπει να προστεθούν και οι μονάδες «συμπαραγωγής», έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργία των ΣΗΕ. Οι επιπτώσεις αυτές περιορίζονται στο δίκτυο Διανομής, όταν η συνολική τους ισχύς είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με αυτή των εν λειτουργία συμβατικών πηγών (π.χ. μικρότερη του 10%), αλλά γίνονται πολύ σημαντικές όταν επηρεάζουν και την λειτουργία των συμβατικών μονάδων παραγωγής του ΣΗΕ.

3.1.2. Ηλεκτρικό μέρος των μονάδων παραγωγής από ΑΠΕ

Η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, επιτυγχάνεται με κατάλληλες ηλεκτρικές μηχανές (γεννήτριες), ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της πηγής μηχανικής ενέργειας. Εάν η ΑΠΕ παράγει θερμότητα, χρησιμοποιείται κατάλληλος στρόβιλος για την μετατροπή της σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική, όπως προηγουμένως. Τέλος, στην περίπτωση που η ΑΠΕ παράγει απ' ευθείας ηλεκτρική ενέργεια, κατά κανόνα σε μορφή Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ), για τη χρήση της είναι συχνά αναγκαία η μετατροπή της σε Εναλλασσομένου Ρεύματος (ΕΡ).

Βασικής σημασίας για τη διαμόρφωση του ηλεκτρικού μέρους κατά τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, είναι το εάν υπάρχει έλεγχος του ρυθμού της παροχής της πρωτογενούς ενέργειας («παροχής καυσίμου»), πράγμα που συμβαίνει γενικά στις συμβατικές πηγές (π.χ. ντιζελοκινητήρες, Ατμοστρόβιλους, Υδροηλεκτρικά με αποθήκευση νερού κ.λπ.). Με τον έλεγχο της «παροχής του καυσίμου» επιτυγχάνεται ώστε, και όταν το φορτίο μεταβάλλεται, οι στροφές να διατηρούνται περίπου σταθερές, μέσω κατάλληλων ρυθμιστών. Στις περιπτώσεις αυτές ενδείκνυται η χρήση Σύγχρονων Γεννητριών (ΣΓ), ώστε να παράγεται τάση ΕΡ σταθερής (περίπου) συχνότητας και ταυτόχρονα, μέσω της εντάσεως διεγέρσεως, να ελέγχεται η παραγόμενη άεργος ισχύς και τάση.

Η κατάσταση είναι εντελώς διαφορετική στην περίπτωση της Αιολικής ενέργειας, (δηλαδή των Ανεμογεννητριών), όπου ο ρυθμός παροχής της ενέργειας (δηλαδή της ταχύτητας του ανέμου) είναι εντελώς μη ελεγχόμενος αλλά και ταχέως μεταβαλλόμενος. Το αντίστοιχο συμβαίνει και σε ένα μικρό υδροηλεκτρικό, χωρίς έλεγχο ρυθμού ροής. Στις περιπτώσεις αυτές ενδείκνυται η χρήση Ασύγχρονων Γεννητριών, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές από τις Σύγχρονες.

Αδυναμία ελέγχου του ρυθμού της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας υπάρχει και στην περίπτωση της Ηλιακής ενέργειας, (π.χ. στις Φ/Β γεννήτριες) της οποίας η ισχύς εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Όμως, και στις δύο περιπτώσεις, ήτοι Ανεμογεννητριών και Φ/Β γεννητριών, η σύγχρονη τεχνολογία των Μετατροπέων συχνότητας με ηλεκτρονικά ισχύος, κάνει πρακτικά εφικτό, όχι βέβαια τον έλεγχο της παροχής της πρωτογενούς ενέργειας, αλλά τη δυνατότητα παραγωγής τάσεως ελεγχόμενης συχνότητας και μεγέθους. Αυτό επιτρέπει, αφ' ενός μεν μεγαλύτερη απόδοση των μηχανών, δηλαδή την σύλληψη μεγαλύτερων ποσοτήτων από την διατιθέμενη στην φύση ενέργεια με την ίδια μηχανή, αφ' ετέρου δε την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με καλύτερα χαρακτηριστικά, ώστε να είναι «φιλικότερες» προς το δίκτυο του ΣΗΕ στο οποίο συνδέονται.

Από τα προηγούμενα γίνεται φανερό ότι το ηλεκτρικό μέρος των μονάδων ΑΠΕ, όταν υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου του ρυθμού παροχής της πρωτογενούς ενέργειας, μπορεί να είναι όμοιο με των συμβατικών μονάδων. (Μαχιάς Β., 1991)

3.2. Αιολικά συστήματα

3.2.1. Χαρακτηριστικά του ανέμου

3.2.1.1 Γενικά

Ο άνεμος αποτελεί την κίνηση αερίων μαζών, η οποία προκαλείται κυρίως από διαφορές θερμοκρασιών εντός της ατμόσφαιρας. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες και οι αντίστοιχοι άνεμοι οφείλονται:

- Στη διαφορά γεωγραφικού πλάτους, οπότε οι άνεμοι είναι σχετικά σταθεροί (εποχικοί άνεμοι, με μεγάλη περίοδο μεταβολής).
- Στη διαφορετική φύση και επιφάνεια του εδάφους (βουνά, πεδιάδες, θάλασσα κ.λπ.) και χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια (ημερήσια ή ωριαία).

Το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας, μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι ζώντες οργανισμοί, ονομάζεται «ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα». Η σχετική ταχύτητα του αέρα μέσα στο στρώμα αυτό ως προς την γη, μεταβάλλεται ανάλογα με τα εμπόδια που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης. Δηλαδή αυξάνεται συνεχώς από το μηδέν, στην επιφάνεια της γης, μέχρι μιας σταθεράς τιμής στο άνω όριο του στρώματος, όπου η ροή μπορεί να θεωρηθεί ως ελεύθερη. Το

ύψος του στρώματος εξαρτάται εκτός από το μέγεθος και τη φύση των εμποδίων και από την «ευστάθεια» της ατμόσφαιρας. Π.χ. για ομαλό έδαφος και αδύναμο άνεμο είναι περί τα 200 m ενώ για ανώμαλο και έντονο άνεμο μπορεί να φθάνει τα 1200 m. Μπορεί όμως να φθάνει και 2 Km ή και 3 Km αν υπάρχουν και ανοδικά-καθοδικά ρεύματα.

Εντός του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος η κίνηση του ανέμου δεν είναι «στρωτή» αλλά «τυρβώδης». Γενικά η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι σταθερή αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις οι οποίες περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. (Μπεργελές Γ., 1988)

3.2.1.2. Η ταχύτητα του ανέμου

1) Μέση τιμή

Η ταχύτητα του ανέμου αποτελεί ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο μέγεθος $U(t)$, (κατά μέτρο αλλά και κατεύθυνση). Το μέγεθος της εκφράζεται με τη «μέση τιμή» και $\bar{U}$, σε μια ορισμένη χρονική περίοδο T , ήτοι:

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \quad (3.1)$$

ανάλογα με την αρχή μετρήσεως των χρόνων.

Κατόπιν τριών τυπικών καταγραφών ταχύτητας ανέμου, οι οποίες έγιναν ταυτόχρονα με ανεμόμετρα τοποθετημένα σε τρία διαφορετικά ύψη, παρατηρείται ότι:

- (α) Η ταχύτητα του ανέμου, λαμβανόμενη ως μέση τιμή (π.χ. με $T = 5 \text{ min}$) αυξάνει με το ύψος.
- (β) Υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις της ταχύτητας, με τυχαίο χαρακτήρα και ευρύ φάσμα συχνοτήτων (λόγω της τυρβώδους ροής) και συνεπώς μπορούν να αναλυθούν με στατιστικές μεθόδους.

2) Μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος

Η μεταβολή της $U(t)$ με το ύψος Z , μπορεί να παρασταθεί με την λογαριθμική σχέση:

$$\bar{U}(Z) = \frac{u^*}{k} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (3.2)$$

ή ακριβέστερα την τροποποιημένη:

$$\bar{U}(Z) = \frac{u^*}{k} \left\{ \ln \frac{Z}{Z_0} + 5,75 \frac{Z}{h} \right\} \quad (3.3)$$

Όπου: u^* , η «ταχύτητα τριβής», δηλαδή η ποσότητα που σχετίζεται με την αντίσταση της επιφάνειας του εδάφους (friction velocity) (m/sec)

k , η σταθερά Von – Karman (≈ 0.4)

Z_0 , η παράμετρος (μήκος) τραχύτητας του εδάφους (σε m.).

$h = \frac{u^*}{6f}$, όπου $f = 2\Omega \sin \varphi \approx 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ με:

Ω , η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης (m/sec)

φ , το γεωγραφικό πλάτος

3) Διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου

Η συνεχής μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και η αντίστοιχη μεταβολή του ενεργειακού του περιεχομένου μπορούν να περιγραφούν συνοπτικά με τα ακόλουθα:

(α) Η τύρβη

Η τύρβη του ανέμου ορίζεται ως η απόκλιση $u(t)$ της στιγμιαίας τιμής της ταχύτητας του ανέμου $U(t)$, από τη μέση τιμή της $\bar{U}$, για μια περίοδο T :

$$u(t) = U(t) - \bar{U} \quad (3.4)$$

(β) Οι ριπές του ανέμου

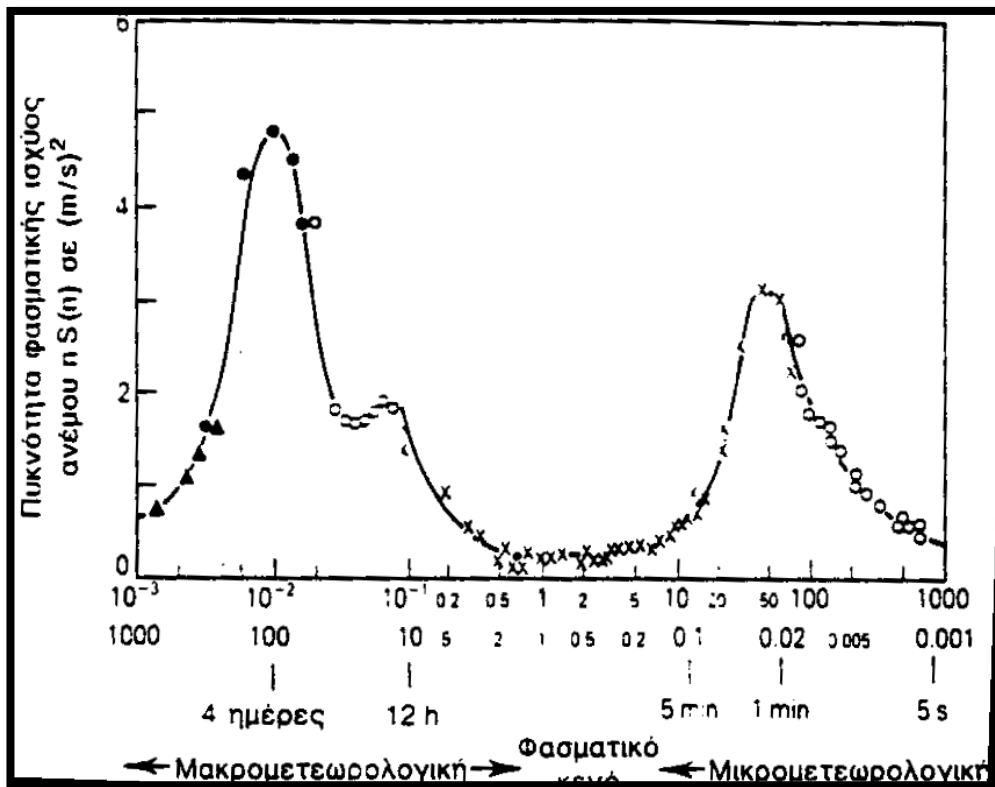
Μια ενδιαφέρουσα τιμή της ταχύτητας του ανέμου, όπως μετράται από το ανεμόμετρο, για μια ορισμένη σχετικά μεγάλη χρονική περίοδο είναι η «μέγιστη μέση τιμή» (με χρόνο ολοκλήρωσης t) που παρουσιάστηκε στο ύψος Z . Αποδεικνύεται ότι, ισούται με το άθροισμα της μέσης τιμής όλης της χρονικής περιόδου και του γινομένου της τυπικής απόκλισης επί του παράγοντα ριπής, η τιμή του οποίου εξαρτάται από τη διάρκεια ολοκλήρωσης t και το χρησιμοποιούμενο ανεμόμετρο, αλλά όχι από το ύψος Z .

(γ) Το φάσμα των συχνοτήτων

Στο σχήμα 3.1 δείχνεται η μεταβολή της κινητικής ενέργειας της οριζόντιας συνιστώσας ταχύτητας, ως συνάρτηση της συχνότητας του ανέμου, σύμφωνα με μία μέτρηση του

Brookhaven National Laboratory των ΗΠΑ. Άλλες μετρήσεις απέδειξαν ότι το φάσμα του Σχ. 3.1 μπορεί να θεωρηθεί ως τυπικό, αν και υπάρχουν διαφορές στις λεπτομέρειες.

Παρατηρούμε ότι το φάσμα διακρίνεται σαφώς σε δύο τμήματα, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα «φασματικό κενό» (περίοδος 10 min έως 2h):



Σχ. 3.1. Φάσμα συχνοτήτων ανέμου

Πηγή: (Παπαδόπουλος Μ., 1997)

- Το τμήμα των μικρών συχνοτήτων, δηλαδή μεταβολών του ανέμου με περίοδο άνω της μιας ώρας. Αυτές οφείλονται σε μεγάλης κλίμακας μετακινήσεις αερίων μαζών, («Μακρομετεωρολογικές μεταβολές»).
- Το τμήμα των μεγάλων συχνοτήτων, δηλαδή μεταβολών ανέμου με περίοδο κάτω των 5 min. Αυτές οφείλονται στους στροβιλισμούς του ανέμου οι οποίοι προκαλούνται από τα εμπόδια που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης και εκφράζουν την τύρβη της ροής, με περίοδο περί το 1 mm. («Μικρομετεωρολογική μεταβολή»).

Αποτέλεσμα της υπάρξεως του φασματικού κενού είναι ότι, αν η μέτρηση της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου $\bar{U}$ γίνει με μία περίοδο εντός αυτού (π.χ. μιας ώρας), τότε όλες

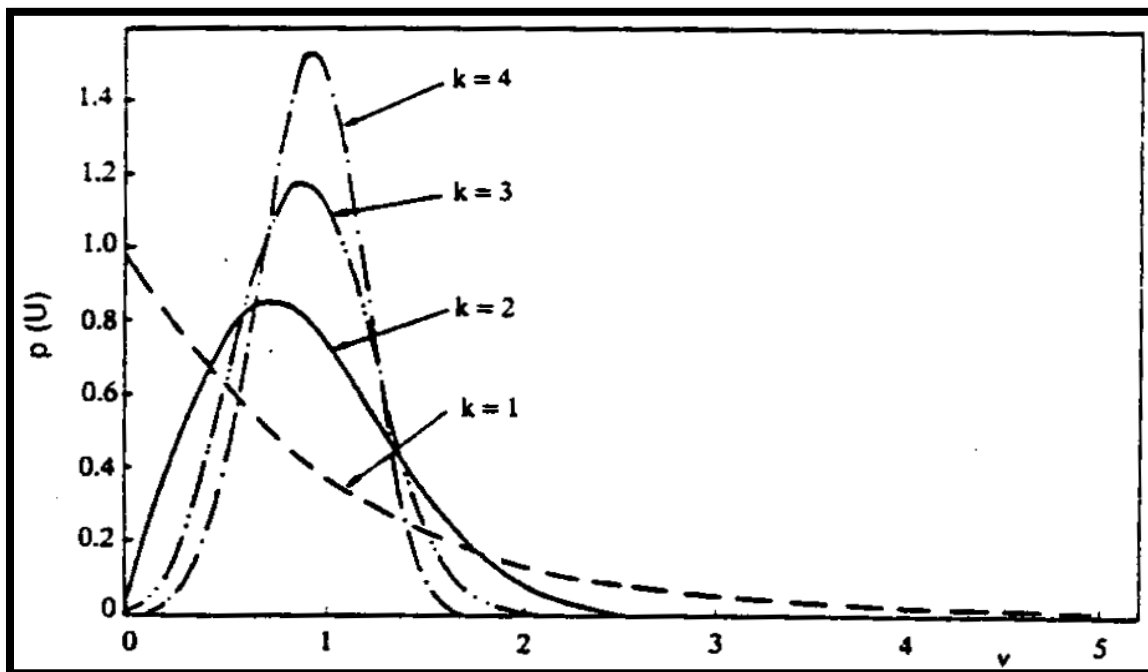
οι μικρομετεωρολογικές μεταβολές θα περιληφθούν στον υπολογισμό της U , ενώ οι μακρομετεωρολογικές μεταβολές θα εμφανισθούν ως αργές μεταβολές της U , μεταξύ διαδοχικών περιόδων. Για το λόγο αυτό έχει γίνει γενικά δεκτό οι υπολογισμοί που αποσκοπούν στην εκτίμηση του ενεργειακού περιεχομένου του ανέμου να βασίζονται σε μετρήσεις της U με περίοδο 1 h. Μετρήσεις της U με περίοδο μέχρι και μερικά sec είναι αναγκαίες για την εκτίμηση των καταπονήσεων των Α/Γ και των διαταραχών που προκαλούν στο δίκτυο.

3.2.1.3. Ενεργειακό περιεχόμενο και ισχύς του ανέμου

Ο υπολογισμός του Αιολικού Δυναμικού σε μια ορισμένη θέση, και τελικά της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί με την εγκατάσταση μιας Α/Γ, βασίζονται συνήθως σε χρονοσειρές μέσων ωριαίων τιμών της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Λόγω της σημαντικής διαφοράς που παρουσιάζει ο άνεμος, όχι μόνον μεταξύ εποχών αλλά και ετών, απαιτούνται στοιχεία άνω των 3 ή και 5 ετών, ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα.

1) Στατιστική ανάλυση του ανέμου

Από μεγάλο αριθμό χρονοσειρών μέσων (π.χ. ωριαίων) τιμών της ταχύτητας ανέμου για



Σχ. 3.2. Κατανομή Weibull

Πηγή: (Παπαδόπουλος Μ., 1997)

μεγάλα σχετικά χρονικά διαστήματα (π.χ. ένα έτος) προέκυψε ότι η συχνότητα (πιθανότητα) εμφανίσεως τους ακολουθεί με μεγάλη προσέγγιση την κατανομή Weibull:

$$f(U) = p(U) = \frac{k}{c} * \left\{ \frac{U}{c} \right\}^{k-1} * \exp \left\{ - \frac{U}{c} \right\}^k \quad (3.5)$$

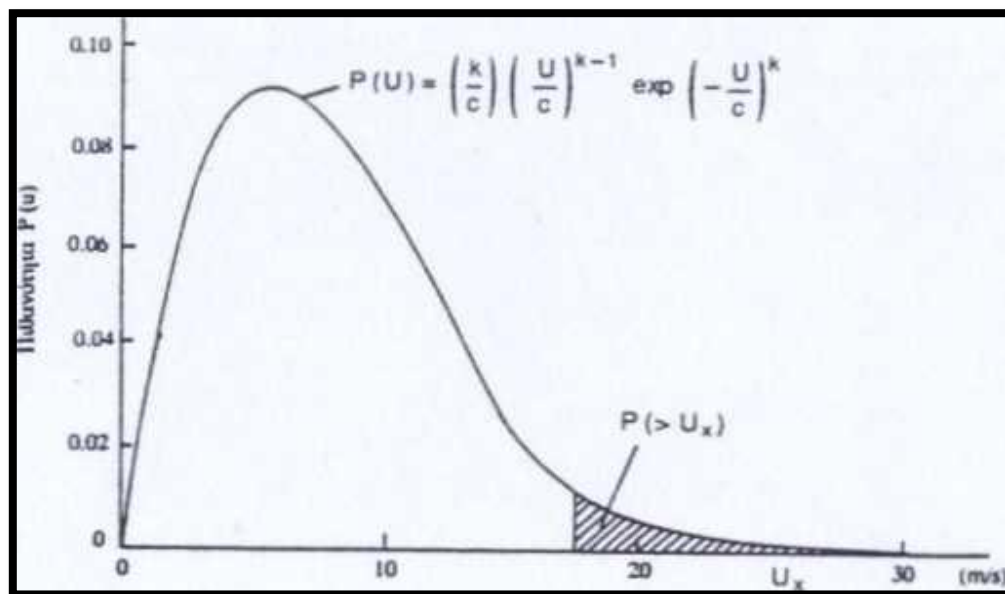
όπου: c , η «παράμετρος κλίμακας ταχύτητας» σε m/sec, και

k , η «παράμετρος μορφής» (καθαρός αριθμός).

Δεδομένου ότι η ποσότητα $p(U)dU$ εκφράζει την πιθανότητα να υπάρχει άνεμος ταχύτητας μεταξύ $U + 0,5 dU$ και $U - 0,5 dU$ η ποσότητα $8760 * p(U) * dU$ δίδει τις ώρες του έτους κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου βρίσκεται μεταξύ των τιμών αυτών. Έτσι υπολογίζεται η «μέση ετήσια ταχύτητα» ανέμου από τη σχέση (3.5), η «ετήσια (ωριαία) μεταβλητότητα του ανέμου» και η σωρευτική (ή αθροιστική) κατανομή συχνοτήτων ταχύτητας ανέμου, ήτοι η «καμπύλη διάρκειας ανέμου». Η τελευταία εκφράζει την πιθανότητα να υπάρχει άνεμος ταχύτητας μικρότερος της U_x , ή με άλλη έκφραση το ποσοστό του χρόνου (ή οι ώρες του έτους) κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη της U_x .

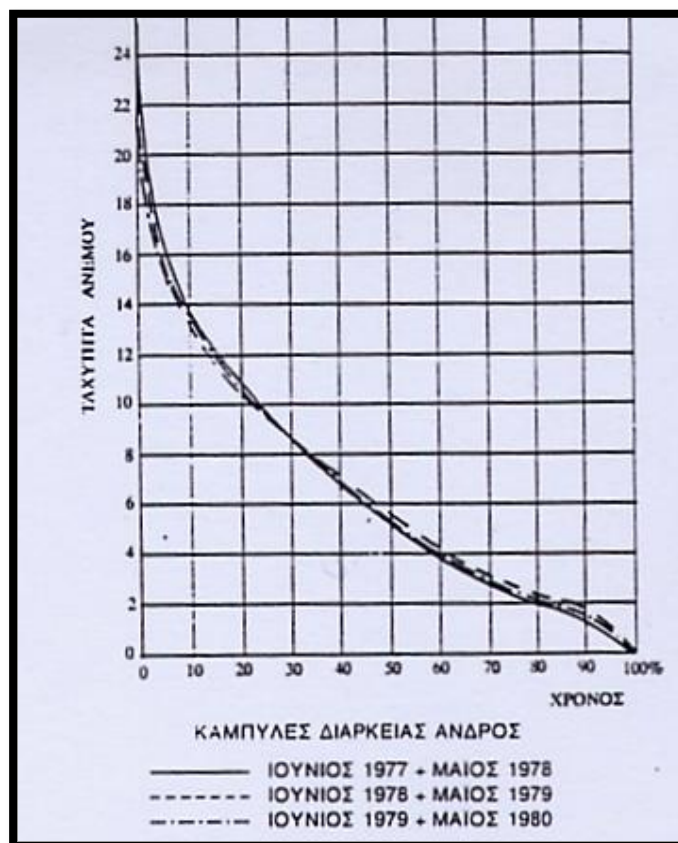
2) Παρουσίαση των στατιστικών αναλύσεων

Η παρουσίαση των στατιστικών αναλύσεων της ταχύτητας του ανέμου, μπορεί να γίνεται κατά πολλούς τρόπους:



Σχ. 3.3. Πυκνότητα πιθανότητας μέσης ταχύτητας ανέμου.

Πηγή: (Παπαδόπουλος Μ., 1997)



Σχ. 3.4. Συνσωρευτική καμπύλη διάρκειας

Πηγή: (Παπαδόπουλος Μ., 1997)

Κατ' αρχήν γίνεται με την καμπύλη συχνότητας εμφανίσεως των ανέμων (πυκνότητα πιθανότητας-καμπύλη Weibull) και την σωρευτική αντίστοιχη καμπύλη, όπως ενδεικτικά δείχνεται στο Σχ. 3.3. και 3.4. αντίστοιχα. Συνήθως καλύπτεται ένα έτος με μετρήσεις μέσων τιμών ώρας.

Προκειμένου να δίδεται και μία εικόνα των κατευθύνσεων των ανέμων, σε σχέση και με την συχνότητα τους, κατασκευάζονται «Ροδογράμματα» ανέμου.

3) Ισχύς και ενέργεια

Η ισχύς μιας ποσότητας ανέμου η οποία κινείται με ταχύτητα U , ισούται με την ανά μονάδα χρόνου κινητική ενέργεια που περιέχεται στην ποσότητα αυτή ήτοι:

$$p_a = \frac{1}{2}(\rho A U)U^2 = \frac{1}{2}\rho A U^3 \quad (3.6)$$

όπου: A , η επιφάνεια της κινούμενης μάζας ανέμου (m^2)

ρ , η πυκνότητα του αέρα (Kg/m^3) και συνεπώς

$\rho A U$, η μάζα του κινούμενου αέρα (Kg).

Η πυκνότητα του αέρα ρ εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία:

$$\rho = 348,8 \cdot 10^3 \frac{p_a}{\theta} \approx 1,2 - 1,3 \text{ Kg/m}^3$$

όπου: p_a , η ατμοσφαιρική πίεση (σε mbar)

θ , η θερμοκρασία (σε $^{\circ}C$).

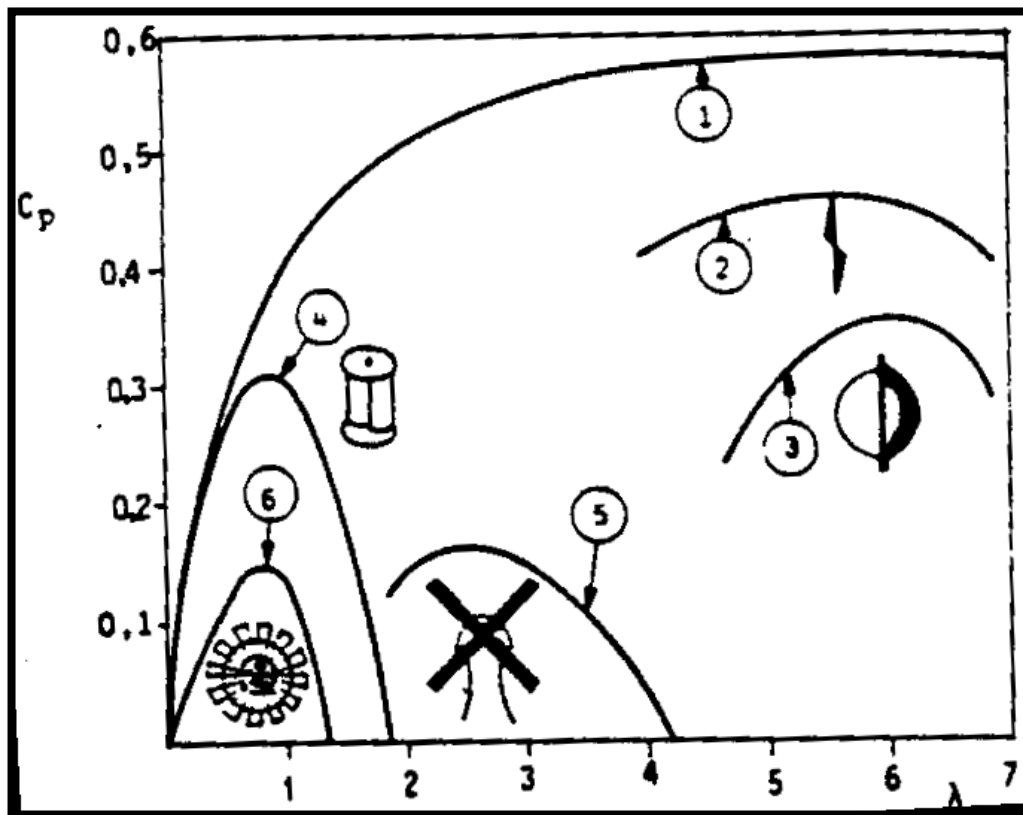
Από την ισχύ P_a ένα μέρος μετατρέπεται σε «μηχανική ισχύ» P_m , ήτοι:

$$P_m = C_p P_a \quad (3.7)$$

όπου: C_p , ο «αεροδυναμικός συντελεστής», η τιμή του οποίου εξαρτάται από τον τύπο του ανεμοκινητήρα (A/K).

Η τιμή του C_p μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του λόγου της ταχύτητας του άκρου της έλικας: $R * \omega$ (R η ακτίνα της έλικας σε m και ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της σε m/sec) και της ταχύτητας του ανέμου U .

Στο Σχ. 3.5. δείχνονται τυπικές καμπύλες μεταβολής του C_0 συναρτήσει του λόγου $\lambda = R*\omega /U$.



Σχ. 3.5. Αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος για διάφορους τύπους Α/Γ.

(1) Ιδανικός Α/Κ (όριο 0.59-Δες παράγραφο 2.2.2). (2) Σύγχρονος Α/Κ οριζόντιου άξονα. (3) Σύγχρονος Α/Κ κατακόρυφου άξονα. (4) Α/Κ Savonious. (5) Ολλανδικός ανεμόμυλος. (6) Αμερικανικός ανεμόμυλος για άντληση νερού.

3.2.1.4 «Μοντελοποίηση» του ανέμου

Για την μαθηματική προσομοίωση της λειτουργίας των Α/Γ, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η «μοντελοποίηση» του ανέμου, δηλαδή η διατύπωση μιας μαθηματικής έκφρασης με την οποία να μπορεί να περιγραφεί κατάλληλα η συμπεριφορά του.

Σύμφωνα και με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, η ταχύτητα του ανέμου $u(t)$ μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το άθροισμα 4 συνιστωσών:

$$u(t) = u_B(t) + u_G(t) + u_R(t) + u_N(t) \quad (3.8)$$

όπου: $u_B(t)$, η βασική (μέση τιμή) της ταχύτητας του ανέμου, η οποία παραμένει σταθερή κατά το θεωρούμενο χρονικό διάστημα μεταβολής των λοιπών συνιστωσών.

$u_G(t)$, η οφειλόμενη σε ριπή του ανέμου, η οποία περιγράφεται ως εξής:

$u_R(t)$, η οφειλόμενη σε γραμμική αύξηση του ανέμου

$u_N(t)$, η οφειλόμενη στις τυχαίες μεταβολές του ανέμου («θόρυβος»)

(Παπαδόπουλος Μ., 1997)

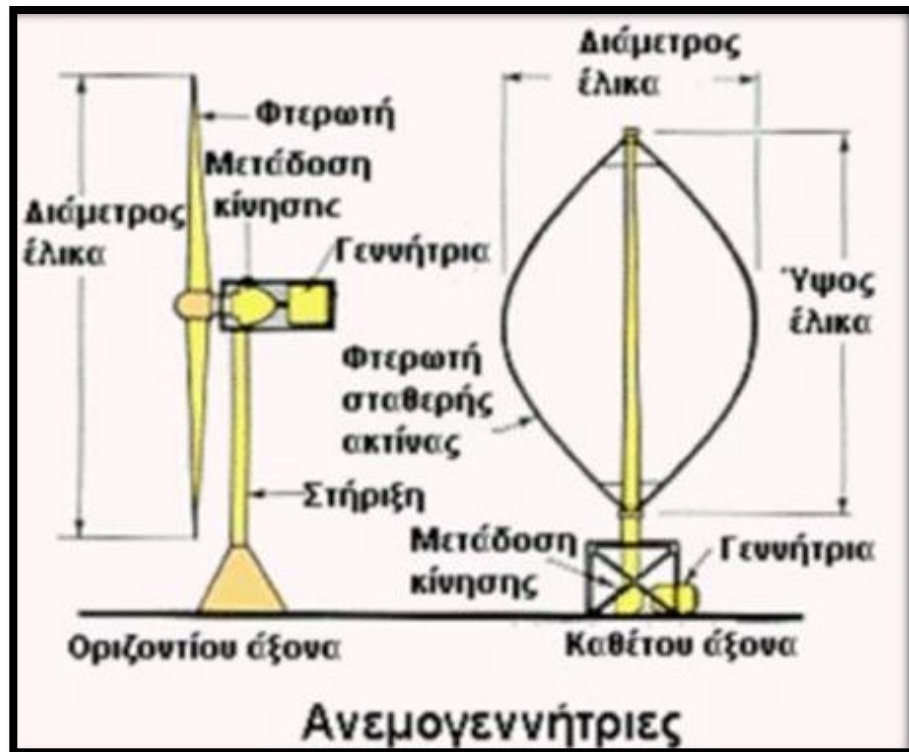
3.2.2. Διαμόρφωση και κύρια χαρακτηριστικά

3.2.2.1. Διαμόρφωση των Α/Κ

Ορισμένοι από τους πιο συνήθεις τύπους Ανεμοκινητήρων (Α/Κ) που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας, και συγκεκριμένα σε μύλους αλέσεως, άντληση νερού κ.λπ. είναι ο ανεμόμυλος, ο αεροκινητήρας άντλησης νερού, ο ανεμοκινητήρας τύπου Savonious κι ο ανεμοκινητήρας τύπου Darneus. Με την ανάπτυξη των μηχανών εσωτερικής καύσεως και την μείωση της τιμής του πετρελαίου, η χρήση των Α/Κ περιορίζεται σταδιακά μέχρι πλήρους σχεδόν εγκαταλείψεως μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο. Σε αυτό άλλωστε συνέβαλε και η επέκταση των ηλεκτρικών δικτύων.

Το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας αρχίζει ξανά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973), αλλά τώρα το ενδιαφέρον στρέφεται αποκλειστικά σχεδόν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με την ανάπτυξη των Ανεμογεννητριών (Α/Γ), με τις οποίες η μηχανική ενέργεια του Α/Κ μετατρέπεται απ' ευθείας σε ηλεκτρική. Οι κύριοι λόγοι για την αλλαγή αυτή είναι βέβαια το ότι η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με μεγάλο βαθμό αποδόσεως, κυρίως όμως γιατί ο ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται ήδη ευρύτατα στην ικανοποίηση των αναγκών του ανθρώπου, λόγω των γνωστών πλεονεκτημάτων του. Επί πλέον όμως διότι δίδεται η δυνατότητα σύνδεσης των Α/Γ στα δίκτυα Διανομής των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΕΗ) πράγμα που επιτρέπει την πληρέστερη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Δύο κυρίως τύποι Α/Κ (και αντίστοιχα Α/Γ) χρησιμοποιούνται σήμερα: Οι «Οριζοντίου άξονα», οι οποίοι και είναι οι πλέον διαδεδομένοι και οι «Κατακόρυφου άξονα», Σχ. 3.6.



Σχ. 3.6. Α/Γ οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα

3.2.2.1.1. Α/Κ οριζοντίου άξονα

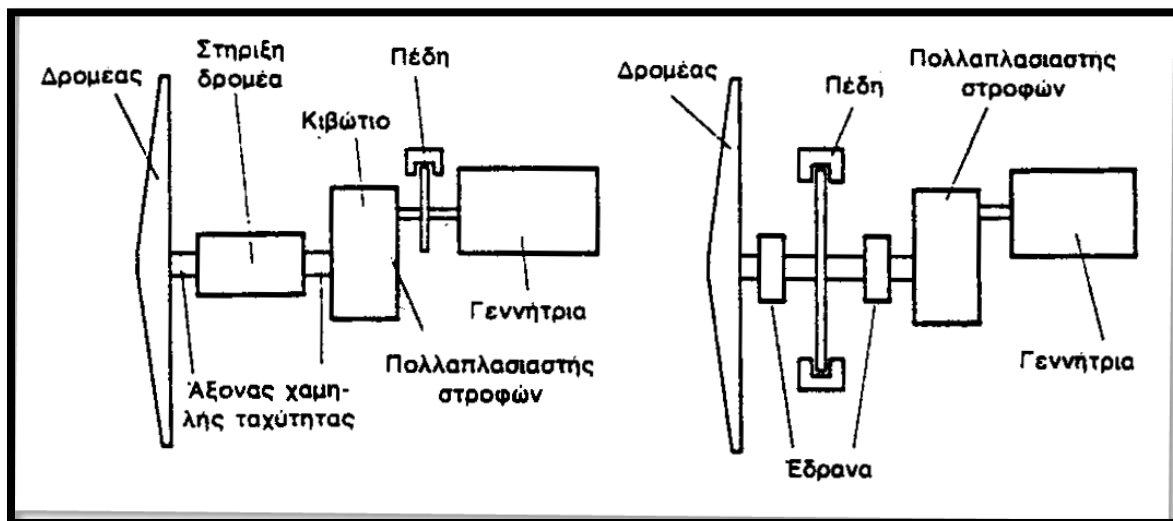
Ο Δρομέας (Έλικας). Οι σύγχρονοι Α/Κ κατασκευάζονται με 2 ή 3 πτερύγια, τα οποία έχουν την αεροδυναμική μορφή των ελίκων αεροπλάνων, με αρκετή συστροφή και συνεχή μείωση της διατομής τους, από τη βάση προς τα άκρα. Η τεχνολογία της κατασκευής των πτερυγίων βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη και πολλά είδη υλικών έχουν χρησιμοποιηθεί: Για τους μικρούς Α/Κ χρησιμοποιούνται πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, για τους μεσαίου μεγέθους υαλονήματα σε πολλαπλές στρώσεις και εναλλαγή κατευθύνσεων, ενώ για τους μεγάλους Α/Κ χρησιμοποιούνται τεχνολογίες ελίκων αεροπλάνων (ανθρακονήματα κ.λπ.).

Η στήριξη των πτερυγίων της έλικας στον άξονα του δρομέα μπορεί να είναι σταθερή (πτερύγιο σταθερού βήματος) ή μεταβλητή, δηλαδή να είναι δυνατή η περιστροφή του στο σημείο εδράσεως (πτερύγιο μεταβλητού βήματος). Επίσης το πτερύγιο μπορεί να αποτελείται από δύο τμήματα: ένα τμήμα σταθερό, στηριζόμενο στον άξονα και επιπλέον ένα ρυθμιζόμενο ακροπτερύγιο. Οι παραπάνω παραλλαγές είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο ισχύος – στροφών του Α/Κ καθώς και για την ασφάλεια της λειτουργίας του.

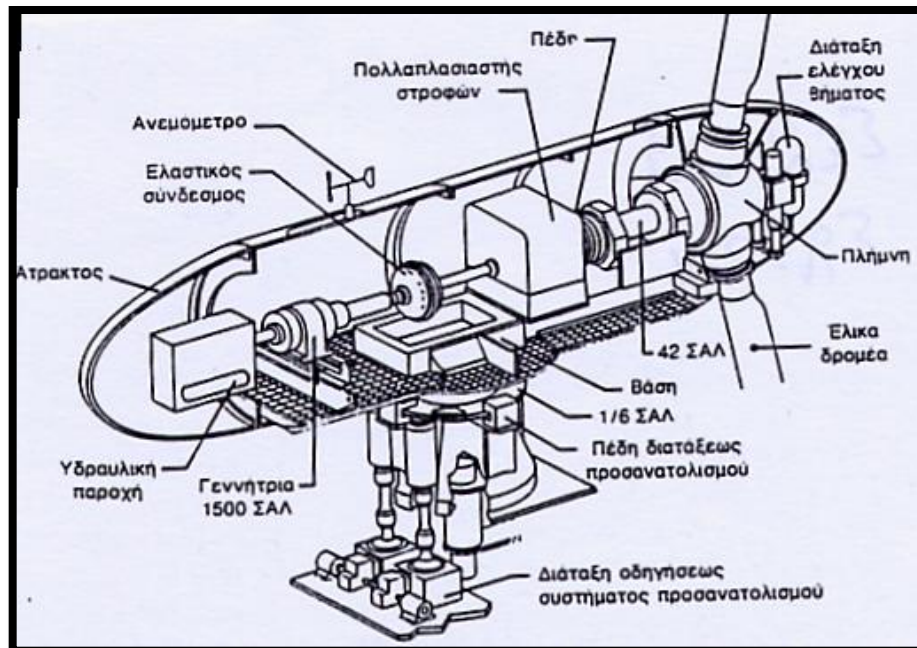
Χώρος μηχανισμών (Ατρακτος). Περιλαμβάνει κυρίως:

- Το σύστημα εδράσεως του δρομέα στον πύργο.
- Τον πολλαπλασιαστή στροφών
- Τη γεννήτρια
- Το φρένο καθώς και τους μηχανισμούς ελέγχου του βήματος των πτερυγίων, το σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Στο Σχ. 3.7 δείχνονται δύο τυπικές διατάξεις, οι οποίες διαφέρουν κυρίως ως προς τον τρόπο εδράσεως του δρομέα και τη θέση του φρένου. Υπάρχουν πολλές και σημαντικές παραλλαγές των διατάξεων του Σχ. 3.7, ανάλογα και με το μέγεθος του Α/Κ. Π.χ. σε μικρούς Α/Κ η έδραση του δρομέα γίνεται απ' ευθείας στο κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών, ενώ έχει επιτευχθεί και η κατάργηση του πολλαπλασιαστή στροφών, με τη χρήση γεννήτριας με μεγάλο αριθμό πόλων. Μία παραστατικότερη εικόνα της διαμορφώσεως του χώρου των μηχανισμών δίνεται στο Σχ. 3.8.



Σχ.3.7. Διατάξεις κυρίων τμημάτων Α/Γ.



Σχ.3.8.Σχηματική παράσταση χώρου μηχανισμών (άτρακτος) Α/Γ.

Ένα σημαντικό στοιχείο για την όλη διαμόρφωση των Α/Γ είναι ο περιορισμός του εύρους των ταλαντώσεων και ιδιαίτερα η αποφυγή συνθηκών συντονισμού των φυσικών συχνοτήτων της όλης διατάξεως με τις συχνότητες των ταλαντώσεων που προκαλεί ο άνεμος.

Ο μηχανισμός προσανατολισμού του Α/Κ περιστρέφει την άτρακτο και την έλικα ώστε το επίπεδο περιστροφής της τελευταίας να είναι κάθετο προς την κατεύθυνση του ανέμου. Μπορεί όμως η έλικα, σε σχέση με τον πύργο, να είναι προς τα ανάντη ή τα κατόντη της φοράς του ανέμου («Α/Κ ανάντη»-up wind και «Α/Κ κατόντη -down wind»). Κάθε τύπος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σ' ότι αφορά την μηχανική - αεροδυναμική καταπόνηση. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των Α/Κ κατόντη είναι η ταλάντωση που προκαλείται στον Α/Κ (και την παραγόμενη ισχύ) κάθε φορά που ένα από τα πτερύγια της έλικας περνά μπροστά από τον πύργο, ο οποίος παρεμβάλλεται και παρεμποδίζει την ομαλή ροή του ανέμου.

3.2.2.1.2. Α/Κ καθέτου άξονα

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι Α/Κ κατακόρυφου άξονα, εκ των οποίων ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος είναι ο τύπου Darrieus.

Στον Α/Κ αυτόν ο άξονας περιστροφής του δρομέα αποτελεί και τον πύργο στήριξης, ο οποίος συχνά προσδένεται με επιτόνους. Έχουν 2 ή 3 πτερύγια, των οποίων η διατομή είναι παρόμοια του οριζόντιου άξονα, αλλά παραμένει σταθερή καθ' όλο το μήκος τους. Μειονέκτημα του Α/Κ Darríeus είναι ότι έχει πολύ χαμηλή ροπή εκκινήσεως και η εκκίνηση του πρέπει να γίνεται με άλλα μέσα: Π.χ. με τη χρησιμοποίηση της γεννήτριας ως κινητήρα και απορρόφηση ισχύος από το δίκτυο ή την επί πλέον εγκατάσταση ενός μικρού Α/Κ τύπου Savonius, στον ίδιο άξονα.

Ένας άλλος τύπος Α/Κ κατακόρυφου άξονα που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια είναι ο «μεταβαλλόμενης γεωμετρίας». Με τη μεταβολή της γεωμετρίας του πτερυγίου επιτυγχάνεται ο έλεγχος των στροφών.

Οι Α/Κ κατακόρυφου άξονα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα προς τη διεύθυνση του ανέμου καθώς επίσης και ότι η εγκατάσταση του συστήματος μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια (πολλαπλασιαστής στροφών, γεννήτρια) βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους, στη βάση του Α/Κ. Γενικότερα οι Α/Κ κατακόρυφου άξονα είναι κατασκευαστικά απλούστεροι του οριζόντιου άξονα, πράγμα που αντισταθμίζει μερικά το μικρότερο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος. Παρουσιάζουν όμως το σημαντικό μειονέκτημα ότι η ισχύς τους ταλαντώνεται έντονα λόγω της συνεχούς αλλαγής του βήματος των πτερυγίων κατά την περιστροφή τους.

Οποσδήποτε, ο Α/Κ οριζόντιου άξονα συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα και αυτός κυρίως σήμερα αναπτύσσεται.

3.2.2.2. Παραγωγή ισχύος

3.2.2.2.1. Παραγωγή ισχύος από Α/Κ οριζόντιου άξονα

Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική επιτυγχάνεται στις Α/Γ οριζόντιου άξονα, μέσω της έλικας του Α/Κ. Η «θεωρία της έλικας», γενικά, αποτελεί ένα μεγάλο και βασικό κεφάλαιο της αεροδυναμικής.

1) Η έλικα ως «δίσκος μετατροπής ενέργειας»

Θεωρείται ο «ροϊκός σωλήνας» (δηλαδή ένας σωλήνας όπου η μάζα του ρευστού παραμένει αμετάβλητη), εκατέρωθεν της έλικας, Σχ. 3.9(α). Ο αέρας πολύ μακριά ανάντι, έχει τη πίεση του περιβάλλοντος p και κινείται προς την έλικα (δίσκο) με ταχύτητα U . Η έλικα

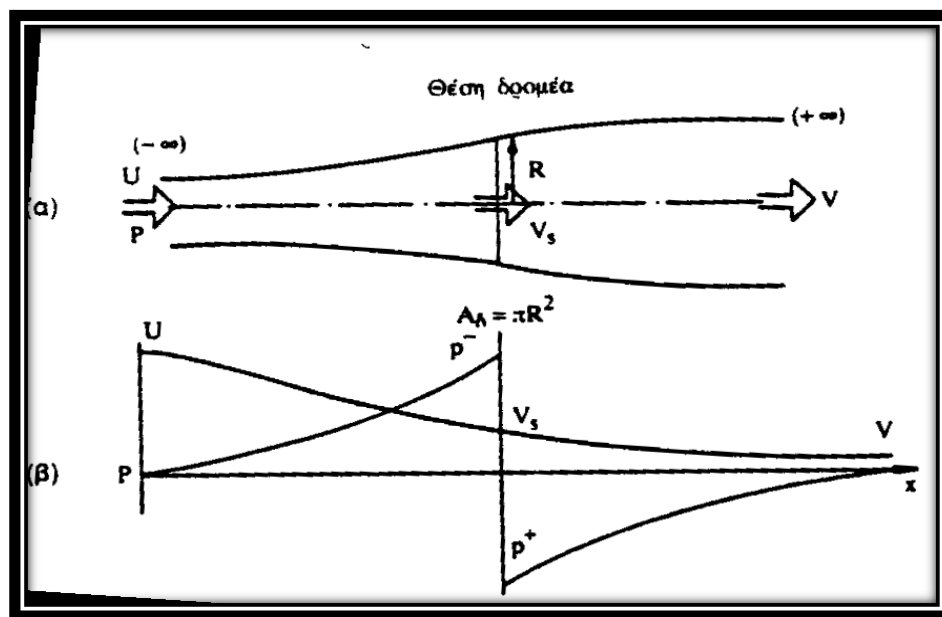
αφαιρεί ενέργεια από τον αέρα και επομένως πολύ μακριά κατάντι, όπου η πίεση του αέρα επανέρχεται στην πίεση του περιβάλλοντος p , ο αέρας θα έχει μικρότερη ταχύτητα $V < U$. Συνεπώς, η διάμετρος (και επομένως και η διατομή) του ροϊκού σωλήνα κατάντι της έλικας αυξάνεται, ώστε να διατηρείται σταθερή η μάζα του αέρα («διαστολή του ομόρου» του ανεμοκινητήρα). Ο άνεμος πάνω στην έλικα, και οριακά λίγο πριν και μετά από αυτήν, για λόγους διατηρήσεως της μάζας, θα έχει σταθερή αξονική ταχύτητα V_s . Επομένως, δεδομένου ότι από την έλικα αφαιρείται ενέργεια, θα προκαλείται ασυνέχεια της πίεσης, η οποία έστω μεταβάλλεται υπό p^- σε p^+ , Σχ. 3.9(β).

Με βάση την παραπάνω θεώρηση και την εφαρμογή των νόμων της Μηχανικής των Ρευστών (διατήρηση μάζας και ορμής και εξίσωση ενεργειών και ροπής της ορμής), προκύπτει ότι η Ωστική δύναμη F στην έλικα είναι:

$$F = \rho A_\delta V_s (U - V) \quad (3.9)$$

όπου: ρ , η πυκνότητα του αέρα (Kg/m^3)

A_δ , η διατομή του «δίσκου» που διαγράφει η έλικα, ακτίνας R : $A_\delta = \pi R^2$,
(οι ταχύτητες U , V και V_s ορίστηκαν προηγουμένως και φαίνονται στο Σχ. 3.9).



Σχ. 3.9. (α) Ροϊκός σωλήνας (β) Πιέσεις κατά μήκος του ροϊκού σωλήνα

Με εφαρμογή της εξίσωσης των ενεργειών και για δύο πλευρές της έλικας αλλά και κατόπιν αντικαταστάσεων προκύπτει ότι:

$$V_s = \frac{1}{2} (U + V) \quad (3.10)$$

Δηλαδή, με τις απλοποιητικές παραδοχές που έγιναν, η ταχύτητα του ανέμου στην έλικα είναι ίση με το ημιάθροισμα των εκατέρωθεν (σε μεγάλη απόσταση) ταχυτήτων.

Το μέγεθος:

$$a = \frac{U - V_s}{U} \quad (3.11)$$

ορίζεται ως «συντελεστής αξονικής επαγωγής» και εκφράζει την ποσοστιαία επιβράδυνση του αέρα, Σχ. 3.9 (β). Ο ρυθμός παραγωγής του έργου στην έλικα σε συνδυασμό με τις (3.10) και (3.11) θα είναι:

$$P = F * V_s = 2 * \rho * A_\delta * U^3 * a * (1 - a)^2$$

Η ισχύς του ανέμου, αν δεν παρεμβάλλετο στην πορεία του η έλικα, θα ήταν, σύμφωνα με την (3.6):

$$P_a = \frac{1}{2} * \rho * A_\delta * U^3$$

Ο λόγος:

$$C_p = \frac{P}{P_a} = 4a * (1 - a)^2 \quad (3.12)$$

θα ονομάζεται «αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος» και αποτελεί βασικό παράγοντα, όπως αναλύεται πιο κάτω. Η μέγιστη τιμή του C_p προκύπτει για:

$$a = \frac{1}{3},$$

οπότε
$$C_{pmax} = \frac{16}{27} = 0,593$$

Η τιμή αυτή ονομάζεται «όριο του Betz» και δίδει τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να ληφθεί από τον άνεμο μέσω μιας ιδανικής έλικας.

2) Μεταβολή του αεροδυναμικού συντελεστή ισχύος C_p

Η ανάλυση των αεροδυναμικών φαινομένων αποδεικνύει ότι ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος C_p , σχέση (3.12), μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του λόγου:

$$\lambda = \frac{R\omega}{U} \quad (3.13)$$

όπου: R , η ακτίνα της έλικας

ω , η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της

και συνεπώς: $R\omega$, η ταχύτητα του άκρου της

U η ταχύτητα του ανέμου, μακράν της έλικας

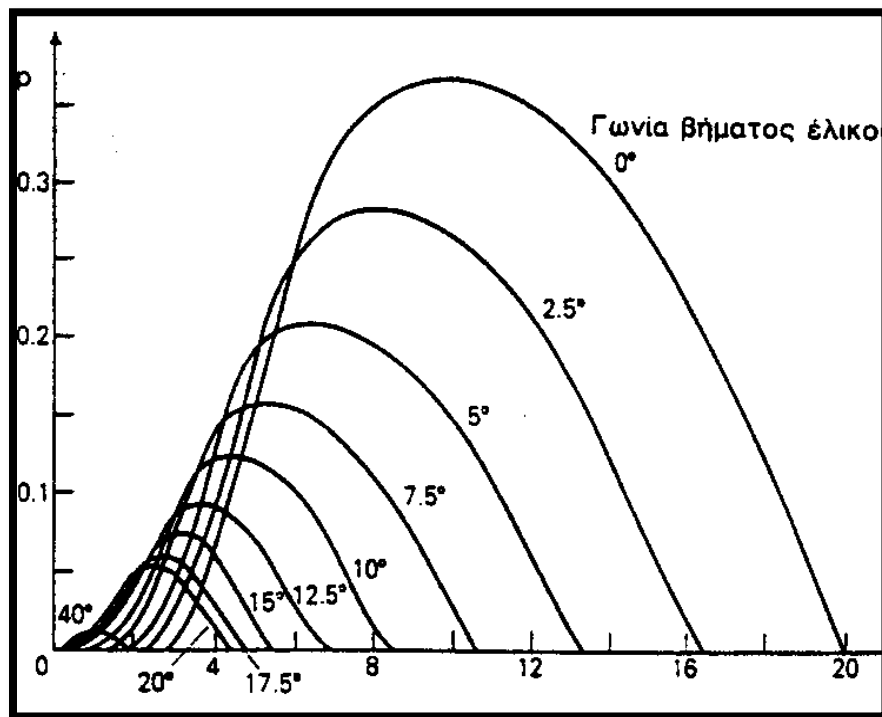
Δηλαδή ο συντελεστής λ ισούται με το λόγο της ταχύτητας του άκρου της έλικας, $R\omega$, - «ταχύτητα ακροπτερυγίου»- προς την ταχύτητα του ανέμου U .

Στο Σχ. 3.10 δείχνονται τυπικές καμπύλες $C_p(\lambda)$, με παράμετρο τη γωνία του βήματος της έλικας β . Η παραγόμενη ισχύς από τον Α/Κ θα είναι:

$$P = P_a * C_p = \frac{1}{2} * \rho * A * U^3 * C_p \quad (3.14)$$

όπου: $A = \pi R^2$ και R η ακτίνα της έλικας.

Είναι αξιοσημείωτη η έντονη μεταβολή του C_p , και συνεπώς του P , από τη γωνία του βήματος της έλικας β , μέσω της οποίας γίνεται συχνά ο έλεγχος της ροής ισχύος.



Σχ. 3.10. Τυπικές καμπύλες μεταβολής του αεροδυναμικού συντελεστή C_p , με παράμετρο τη γωνία του βήματος της έλικας.

Μια μαθηματική έκφραση που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τον υπολογισμό της μεταβολής του C_p είναι η ακόλουθη:

$$C_p = (1,12 - 0,022 \beta^2 - 2,8) e^{-0,38 \frac{U}{\omega}} \quad (3.15)$$

όπου: U , η ταχύτητα του άνεμου (m/s)

ω , η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της έλικας (rad/s)

β , η γωνία του βήματος της έλικας (σε μοίρες)

3.2.2.2. Παραγωγή ισχύος από A/K καθέτου άξονα

Ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος A/K κατακόρυφου άξονα είναι ο τύπου Darrieus. Τα πτερύγια των A/K κατακόρυφου άξονα έχουν αεροδυναμική αεροτομή, παρόμοια των A/K οριζοντίου άξονα.

Η ανάλυση της λειτουργίας των A/K κατακόρυφου άξονα παρουσιάζει μεγαλύτερες δυσκολίες απ' ότι του οριζοντίου. Οπωσδήποτε μπορεί να γίνει κατά τρόπο παρόμοιο προς αυτόν του οριζοντίου άξονα, με τη θεώρηση ενός «ροϊκού σωλήνα» και τον υπολογισμό των δυνάμεων που ασκούνται στα πτερύγια. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πτερύγιο, αποδεικνύεται ότι οδηγούν στην ανάπτυξη ροπής και ισχύος η οποία μπορεί να εκφραστεί με σχέση όμοια με την (3.14), ήτοι:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * U^3 * C_p \quad (3.16)$$

όπου: $A = D * H = 2 R * H$, H το ύψος και R η μέγιστη απόσταση των πτερυγίων από τον άξονα.

3.2.2.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, ανεξάρτητα από τον τύπο του A/K, η παραγόμενη στον άξονα του μηχανική ισχύς P_m , για ορισμένη μέση ταχύτητα ανέμου U είναι:

$$P_m = \frac{1}{2} * \rho * A * U^3 * C_p \quad (3.17)$$

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγει η Α/Γ θα είναι:

$$P = n_t * P_m = \frac{1}{2} * \rho * A * U^3 * C_p * n_t \quad (3.18)$$

όπου: n_t , ο συνολικός βαθμός αποδόσεως της Α/Γ.

Η ισχύς P που αποδίδει η Α/Γ είναι αυτή που κυρίως ενδιαφέρει τον χρήστη των Α/Γ.

Η ταχύτητα περιστροφής και η συμπεριφορά της ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά των Α/Γ. Αναλυτικότερα οι Α/Γ διακρίνονται στις:

- Α/Γ Σταθερής Ταχύτητας (ΣΤ)
- Α/Γ Μεταβλητής Ταχύτητας (ΜΤ).

Δεδομένου δε ότι οι Α/Γ κατά κανόνα πρέπει να παράγουν τάση Σταθερής Συχνότητας (ΣΣ) διακρίνουμε τις:

- Α/Γ Σταθερής Ταχύτητας Σταθερής Συχνότητας (ΣΤΣΣ)
- Α/Γ Μεταβλητής Ταχύτητας Σταθερής Συχνότητας (ΣΤΜΣ).

Σύμφωνα με την (3.18) η ισχύς P είναι γενικά συνάρτηση του αεροδυναμικού συντελεστή C_p , ο οποίος εξαρτάται από το λόγο $\lambda = \omega R/U$, και συνεπώς η ισχύς P είναι συνάρτηση εκτός της ταχύτητας του ανέμου U και της ταχύτητας περιστροφής ω , ήτοι είναι $P = P(\omega, U)$. Στον καθορισμό της συναρτήσεως $P = P(\omega, U)$ μιας Α/Γ, εμπλέκεται προφανώς τόσο το μηχανικό όσο και το ηλεκτρικό μέρος της Α/Γ (γεννήτρια και λοιπές διατάξεις ελέγχου).

Η βασική λειτουργία μιας Α/Γ περιγράφεται από τη χαρακτηριστική Ισχύος – Ταχύτητας ανέμου, $P(U)$, την οποία και δίδουν οι κατασκευαστές των Α/Γ. Με βάση την χαρακτηριστική αυτή και την Καμπύλη Διάρκειας του ανέμου (παράγραφος 3.2.1.3) προκύπτει εύκολα η ενέργεια που μπορεί να παράγει η Α/Γ αν εγκατασταθεί στη θέση αυτή. (Παπαδόπουλος Μ., 1997)

Εξετάζεται η εγκατάσταση Α/Γ σε ορισμένη θέση, για την οποία τα υπάρχοντα στοιχεία του ανέμου, από μετρήσεις που έγιναν με ανεμόμετρο σε ύψος 10 m, (μέσες ωριαίες τιμές ταχύτητας και αντίστοιχη διάρκεια) φαίνονται στις πρώτες δύο στήλες του παρακάτω πίνακα.

Στην τρίτη και τέταρτη στήλη του πίνακα σημειώνονται οι περιοχές ταχύτητας ανέμου και οι αντίστοιχες συχνότητες εμφανίσεως της περιοχής αυτής, όπως προκύπτει από τις δύο πρώτες στήλες.

Τα χαρακτηριστικά της Α/Γ είναι τα ακόλουθα:

$$P_R = 100 \text{ KW}, R = 9 \text{ m}, n = 45 \text{ Στροφές ανά λεπτό}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α/Γ 100 ΚW							
1	2	3	4	5	6	7	8
Ταχύτητα ανέμου στα 10 m m/s	Διάρκεια %	Περιοχή ταχύτ. ανέμου m/s	Συχνότης %	Ταχύτ. ανέμου στα 25 m m/s	Ισχύς Kw	Παραγόμενη ενέργεια ανά περιοχή Kwh	Σωρευτικά παραγόμενη ενέργεια Kwh
0	100.0	0-1	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0
1	99.0	1-2	4.3	1.8	0.0	0.0	0.0
2	94.8	2-3	9.5	3.0	0.0	0.0	0.0
3	85.3	3-4	11.5	4.2	4.4	4453.3	4453.3
4	73.7	4-5	11.3	5.4	9.6	9469.9	13923.1
5	62.4	5-6	10.0	6.6	18.0	15819.4	29742.5
6	52.4	6-7	8.7	7.8	31.0	23546.0	53288.5
7	43.7	7-8	7.4	9.0	48.9	31642.8	84931.3
8	36.3	8-9	6.8	10.2	69.2	41267.3	126198.6
9	29.5	9-10	5.1	11.4	83.6	37659.5	163858.1
10	24.4	10-11	3.9	12.6	95.4	32690.5	196548.5
11	20.5	11-12	3.6	13.8	101.1	32142.1	228690.7
12	16.8	12-13	3.2	15.0	103.9	29208.7	257899.3
13	13.6	13-14	2.4	16.2	100.0	21190.3	279089.6
14	11.2	14-15	2.2	17.4	93.7	18133.5	297223.2
15	9.0	15-16	1.7	18.6	89.8	13371.6	310594.8
16	7.3	16-17	1.6	19.8	89.0	12240.3	322835.1
17	5.7	17-18	1.5	21.0	89.0	11694.6	334529.7
18	4.2	18-19	1.1	22.2	89.0	8420.1	342949.8
19	3.2	19-20	0.8	23.4	89.0	6315.1	349264.9
20	2.3	20-21	0.6	24.6	89.0	4599.9	353864.8
21	1.8	21-22	0.5	25.8	89.0	3664.3	357529.1
22	1.3	22-23	0.4	27.0	89.0	3352.5	360881.5
23	0.9	23-24	0.3	28.2	0.0	0.0	360881.5
24	0.6	24-25	0.2	29.4	0.0	0.0	360881.5
25	0.4	25-26	0.1	30.6	0.0	0.0	360881.5
26	0.2	26-27	0.1	31.8	0.0	0.0	360881.5
27	0.1	27-28	0.1	33.0	0.0	0.0	360881.5
28	0.1	28-29	0.0	34.2	0.0	0.0	360881.5
29	0.1	29-30	0.1	35.4	0.0	0.0	360881.5
30	0.0	30-31	0.0	36.6	0.0	0.0	360881.5

Πίνακας 3.1. Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ 100 KW

Πηγή: (Παπαδόπουλος Μ., 1997)

3.3. Ηλιακή Ενέργεια

3.3.1. Χαρακτηριστικά της ηλιακής ενέργειας

3.3.1.1. Γενικά

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έχει παρατηρηθεί από το 1839. Η κατασκευή του πρώτου ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου έγινε μετά ένα περίπου αιώνα (1937), αλλά η ουσιαστική χρήση του σε πρακτικές εφαρμογές άρχισε στις αρχές της 10 - ετίας του 1950, όταν επιτεύχθηκε η παρασκευή καθαρού πυριτίου με την μέθοδο της τηγμένης ζώνης και οι σχηματισμοί διόδων πυριτίου με διάχυση προσμίξεων. Οι τεχνολογικές αυτές πρόοδοι οδήγησαν στην κατασκευή των σημερινών ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων, με απόδοση μέχρι 14%.

Τα Φωτοβολταϊκά Στοιχεία – Φ/ΒΣ (ονομάζονται και ηλιακά κύτταρα ή φωτοστοιχεία) αποτελούν τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ή συνοπτικότερα των Φωτοβολταϊκών Γεννητριών -Φ/ΒΓ. Τα Φ/ΒΣ είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου, οι οποίες όταν δέχονται στην μια επιφάνεια της την ηλιακή ακτινοβολία, εμφανίζουν μια τάση (διαφορά δυναμικού) μεταξύ των δύο επιφανειών τους. Η τάση αυτή διαφέρει ανάλογα με το υλικό κατασκευής και το μέγεθος της ακτινοβολίας. Είναι δε συνήθως από 0,5 έως 1 V η δε πυκνότητα του παραγομένου ρεύματος από 20 έως 40 mA ανά cm² της επιφάνειας του Φ/ΒΣ. Οι Φ/ΒΓ περιλαμβάνουν πολλά Φ/ΒΣ συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα και επί πλέον τις διατάξεις ελέγχου και προστασίας ή και μετατροπής του παραγομένου Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) σε εναλλασσόμενο (ΕΡ).

Οι Φ/ΒΓ, ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας τους, μπορούν να καταταγούν σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Τις Απλές Φ/ΒΓ, στις οποίες τα Φ/ΒΣ τοποθετούνται σε σταθερά επίπεδα.
- 2) Τις Φ/ΒΓ με κινητά πλαίσια Φ/ΒΣ, τα οποία παρακολουθούν την πορεία του ηλίου στον ουρανό, κατά τρόπον ώστε να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Επιτυγχάνεται έτσι μία αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι 50%.
- 3) Τις Φ/ΒΓ στις οποίες η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται πάνω στα Φ/ΒΣ με την χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων.

Όπως για όλα τα ενεργειακά συστήματα, βασικής σημασίας είναι το κόστος τους ανά μονάδα παραγόμενης ισχύος. Για την εκτίμηση του κόστους των Φ/ΒΣ χρησιμοποιείται ο όρος «Ισχύς αιχμής, ή Watt αιχμής (Wp – peak watt), ο οποίος εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη

επιφάνεια του Φ/ΒΣ για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 1W, όταν δέχεται ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 KW/m². Με τον τρόπο αυτό το W_p εκφράζει συνδυασμένα το κόστος του Φ/ΒΣ και την απόδοση του. Η απόδοση του Φ/ΒΣ εκφράζεται, όπως για όλες της μηχανές μετατροπής, με τον «συντελεστή απόδοσης» (η), ως ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/ΒΣ προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του. Η απόδοση του Φ/ΒΣ μεταβάλλεται σημαντικά με την ένταση που παράγει, την θερμοκρασία και την μορφή της ακτινοβολίας. Τα σύγχρονα Φ/ΒΣ επιτυγχάνουν βαθμούς αποδόσεως 10-15%, αλλά μπορεί να φτάσουν μέχρι 25%. (Καγκαράκης Κ., 1987)

3.3.1.2 Πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας

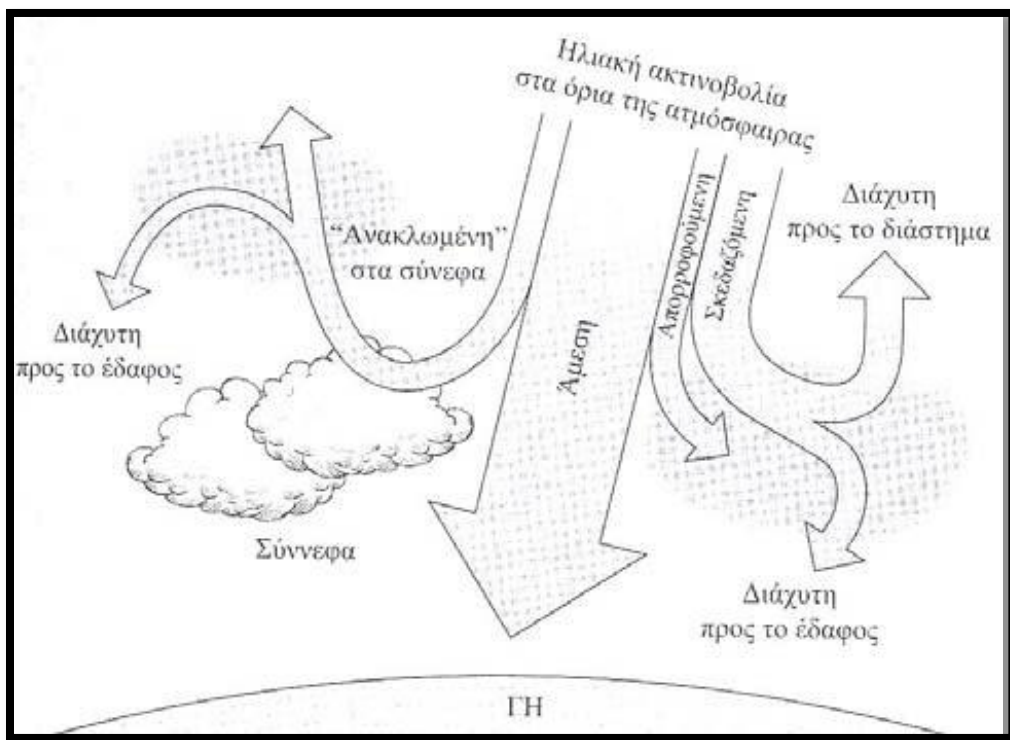
Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας μοιάζει με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας 5800 K. Η «πυκνότητα ισχύος» ή «ένταση» της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m²) είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας κι εξαρτάται, εκτός από τις μετεωρολογικές συνθήκες και από την θέση του ήλιου στον ουρανό. Από την τελευταία εξαρτάται και το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα.

Κατά τη διέλευση των ηλιακών ακτινών, από τη γήινη ατμόσφαιρα, η ένταση τους ελαττώνεται, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρας και στα πολύ μικρής διαμέτρου d , σωματίδια ($d \leq \lambda$, σκέδαση Rayleigh), αφετέρου, στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό (Σκέδαση Mie ή Tyndall). Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών, στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί, το CO₂, τα οξείδια του αζώτου κ.α., σε άλλες περιοχές του φάσματος. Τέλος, μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης. (Κοιλάκος Σ., 2010)

Σημειώνεται επίσης ότι από την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης, λιγότερη από 60% είναι άμεση B (Beam) (σε μορφή δέσμης ακτινών που μπορούν να εστιαστούν με κάτοπτρα) ενώ η υπόλοιπη 40% είναι συνήθως «διάχυτη D (Diffuse)» (προέρχεται από σκέδαση και ανάκλαση στα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που

αιωρούνται στον αέρα) ανάλογα βέβαια και με τις μετεωρολογικές συνθήκες και την διαδρομή των ακτινών στην ατμόσφαιρα.

Ως άμεση ακτινοβολία ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει απ' ευθείας από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα, ενώ ως διάχυτη η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα. Όταν το φως διαδίδεται μέσα από διαφανές υγρό στο οποίο αιωρούνται μικρά σωματίδια, το φως διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε σκέδαση. Ανάκλαση ονομάζεται το φαινόμενο της αλλαγής διεύθυνσης διάδοσης ενός μετώπου κύματος, μέσα στο ίδιο μέσο, από μια διαχωριστική επιφάνεια.



Σχ. 3.11. Ηλιακή Ακτινοβολία

Πηγή: Κοιλάκος Σ., 2010

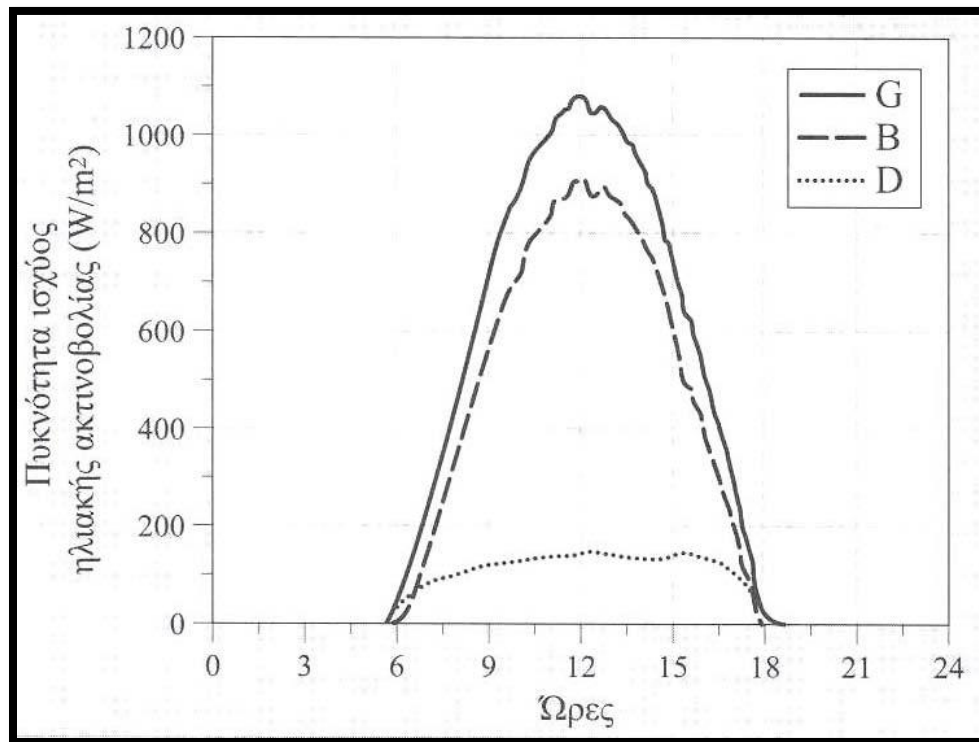
Το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα της γης, μέχρι μια ορισμένη θέση στην επιφάνεια της γης, είναι συνάρτηση της «ζενιθιακής γωνίας» (ζ), δηλαδή της γωνίας της ευθείας θέσης – ήλιος με την κατακόρυφο στην συγκεκριμένη θέση.

Μεταξύ της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας, G , που προσπίπτει σε συλλεκτική επιφάνεια

ή που μετρείται με αισθητήρα (π.χ. πυρανόμετρο), της κάθετης απ' ευθείας ακτινοβολίας, B_{η} , και της διάχυτης D , ισχύει η επόμενη σχέση:

$$G = B + D = B_{\eta} \sin z + D, \text{ όπου } z, \text{ η ζενίθ γωνία του ήλιου } (z=90-\text{EL}, \text{ EL το ύψος του ήλιου})$$

Κατά την ανατολή του ήλιου, η ζενίθ γωνία είναι $z=90^{\circ}$ και άρα η ολική οριζόντια πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας G , καθορίζεται, κυρίως, από τη διάχυτη συνιστώσα, D . Καθώς το ύψος του ήλιου αυξάνει, μέσα σε μια αίθρια ημέρα, η απευθείας κάθετη ακτινοβολία, αυξάνει μέχρι το ηλιακό μεσημέρι, μετά το οποίο ελαττώνεται, κατά συμμετρικό τρόπο.



Σχ. 3.12. Ημερήσια μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ολικής, της απευθείας και της οριζόντια διάχυτης ακτινοβολίας, κατά μία αίθρια μέρα.

Ορισμένες πρότυπες τιμές δίδονται στον παρακάτω Πίνακα.

Συμβατικές συνθήκες	Πυκνότητα (Wm^{-2})
Στο διάστημα (έκτος ατμόσφαιρας)	1350
$\zeta = 0^\circ$ (ο ήλιος στο ζενίθ), στο επίπεδο της θάλασσας, με ξερή ατμόσφαιρα	1060
$\zeta = 60^\circ$, σε κάθετη επιφάνεια, στο επίπεδο της θάλασσας, με ξερή ατμόσφαιρα	880
$\zeta = 70,5^\circ$, ομοίως ως άνω	750

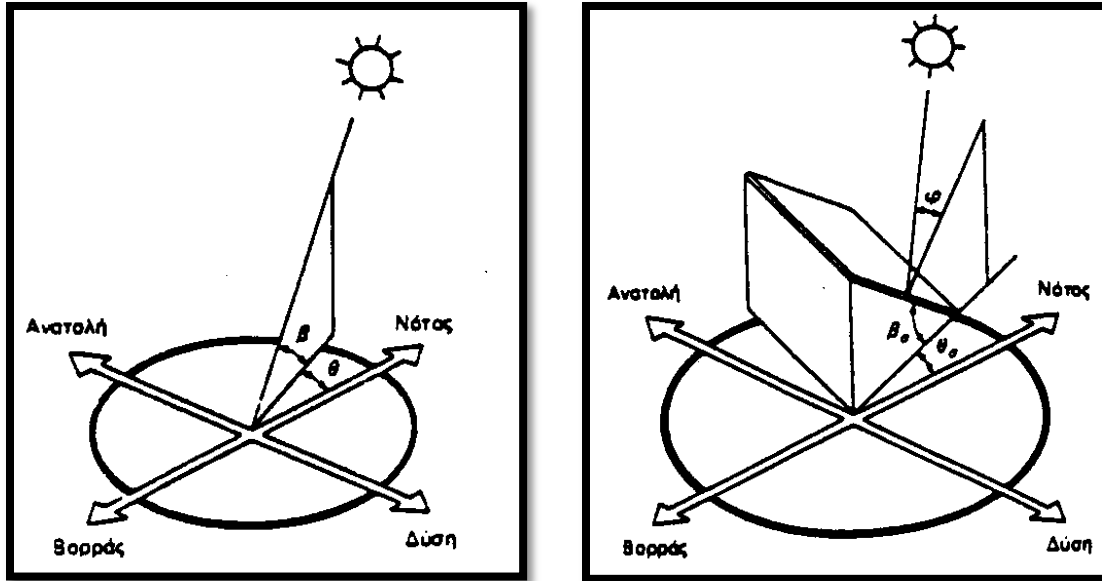
Πίνακας 3.2. Τιμές πυκνότητας ισχύος σε διάφορες θέσεις του ηλίου

Κατά σύμβαση, η πυκνότητα 1000Wm^{-2} , η οποία σύμφωνα με τα παραπάνω αντιστοιχεί σε μια μέγιστη ακτινοβολία που δέχεται μια κάθετη προς αυτή επιφάνεια, υπό τις ευνοϊκότερες δυνατές συνθήκες (καλοκαίρι, μεσημβρία, ξερή χωρίς σύννεφα ατμόσφαιρα κ.λπ.), ονομάζεται «ακτινοβολία ενός ήλιου». Η μονάδα του ήλιου χρησιμοποιείται για την έκφραση της «ισχύος αιχμής» (αντίστοιχη της «ονομαστικής ισχύος») των φωτοβολταϊκών διατάξεων. (Lalas D. et al, 1982)

3.3.1.3. Η θέση ήλιου - συλλέκτη

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα ορισμένο σημείο της γης, είναι η θέση του ήλιου ως προς το σημείο αυτό.

Η θέση του ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε μια ορισμένη θέση της γης, ορίζεται από τις γωνίες του «ύψους» (β) και του «αζιμουθίου» (θ), οι οποίες ορίζονται σύμφωνα με το Σχ. 3.13 (α). Συχνά αντί της β , ορίζεται η «ζενιθιακή απόσταση» δηλαδή η γωνία $90-\beta$, ως προς την κατακόρυφο.

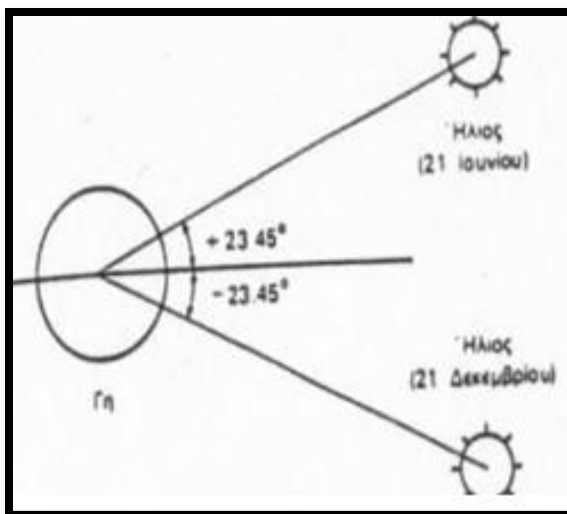


Σχ. 3.13. (α) Θέση του ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο β = γωνία ύψους θ = γωνία αζιμουθίου.

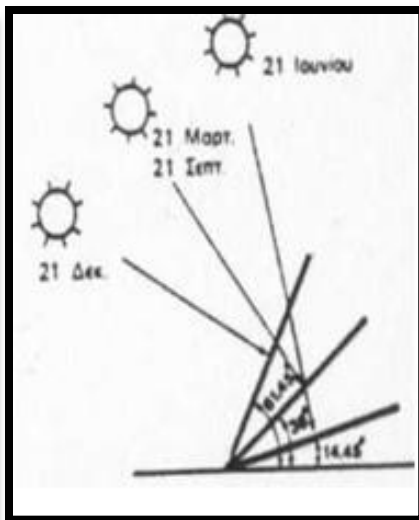
(β) Θέση ηλιακού επιπέδου συλλέκτη β_σ = κλίση θ_σ = αζιμούθια γωνία του συλλέκτη

Πηγή: Lalas D. et al, 1982

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η θέση (προσανατολισμός) του ηλιακού συλλέκτη, σε σχέση με τον ήλιο, η οποία και μπορεί να περιγράφεται με την «κλίση» (β_σ) ως προς το οριζόντιο επίπεδο (δηλαδή την διέδρη γωνία του επιπέδου συλλέκτη και του οριζόντιου επιπέδου) και την «αζιμούθια γωνία» (θ_σ) του συλλέκτη (δηλαδή την γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, μεταξύ: της προβολής της καθέτου στην επιφάνεια του συλλέκτη και του τοπικού μεσημβρινού βορρά-νότου), Σχ. 3.13 (β). Η γωνία που σχηματίζει η ευθεία γραμμή που ενώνει τα κέντρα γης – ήλιου ως προς το επίπεδο του ισημερινού της γης ονομάζεται «απόκλιση» (δ) και καθορίζει την τροχιά του ήλιου στον ουρανό. Στο Σχ. 3.14 δείχνονται οι «τροχιές» του ήλιου για δύο ακραίες τιμές της αποκλίσεως $\delta = + 23,45^\circ$ (21 Ιουνίου, θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο), $\delta = -23,45^\circ$ (21 Δεκεμβρίου, χειμερινό ηλιοστάσιο) και της ισημερίες (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου), για μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 38° (Αθήνα).

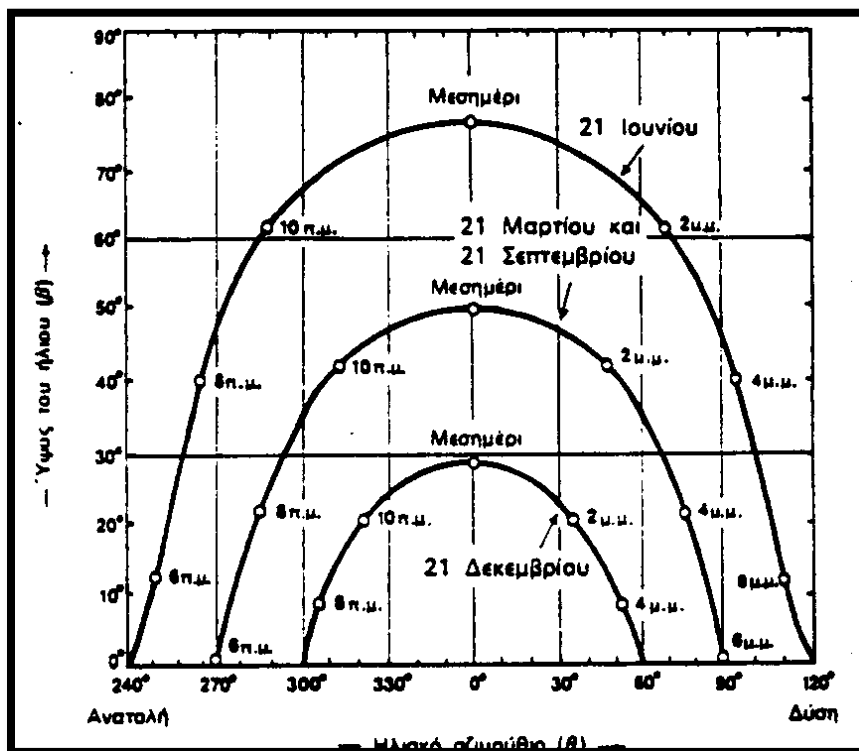


Σχ. 3.13(α)



Σχ. 3.13 β

Σχ. 3.14 (α) Ακραίες αποκλίσεις του ήλιου κατά το θερινό (21 Ιουνίου) και χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο. (β) Αντίστοιχες τροχιές του ήλιου στον ουρανό, σε τόπο με γεωγραφικό πλάτος 38° . Οι σημειούμενες ώρες της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές).



Σχ. 3.15 Βέλτιστη κλίση ηλιακού συλλέκτη κατά τις αντίστοιχες ημερομηνίες (Τα ύψη του ήλιου αντιστοιχούν σε ηλιακά μεσημέρια).

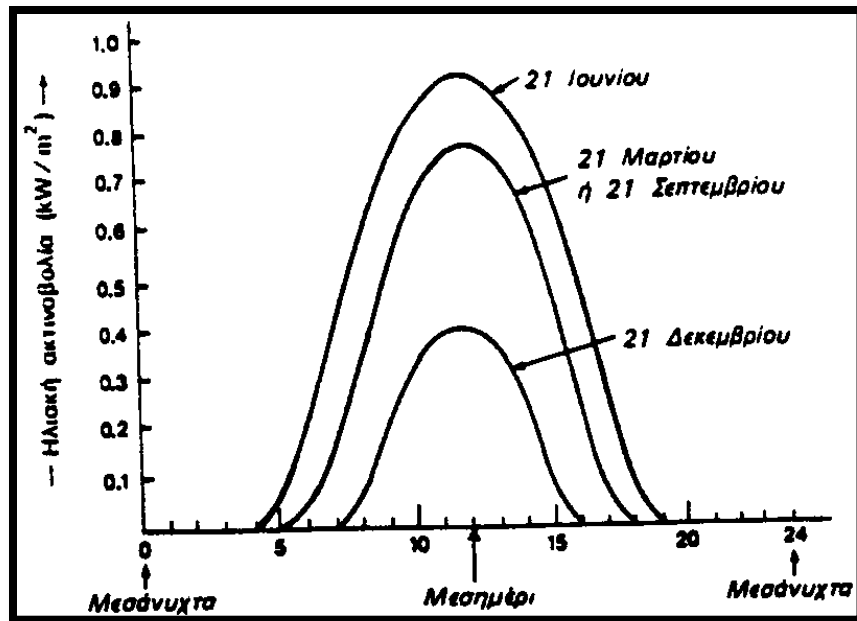
Οι συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, οι οποίες επιλέγονται ώστε οι ηλιακές ακτίνες να προσπίπτουν κατά το δυνατόν πιο κατακόρυφα κατά την διάρκεια του έτους, δηλαδή η γωνία προσπτώσεως φ , Σχ. 3.13 (β), να είναι κατά το δυνατόν μικρότερη. Η γωνία φ συνδέεται με τις λοιπές που ορίζουν την θέση του ήλιου (β , θ) και του συλλέκτη (β_σ , θ_σ), Σχ. 3.13, με την σχέση:

$$\cos \varphi = \cos \beta * \sin \beta_\sigma * \cos (\theta_\sigma - \theta) + \sin \beta * \cos \beta_\sigma \quad (3.19)$$

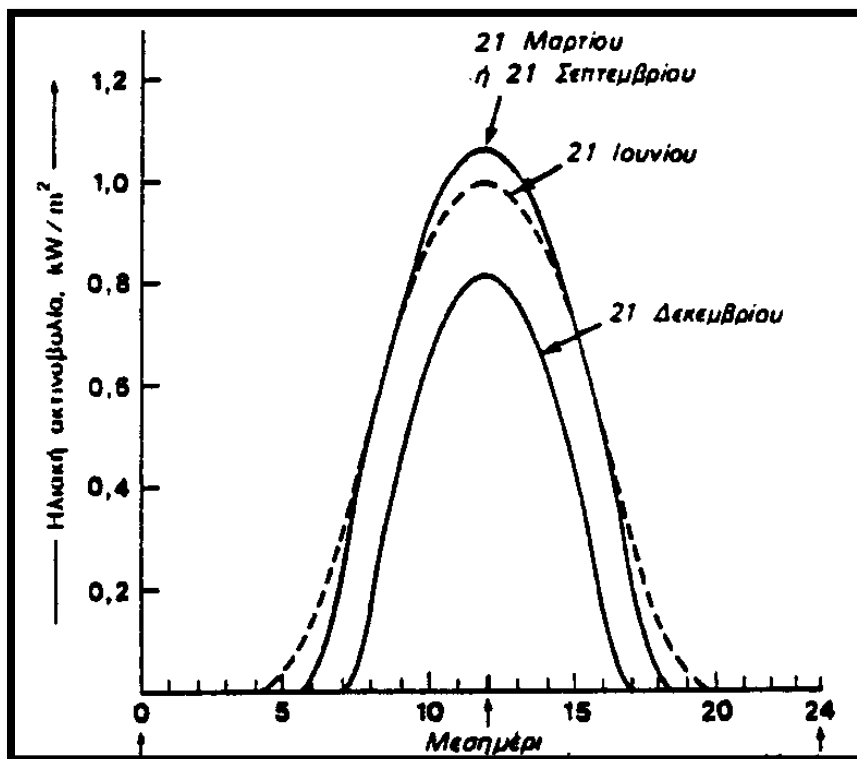
Η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη β_σ , στο βόρειο ημισφαίριο, για όλη τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με την γεωγραφική παράλληλα της θέσεως εγκαταστάσεως και η αζιμούθια γωνία $\theta_\sigma = 0$, Σχ. 3.15. Λόγω όμως της μεταβολής της απόκλισης δ του ήλιου κατά την διάρκεια του έτους η βέλτιστη κλίση διαφέρει ανά εποχή. Επομένως, ανάλογα με την εποχή για την οποία είναι επιθυμητή η μέγιστη απόδοση, η κλίση του συλλέκτη μπορεί να επιλέγεται κατά $10^\circ - 15^\circ$ μικρότερη από την παράλληλο για το καλοκαίρι ή κατά $10^\circ - 15^\circ$ μεγαλύτερη για τον χειμώνα, Σχ. 3.15.

3.3.1.4. Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

Αποτέλεσμα των όσων προαναφέρθηκαν, είναι το ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο κατά την διάρκεια ενός 24 – ώρου, μεταβάλλεται όπως δείχνεται στο Σχ. 3.16 (α), για τις χαρακτηριστικές ημερομηνίες που αναφέρονται και στο Σχ. 3.15 και με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν σύννεφα. Η σημειούμενη στον οριζόντιο άξονα «ώρα ημέρας» είναι η «ηλιακή ώρα».



(α)



(β)

Σχ. 3.16. Τυπικές μορφές διακυμάνσεως της ηλιακής ακτινοβολίας σε 4 χαρακτηριστικές ημέρες (α) Στο οριζόντιο επίπεδο (β) Σε συλλέκτη με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος.

Χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε καμπύλης είναι η μέγιστη τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (αιχμή) η οποία μετράται κατά το «ηλιακό μεσημέρι» δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του ως προς τον ορίζοντα. (Το «ηλιακό μεσημέρι» δεν συμπίπτει αναγκαστικά με το «ωρολογιακό μεσημέρι» – π.χ. στην Αθήνα τον χειμώνα το ηλιακό μεσημέρι είναι όταν το ρολόι δείχνει 12.25' και το καλοκαίρι όταν δείχνει 13.25' – θερινή ώρα.

Στο Σχ. 3.16 (β) δείχνονται οι αντίστοιχες καμπύλες του Σχ. 3.16 (α) για την επιφάνεια ενός ηλιακού συλλέκτη με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της θέσεως εγκαταστάσεώς του.

Παρατηρούμε ότι επιτυγχάνεται μία σημαντική αύξηση της ακτινοβολίας.

Από τις μορφές των καμπυλών του Σχ. 3.16, είναι προφανές ότι μπορούν να προσεγγιστούν με μια σχέση:

$$G(\omega) = G_m * \sin(\omega) \quad (3.20)$$

όπου:

G_m , η μέγιστη τιμή κατά το ηλιακό μεσημέρι

ω , η γωνία της ηλιακής ώρας

Αν ληφθεί υπόψη ότι μια ηλιακή ώρα αντιστοιχεί σε γωνία 15 μοιρών, η ηλιακή ώρα t μπορεί να γραφεί.

$$t = t_{sr} + \omega/15 \quad (3.21)$$

όπου, t_{sr} η ώρα ανατολής του ήλιου. Επομένως θα είναι:

$$\omega = 15(t - t_{sr}) \quad (3.22)$$

3.3.1.5. Υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας

Η δυνατότητα υπολογισμού της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο οριζόντιο επίπεδο ή και το κεκλιμένο επίπεδο ενός συλλέκτη, αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Ακριβή βέβαια στοιχεία μπορούν να προκύψουν με μακροχρόνιες μετρήσεις, στην συγκεκριμένη θέση, πράγμα όμως πρακτικά δυνατό μόνο σε ορισμένες θέσεις. Για τον λόγο αυτό η ανάπτυξη θεωρητικών ή και εμπειρικών μεθόδων, των οποίων τα αποτελέσματα μπορεί να συγκρίνονται με τα των μετρήσεων σε ορισμένες θέσεις, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας I_ϕ στο κεκλιμένο επίπεδο ενός συλλέκτη

υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{\varphi} = I_B * \cos \varphi + I_{DF} * \cos^2 \left(\frac{\beta_{\sigma}}{2} \right) + I_G * r_{\alpha} * \sin^2 \left(\frac{\beta_{\sigma}}{2} \right) \quad (3.23)$$

όπου: I_G , η ολική σε οριζόντια επιφάνεια ηλιακή ακτινοβολία ($W * m^{-2}$).

I_B και I_{DF} , η άμεση και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, αντίστοιχα ($W * m^{-2}$).

β_{σ} , η κλίση του επιπέδου του συλλέκτη

r_{α} , ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους

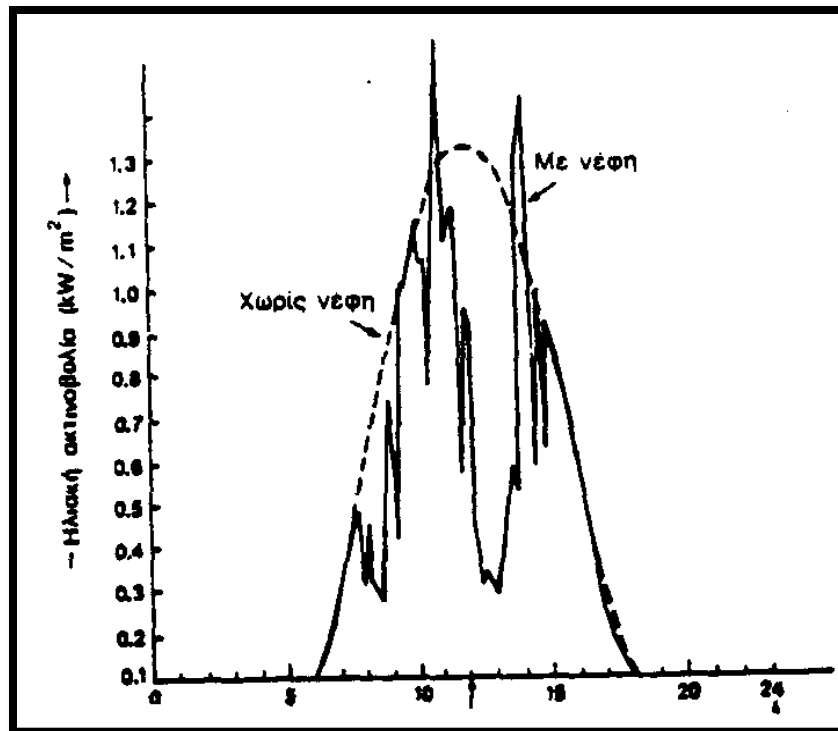
φ , η γωνία προσπτώσεως, δηλαδή η γωνία των ακτινών του ήλιου με την κάθετο στο επίπεδο του συλλέκτη.

Η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία I_B και I_{DF} υπολογίζονται με βάση την ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας και διάφορους συντελεστές, που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας (όπως αναλυτικά εκτίθεται στο άρθρο που προαναφέρθηκε) καθώς και την θέση του ήλιου. Επομένως από την σχέση (3.22), για ορισμένες τιμές των συντελεστών ανακλάσεως μπορεί να υπολογιστεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη I_{φ} .

Με τα παραπάνω υπολογίζεται η διατιθέμενη από την φύση ηλιακή ενέργεια. Το ποιο ποσοστό αυτής θα μετατραπεί σε ηλεκτρική εξαρτάται από την όλη διάταξη (σύστημα) μετατροπής και προσαρμογής προς την κατανάλωση.

3.3.1.6. Επίδραση των νεφών

Στα προηγούμενα δεν λήφθηκε υπόψη η επίδραση της παρουσίας νεφών στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της άμεσης αλλά την αύξηση της διάχυτης ακτινοβολίας. Στο Σχ. 3.17 δείχνεται μια τυπική περίπτωση της επιπτώσεως των διερχομένων νεφών (πλήρης γραμμή) στην ηλιακή ακτινοβολία χωρίς την παρουσία νεφών (διακοπτόμενη γραμμή).



Σχ. 3.17. Επίπτωση της παρουσίας νεφών στην ηλιακή ακτινοβολία

Εκτός από την μείωση της μετατρεπόμενης ηλιακής ενέργειας, η παρουσία ταχέως μετακινουμένων νεφών έχει ως αποτέλεσμα και αντίστοιχες μεταβολές της παραγόμενης ισχύος.

3.3.2. Βασικές αρχές λειτουργίας Φ/Β συστημάτων

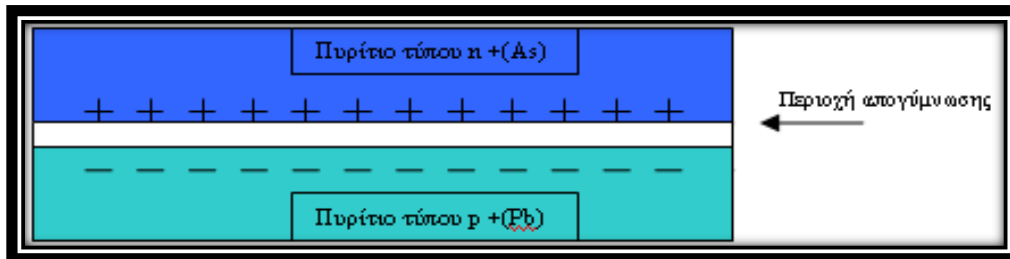
Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

- Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

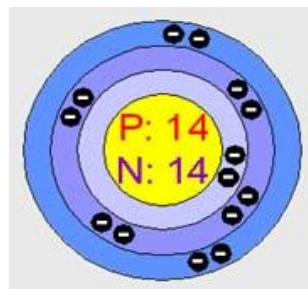
Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.



Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί. Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

- Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

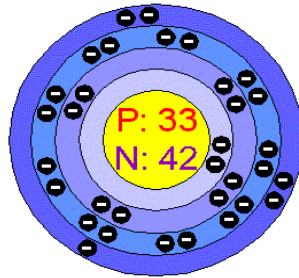
Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si).



Πυρίτιο (Si)

- Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

Για να φτιαχτεί ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As).



Αρσένιο (As)

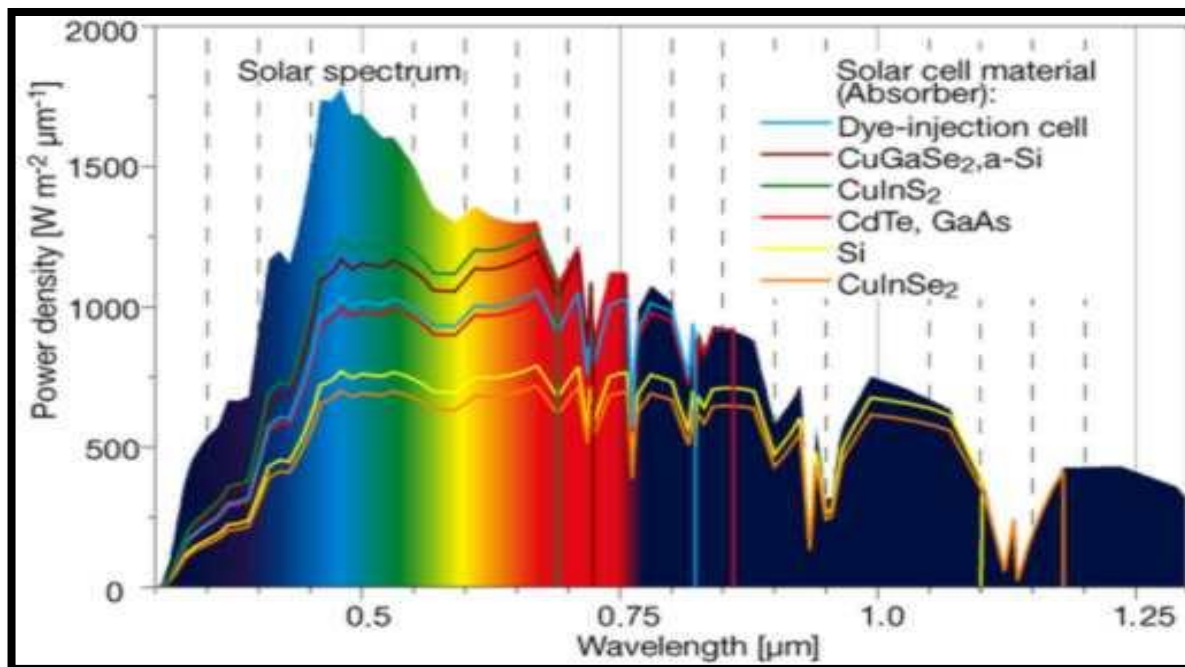
- Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη Φ/Β κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

Αφού ξεπεραστεί το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον υπάρχει περίσσεια ηλεκτρονίων εκμεταλλεύσιμη, η οποία μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετηθεί μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται.

- Περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών

Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.



Σχήμα 3.18. Απόδοση υλικών στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Έτσι ανάλογα με το υλικό είναι εκμεταλλεύσιμο και εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

3.3.3. Τύποι Φ/Β Συστημάτων

- *Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)*

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

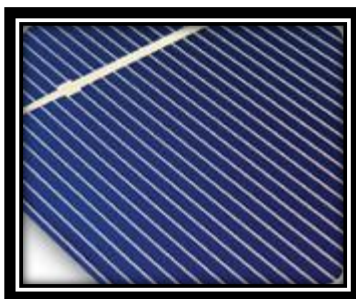
- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και

ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής(υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.
- Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

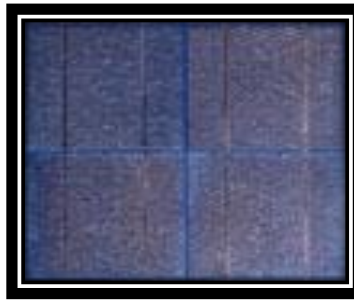
- Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)



Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Οι βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

2) Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)



Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)



Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%

- Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, *thin film*

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe_2 ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)



Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (*Amorphous* ή *Thin film Silicon*, a-Si)



3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)



4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)



- *Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία*

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειάζεται μικρότερη επιφάνεια για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Αλλά πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μεθοδολογία – Ανάλυση Δεδομένων

4.1. Γενικά

Ο προσδιορισμός της συνολικά εγκατεστημένης και της προς εγκατάσταση ισχύος, οι οποίες συναντώνται στην Ελλάδα, αποτελεί στόχο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, όπως επίσης και η γνώση της χωρικής κατανομής της παραγόμενης από τον άνεμο και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ισχύος στον Ελλαδικό χώρο. Κατά συνέπεια θα προσδιοριστούν και οι περιοχές με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ.

Αναλυτικότερα η μεθοδολογία της εργασίας συμπεριέλαβε αρχικά τη συλλογή δεδομένων από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) (www.rae.gr). Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν στις ήδη εγκατεστημένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και σε αυτές, για τις οποίες υπάρχει θετική γνωμοδότηση σχετικά με την έγκριση της αίτησης αδείας για σύνδεση με το δίκτυο της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

Ακολούθησε επεξεργασία των δεδομένων και ομαδοποίηση τους κατά ξεχωριστό είδος ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, γεωθερμία κτλ.) και κατηγοριοποίηση ανά νομό. Συνεπώς προέκυψαν στοιχεία για το σύνολο της διαθέσιμης ισχύος που παράγεται από τα ηλιακά κι αιολικά πάρκα ανά νομό. Η ομαδοποίηση των νομών σε γεωγραφικές ενότητες με βάση το γεωγραφικό κριτήριο αποτέλεσε το τελευταίο βήμα για την πλήρη επεξεργασία των αρχικών στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, ο Ελλαδικός χώρος χωρίστηκε σε 4 περιοχές: τη βόρεια, τη νότια, την ανατολική και τη δυτική Ελλάδα.

Οι περιοχές καθορίστηκαν με βάση την πλεγματική ανάλυση του εκάστοτε μοντέλου. Από τα σημεία της πλεγματικής ανάλυσης ορίστηκαν νοητά παραλληλόγραμμα, καθένα από τα οποία ορίζει και μία γεωγραφική περιοχή. Τα σημεία, τα οποία ορίζουν την κάθε γεωγραφική περιοχή δεν έχουν σταθερές γεωγραφικές συντεταγμένες, αφού μεταβάλλονται σε πολύ μικρό βαθμό ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μοντέλο και τη μελετώμενη μεταβλητή. Δηλαδή, όπως φαίνεται παρακάτω τα σημεία που ορίζουν τις τέσσερις γεωγραφικές περιοχές στην μεταβλητή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρουν συγκριτικά με τα αντίστοιχα σημεία στην μεταβλητή του ανέμου στο κλιματικό μοντέλο HADGEM1. Τα σημεία του κλιματικού μοντέλου CCSM3 διαφέρουν κι αυτά ως προς τα αντίστοιχα του μοντέλου HADGEM1.

Αναλυτικότερα, στο κλιματικό μοντέλο UKMO αναφορικά με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία η νότια Ελλάδα ορίζεται με γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 35°.00 και 37°.50 και

γεωγραφικό μήκος $18^{\circ}.75$ έως $28^{\circ}.125$. Η βόρεια Ελλάδα ορίζεται από τα σημεία με γεωγραφικό πλάτος $40^{\circ}.00$ έως $42^{\circ}.50$ και γεωγραφικό μήκος $18^{\circ}.75$ έως $28^{\circ}.125$, ενώ η ανατολική Ελλάδα οριοθετείται μεταξύ των σημείων γεωγραφικού πλάτους $37^{\circ}.50$ έως $40^{\circ}.00$ και γεωγραφικού μήκους $22^{\circ}.50$ έως $28^{\circ}.125$. Η δυτική Ελλάδα έχει το ίδιο γεωγραφικό πλάτος με την ανατολική, διαφοροποιείται όμως ως προς το γεωγραφικό μήκος, το οποίο είναι από $18^{\circ}.75$ έως $22^{\circ}.50$.

Στο ίδιο κλιματικό μοντέλο ο άνεμος υπολογίζεται από σημεία ελάχιστα διαφοροποιημένα ως προς τη θέση τους. Πιο συγκεκριμένα, η νότια Ελλάδα ορίζεται με γεωγραφικό πλάτος $34^{\circ}.375$ έως $36^{\circ}.875$ και μήκος $19^{\circ}.688$ έως $29^{\circ}.063$. Η βόρεια Ελλάδα ορίζεται από τα σημεία με γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ}.375$ έως $41^{\circ}.875$ και μήκος $19^{\circ}.688$ έως $29^{\circ}.063$, ενώ η ανατολική Ελλάδα οριοθετείται μεταξύ των σημείων γεωγραφικού πλάτους $36^{\circ}.875$ έως $39^{\circ}.375$ και γεωγραφικού μήκους $23^{\circ}.438$ έως $29^{\circ}.063$. Η δυτική Ελλάδα έχει το ίδιο γεωγραφικό πλάτος με την ανατολική, διαφοροποιείται όμως ως προς το γεωγραφικό μήκος, το οποίο είναι από $19^{\circ}.688$ έως $23^{\circ}.438$.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες, οι οποίες ορίζουν τις περιοχές στο μοντέλο CCSM3, παρουσιάζονται παρακάτω. Για την περιοχή της βόρειας Ελλάδας το γεωγραφικό πλάτος κυμαίνεται από $39^{\circ}.913$ έως $42^{\circ}.713$ και το γεωγραφικό μήκος από $18^{\circ}.281$ έως $29^{\circ}.531$. Το γεωγραφικό μήκος παραμένει σταθερό για την περιοχή της νότιας Ελλάδας, ενώ μεταβάλλεται το πλάτος με τιμές από $34^{\circ}.311$ έως $37^{\circ}.112$. Στη δυτική Ελλάδα το γεωγραφικό πλάτος κυμαίνεται από $37^{\circ}.112$ έως $39^{\circ}.913$, ενώ το γεωγραφικό μήκος έχει παίρνει τιμές από $18^{\circ}.281$ έως $22^{\circ}.500$. Οι τιμές για την ανατολική Ελλάδα είναι $37^{\circ}.112$ έως $39^{\circ}.913$ για το γεωγραφικό πλάτος και $22^{\circ}.500$ έως $29^{\circ}.531$ για το γεωγραφικό μήκος.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας του μέσου όρου των γεωγραφικών συντεταγμένων των τεσσάρων περιοχών του Ελλαδικού χώρου:

	Γεωγραφικό πλάτος (deg)	Γεωγραφικό μήκος (deg)
Ανατολική Ελλάδα	37.0 - 39.6	22.8 - 29.9
Βόρεια Ελλάδα	39.6 - 42.3	18.8 - 29.9
Νότια Ελλάδα	34.6 - 37.0	18.8 - 29.9
Δυτική Ελλάδα	37.0 - 39.6	18.8 - 22.8

Πίνακας 4.1.: Γεωγραφικές συντεταγμένες των περιοχών στον Ελλαδικό χώρο

[illegible]

Όσον αφορά στην εξέταση της μεταβλητής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν τα δύο παραπάνω κλιματικά μοντέλα με τα οποία εξετάστηκαν οι περίοδοι 2011 – 2030 και 2046 – 2065. Ως εκ τούτου πρόεκυψαν τέσσερις

διαφορετικές τιμές της συγκεκριμένης μεταβλητής. Όμως για τη μεταβλητή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τη χρονική περίοδο 2070 – 2100 υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία μόνο από το ένα κλιματικό μοντέλο.

Αναφορικά με τη μεταβλητή του ανέμου, η εξέταση της μεταβολής της πραγματοποιείται από το ένα εκ των δύο προαναφερθέντων κλιματικών μοντέλων για τις χρονικές περιόδους 2011 – 2030 και 2046 – 2065. Συνεπακόλουθα θα προκύψουν δύο νέες τιμές αυτής της συγκεκριμένης μεταβλητής.

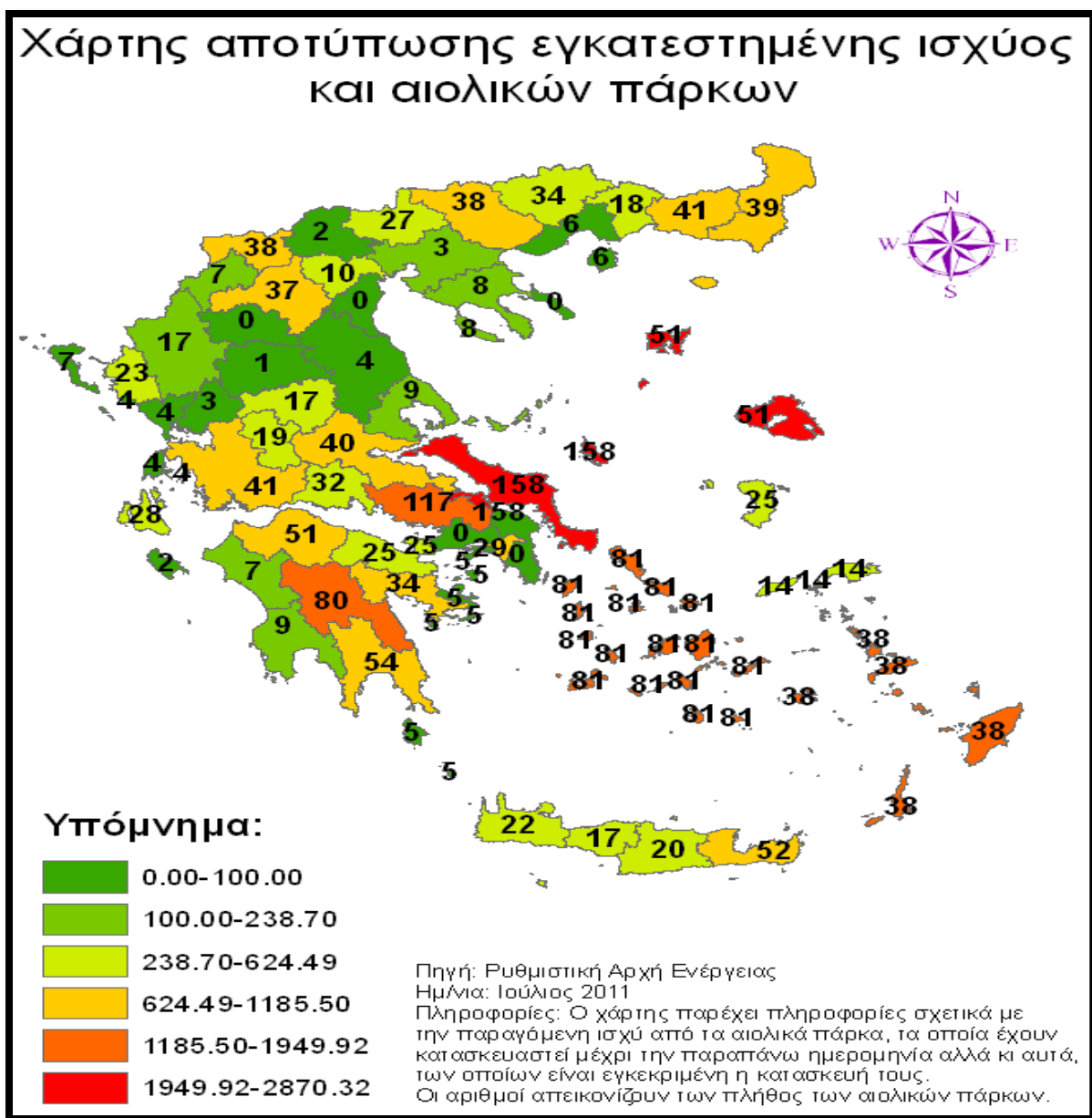
Στον πίνακα 4.2. αναγράφεται αναλυτικά τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν, η ανάλυση πλέγματος, οι χρονικές περίοδοι και οι μεταβλητές που εξετάζονται:

Κλιματικό Μοντέλο	Ανάλυση Πλέγματος (deg)	Χρονική Περίοδος	Άνεμος	Ηλιακή Ακτινοβολία
CCSM3	1.406 x 1.406	2011-2030	-	+
	1.406 x 1.406	2046-2065	-	+
	1.406 x 1.406	2080-2099	-	+
HADGEM1	1.25 x 1.875	2011-2030	+	+
	1.25 x 1.875	2046-2065	+	+

Πίνακας 4.2. Τα κλιματικά χρησιμοποιούμενα μοντέλα στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, η ανάλυση πλέγματος τους και οι εξεταζόμενες χρονικές περίοδοι και μεταβλητές

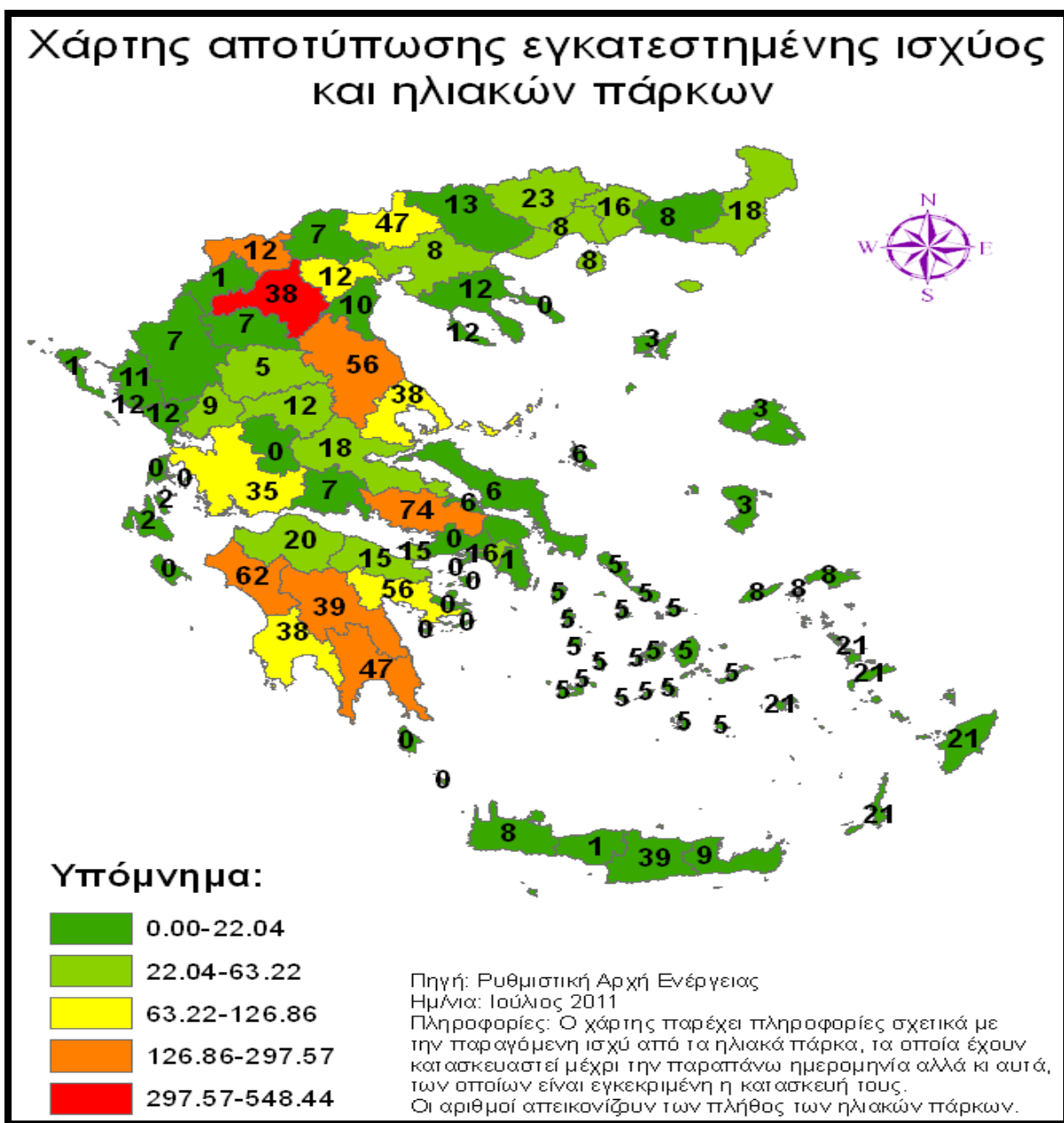
Κατά συνέπεια, παρατηρείται ότι η μοναδική σύγκριση, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταξύ των δεδομένων των μοντέλων, αφορά στις μεταβολές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για τις χρονικές περιόδους 2011 – 2030 και 2046 – 2065.

Συμπερασματικά, πραγματοποιείται προσπάθεια σύγκρισης της σημερινής εγκατεστημένης ισχύος και της θετικά εγκεκριμένης προς εγκατάσταση ισχύος, η οποία παράγεται από τις δύο προαναφερθείσες μορφές των Α.Π.Ε. με τις μελλοντικές τιμές που θα προκύψουν από τις προγνωστικές τιμές του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή του Ελλαδικού χώρου. Η σημερινή συνολική ισχύς παρατίθεται παρακάτω με τη μορφή χαρτών, οι οποίοι επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα ArcMap 9.2:



Χάρτης 4.1.:Ετήσια παραγόμενη ισχύς (MW) από τον άνεμο και πλήθος εγκατεστημένων αιολικών πάρκων στον Ελλαδικό Χώρο.

Από τον παραπάνω χάρτη προκύπτει, ότι η μέση παραγόμενη ισχύς ανά νομό ετησίως κυμαίνεται από 240 MW έως 1200 MW, οποίες απεικονίζονται με σκούρο κίτρινο και ανοιχτό πορτοκαλί χρώμα. Οι περιοχές, οι οποίες σήμερα έχουν τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ απεικονίζονται με πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα. Οι περιοχές με το πράσινο χρώμα και την ανοιχτή απόχρωση έχουν μικρές τιμές εγκατεστημένης ισχύος, πλην όμως είναι πολλές σε αριθμό.



Χάρτης 4.2.:Ετήσια παραγόμενη ισχύς (MW) από την ηλιακή ακτινοβολία και πλήθος εγκατεστημένων ηλιακών πάρκων στον Ελλαδικό Χώρο.

Από τον παραπάνω χάρτη προκύπτει, ότι η μέση παραγόμενη ισχύς ανά νομό ετησίως κυμαίνεται από 50 MW έως 150 MW. Παρατηρούνται πολλές περιοχές με πράσινο χρώμα με μικρή εγκατεστημένη ισχύ, ενώ οι περιοχές με τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ απεικονίζονται με πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα. Οι περιοχές με το κίτρινο απεικονίζουν τον μέσο όρο παραγόμενη ισχύος ανά νομό.

4.2. Προγνωστικά μοντέλα

Τα μοντέλα, από τα οποία αντλήθηκαν οι προγνωστικές τιμές των μεταβλητών είναι το Community Climate System Model Version 3 (CCSM3) από το National Center for Atmospheric Research (NCAR) και το Hadley Centre Global Environmental Model, version 1 (HADGEM1) από το United Kingdom Meteorological Office (UKMO). Η πλεγματική ανάλυση, η οποία ήταν η μέγιστη δυνατή συγκριτικά με τα υπόλοιπα προγνωστικά μοντέλα, αποτέλεσε τον λόγο για τον οποίο επιλέχθησαν τα μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, η πλεγματική ανάλυση είναι $128 \times 256 \text{ km}^2$ και $145 \times 192 \text{ km}^2$ για το πρώτο και δεύτερο ατμοσφαιρικό μοντέλο, αντίστοιχα. Η ανάλυση μπορεί να εκφραστεί διαφορετικά σε μοίρες. Αναλυτικότερα, για το κλιματικό μοντέλο CCSM3 η ανάλυση είναι $1,406^\circ \times 1.406^\circ$, ενώ για το μοντέλο HADGEM1 $1.25^\circ \times 1.875^\circ$.

4.3. Μεταβλητές

Οι μελλοντικές μεταβολές των τιμών του ανέμου και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έχουν ως κοινή περίοδο αναφοράς την περίοδο 1961-1990, η οποία έχει οριστεί από την IPCC.. Επιπροσθέτως, οι χάρτες, οι οποίοι προκύπτουν κατόπιν επεξεργασίας μέσω του προγράμματος Integrated Data Viewer 2.8u1 (IDV), δείχνουν τις μεταβολές των μηνιαίων τιμών των μεταβλητών για όλες τις χρονικές περιόδους που εξετάζονται σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Ειδικότερα, για τη μεταβλητή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με βάση το μοντέλο HADGEM1 προκύπτουν 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2011 - 2030 και 12 χάρτες για το χρονικό διάστημα 2046 - 2065, ενώ για το μοντέλο CCSM3 προκύπτουν επιπλέον 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2080 - 2099. Ο άνεμος αναλύεται για τις δύο πρώτες χρονικές περιόδους από το μοντέλο HADGEM1.

4.3.1. Μεθοδολογία της επεξεργασίας των χαρτών

Από το σύνολο των 84 χαρτών που παρήχθησαν κατόπιν αξιολόγησης θα αναφερθούν οι χάρτες, οι οποίοι παράγουν σημαντικό αποτέλεσμα συγκριτικά με τη μεταβολή τους. Οι χάρτες, οι οποίοι παρήχθησαν και αναλύονται παρακάτω απεικονίζουν την ποσοστιαία μεταβολή της μεταβλητής, η οποία εκφράζεται σε μηνιαία βάση. Επομένως οι μονάδες εκφράζονται σε επί τοις εκατό.

Η ποσοστιαία μεταβολή μίας μεταβλητής ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς της τιμής της μεταβλητής μεταξύ του χρονικού διαστήματος που μελετάται και τη χρονική περίοδο αναφοράς με την τιμή στην χρονική περίοδο αναφοράς. Το κλάσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με 100, ώστε η ποσοστιαία μεταβολή να είναι εκφρασμένη σε %. Για παράδειγμα, η ποσοστιαία μεταβολή $P_{2080-2099}$ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας την περίοδο 2080-2099 ισούται με:

$$P_{2080-2099}(\%) = \frac{\Delta\eta_{(2080-2099)} - (1961-1990)}{\eta_{1961-1990}} * 100\% =$$

$$\frac{\Delta\eta_{(2080-2099)} - (1961-1990)}{\eta_{2080-2099} - \Delta\eta_{(2080-2099)} - (1961-1990)} * 100\%$$

όπου $\Delta\eta_{(2080-2099)} - (1961-1990)$, η μεταβολή της τιμής μεταξύ των χρονικών περιόδων 1961-1990 και 2080-2099

$\eta_{1961-1990}$, η τιμή της μεταβλητής την χρονική περίοδο 1961-1990

και $\eta_{2080-2099}$, η τιμή της μεταβλητής την χρονική περίοδο 2080-2099.

Η μεθοδολογία, η οποία ακολουθείται, είναι ίδια για κάθε εξεταζόμενη μεταβλητή οποιαδήποτε χρονική περίοδο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους χάρτες, οι οποίοι παρατίθενται στη συνέχεια του κεφαλαίου. Από τους χάρτες αυτούς θα παρατεθούν αυτοί με τις σημαντικότερες μεταβολές των εξεταζόμενων μεταβλητών. Από τις χωροχρονικές μεταβολές του επιφανειακού ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας θα εκτιμηθούν οι μεταβολές της παραγόμενης ισχύος στις θέσεις των ήδη εγκατεστημένων και εγκεκριμένων για εγκατάσταση αιολικών και ηλιακών πάρκων.

Ο άνεμος εκφράζεται σε $m s^{-1}$, ενώ η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε Wm^{-2} . Όσον αφορά στην ισχύ, τα δεδομένα της PAE είναι σε MW. Επιπροσθέτως, στα δεδομένα της PAE αναφέρεται ο αριθμός των αιολικών και ηλιακών πάρκων ανά νομό, όχι όμως κι ο αριθμός των ανεμογεννητριών ή των φωτοβολταϊκών που είναι εγκατεστημένα στα πάρκα αυτά. Συνεπώς, στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται όχι μόνο η ύπαρξη τυχόν μεταβολής των εξεταζόμενων μεταβλητών, αλλά και το μέγεθος της μεταβολής αυτής στις τέσσερις προαναφερθείσες χωρικές ενότητες του Ελλαδικού χώρου για την περίπτωση μίας πρότυπης ανεμογεννήτριας και ενός πρότυπου φωτοβολταϊκού συστήματος τυπικής έκτασης $1 m^2$ σε ετήσια βάση. Εν κατακλείδι, θα παρατεθούν στοιχεία για τη μελλοντική συμπεριφορά της

απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ανάλογα με την εξεταζόμενη περιοχή και χρονική περίοδο.

Σε κάθε χρονική περίοδο και για κάθε μεταβλητή υπολογίστηκε η διαφορά της παραγόμενης ισχύος μίας πρότυπης ανεμογεννήτριας και ενός πρότυπου φωτοβολταϊκού συστήματος τυπικής έκτασης 1 m^2 . Εκτός από τη μεθοδολογία, η οποία ακολουθείται σε κάθε μεταβλητή ξεχωριστά, είναι δόκιμο να αναλυθεί με ποιον τρόπο προέκυψαν οι τιμές της ετήσιας παραγόμενης ισχύος και για τις δύο μεταβλητές.

Αρχικά, μέσω του προγράμματος Integrated Data Viewer 2.8u1 (IDV) παρήχθησαν οι χάρτες των μεταβολών των τιμών, οι οποίοι είναι υπολογισμένοι σε μηνιαία βάση για κάθε μελετώμενη χρονική περίοδο. Κατόπιν εξαγωγής των πλεγματικών δεδομένων σε περιβάλλον Excel, υπολογίστηκαν τα αθροίσματα των μηνιαίων τιμών των μεταβολών των μεταβλητών για κάθε μελετώμενη χρονική περίοδο και για κάθε σημείο του πλέγματος του κλιματικού μοντέλου. Σημειώνεται ότι η αντιστοιχία των μηνιαίων τιμών με τα σημεία του πλέγματος είναι δεδομένη. Έτσι προέκυψαν οι ετήσιες τιμές των μεταβολών των μεταβλητών για κάθε χρονική περίοδο.

Όπως αναλύθηκε και στην παράγραφο 4.1, η Ελλάδα χωρίστηκε σε περιοχές, οι οποίες ορίζονται από σημεία του πλέγματος. Ο μέσος όρος των ετήσιων τιμών των μεταβολών των μεταβλητών μπορεί να υπολογισθεί για κάθε ορισμένη περιοχή, καθώς είναι γνωστές οι τιμές των μεταβολών των μεταβλητών αλλά και σε ποια γεωγραφική θέση αντιστοιχούν. Επιπρόσθετα, με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών των μηνιαίων μεταβολών για κάθε περιοχή του Ελλαδικού χώρου. Συμπερασματικά, μπορεί από τα παραπάνω να υπολογισθεί ο μέσος όρος της μηνιαίας και ετήσιας μεταβολής της μεταβλητής για κάθε περιοχή του Ελλαδικού χώρου σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο. Κατ' ακολουθία, με βάση τον τρόπο υπολογισμού της παραγόμενης ισχύος μίας πρότυπης ανεμογεννήτριας ή ενός πρότυπου φωτοβολταϊκού συστήματος τυπικής έκτασης 1 m^2 , μπορεί αντίστοιχα να υπολογισθεί η μηνιαία και η ετήσια μεταβολή της παραγόμενης ισχύος για κάθε περιοχή του Ελλαδικού χώρου σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο.

4.3.2. Άνεμος

Ο άνεμος και οι μεταβολές του υπολογίστηκαν από το προγνωστικό μοντέλο του HADGEM1, αφού από τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το μοναδικό, το οποίο

επεξεργάζεται τις τιμές της μεταβλητής αυτής. Έτσι, η μοναδική σύγκριση, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι μεταξύ των χρονικών περιόδων 2011 – 2030 και 2046 – 2065.

Στη συνέχεια της εργασίας θα παρατεθούν χάρτες με τις αξιοσημείωτες μεταβολές της μεταβλητής του ανέμου, καθώς κι ένας πίνακας με τα στοιχεία μεταβολής της ισχύος μίας τυπικής ανεμογεννήτριας ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται, αλλά και την μελετώμενη χρονική περίοδο. Η διαφορά της παραγόμενης ισχύος ΔP σε ετήσια βάση υπολογίζεται από τη σχέση 3.17 του Κεφαλαίου 3:

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * A * \Delta U^3 * C_p \quad (3.17),$$

Όπου ρ : η πυκνότητα του αέρα ίση με $\rho \approx 1,25 \text{ kgm}^{-3}$

A : η επιφάνεια του ρότορα σε m^2

C_p : ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος ($C_{pmax} = 0,593$)

ΔU : η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου

Αναλυτικότερα, η σχέση 3.17 για μία τυπική Α/Γ με ακτίνα $R = 25 \text{ m}$ και $C = 0.4$ γίνεται:

$$\Delta P = 0.5 * 1.25 * \pi * 25 * 25 * 0.4 * \Delta U^3 = 490.87 * \Delta U^3 \text{ (W)} = 0.491 * \Delta U^3 \text{ (MW)}$$

Οι πίνακες 4.3, 4.5 αφορούν στη σημερινή ετήσια εγκατεστημένη ισχύ, στο πλήθος των πάρκων, στην ετήσια μεταβολή της ισχύος για κάθε γεωγραφική ενότητα για τις χρονικές περιόδους 2011-2030 και 2046-2065, αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, παρατίθενται οι πίνακες 4.4 και 4.6, οι οποίοι παρουσιάζουν τη μηνιαία μεταβολή της ισχύος για κάθε γεωγραφική ενότητα για τις χρονικές περιόδους 2011-2030 και 2046-2065, αντίστοιχα.

Σημειώνεται, ότι η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος και παράγεται από την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των συνιστωσών του ανέμου. Επομένως, η κατεύθυνση του διανύσματος εκφράζεται αλγεβρικά πολλαπλασιάζοντας το μέτρο του διανύσματος με την εφαπτομένη της γωνίας μεταξύ του διανύσματος και της συνιστώσας του δυτικοανατολικού ανέμου και διαιρώντας με την απόλυτη τιμή της εφαπτομένης της παραπάνω γωνίας. Έτσι πρόεκυψαν αρνητικές τιμές στους πίνακες της ετήσιας και μηνιαίας μεταβολής της ισχύος. Στους χάρτες μεταβολής του ανέμου υπάρχουν μόνο θετικές τιμές αφού το πρόσημο των διανυσμάτων υποδηλώνεται από τη φορά (βέλη) των διανυσμάτων.

4.3.2.1. Ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος από το HADGEM1

4.3.2.1.1. Χρονική περίοδος 2011 – 2030

Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Α/Γ (KW)
Ανατολική Ελλάδα	14842.03	704	2.14
Βόρεια Ελλάδα	7584.25	308	1.50
Δυτική Ελλάδα	4513.25	224	0.27
Νότια Ελλάδα	5324.85	212	2.87

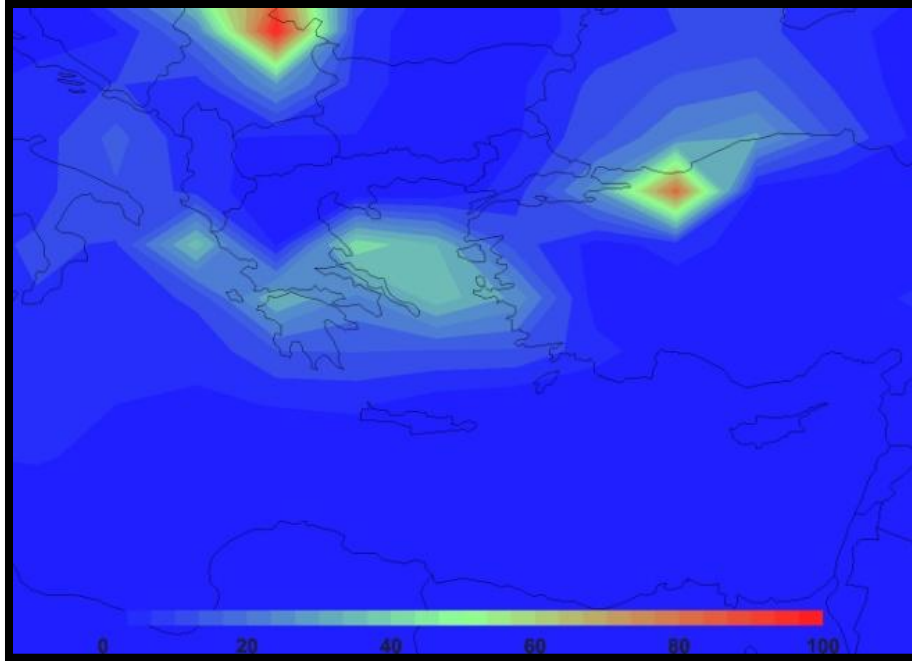
Πίνακας 4.3.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030

Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	89.7	-0.7	9.0	4.4	3.3	0.0	40.3	2.2	12.3	-3.2	166.1	3.1
Β.Ελλάδα	-32.7	5.8	17.7	-1.2	1.5	-0.1	27.1	1.0	1.8	-1.5	6.7	3.6
Δ.Ελλάδα	101.9	-4.7	-26.2	-7.1	8.1	0.9	20.2	0.5	16.0	-19.7	81.3	1.6
Ν.Ελλάδα	75.3	-22.6	-9.3	-34.9	-10.0	1.9	6.9	22.8	12.6	-22.8	518.4	108.9

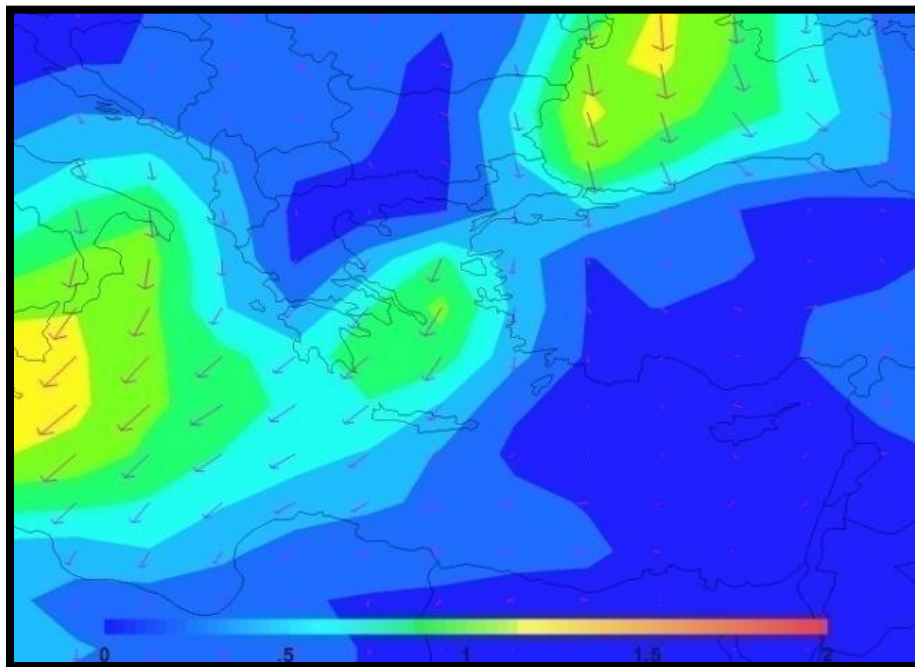
Πίνακας 4.4.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030

Η μεγαλύτερη μεταβολή της ετήσιας ισχύος μίας πρότυπης Α/Γ εντοπίζεται στην περιοχή της νότιας Ελλάδας, ενώ η δεύτερη μεγαλύτερη μεταβολή στην περιοχή της ανατολικής, στην οποία είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο μέρος της αιολικής ενέργειας. Αναφορικά στη μηνιαία μεταβολή της ισχύος οι μήνες με τις πιο αξιοσημείωτες μεταβολές παρατηρούνται στους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο και Νοέμβριο. Αυτό επιβεβαιώνεται και στους χάρτες μεταβολής του ανέμου.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά έξι χάρτες, οι οποίοι αφορούν σε διαφορετική εποχή του έτους, αντίστοιχα. Οι τρεις παρουσιάζουν τη ποσοστιαία μεταβολή της μεταβλητής, ενώ οι υπόλοιποι τη μεταβολή του ανέμου στους ίδιους μήνες αντίστοιχα. Η μέθοδος, η οποία ακολουθήθηκε, αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4.3.1.:



(α)

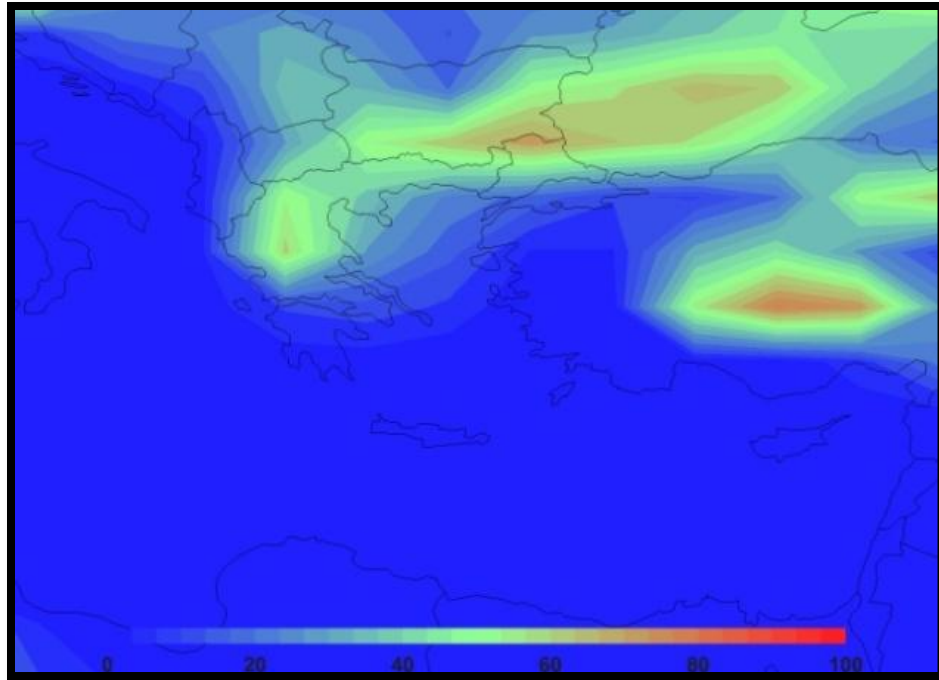


(β)

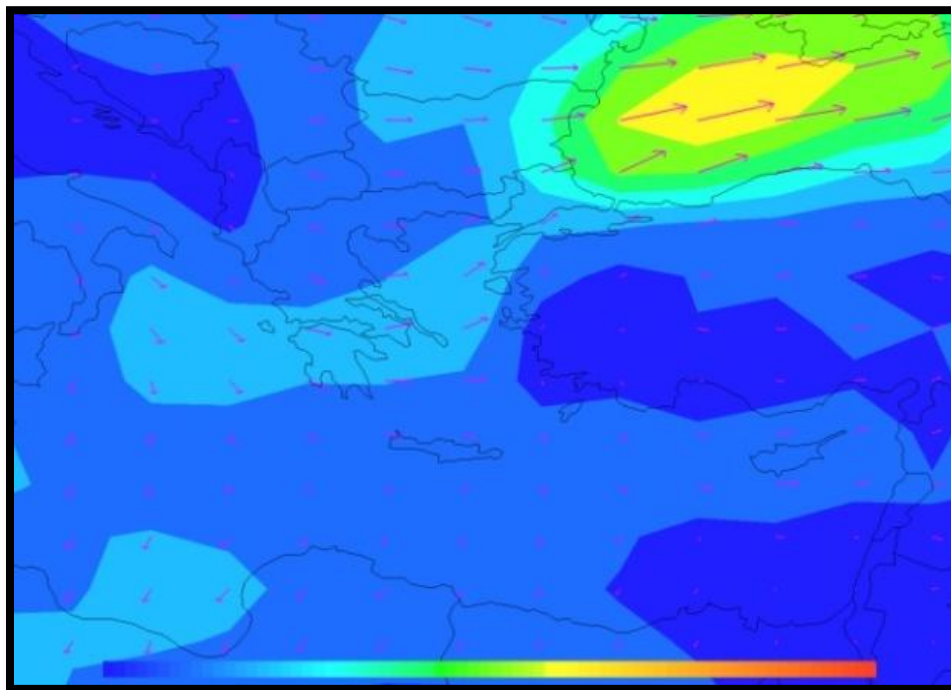
Χάρτης 4.3.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Ιανουάριο του χρονικού διαστήματος 2011–2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961–1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1})

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)

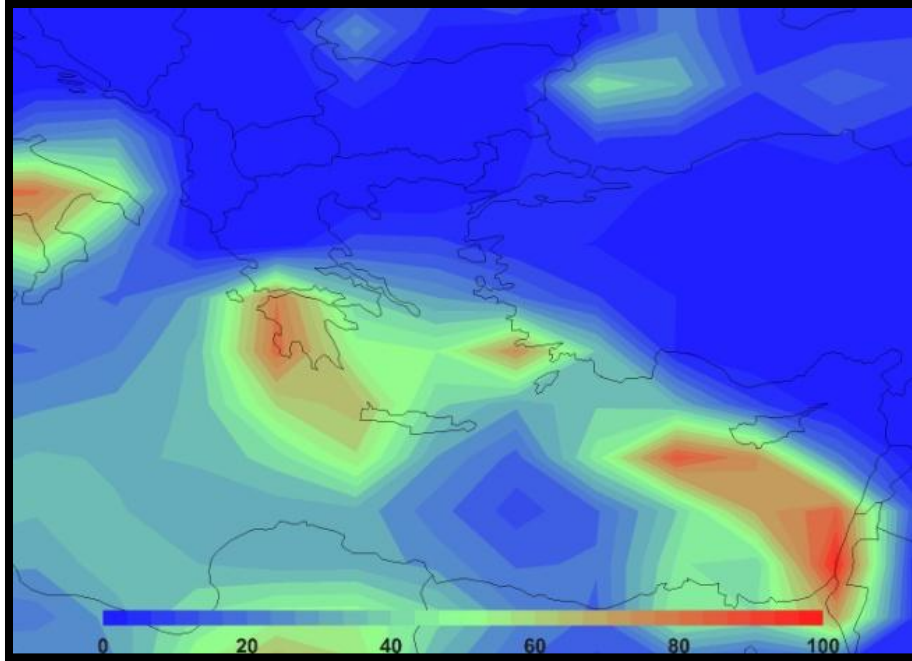


(β)

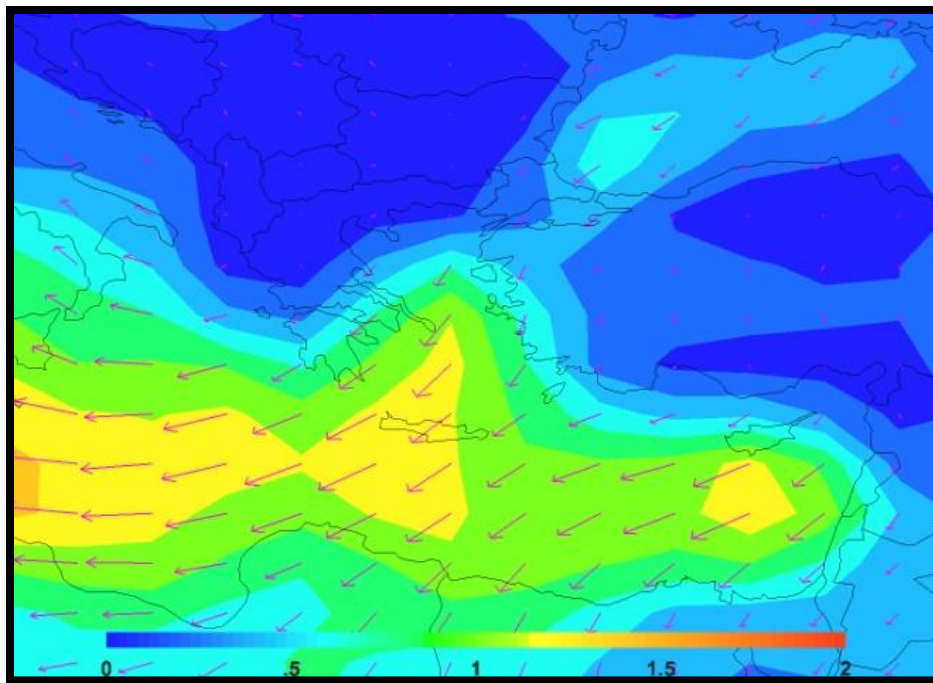
Χάρτης 4.4.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961 – 1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα ($m s^{-1}$)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)



(β)

Χάρτης 4.5.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Νοέμβριο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα ($m s^{-1}$)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.2.1.2. Χρονική περίοδος 2046 – 2065

Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Α/Γ (KW)
Ανατολική Ελλάδα	14842.03	704	-0.17
Βόρεια Ελλάδα	7584.25	308	-0.81
Δυτική Ελλάδα	4513.25	224	-0.28
Νότια Ελλάδα	5324.85	212	0.39

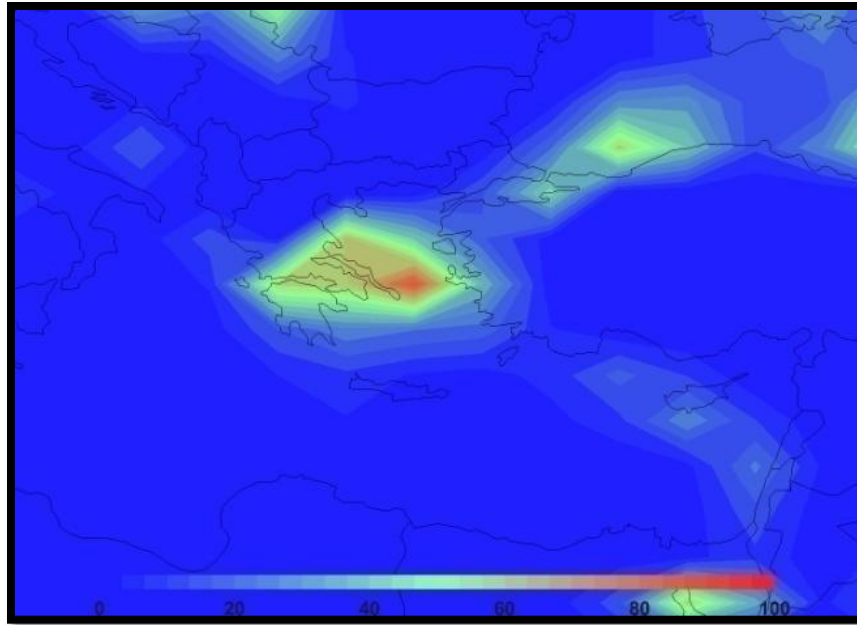
Πίνακας 4.5: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065

Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	-66.0	-0.8	16.3	22.4	20.4	-5.8	11.5	-3.2	-5.0	0.1	30.9	25.8
Β.Ελλάδα	29.0	1.1	27.6	2.0	8.8	12.8	17.9	38.0	-9.5	-0.1	1.6	-4.6
Δ.Ελλάδα	-189.3	-0.6	73.9	21.8	53.6	-7.1	50.9	-36.3	-19.1	4.1	50.4	35.9
Ν.Ελλάδα	-198.2	28.7	29.9	41.2	114.0	-1.9	28.3	-28.0	-5.9	35.7	421.5	245.3

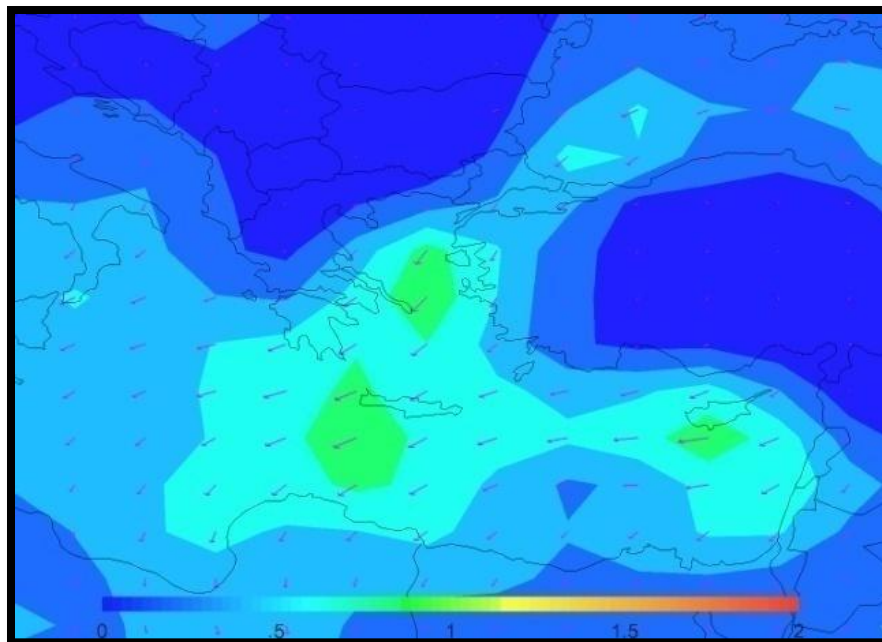
Πίνακας 4.6: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπη Α/Γ σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065

Κατά τη σύγκριση των μεταβολών της ισχύος για μία πρότυπη Α/Γ παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων 2011-2030 και 2046-2065. Οι τιμές της μεταβολής της ετήσιας ισχύος για μία πρότυπη Α/Γ είναι μειωμένες κατά την χρονική περίοδο 2046-2065 σε όλες τις περιοχές του ελλαδικού χώρου σε σχέση με τη χρονική περίοδο 2011-2030. Αναλυτικότερα, η μεταβολή της παραγόμενης ισχύος είναι αρνητική. Όμως οι τιμές είναι σχεδόν μηδενικές. Συμπερασματικά δεν παρατηρείται μεταβολή συγκριτικά με την χρονική περίοδο αναφοράς.

Ακολουθεί η παράθεση χαρτών όπως έγινε και στην παραπάνω χρονική περίοδο για τέσσερις μήνες με αξιόλογες μεταβολές:



(α)

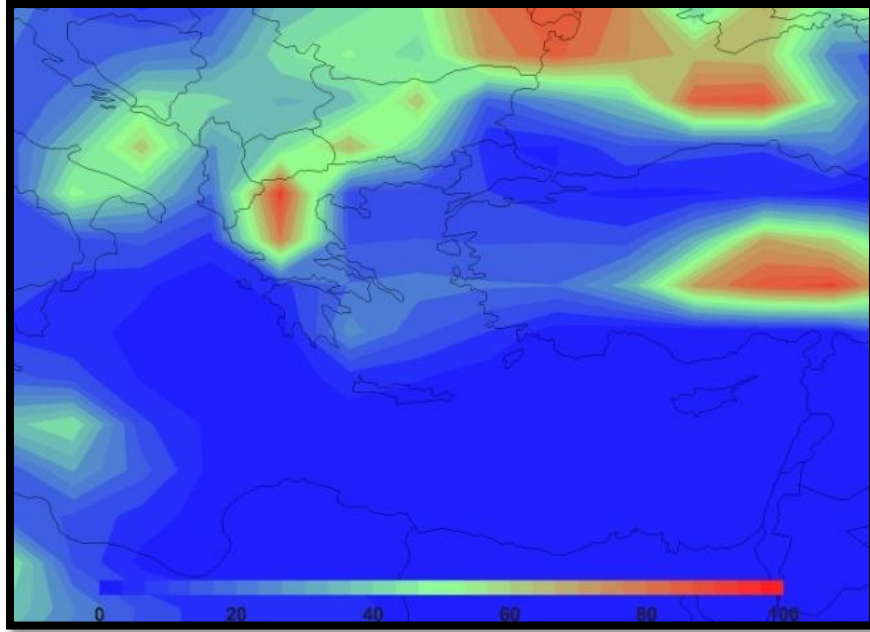


(β)

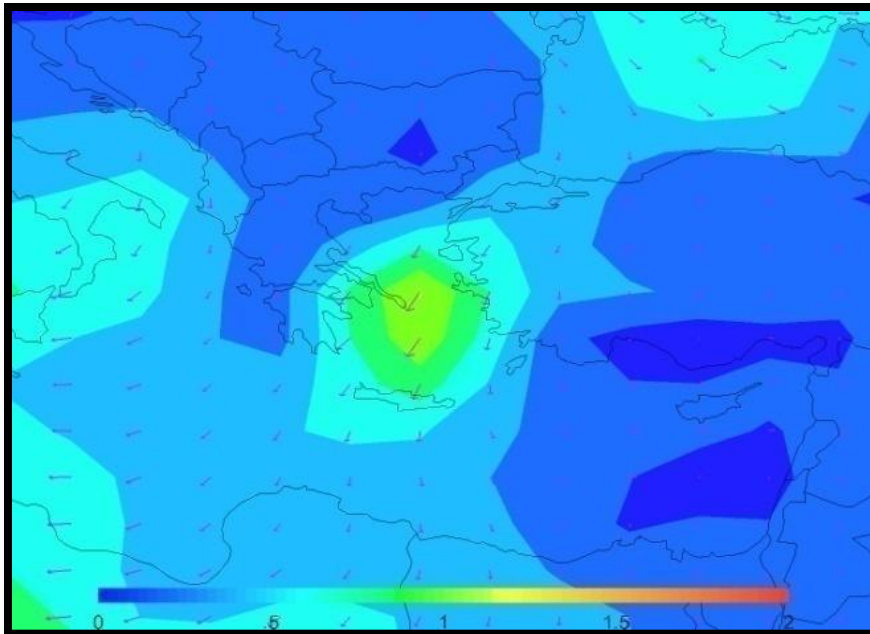
Χάρτης 4.6.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Δεκέμβριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα ($m s^{-1}$)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)

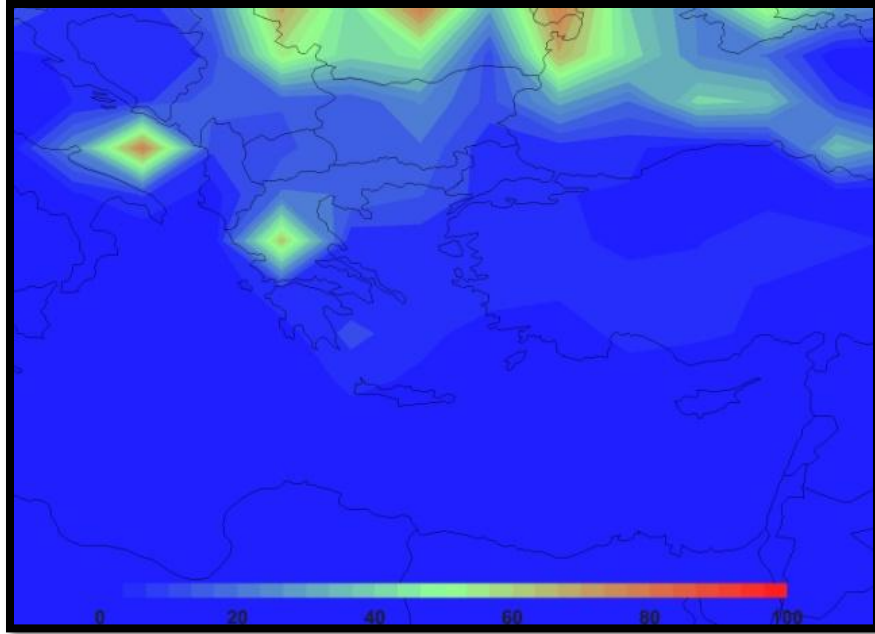


(β)

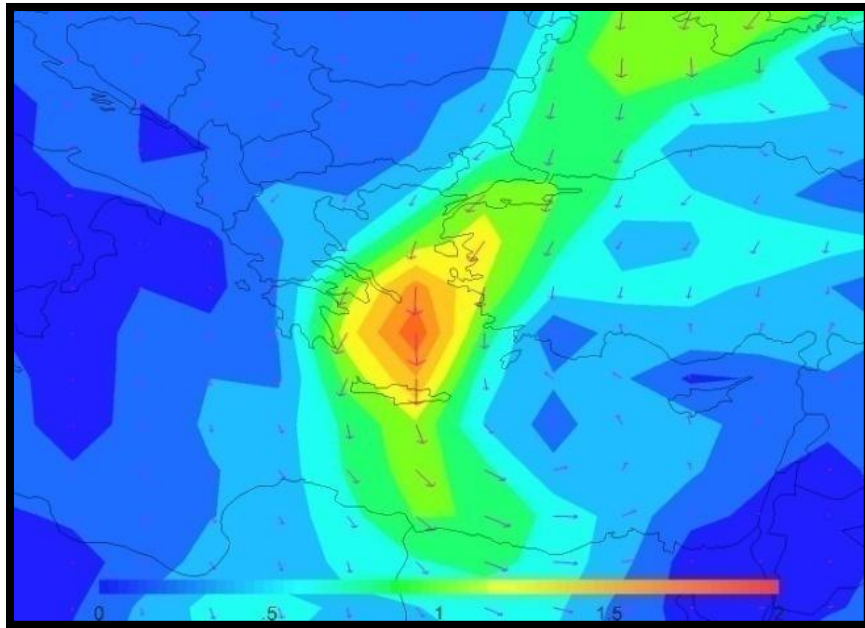
Χάρτης 4.7.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Ιανουάριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα ($m s^{-1}$)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)

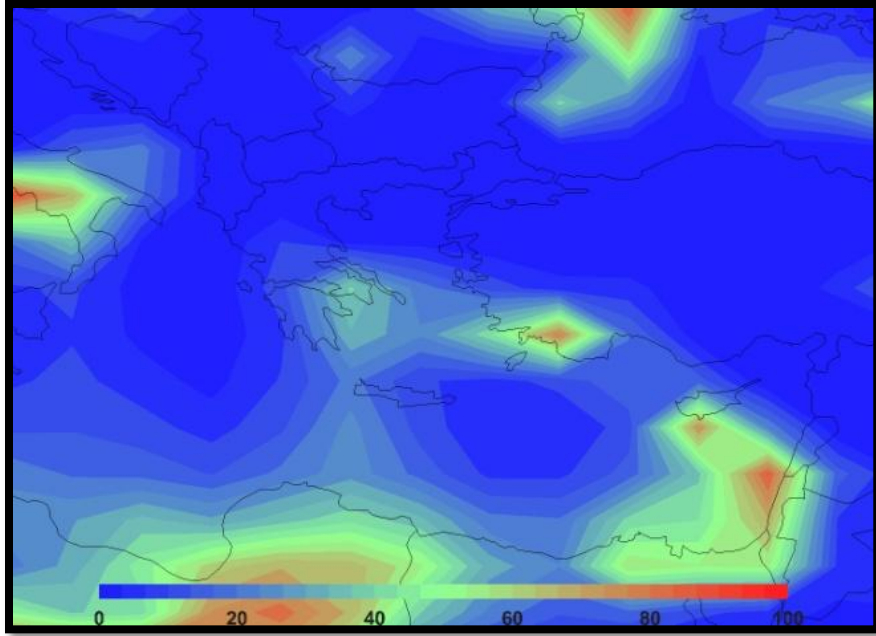


(β)

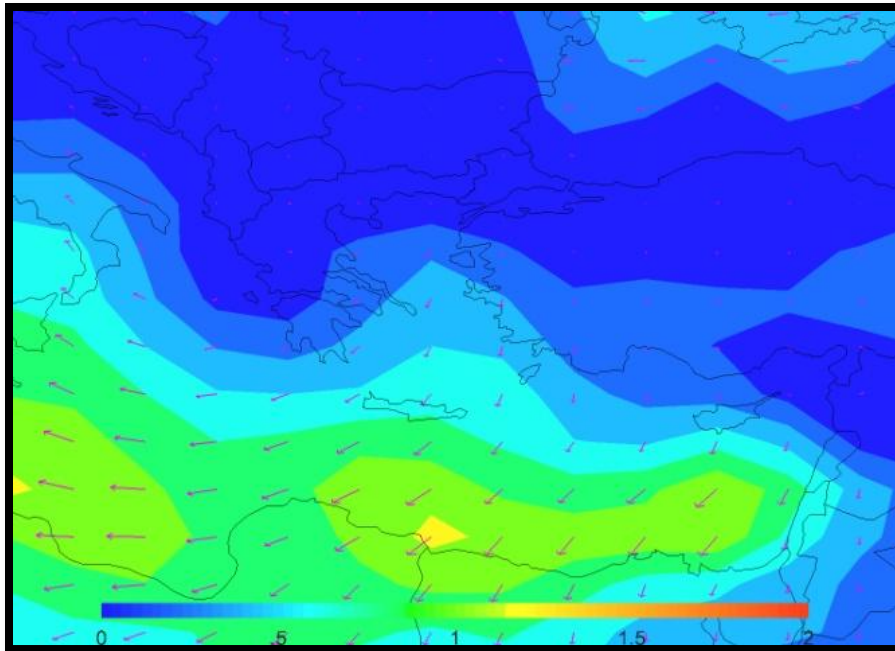
Χάρτης 4.8.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα (m s^{-1})

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)



(β)

Χάρτης 4.9.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) του ανέμου για το μήνα Νοέμβριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1

(β) Μεταβολή του ανέμου για τον ίδιο μήνα ($m s^{-1}$)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.3. Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη δεύτερη εξεταζόμενη μεταβλητή στην εργασία αυτή. Το συγκριτικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεταβλητής έναντι του ανέμου αποτελεί το γεγονός, ότι εξετάστηκε από δύο μοντέλα σε δύο χρονολογικές περιόδους, δηλαδή 2011 – 2030 και 2046 – 2065. Επίσης, το κλιματικό μοντέλο του CCSM3 παρέχει επιπλέον τις προγνώσεις για την χρονική περίοδο 2080 – 2099. Πραγματοποιείται σύγκριση των τιμών της μεταβολής της μεταβλητής για τις ίδιες χρονικές περιόδους από τα δύο διαφορετικά κλιματικά μοντέλα, έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερη και πιο αξιόπιστη ανάλυση. Στη συνέχεια της εργασίας θα παρατεθούν χάρτες με τις αξιοσημείωτες μεταβολές της μεταβλητής του ανέμου, καθώς και δύο πίνακες με τα στοιχεία μεταβολής της μηνιαίας και ετήσιας ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου 1 m² ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται, αλλά και την μελετώμενη χρονική περίοδο. Η διαφορά της παραγόμενης ισχύος ΔP σε ετήσια βάση υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta P = W * \sin\theta,$$

όπου W: η εκτιμώμενη ηλιακή ακτινοβολία (Wm⁻²),

sinθ: το ημίτονο του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής (<http://www.vision.caltech.edu>)

4.3.3.1. Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας από το CCSM3

4.3.3.1.1. Χρονική περίοδος 2011 – 2030

Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Φ/Β (W)
Ανατολική Ελλάδα	1098.05	307	3.0
Βόρεια Ελλάδα	1182.68	240	12.9
Δυτική Ελλάδα	586.49	214	11.2
Νότια Ελλάδα	371.2	163	1.4

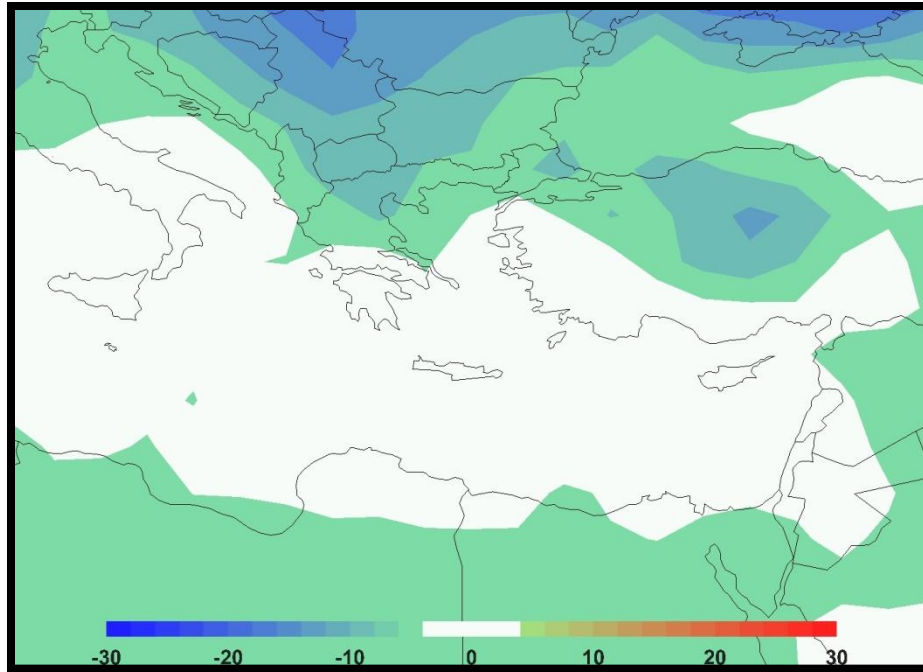
Πίνακας 4.7.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπο Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030

Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	0.0	-1.5	3.4	2.1	1.9	1.0	-3.1	2.7	3.1	4.9	7.8	4.4
Β.Ελλάδα	-1.5	-1.2	5.9	3.9	2.4	3.9	-0.8	18.4	18.8	20.7	23.8	20.2
Δ.Ελλάδα	-0.7	0.9	6.5	4.1	-0.4	1.8	-1.6	29.5	29.8	31.6	34.5	31.1
Ν.Ελλάδα	0.7	0.3	1.9	1.1	0.5	-0.2	-3.2	39.1	39.4	41.1	43.8	40.6

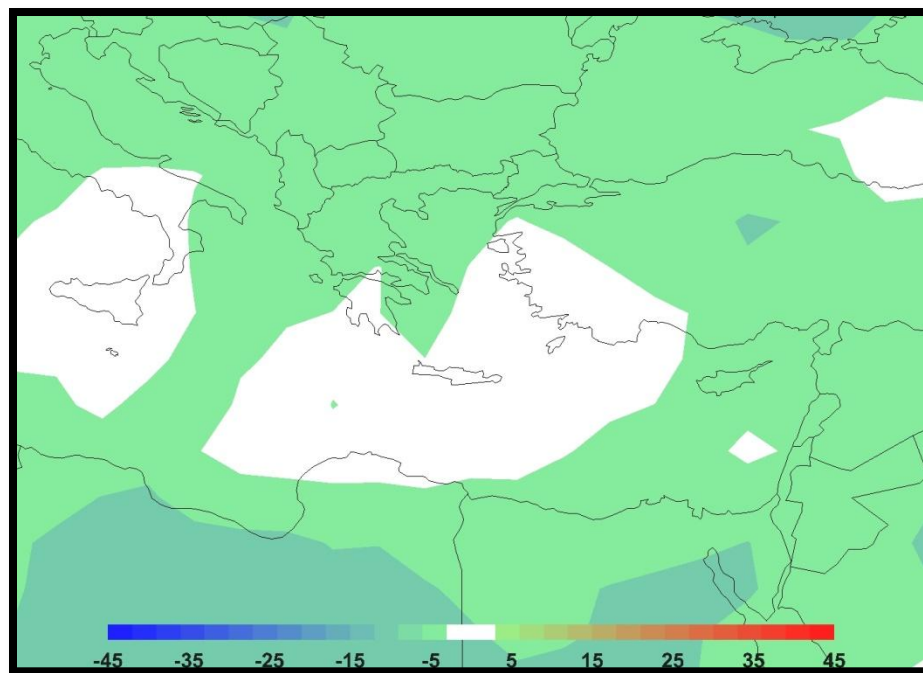
Πίνακας 4.8.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/B σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030

Η μεγαλύτερη μεταβολή αναμένεται στην περιοχή της βόρειας Ελλάδας, όπου είναι εγκατεστημένο το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ισχύος. Σημαντική αύξηση παρατηρείται και στη δυτική Ελλάδα.

Εν συνεχεία, παρατίθενται ενδεικτικά τέσσερις χάρτες, οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετική εποχή της περιόδου. Οι δύο εξ' αυτών παρουσιάζουν τη ποσοστιαία μεταβολή της μεταβλητής, ενώ οι υπόλοιποι τη μεταβολή της ακτινοβολίας στους ίδιους μήνες αντίστοιχα. Η μέθοδος, η οποία ακολουθήθηκε για την ποσοστιαία μεταβολή, αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4.3.1.:



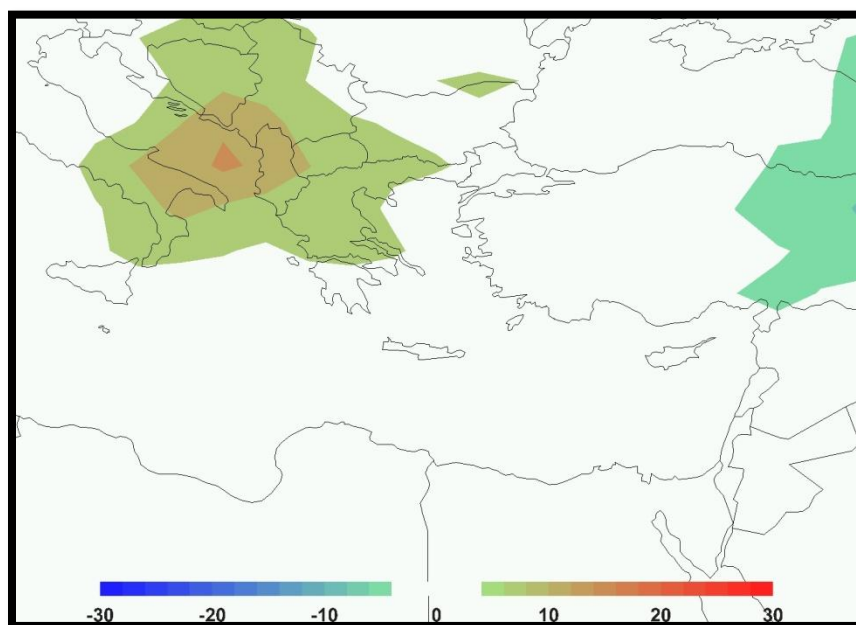
(α)



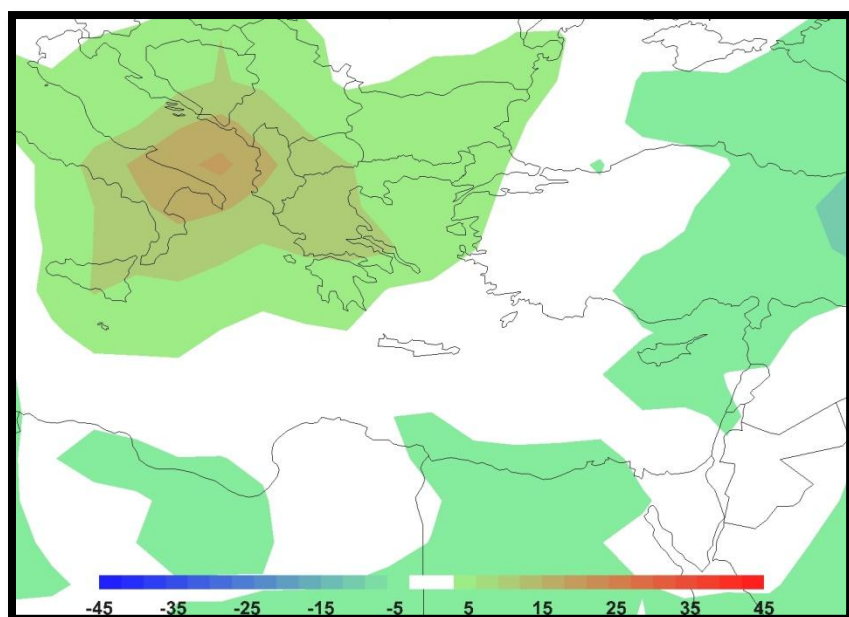
(β)

Χάρτης 4.10.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Ιανουάριο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)



(β)

Χάρτης 4.11.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.3.1.2. Χρονική περίοδος 2046 – 2065

Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Φ/Β (W)
Ανατολική Ελλάδα	1098.05	307	30.7
Βόρεια Ελλάδα	1182.68	240	38.6
Δυτική Ελλάδα	586.49	214	30.6
Νότια Ελλάδα	371.2	163	12.9

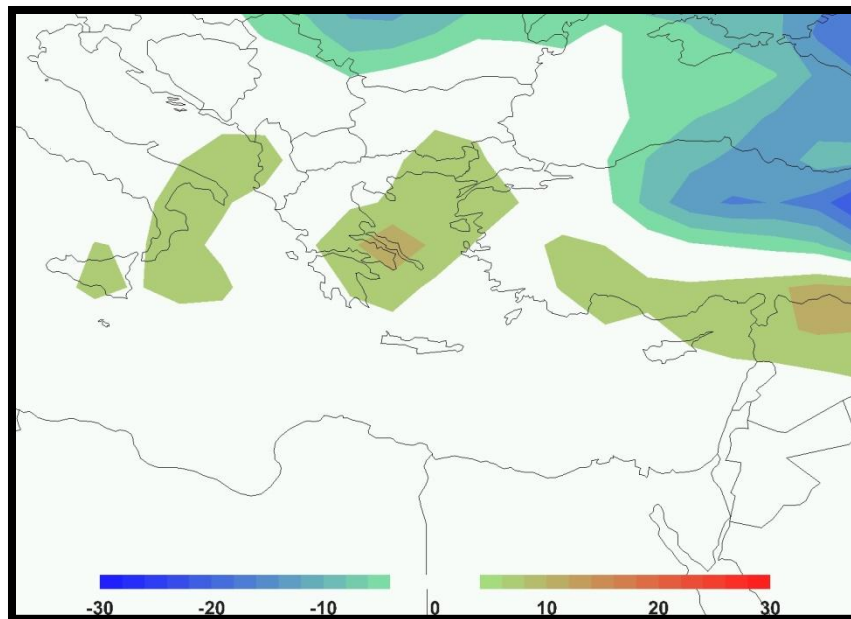
Πίνακας 4.9.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065.

Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	3.1	13.1	9.8	7.5	7.9	4.7	1.7	2.7	8.0	13.7	11.7	5.9
Β.Ελλάδα	-0.1	28.7	25.3	22.8	23.2	19.8	16.7	17.7	23.3	29.3	27.3	21.1
Δ.Ελλάδα	2.1	39.2	35.9	33.6	34.0	30.8	27.8	28.9	34.1	39.8	37.9	32.0
Ν.Ελλάδα	3.0	48.2	45.1	42.9	43.3	40.3	37.5	38.4	434.0	48.7	46.9	41.4

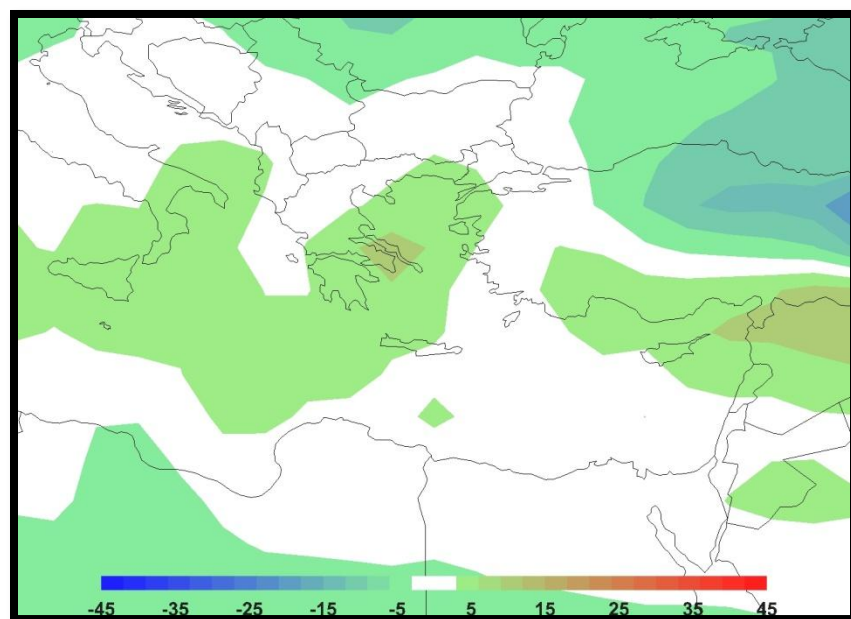
Πίνακας 4.10.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065

Κατά τη σύγκριση των δύο χρονικών περιόδων, αναμένεται αύξηση της μεταβολής της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη μονάδα Φ/Β κατά τη χρονική περίοδο 2046-2065 συγκριτικά με την περίοδο 2011-2030. Αναλυτικότερα, στην ανατολική Ελλάδα η αύξηση της μεταβολής είναι σχεδόν δεκαπλάσια από την μεταβολή της περιόδου 2011-2030. Ανάλογη αύξηση παρατηρείται στη νότια Ελλάδα, ενώ στη βόρεια και στη δυτική Ελλάδα παρατηρείται τριπλάσια μεταβολή.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά τέσσερις χάρτες, οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετική εποχή του έτους. Οι δύο εξ' αυτών παρουσιάζουν τη ποσοστιαία μεταβολή της μεταβλητής, ενώ οι υπόλοιποι τη μεταβολή της ακτινοβολίας στους ίδιους μήνες αντίστοιχα. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε, αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4.3.1.:

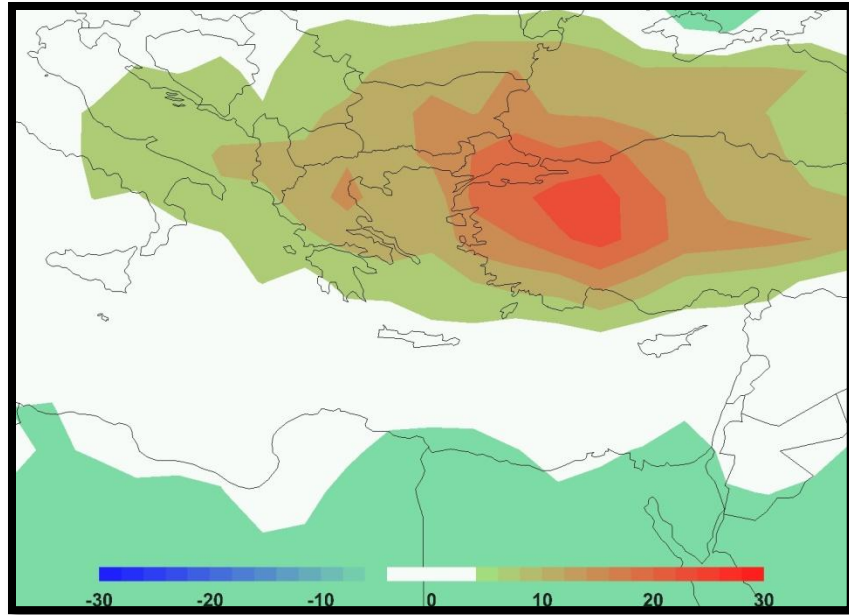


(α)

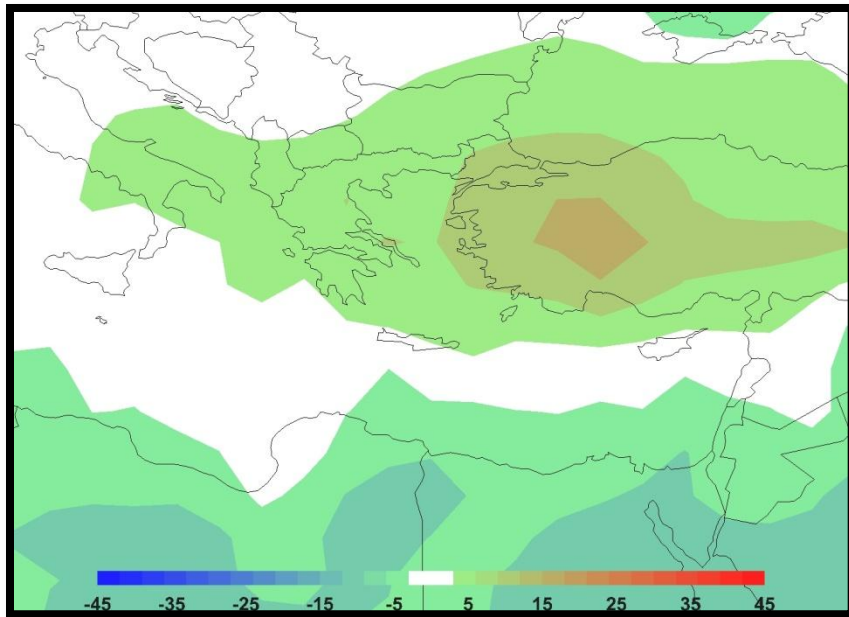


(β)

Χάρτης 4.12.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Φεβρουάριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3(β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)
 Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)



(β)

Χάρτης 4.13.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Νοέμβριο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3
 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)
 Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.3.1.3. Χρονική περίοδος 2080 – 2099

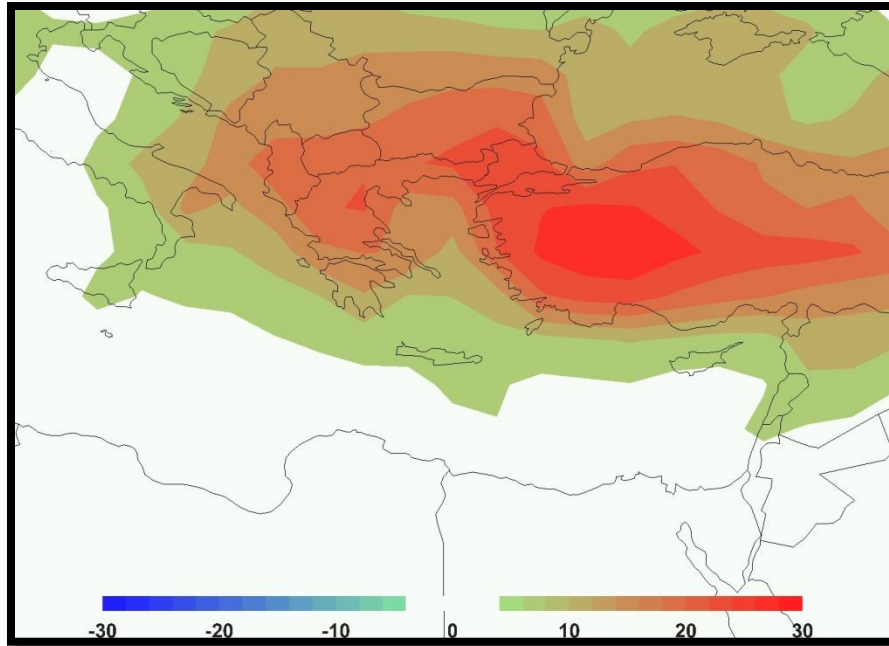
Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Φ/Β (W)
Ανατολική Ελλάδα	1098.05	307	70.3
Βόρεια Ελλάδα	1182.68	240	83.5
Δυτική Ελλάδα	586.49	214	62.7
Νότια Ελλάδα	371.2	163	35.6

Πίνακας 4.11.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2080-2099

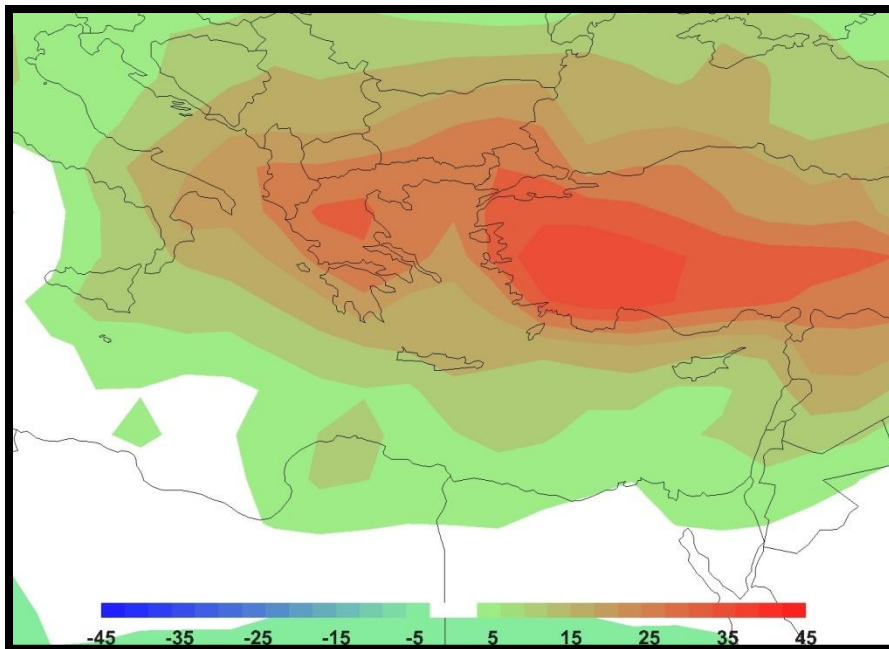
Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	3.4	12.0	22.6	11.3	11.1	12.7	4.7	5.9	9.8	16.2	11.1	6.3
Β.Ελλάδα	-1.1	27.5	38.9	26.9	26.6	28.4	19.8	21.1	25.2	32.0	26.7	21.6
Δ.Ελλάδα	0.8	38.1	48.8	37.5	37.3	38.9	30.8	32.1	35.9	42.3	37.3	32.5
Ν.Ελλάδα	3.2	47.1	57.1	46.5	46.3	47.8	40.3	41.4	45.1	51.1	46.3	41.8

Πίνακας 4.12.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2080-2099

Σε αυτήν τη χρονική περίοδο αναμένεται αύξηση της μεταβολής της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη μονάδα Φ/Β. Αναλυτικότερα, στην ανατολική και βόρεια Ελλάδα η μεταβολή της παραγόμενης ισχύος είναι σχεδόν τριπλάσια από αυτήν της περιόδου 2046-2065. Στη νότια Ελλάδα οι τιμές των μεταβολών τριπλασιάζονται συγκριτικά με τη χρονική περίοδο 2046-2065, ενώ στη δυτική Ελλάδα διπλασιάζονται οι τιμές των μεταβολών. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά τέσσερις χάρτες, οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετική εποχή του έτους. Οι δύο εξ' αυτών παρουσιάζουν τη ποσοστιαία μεταβολή της μεταβλητής, ενώ οι υπόλοιποι τη μεταβολή της ακτινοβολίας στους ίδιους μήνες αντίστοιχα. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε, αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4.3.1.:



(α)

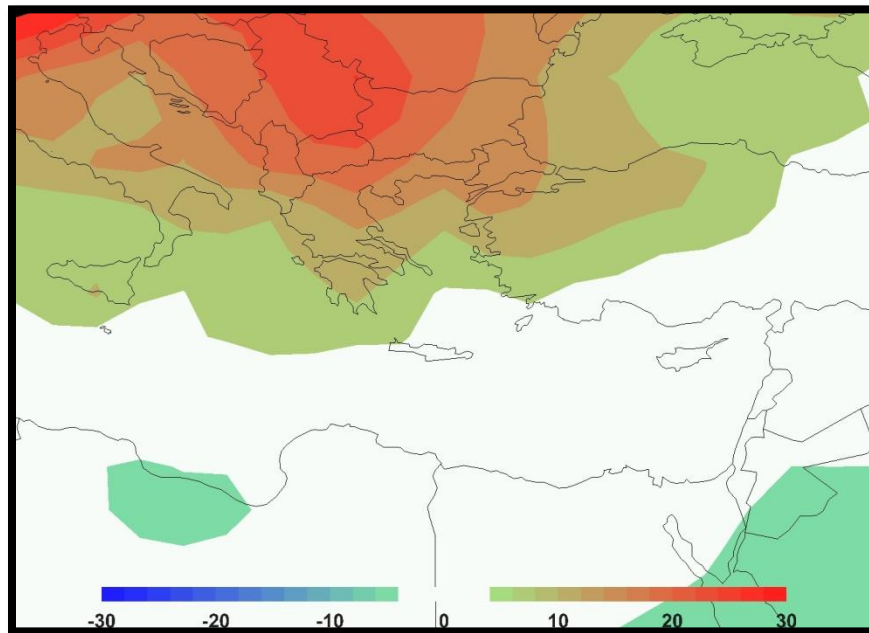


(β)

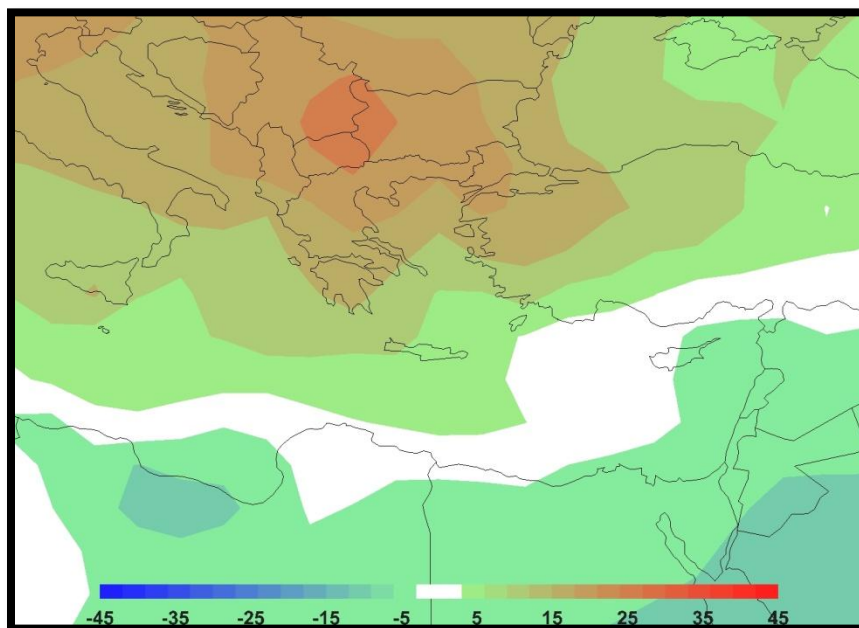
Χάρτης 4.14.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2080-2099 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

Παρακάτω παρουσιάζεται ο μήνας του Οκτωβρίου καθώς αντιπροσωπεύει όσο καλύτερα γίνεται όλη την εποχή του φθινοπώρου:



(α)



(β)

Χάρτης 4.15.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Οκτώβριο του χρονικού διαστήματος 2080-2099 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο CCSM3 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)

Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.3.2. Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας από το HADGEM1

4.3.3.2.1. Χρονική περίοδος 2011 – 2030

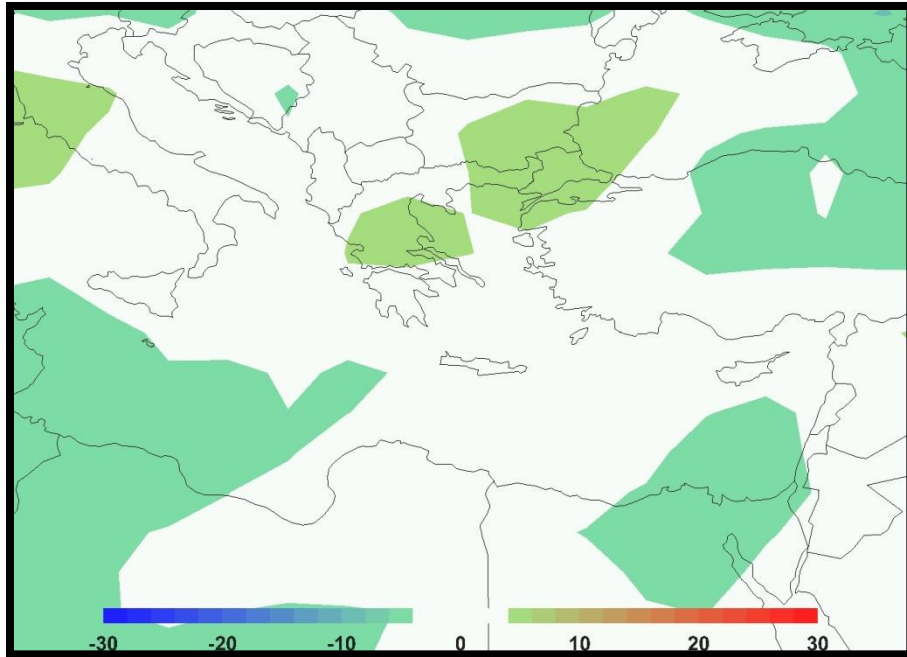
Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Φ/Β (W)
Ανατολική Ελλάδα	1098.05	307	12.6
Βόρεια Ελλάδα	1182.68	240	26.2
Δυτική Ελλάδα	586.5	214	17.3
Νότια Ελλάδα	371.2	163	10.7

Πίνακας 4.13.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/Β πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030

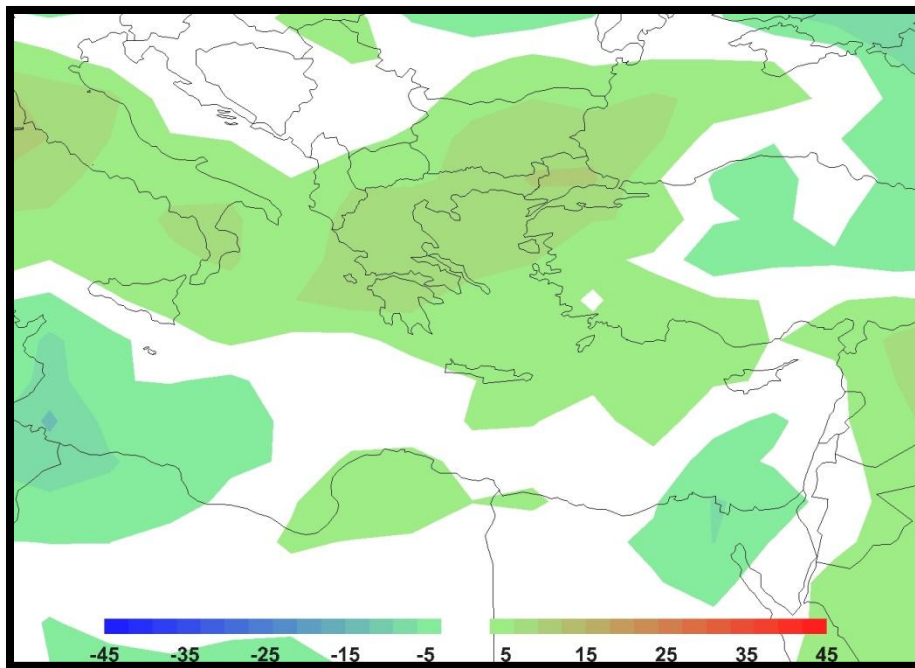
Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	0.7	3.4	7.6	0.3	4.4	6.0	1.1	3.0	5.0	4.3	2.8	3.8
Β.Ελλάδα	2.8	12.5	17.0	9.2	13.6	15.3	10.1	12.1	14.2	13.5	12.0	13.0
Δ.Ελλάδα	2.0	20.3	24.5	17.2	21.3	23.0	18.0	19.9	21.9	21.3	19.8	20.8
Ν.Ελλάδα	0.2	27.2	31.2	24.2	28.2	29.7	25.0	26.8	28.7	28.1	26.7	27.6

Πίνακας 4.14.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/Β σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2011-2030

Παρατηρείται, ότι η μεγαλύτερη αύξηση είναι στην περιοχή της βόρειας Ελλάδας. Αρκετά μεγάλη αύξηση παρουσιάζεται στην δυτική Ελλάδα, ενώ ακολουθούν η ανατολική και νότια Ελλάδα με μικρότερες μεταβολές. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της ακτινοβολίας και οι μεταβολές της ακτινοβολίας για τους μήνες Μάρτιο και Δεκέμβριο:

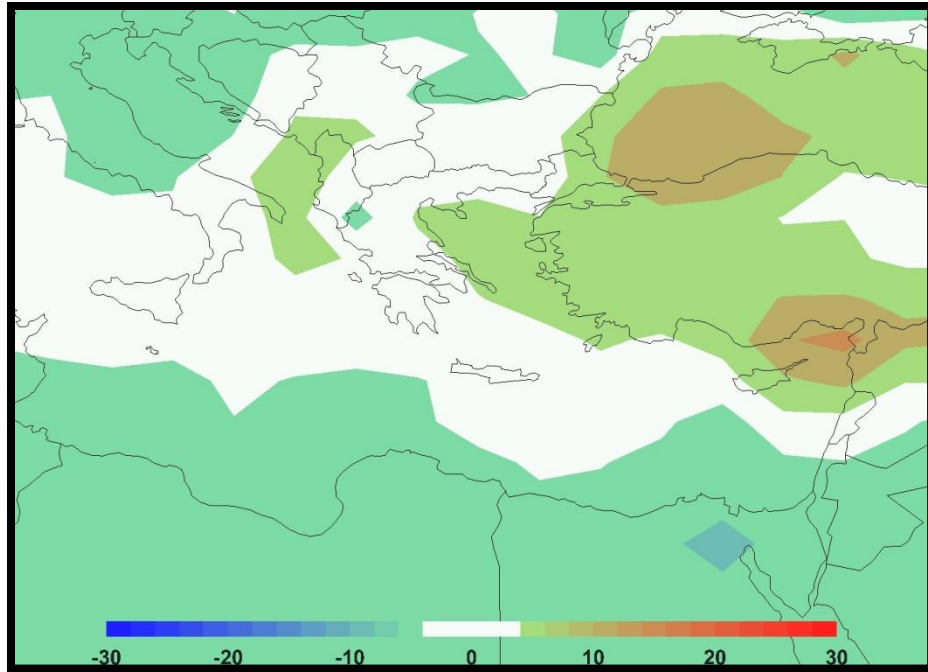


(α)

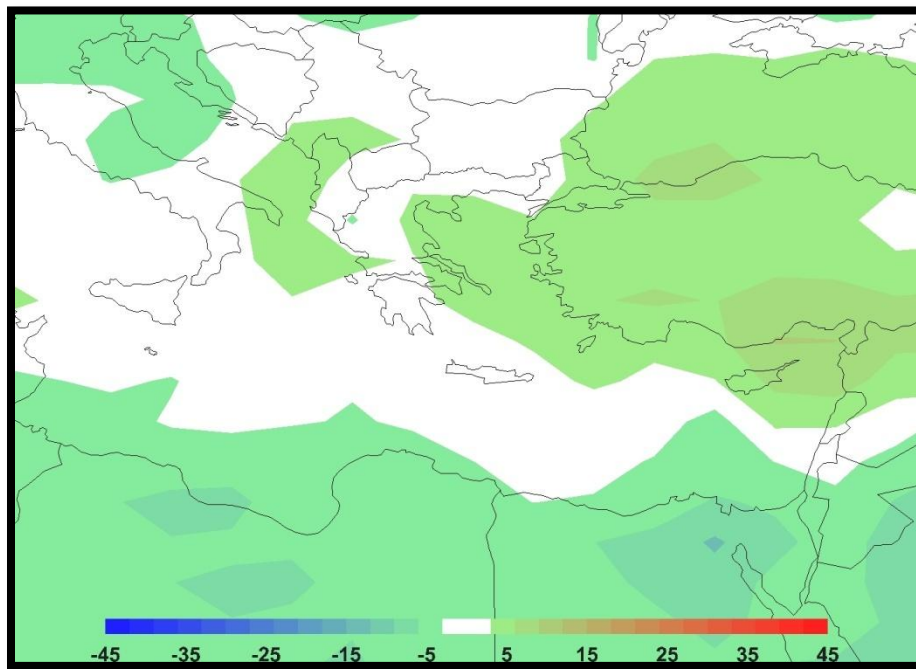


(β)

Χάρτης 4.16.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)
Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC



(α)



(β)

Χάρτης 4.17.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο του χρονικού διαστήματος 2011-2030 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1 (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)
 Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.3.2.2. Χρονική περίοδος 2046 – 2065

Περιοχή	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Πλήθος Πάρκων	Μεταβολή ανά πρότυπη μονάδα Φ/B (W)
Ανατολική Ελλάδα	1098.05	307	14.4
Βόρεια Ελλάδα	1182.68	240	30.8
Δυτική Ελλάδα	586.5	214	19.7
Νότια Ελλάδα	371.2	163	5.7

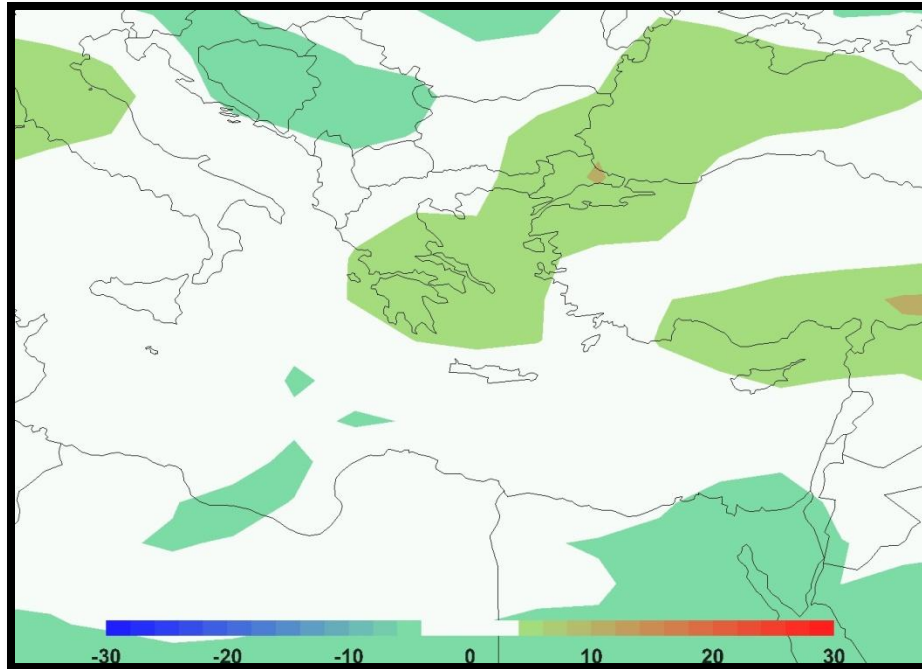
Πίνακας 4.15.: Η εγκατεστημένη ισχύς, το πλήθος των πάρκων και η μεταβολή της ετήσιας ισχύος ανά Φ/B πλαίσιο 1 τ.μ. σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065

Περιοχή	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αν.Ελλάδα	0.8	5.5	10.1	3.8	3.9	6.3	3.4	2.2	4.1	6.0	5.0	2.3
Β.Ελλάδα	1.2	14.8	19.7	13.0	13.1	15.6	12.6	11.2	13.3	15.3	14.3	11.4
Δ.Ελλάδα	1.0	22.4	27.1	20.7	20.8	23.2	20.4	19.1	21.0	22.9	22.0	19.2
Ν.Ελλάδα	0.4	29.2	33.6	27.6	27.7	30.0	27.3	26.0	27.9	29.7	28.8	26.2

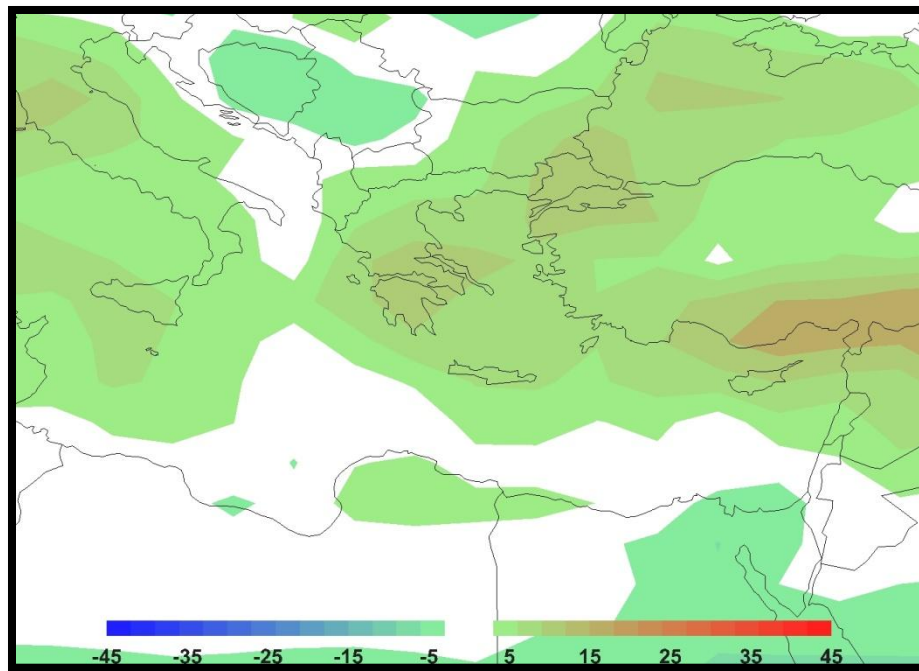
Πίνακας 4.16.: Η μηνιαία μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος (W) ανά πρότυπο Φ/B σε κάθε γεωγραφική περιοχή για τη χρονική περίοδο 2046-2065

Κατά τη σύγκριση των δύο χρονικών περιόδων, δεν παρατηρείται αύξηση της μεταβολής της ετήσιας ισχύος ανά πρότυπη μονάδα Φ/B κατά τη χρονική περίοδο 2046-2065 συγκριτικά με την περίοδο 2011-2030. Αναλυτικότερα, στην ανατολική και δυτική Ελλάδα οι αυξήσεις των μεταβολών είναι ίδιες με αυτήν της περιόδου 2011-2030. Στη βόρεια Ελλάδα η αύξηση είναι πολύ μικρή, ενώ στη νότια Ελλάδα παρατηρείται υποδιπλασιασμός της μεταβολής συγκριτικά με τη χρονική περίοδο 2011-2030.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο μήνας του Μαρτίου καθώς αντιπροσωπεύει όσο καλύτερα γίνεται όλη την εποχή του φθινοπώρου:



(α)



(β)

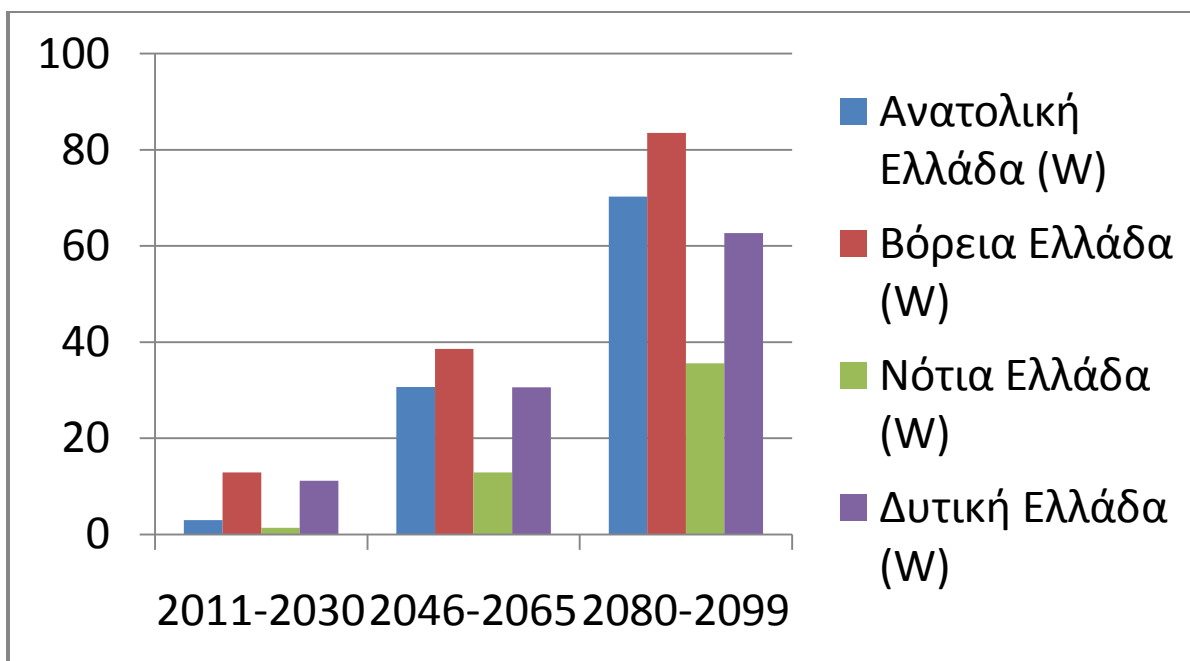
Χάρτης 4.18.: (α) Ποσοστιαία μεταβολή (%) της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Μάρτιο του χρονικού διαστήματος 2046-2065 σε σχέση με τη χρονική περίοδο 1961-1990 από το προγνωστικό μοντέλο HADGEM1. (β) Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας για τον ίδιο μήνα (Wm^{-2}). (Λευκό χρώμα: -4 ως 4)
 Πηγή πρωτογενών δεδομένων IPCC

4.3.3.3. Σύγκριση των μοντέλων

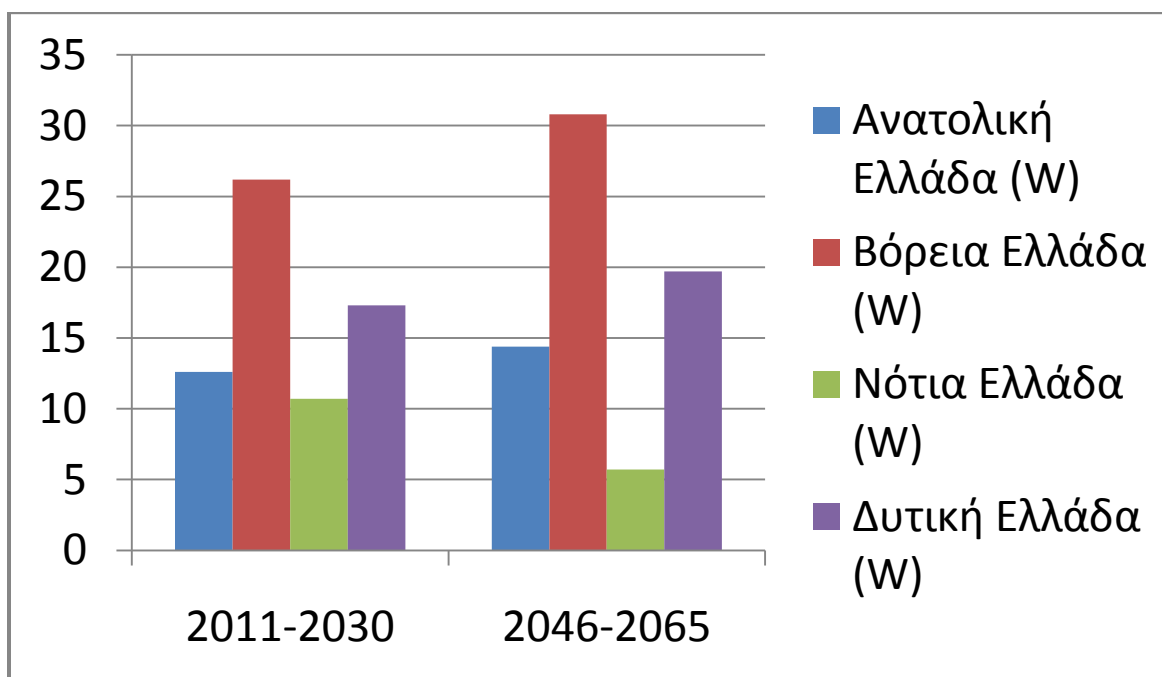
Παρατηρώντας τις τιμές των μεταβολών της παραγόμενης ισχύος από πρότυπο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, διαπιστώνεται ότι οι τιμές, οι οποίες προκύπτουν με βάση το κλιματικό μοντέλο CCSM3 αυξάνουν κατά την πάροδο των ετών. Αντιθέτως, οι τιμές που παράγονται από το κλιματικό μοντέλο HADGEM1 παραμένουν σχεδόν σταθερές. Εξαίρεση αποτελεί η νότια Ελλάδα, όπου υποδιπλασιάζεται η μελλοντική παραγόμενη ισχύς.

Επιπρόσθετα, οι τιμές από το κλιματικό μοντέλο HADGEM1 είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες από το κλιματικό μοντέλο CCSM3 για την χρονική περίοδο 2011-2030. Στην χρονική περίοδο 2046-2065 παρατηρείται αντιστροφή συμπεριφορά των τιμών συγκριτικά με τις τιμές, οι οποίες προκύπτουν από το κλιματικό μοντέλο CCSM3. Είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του μοντέλου CCSM3 αλλά και από τις τιμές του ίδιου του μοντέλου κατά την χρονική περίοδο 2011-2030.

Σχηματίζεται η διαπίστωση, ότι το κλιματικό μοντέλο CCSM3 έχει θετική κλίση κατά την πάροδο των ετών, ενώ το κλιματικό μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί σταθερό. Παρακάτω παρατίθεται τα διαγράμματα 4.1 και 4.2, οι τιμές του οποίου αποτελούνται από τις χρονικές περιόδους, την ετήσια μεταβολή παραγόμενης ισχύος από πρότυπο φωτοβολταϊκό πλαίσιο στα δύο κλιματικά μοντέλα:

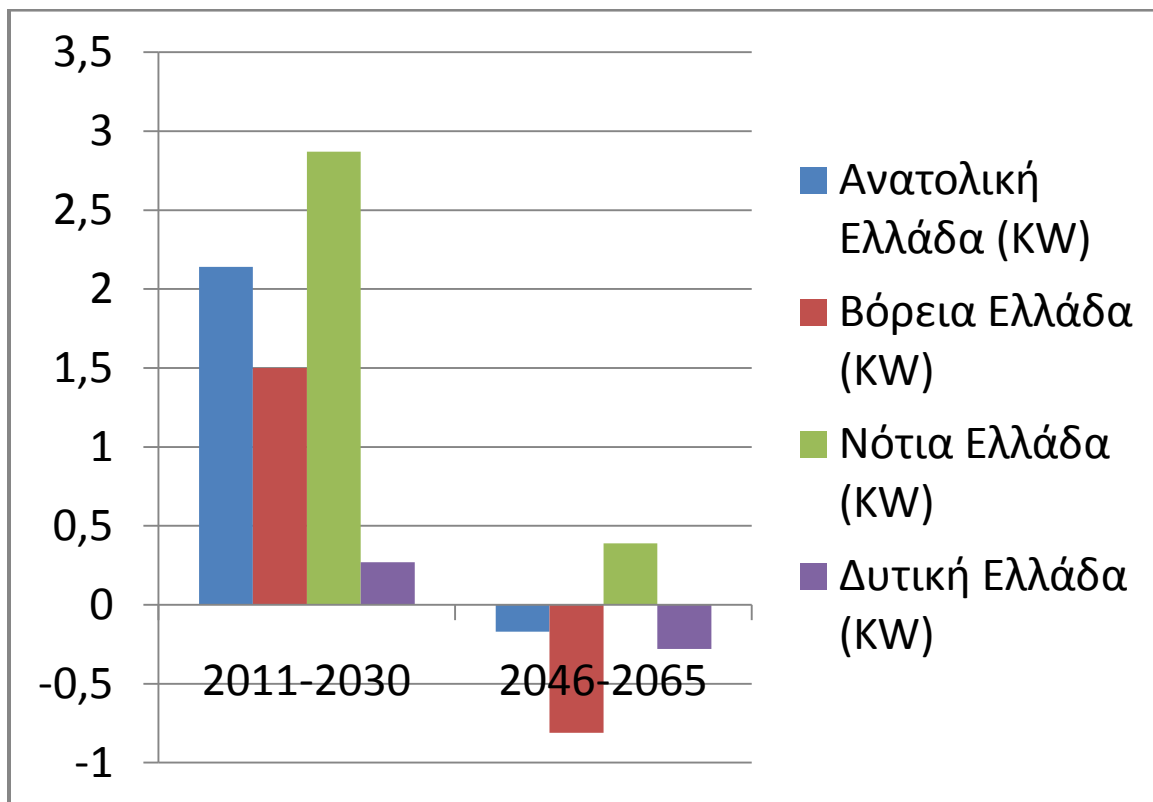


Διάγραμμα 4.1.: Μεταβολή ισχύος από ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό στοιχείο (W) στον 21^ο αιώνα με βάση το κλιματικό μοντέλο CCSM3



Διάγραμμα 4.2.: Μεταβολή ισχύος από ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό στοιχείο (W) στον 21^ο αιώνα με βάση το κλιματικό μοντέλο HADGEM1

Αναφορικά με τον υπολογισμό της μεταβολής της ετήσιας παραγόμενης ισχύος από πρότυπη ανεμογεννήτρια, δε μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση τιμών, καθώς υπολογίστηκε από το κλιματικό μοντέλο HADGEM1. Παρατηρείται μία έντονη αύξηση της παραγόμενης ισχύος κατά την χρονική περίοδο 2011-2030. Στην επόμενη χρονική περίοδο η εικόνα των τιμών είναι εντελώς διαφορετική και σχεδόν ταυτόσημη με αυτές της χρονικής περιόδου αναφοράς, αφού οι μεταβολές είναι αρνητικές αλλά πολύ κοντά στο μηδέν. Το κάτωθι διάγραμμα αποτυπώνει λεπτομερώς τις μεταβολές στον 21^ο αιώνα:



Διάγραμμα 4.3.: Μεταβολή ισχύος από μία πρότυπη ανεμογεννήτρια (KW) στον 21^ο αιώνα με βάση το κλιματικό μοντέλο HADGEM1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συμπεράσματα

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την περιοχή του Ελλαδικού χώρου, καθώς και η μελέτη μεταβλητότητας του αιολικού και του ηλιακού δυναμικού για διαφορετικές χρονικές περιόδους του 21^ο αιώνα για την περιοχή του Ελλαδικού χώρου.

Στη μεθοδολογία συμπεριλαμβάνεται η συλλογή των στοιχείων των μεταβλητών του ανέμου και της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και η κατάλληλη επεξεργασία τους, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η διαφορά της παραγόμενης ισχύος από μία πρότυπη ανεμογεννήτρια και από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και την εποχή. Τα αποτελέσματα της εργασίας αφορούν στον προσδιορισμό των νέων τιμών των μεταβλητών του ανέμου και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μελλοντικές χρονικές περιόδους του 21^{ου} αιώνα.

Αναλυτικότερα, παρατηρείται ότι η διαφορά της παραγόμενης ισχύος από ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό πλαίσιο λαμβάνει διαφορετικές τιμές και στις τρεις τις χρονικές περιόδους 2011-2030, 2046-2065 και 2080-2099. Γενικότερα, παρουσιάζεται μία αύξηση των τιμών και από τα δύο κλιματικά μοντέλα. Δεν παρατηρείται όμως ο ίδιος ρυθμός ανόδου και το ίδιο εύρος των τιμών. Στο κλιματικό μοντέλο CCSM3 παρατηρείται μεγαλύτερος ρυθμός ανόδου και μεγαλύτερο εύρος συγκριτικά με το μοντέλο HADGEM1.

Ειδικότερα, όσον αφορά στις περιοχές της Ελλάδος, η περιοχή της βόρειας Ελλάδας θα παρουσιάσει σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων τη μεγαλύτερη μεταβολή στην παραγόμενη ισχύ από ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η δυτική Ελλάδα θα παρουσιάσει αύξηση, όπως επίσης και η ανατολική. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι και τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν αύξηση των τιμών. Αξίζει να σημειωθεί ότι αύξηση αναμένεται και στη νότια Ελλάδα, αλλά οι τιμές είναι μικρότερες συγκριτικά με τις άλλες περιοχές.

Ο υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος από μία πρότυπη ανεμογεννήτρια πραγματοποιείται μόνο μέσω του μοντέλου HADGEM1. Οι τιμές, οι οποίες παρατηρούνται για την ανατολική, βόρεια, νότια και δυτική Ελλάδα, ανέρχονται σε + 2.14 KW, + 1.50 KW, + 2.87 KW και + 0.27 KW για τη χρονική περίοδο 2011-2030, αντίστοιχα.

Αναφορικά με τη χρονική περίοδο 2046-2065, δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές σε όλο τον Ελλαδικό χώρο, αφού η μεταβολή της ετήσιας παραγόμενης ισχύος

ανέρχεται σε - 0.17 KW και - 0.81 KW, 0.39 KW και - 0.28 KW για την ανατολική, βόρεια, νότια και δυτική Ελλάδα, αντίστοιχα.

Εν κατακλείδι, υπάρχει τάση αύξησης της παραγόμενης ισχύος από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε όλο τον ελλαδικό χώρο για τον 21^ο αιώνα. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες αυξήσεις της παραγόμενης ισχύος από πρότυπο φωτοβολταϊκό πλαίσιο αναμένονται στην βόρεια Ελλάδα, στην οποία είναι εγκατεστημένο το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας. Η ανατολική Ελλάδα παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αύξηση και ακολουθεί η δυτική Ελλάδα. Συγκριτικά με τις παραπάνω περιοχές, η νότια Ελλάδα παρουσιάζει σταθερή μελλοντική παραγόμενη ισχύ.

Στον τομέα της αιολικής ενέργειας η ανατολική Ελλάδα, στην οποία βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος παρουσιάζει αύξηση κατά την χρονική περίοδο 2011-2030. Τη μεγαλύτερη αύξηση από όλες τις περιοχές παρουσιάζει η δυτική Ελλάδα, ενώ μεγάλες αυξήσεις αναμένονται και στη βόρεια Ελλάδα. Στην χρονική περίοδο 2046-2065 δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές.

Συμπερασματικά, η κλιματική αλλαγή δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην αιολική ενέργεια τον 21^ο αιώνα καθώς οι μεταβολές είναι πολύ μικρές συγκριτικά με την ονομαστική ισχύ μίας ανεμογεννήτριας, η οποία ξεπερνάει τα 500KW. Αντιθέτως, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ηλιακή ενέργεια, αφού ένα πρότυπο φωτοβολταϊκό πλαίσιο έχει ονομαστική ισχύ 100W. Συνεπώς η κλιματική αλλαγή πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στον σχεδιασμό εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alcamo J., A. Bouwman, J. Edmonds, A. Grübler, T. Morita, and A. Sugandhy. (1995) An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. In: *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emissions Scenarios* [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris, and K. Maskell (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, p.247- 304.
- Anderson G.P., S.A. Clough, F.X. Kneizys, J.H. Chetwynd, and E.P. Shettle. (1986) AFGL atmospheric constituent profiles (0-120 km). Technical Report AFGL-TR-86-0110, AFGL (OPI), Hanscom AFB, MA. 01736.
- Berger A. L. (1978) Long-term variations of daily insolation and quaternary climatic changes. *J Atmos Sci*, 35, p.2362–2367.
- Bloom A., V. Kotroni, and K. Lagouvardos. (2008) Climate change impact of wind energy availability in the Eastern Mediterranean using the regional climate model PRECIS. National Observatory of Athens, Institute of Environmental Research, Athens, Greece, p.1249-1256.
- Beer J., W. Mende, R. Stellmacher. (2000) Swiss Federal Institute of Environmental Science and Technology (EAWAG), CH-8600 Dubendorf, Switzerland, Institute of Meteorology, Freie Universitat, Berlin, Germany, p.1.
- Bonan G.B. (1996) A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: Technical description and user's guide, Technical Report NCAR/TN417+STR. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, p.150.
- Bonan G.B., K.W. Oleson, M. Vertenstein, S. Levis, X. Zeng, Y. Dai, R.E. Dickinson, and Z.L. Yang. (2002) The land surface climatology of the Community Land Model coupled to the NCAR Community Climate Model. *J Climate*, 15, p.3123–3149.
- Briegleb B.P. (1992) Delta-Eddington approximation for solar radiation in the NCAR Community Climate Model. *J Geophys Res*, 97, p.7603–7612.
- Bryan F.O., B.G. Kauffman, W.G. Large, and P.R. Gent. (1996) The NCAR CSM Flux Coupler, Technical Report NCAR/TN-424+STR. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, p.58.
- Christensen J.H. and Christensen O.B. (2003) Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, p.805–806.

- Collins W.D. (1998) A global signature of enhanced shortwave absorption by clouds. *J Geophys Res*, 103, p.31669–31679.
- Collins W.D. (2001) Parameterization of generalized cloud overlap for radiative calculations in general circulation models. *J Atmos Sci*, 58, p.3224–3242.
- Coakley J.A., R.D. Cess, and F.B. Yurevich. (1983) The effect of tropospheric aerosols on the Earth's radiation budget: A parameterization for climate models. *J Atmos Sci*, 40, p.116–138.
- Edwards D.P. (1992) GENLN2: A general line-by-line atmospheric transmittance and radiance model. Technical Report NCAR/TN-367+STR, NCAR, P.O. Box 3000, Boulder, Colorado, 80307(3000), p.147.
- Evans J.P., Smith, R., and Oglesby R. (2004) Middle East climate simulation and dominant precipitation processes. *Int J Climatol*, 24, p.1671–1694.
- Funtowicz S.O., and J.Ravetz. (1990) *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Kluwer Academic Press, Dordrech.
- Funtowicz S.O., and J. Ravetz. (1993) *Science for the Post-Normal Age*. *Futures*, September, p.739-755.
- Garratt J. R., A.J. Prata. (1996) Downwelling Longwave Fluxes at Continental Surfaces – A Comparison of Observations with GCM Simulations and Implications for the Global Land - Surface Radiation Budget. *J Climate*, 9(3), p.646-655.
- Giorgi F., X. Bi, and J. Pal. (2004) Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Present-day climate (1961–1990). *Clim Dynam*, 22, p.733–756.
- Giorgi F., X. Bi, and J. Pal. (2004) Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II. climate change scenarios (2071–2100). *Clim Dynam*, 23, p.839–858.
- Gupta S, N.A. Ritchey, A.C. Wilber, C.H. Whitlock, G.G. Gibson, and P.W. (1999) Stackhouse JR.: A Climatology of Surface Radiation Budget Derived from Satellite Data, p.2691.
- IPCC (2000) *Emissions scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, p.570.

- IPCC (2000) Special Report on Emissions Scenarios, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart, Eds., IPCC Secretariat, Cambridge University Press, UK. p.570.
- IPCC (2001) IPCC third assessment report. Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge, p.881.
- IPCC. (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland, p.104.
- Holtslag A.A.M., E.I.F. de Bruijn, and H.L. Pan. (1990) A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon Wea Rev*, 118, p.1561–1575.
- Joseph J.H., W.J. Wiscombe, and J.A. Weinman. (1976) The delta-Eddington approximation for radiative flux transfer. *J Atmos Sci*, 33, p.2452–2459.
- Kader B.A., and A.M. Yaglom. (1990) Mean fields and fluctuation moments in unstably stratified turbulent boundary layers. *J Fluid Mech*, 212, p.637–662.
- Kjellstrom E., G. Nikulin, U. Hansson, G. Strandberg, and A. Ullerstig. (2011) 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus*, 63A, p.34–35.
- Krichak S.O., Alpert P., Bassat K., and Kunin P. (2007) The surface climatology of the eastern Mediterranean region obtained in a three-member ensemble climate change simulation experiment. *Adv Geosci*, 12, p.67–80.
- Lacis A.A., and V. Oinas. (1991) A description of the correlated k distribution method for modeling nongray gaseous absorption, thermal emission, and multiple scattering in vertically inhomogeneous atmospheres. *J Geophys Res*, 96, p.9027–9063.
- Lean J., J. Beer, and R.S. Bradley. (1995) Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geophys Res Lett*, 22, p.3195–3198.
- Leggett J.A., W.J. Pepper, and R.J. Swart. (1992) Emissions scenarios for IPCC: An update. Dans: *Climate Change, 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p.69-95.

- Pryor Æ.R.S.C., J. Barthelmie, and Æ.E. (2005) Kjellstrom Potential climate change impact on wind energy resources in northern Europe: analyses using a regional climate model. Springer-Verlag.
- Raisanen J., U. Hansson, A. Ullerstig, R. Doscher, L.P. Graham, C. Jones, H.E.M. Meier, P. Samuelsson, and U. Willen. (2004) European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, 22, p.19–20.
- Ramaswamy V., and S.M. Freidenreich. (1991) Solar radiative line-by-line determination of water vapor absorption and water cloud extinction in inhomogeneous atmospheres. *J Geophys Res*, 96, p.9133–9157.
- Rasch P.J., and J.E. Kristjansson. (1998) A comparison of the CCM3 model climate using diagnosed and predicted condensate parameterizations. *J Climate*, 11, p.1587-1614.
- Rothman L S., A. Goldman, J.R. Gillis, R.R. Gamache, H.M. Pickett, R.L. Poynter, N. Husson, and A. Chedin. (1983) AFGL trace gas compilation – 1982 version. *Appl Opt*, 22, p.1616–1627.
- Rothman L.S., A. Barbe, D.C. Benner, L.R. Brown, C. Camy-Peyret, M.R. Carleer, K. Chance, C. Clerbaux, V. Dana, V.M. Devi, A. Fayt, J.M. Flaud, R.R. Gamache, A. Goldman, D. Jacquemart, K.W. Jucks, W.J. Lafferty, J.Y. Mandin, S.T. Massie, V. Nemtchinov, D.A. Newnham, A. Perrin, C.P. Rinsland, J. Schroeder, K.M. Smith, M.A.H. Smith, K. Tang, R.A. Toth, J.V. Auwera, P. Varanasi, and K. Yoshino. (2001) The HITRAN molecular spectroscopic database: Edition of 2000 including updates of 2001. *J Quant Spectrosc Radiat Transfer*, 82, p.2003.
- Rockel B., and K. Woth. (2007) Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations. *Climatic Change*, 81, p.267–280.
- Kistler R., E. Kalnay, W. Collins, S. Saha, G. White, J. Woollen, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, M. Kanamitsu, V. Kousky, H. van den Dool, R. Jenne, and M. Fiorino. (2001) The NCEP–NCAR 50-Year Reanalysis. p.253-256.
- Stamnes K., S.C. Tsay, W. Wiscombe, and K. Jayaweera. (1988) A numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Appl Opt*, 27, p.2502–2509.

- Sundqvist H. (1988) Parameterization of condensation and associated clouds in models for weather prediction and general circulation simulation, in *Physically-based Modeling and Simulation of Climate and Climate Change*, Vol. 1, edited by M. E. Schlesinger, Kluwer Academic, p.433–461,.
- Wild M. (2009) Global dimming and brightening: A review. *J Geoph Res*, 114, p.1.
- Wiscombe W.J., and J.W. Evans. (1977) Exponential-sum fitting of radiative transmission functions. *J Comput Phys*, 24, p.416–444.
- Zeng X., and R. E. Dickinson. (1998) Effect of surface sublayer on surface skin temperature and fluxes. *J Climate*, 11, p.537–550.
- Zeng X., M. Zhao, and R.E. Dickinson. (1998) Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data. *J Climate*, 11, p.2628–2644.
- Zhang M., W. Lin, C.S. Bretherton, J.J. Hack, and P.J. Rasch. (2003) A modified formulation of fractional stratiform condensation rate in the NCAR community atmospheric model CAM2. *J Geophys Res*, 108.
- Αποστολίδου Η. (2007) Η επίδραση του αναγλύφου στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, σ.2.
- Καγκαράκης Κ. (1987) Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία. Εκδόσεις «ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ», Αθήνα.
- Κοιλάκος Σ. (2010) Παραμετρική μελέτη μηδενισμού σκίασης ηλιακών συλλεκτών – κώδικας – εφαρμογές, σ.14 – 18.
- Λάλας Δ.Π., Δ.Κ. Πισιμάνης, Β.Α. Νοταρίδου. (1982) Μέθοδοι υπολογισμού εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας σε αυθαίρετης κλίσεως επίπεδο και πίνακες για 30°, 45° και 60° στον Ελληνικό χώρο. *Τεχν Χρον Β*, 2(3-4).
- Μαχιάς Α.Β. (1987) Μαθήματα Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Μπεργελές Γ. (2005) Ανεμοκινητήρες, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Παπαδόπουλος Μ. (1997) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, σ.1-80, σ.219-258.
- <http://www.ciesin.org/datasets/rivm/image2.0-home.html>
- <http://www.fao.org/>

- <http://www.ihdp.unu.edu/>
- <http://www.ipcc.ch/organization/organization.htm>
- http://www.ipcc-data.org/sres/ddc_sres_emissions.html
- http://www.ipcc-data.org/ddc_co2.html <http://www.psmsl.org/>
- <http://www.igbp.kva.se/>
- <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>
- <http://migration.wordpress.com/2010/02/28/what-is-a-radiative-forcing/>
- <http://www.rae.gr>
- <http://www.scienceinschool.org/print/704>
- http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php
- <http://www.vision.caltech.edu>

Abstract

Climate change is a widely known finding, which is caused either by natural variability or by human activities.

The objective of the current study are the investigation of climate change effects on the availability of renewable energy in the region of Greece and the study of the variability of wind and solar resources in the period 2010 - 2030, 2046 - 2065 and 2070 - 2100 in Greece.

The methodology concerns about the processing data by climate models CCSM3 and HADGEM1 under the A2 scenario, which has been adopted among other scenarios by IPCC. The variable of solar radiation is studied by both models, while the variable of wind only by the HADGEM1 model. The change in a standard power turbine model and in standard a photovoltaic panel is calculated for all periods mentioned above in Greece.

Increase of the power output from a photovoltaic panel is expected throughout Greece in the 21st century. More specifically, the largest increase is expected in northern Greece, where the biggest part of solar energy is installed. Substantial increase is observed in eastern Greece, followed by western Greece. The southern Greece has a stable future output.

As far as the wind energy is concerned, substantial increase is expected in eastern Greece during the period 2011-2030, where the most of the wind capacity is installed. The largest increase among all regions is expected in western Greece, while large significant increase is expected in northern Greece. No marked changes are expected during the period 2046-2065.

In conclusion, the wind energy remains stable despite the climate change. Conversely, solar energy is effected by the climate change at a significant degree. Therefore climate change must be taken into account in the design of solar energy.

Keywords: climate change, renewable energy, wind energy, solar energy, climate model