



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

***Μελλοντικές εκτιμήσεις βροχόπτωσης στην περιοχή της
Θεσσαλονίκης – Σενάρια δύο Περιοχικών Κλιματικών
Μοντέλων***



Διπλωματική εργασία

του

Βαγενά Χρήστου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Αναγνωστοπούλου Χριστίνα

Θεσσαλονίκη 2011



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Γενικά	3
1.1. Κλίμα	3
1.2. Βροχόπτωση	5
1.3. Κλιματικά μοντέλα	8
1.4. Δεδομένα	11
2. Σύγκριση μοντέλων - σταθμού	14
3. Γενική εικόνα μοντέλων	31
4. Ανάπτυξη σεναρίου	42
4.1. Περίοδος 2020-2050	43
4.2.. Περίοδος 2070-2100	52
5. Σύνθεση αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	57

Εικόνα εξώφυλλου (Πηγή: <http://meneksedia.pblogs.gr/files27355-rainy.jpg>)

1.1. Κλίμα

Το κλίμα είναι η μέση καιρική κατάσταση μιας περιοχής, που προκύπτει από παρατηρήσεις και στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών στοιχείων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, οι άνεμοι, η ατμοσφαιρική πίεση, η βροχόπτωση, τα ατμοσφαιρικά σωματίδια κ.α., για μεγάλα χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον 30 ετών). Το κλίμα μιας περιοχής επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο, την τοπογραφία, την παρουσία νερού κ.α..

Έχουν δημιουργηθεί διάφορα συστήματα ταξινόμησης του κλίματος από τα οποία το πιο διαδεδομένο είναι αυτό του Γερμανού κλιματολόγου Wladimir Köppen (1846-1940) που δημοσιεύτηκε πρώτα το 1884 και τροποποιήθηκε αργότερα, τόσο από τον ίδιο τον Köppen, αλλά και από άλλους επιστήμονες μετά το θάνατο του (Εικόνα. 1.1). Βασική αρχή του συγκεκριμένου συστήματος είναι πως το κλίμα μιας περιοχής αποτυπώνεται στην χλωρίδα της. Έτσι, τα όρια των διαφόρων κλιματικών ζωνών βασίζονται στην κατανομή της βλάστησης. Η μέθοδος του Köppen συνδυάζει τις μέσες ετήσιες και μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, καθώς και την εποχικότητα της βροχόπτωσης. Διακρίνονται έτσι πέντε κύριοι κλιματικοί τύποι οι οποίοι συμβολίζονται με τα πρώτα πέντε κεφαλαία γράμματα του αγγλικού αλφαβήτου (Α-Ε). Αυτά προσδιορίζουν τα θερμοκρασιακά και βροχομετρικά χαρακτηριστικά των κλιματικών τύπων. Επίσης, διακρίνονται διάφορες υποκατηγορίες κλιματικών τύπων που συμβολίζονται με μικρά γράμματα με αποτέλεσμα κάθε ξεχωριστός κλιματικός τύπος να συμβολίζεται με δύο ως τέσσερα γράμματα τα οποία δίνουν τις πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του.

Το μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού χώρου χαρακτηρίζεται από τον Csa κλιματικό τύπο (Εικόνα. 1.3), δηλαδή, κλίμα Μεσογειακό ενδοχώρας που χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ξηρό και πολύ ζεστό θέρος.

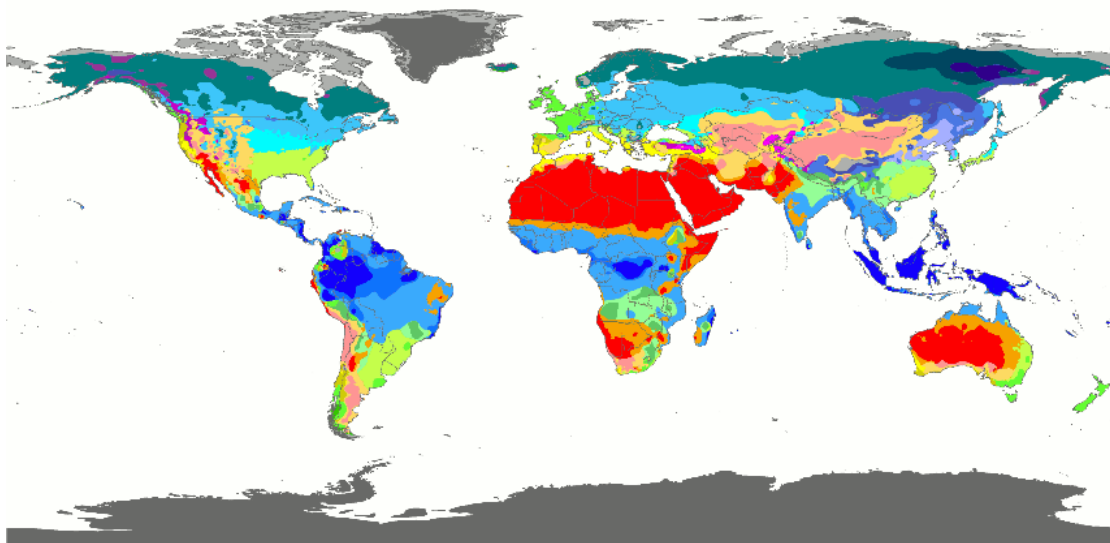
Αυτός αναλύεται ως εξής:

C: Θερμό εύκρατα βροχερό κλίμα με ήπιους χειμώνες,

s: Η βροχή του ξηρότερου μήνα είναι λιγότερη από 30 mm και λιγότερη από το 1/3 της βροχής του υγρότερου μήνα.(ξηρό θέρος)

a: Μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα $>22^{\circ}\text{C}$

Η περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης ανήκει στον Csa κλιματικό τύπο, πιθανώς, με κάποια επιρροή και από τον Cfa κλιματικό τύπο όπως φαίνεται στον παγκόσμιο χάρτη κλιματικής ταξινόμησης κατά Köppen.



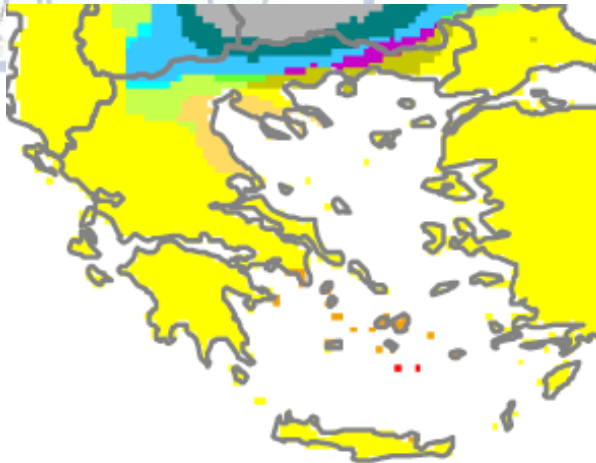
Εικ. 1.1 Παγκόσμια κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen. (Πηγή:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Koppen_World_Map.png)

Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF
Aw	BSh	Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc		
BSk				Dsd	Dwd	Dfd		

Εικ. 1.2 Κλιματικοί τύποι. (Πηγή:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Koppen_World_Map.png)



Εικ. 1.3 Κλιματική ταξινόμηση του ελληνικού χώρου κατά Köppen. (Πηγή:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Koppen_World_Map.png)

1.2. Βροχόπτωση

Η βροχή αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους. Η βροχόπτωση προϋποθέτει την παρουσία νεφών, η παρουσία όμως των νεφών στον ουρανό δεν συνοδεύεται πάντα από βροχόπτωση. Μέσα στα νέφη δημιουργούνται υδροσταγόνες, ως αποτέλεσμα, της συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων (ή και παγοκρυσταλλίων). Όταν το μέγεθος τους είναι τέτοιο ώστε το βάρος τους να είναι μεγαλύτερο από την άνωση που υφίστανται, τότε πέφτουν προς το έδαφος. Εφόσον οι σταγόνες αυτές (ή οι παγοκρύσταλλοι) κατά την κάθοδο τους περάσουν από ατμοσφαιρικά στρώματα που τις διατηρούν στην υγρή φάση (ή λιώνουν τους παγοκρυστάλλους) και φτάσουν στο έδαφος χωρίς να εξατμιστούν, τότε, δημιουργείται το φαινόμενο της βροχής.

Εκείνο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα, είναι η ποσότητα του νερού που πέφτει σε μία επιφάνεια. Αυτή εκφράζεται ως 'ύψος βροχής' και ορίζεται ως, το ύψος στο οποίο θα έφτανε η στάθμη του νερού της βροχής αν έπεφτε πάνω σε μία οριζόντια επιφάνεια

χωρίς να επιδρούν οι παράγοντες απορροή, απορρόφηση και εξάτμιση. Η διεθνής μονάδα μέτρησης είναι τα χιλιοστά (mm). Πλέον στις μελέτες αστικού κλίματος η βροχόπτωση εκφράζεται απευθείας σε λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο. Οι μετρήσεις γίνονται από ειδικά μετεωρολογικά όργανα, τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους (Εικόνες 1.4 και 1.5). Οι βροχογράφοι δίνουν επίσης στοιχεία για τη χρονική διάρκεια κάθε επεισοδίου βροχόπτωσης και για την ένταση του (ποσό βροχής ανά μονάδα χρόνου).



Εικ. 1.4 Βροχόμετρο (δεκαπλασιαστικό). (Πηγή:
<http://www.stormdebris.net/raingauge.jpg>)



Εικ. 1.5 Βροχογράφος. (Πηγή:

http://www.rfuess-mueller.de/95_-_Rain_Recorder_-_Hellmann_Type_-_open.jpg)

Το κύριο χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει της μετρήσεις της βροχόπτωσης από εκείνες της θερμοκρασίας είναι ότι οι βροχές είναι ασυνεχείς κατά τόπο και χρόνο. Έτσι για τη μελέτη της βροχής καθορίζονται πρώτα τα διαφορετικά επεισόδια και υπολογίζεται το ποσό της βροχής σε καθένα από αυτά. Έπειτα, υπολογίζεται το ημερήσιο ύψος βροχής. Το μέγεθος αυτό καλύπτει το χρονικό διάστημα 0-24 ώρες ή συνήθως το διάστημα από την 20^η ώρα της προηγούμενης ημέρας έως την 20^η ώρα της επόμενης. Το άθροισμα των ημερήσιων βροχοπτώσεων ενός μήνα δίνει το μηνιαίο ύψος βροχής και παρομοίως το άθροισμα των μηνιαίων βροχοπτώσεων ενός έτους δίνει το ετήσιο ύψος βροχής. Για τη μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των

βροχοπτώσεων χρησιμοποιούνται μέσοι όροι χρονικών περιόδων τουλάχιστον 30 ετών, σε ετήσια μηνιαία ή εποχική βάση.

1.3. Κλιματικά μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα εφαρμόζουν ποσοτικές μεθόδους για να προσομοιάσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ατμόσφαιρας, ωκεανών, ξηράς και πάγου. Χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς, από τη μελέτη της δυναμικής των συστημάτων καιρού και κλίματος, έως προβλέψεις του μελλοντικού κλίματος. Υπάρχουν δύο τρόποι προσέγγισης. Από τη μία μεριά οι επιστήμονες προσπαθούν να περιορίσουν την πολύπλοκη συμπεριφορά του κλίματος σε κάποιο σύνολο μαθηματικών εξισώσεων με την ελπίδα να κατορθώσουν να κατανοήσουν τις διεργασίες που συμβαίνουν. Αυτό ισχύει κυρίως για τα απλά μοντέλα. Τα απλά κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται τόσο για την απόκτηση βαθύτερης γνώσης των κύριων χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς του κλιματικού συστήματος, όσο και για την πρόβλεψη διαφόρων σεναρίων σχετικά με τα θερμοκηπικά αέρια. Στην περίπτωση των κορυφαίων τεχνολογικά Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models) / Παγκόσμιων Κλιματικών Μοντέλων (Global Climate Models), (PKM / GCM), γίνεται προσπάθεια αναπαράστασης κάθε μετεωρολογικής και κλιματικής παραμέτρου, ακόμα και όταν από την πολυπλοκότητα δεν γίνεται πάντα κατανοητό τι ακριβώς συμβαίνει. Οι εξισώσεις παραγοντοποιούνται, έτσι ώστε τα μοντέλα να αναπαράγουν όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά το κλίμα του παρόντος και του παρελθόντος (με βάση τις καταγεγραμμένες μετρήσεις). Μπορούν τότε να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή του μελλοντικού κλίματος. (http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_model, <http://climateprediction.net/content/modelling-climate>)

Τα GCM προσπαθούν να εξομοιώσουν όσο το δυνατόν περισσότερο το κλιματικό σύστημα: την εισερχόμενη και εξερχόμενη ακτινοβολία, την κίνηση των αερίων μαζών, τον τρόπο σχηματισμού των νεφών και δημιουργίας νετού την εξάπλωση των παγοκαλυμμάτων κτλ. Συχνά συνδέονται με ωκεάνια μοντέλα. Μπορούν επίσης να λάβουν υπόψη τη μεταβολή της φυτοκάλυψης στην επιφάνεια της Γης. Οπότε μπορούμε να πούμε πως προσπαθούν να υπολογίσουν, πώς αλληλεπιδρούν όλες αυτές οι διαφορετικές παράμετροι του κλιματικού συστήματος και πως λειτουργεί η διαδικασία της ανάδρασης.

Οι καλλίτερες εκτιμήσεις για το μελλοντικό κλίμα προέρχονται από GCM και όχι από απλοποιημένα μοντέλα. Τα GCM λειτουργούν υπολογίζοντας τις κλιματικές παραμέτρους σε ένα αριθμό διαφορετικών κόμβων στην ξηρά, στη θάλασσα και στην ατμόσφαιρα. Αυτοί οι κόμβοι απλώνονται ως πλέγμα καλύπτοντας την επιφάνεια της Γης και χωρίζοντας την σε πολλά μικρά τετράπλευρα. Όσο περισσότεροι είναι αυτοί τόσο βελτιώνεται η ανάλυση του μοντέλου και μπορεί αυτό να αναπαραστήσει κλιματικά φαινόμενα μικρής κλίμακας. Από αυτή την άποψη το καλλίτερο κλιματικό μοντέλο θα ήταν αυτό με τη μεγαλύτερη ανάλυση. Δυστυχώς όμως, υπάρχει και αρνητική πλευρά. Τα περισσότερα σημεία πλέγματος απαιτούν περισσότερους υπολογισμούς οπότε απαιτούνται ισχυρότερη υπολογιστική ισχύς και περισσότερος χρόνος. Γενικά, γίνεται κάποιος συμβιβασμός μεταξύ ανάλυσης και χρόνου.

Για μία πρόγνωση καιρού, στην οποία το ενδιαφέρον εστιάζεται στα συμβάντα των επόμενων περίπου πέντε ημερών, η ανάλυση μπορεί να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με μία κλιματική πρόβλεψη που αφορά τις επόμενες δεκαετίες. Οι παλαιοκλιματολόγοι, που ενδιαφέρονται για το κλίμα χιλιάδες χρόνια πριν, χρησιμοποιούν μοντέλα ακόμα μικρότερης ανάλυσης.

Αντίστοιχα με το οριζόντιο πλέγμα, η ατμόσφαιρα διαιρείται και κατακόρυφα. Έτσι σχηματίζονται 'κελιά' (cells). Το πρόβλημα που προκύπτει από το διαχωρισμό της ατμόσφαιρας σε πολλά μικρά 'κελιά' είναι πως υπάρχουν πολλές διεργασίες που συμβαίνουν σε χώρο μικρότερο από κάποιο από αυτά. Έτσι, για παράδειγμα, ξεχωριστά νέφη μπορεί να είναι μικρότερα από ένα κελί πλέγματος, όμως εξακολουθούν να παίζουν σημαντικό ρόλο στο κλιματικό σύστημα, ιδιαίτερα

αθροιστικά, οπότε οι διεργασίες με τις οποίες σχηματίζονται αυτά και οι συνέπειες της ύπαρξής τους πρέπει να υπολογισθούν. Οπότε, βασιζόμενοι στη γνώση της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε ένα κελί, πρέπει να εκτιμήσουμε τη νέφωση και τη βροχόπτωση που συμβαίνουν μέσα σε αυτό. Επίσης, πρέπει να γνωρίζουμε το ποσό του κονιορτού που υπάρχει στο κελί, γιατί οι σταγόνες της βροχής χρειάζονται κάποιο στερεό σωματίδιο στον αέρα ως πυρήνα συμπύκνωσης για να σχηματιστούν.

Οι ωκεανοί, όπως και η ατμόσφαιρα, είναι ένα ρευστό συστατικό του κλιματικού συστήματος και πρέπει να αναπαρίσταται στα κλιματικά μοντέλα. Η θερμότητα και το νερό μεταφέρονται ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς και αυτές οι διαδικασίες πρέπει να παρουσιάζονται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Επίσης, η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια επηρεάζει τον τρόπο που αναμιγνύεται το ανώτερο στρώμα νερού των ωκεανών και δείχνει πόσο γρήγορα αντιδρά σε μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες..

Τα ωκεάνια συστήματα, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στο κλιματικό σύστημα, είναι συνήθως αρκετά μικρότερα από τα ατμοσφαιρικά συστήματα, οπότε οι ωκεάνιοι παράγοντες των κλιματικών μοντέλων έχουν συνήθως μεγαλύτερη ανάλυση από τους ατμοσφαιρικούς. Ο χρόνος αντίδρασης των ωκεανών στις αλλαγές του ισοζυγίου εισερχόμενης - εξερχόμενης ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερος από αυτόν της ατμόσφαιρας. Αυτό σημαίνει ότι τα ωκεάνια μοντέλα πρέπει να τρέχουν για πολλές δεκαετίες ώστε να συμπεριληφθούν στις κλιματικές προβλέψεις. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων απαιτείται σημαντικά περισσότερη υπολογιστική ισχύς από ότι στα ατμοσφαιρικά μοντέλα. Αυτό μερικές φορές αποφεύγεται χρησιμοποιώντας κάποιο απλοποιημένο μοντέλο το οποίο αναπαριστά αποτελεσματικά τα πρώτα 50 μέτρα των ωκεανών, χωρίς να υπολογίζεται κανένα βαθύ θαλάσσιο ρεύμα το οποίο μπορεί να μεταφέρει τεράστιες ποσότητες θερμότητας, αν και με πολύ αργό ρυθμό. (http://en.wikipedia.org/wiki/Global_climate_model,

<http://climateprediction.net/content/regional-climate-models>,

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2007/05/climate-models-local-climate/>, http://www.sciencedaily.com/articles/g/global_climate_model.htm)

Οι τοπικές κλιματικές αλλαγές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τοπικά γεωγραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα τα βουνά, τα οποία δεν παρουσιάζονται στα GCM λόγω της μικρότερης ανάλυσης τους. Έτσι, αναπτύχθηκαν τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (Regional Climate Models – RCM) για μικρές περιοχές, τα οποία έχουν μεγαλύτερη ανάλυση και τρέχουν για μικρότερες χρονικές περιόδους. Τα δεδομένα που εισάγονται για τα όρια της επιφάνειας που μελετά ένα RCM προέρχονται από κάποιο GCM. Γίνονται προσπάθειες για την ανάπτυξη συστημάτων τοπικού κλιματικού μοντελισμού όπου ένα RCM θα συνδέεται με άλλα στοιχεία του γήινου συστήματος, όπως υδρολογικά μοντέλα, ωκεάνια μοντέλα ή μοντέλα χερσαίων οικοσυστημάτων. Ωστόσο, η ενοποίηση τέτοιων διαφορετικών μοντέλων είναι ακόμα δύσκολη εξαιτίας των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων τους. (<http://climateprediction.net/content/regional-climate-models>, http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_model)

1.4 Δεδομένα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα αρχικά δεδομένα είναι μετρήσεις βροχόπτωσης μετεωρολογικού σταθμού και εκτιμήσεις βροχόπτωσης μοντέλων, οι οποίες δίνονται ως ημερήσια ύψη βροχής. Στη συνέχεια γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την εύρεση των μηνιαίων, εποχικών και ετήσιων υψών βροχής και τη δημιουργία, από αυτά, των απαραίτητων διαγραμμάτων για τη σύγκριση των εκτιμήσεων των μοντέλων με της μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού, τη μελέτη των μελλοντικών τάσεων της βροχόπτωσης, την ανάπτυξη σεναρίων και την αξιολόγηση των μοντέλων.

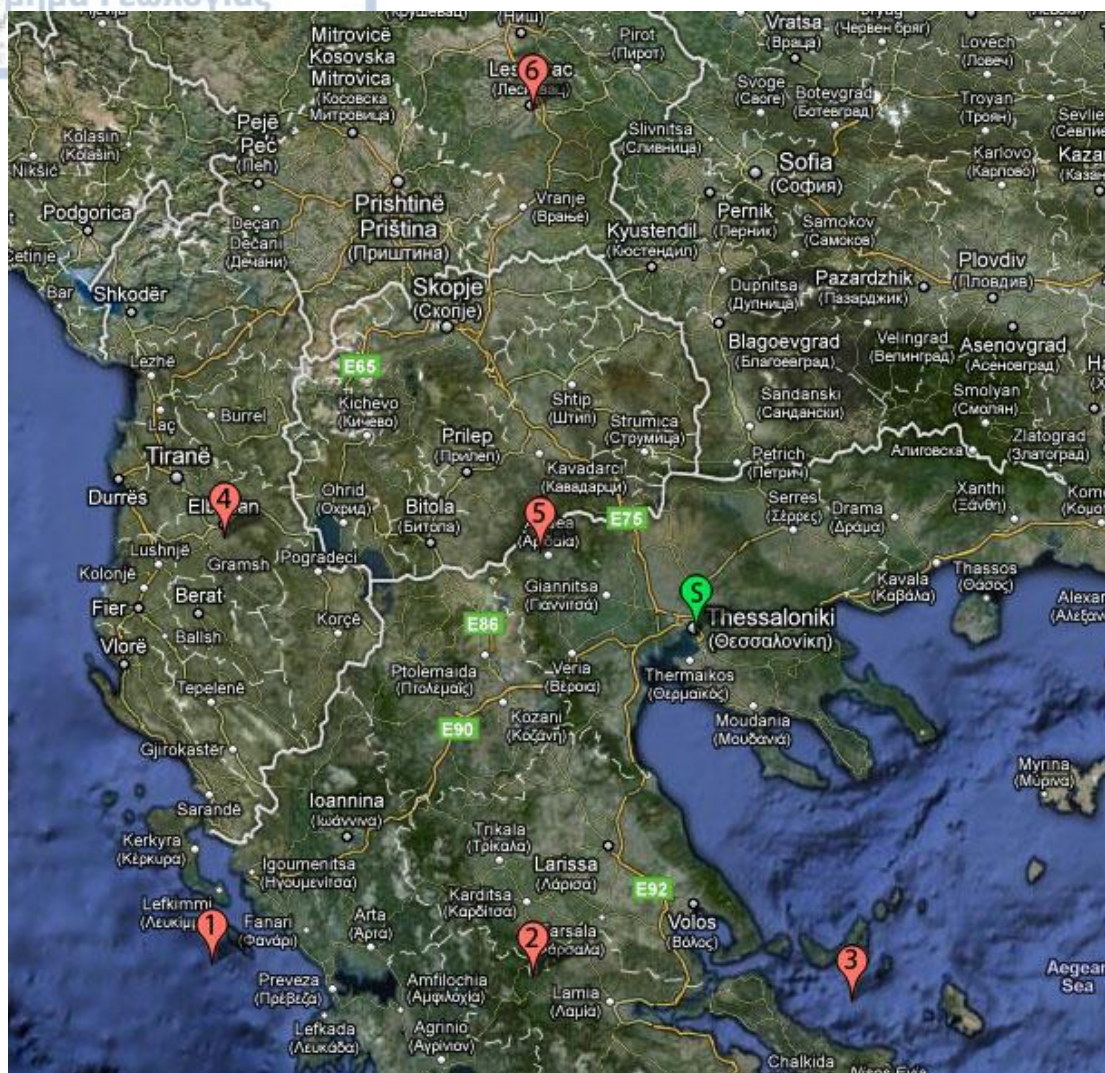
Χρησιμοποιούνται βροχομετρικά δεδομένα από δύο Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα, το ιρλανδικό C4I (Community Climate Change Consortium for Ireland) και το ολλανδικό KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute), καθώς επίσης και βροχομετρικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Από κάθε κλιματικό μοντέλο χρησιμοποιούνται βροχομετρικά δεδομένα από έξι (6) κόμβους (grid points) με γνωστές γεωγραφικές συντεταγμένες, οι οποίοι είναι οι ίδιοι και στα δύο μοντέλα και φαίνονται στο χάρτη της Εικόνας 1.6, όπου σημειώνεται επίσης και η θέση του μετεωρολογικού σταθμού. Οι ακριβείς θέσεις των έξι grid points και του μετεωρολογικού σταθμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1. Γενικά, βρίσκονται ανατολικά του σταθμού, με τις μεταξύ τους αποστάσεις να είναι περίπου 2° κατά γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος.

	<i>Γεωγρ. Πλάτος</i>	<i>Γεωγρ. Μήκος</i>	<i>Περιγραφή τοποθεσίας</i>
<i>gp1</i>	+39° 04' 12''	+20° 01' 12''	Ιόνιο πέλαγος, Δυτικά των Παξών
<i>gp2</i>	+39° 00' 36''	+21° 57' 36''	Κεντρική Ελλάδα, Βορειοανατολικά του Καρπενησίου
<i>gp3</i>	+38° 54' 00''	+23° 53' 24''	Αιγαίο πέλαγος, Νότια των Σποράδων
<i>gp4</i>	+41° 03' 00''	+20° 05' 24''	Κεντρική Αλβανία, Νότια του Elbasan
<i>gp5</i>	+40° 58' 48''	+22° 00' 36''	Κεντρική Μακεδονία, Αριδαία
<i>gp6</i>	+42° 58' 12''	+21° 57' 36''	Νοτιοδυτική Σερβία, Lescovac
<i>Σταθμός</i>	+40° 37' 12''	+22° 57' 00''	Κέντρο Θεσσαλονίκης

Πίνακας 1.1 Ακριβείς θέσεις grid points και Σταθμού

Τα βροχομετρικά δεδομένα αφορούν τις ημερήσιες τιμές του ύψους βροχής. Για το μετεωρολογικό σταθμό είναι πραγματικές μετρήσεις από 1/1/1958 μέχρι 31/12/2000. Για τα δύο μοντέλα είναι εκτιμήσεις για την περίοδο 1/1/1951 έως 31/12/2050 για το C4I και την περίοδο 1/1/1950 έως 31/12/2100 για το KNMI. Τα δεδομένα δίνονται και αναλύονται σε φύλλα εργασίας του προγράμματος Microsoft Office Excel 2003 από όπου προκύπτουν και όλα τα διαγράμματα και γραφήματα.



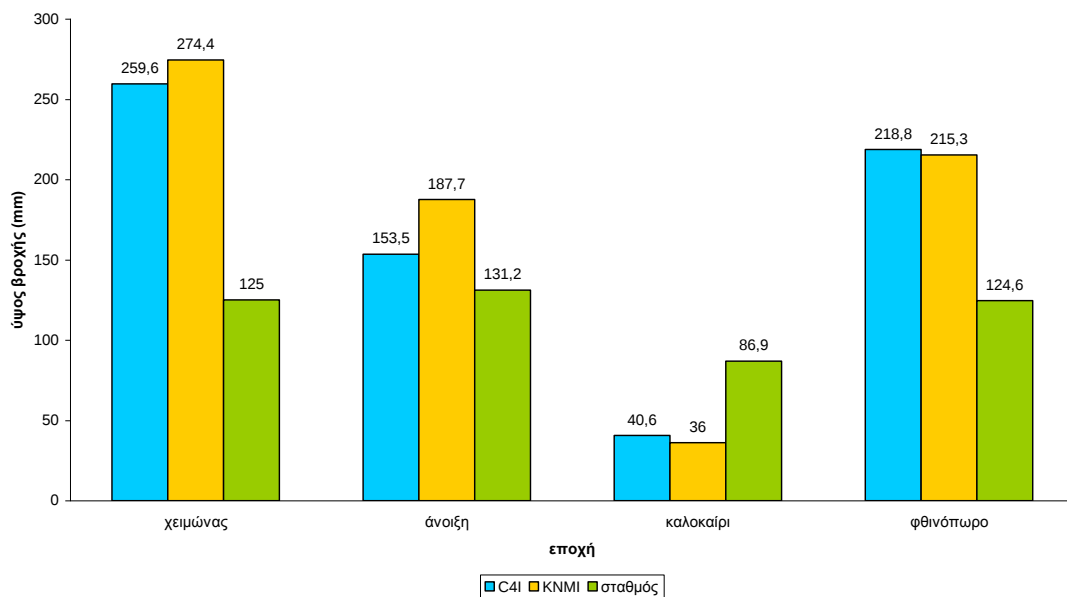
Εικ. 1.6 Θέσεις grid points (1-6) και μετεωρολογικού σταθμού (S). (Πηγή μη επεξεργασμένου χάρτη : <http://maps.google.com/>)

2. Σύγκριση μοντέλων - σταθμού

Στο γράφημα 2.1 παρουσιάζονται οι εποχιακοί μέσοι όροι της βροχόπτωσης όλων των grid points (gp) του κάθε μοντέλου και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες εποχιακές τιμές βροχόπτωσης του σταθμού για την περίοδο 1960-1990. Παρατηρούμε πως, με εξαίρεση το φθινόπωρο, οι τιμές του C4I είναι λίγο πιο κοντά στις μετρήσεις του σταθμού σε σχέση με τις τιμές του KNMI. Ωστόσο, οι αποκλίσεις των εκτιμήσεων και των δύο μοντέλων είναι σημαντικές.

Για το χειμώνα και τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν υπερδιπλάσιες εκτιμήσεις ύψους βροχής από τις μετρήσεις του σταθμού. Την άνοιξη οι αποκλίσεις είναι οι μικρότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές. Ο μέσος όρος για το C4I παρουσιάζει αύξηση 17% και για το KNMI αύξηση 43%. Το καλοκαίρι είναι η μοναδική εποχή όπου οι εκτιμήσεις των μοντέλων υπολείπονται των μετρήσεων του σταθμού με διαφορά μεγαλύτερη από 50%. Το φθινόπωρο παρατηρούμε τη μικρότερη διαφορά των εκτιμήσεων μεταξύ των δύο μοντέλων, οι οποίες όμως, είναι περίπου διπλάσιες των μετρήσεων του σταθμού.

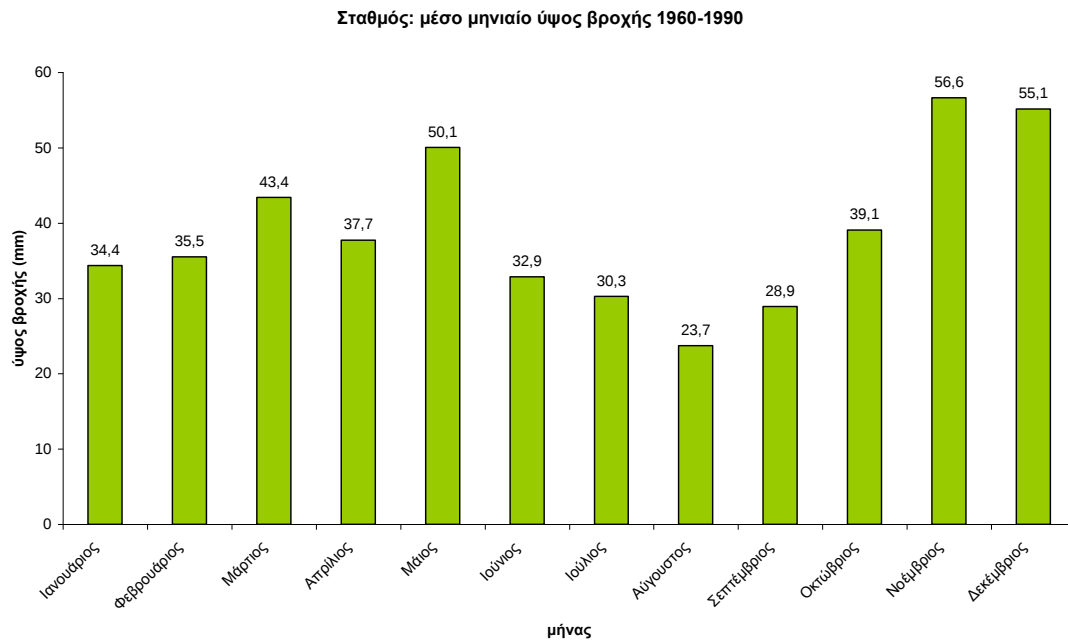
μέσο εποχιακό ύψος βροχής 1960 - 1990



Γρ. 2.1 ΜΟ εποχιακής βροχόπτωσης των μοντέλων και του σταθμού για την περίοδο 1960-1990

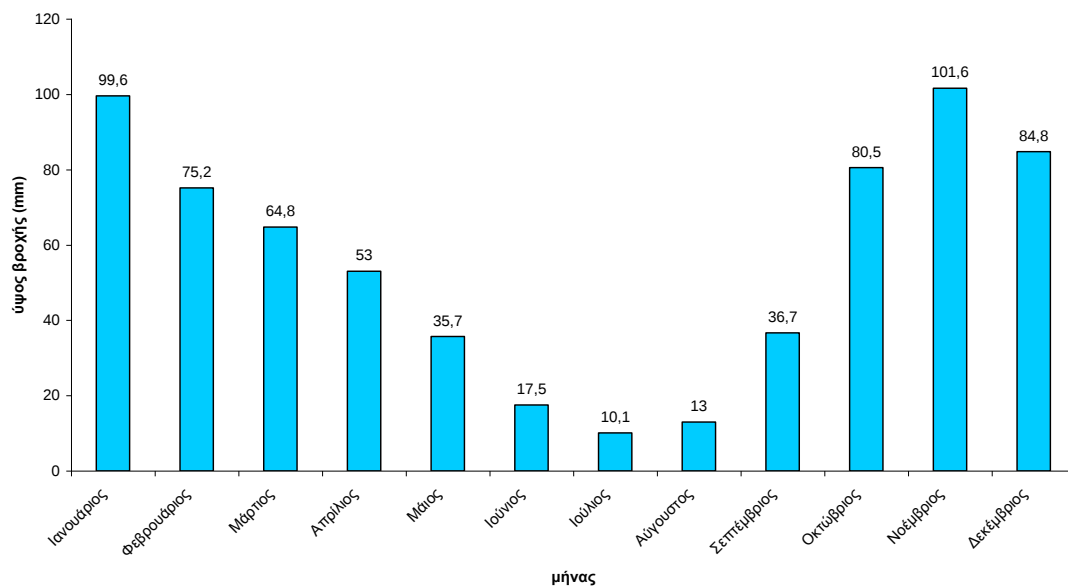
Αν και οι εκτιμήσεις των μοντέλων παρουσιάζουν φυσιολογικές σχετικές τιμές του μέσου ύψους βροχής μεταξύ των εποχών, με μέγιστες το χειμώνα και ελάχιστες το καλοκαίρι, οι μηνιαίες τιμές του σταθμού δεν είναι σύμφωνες (γραφήματα 2.2-2.4). Παρατηρούμε πως το μέγιστο ύψος βροχής από τις μετρήσεις του σταθμού σημειώνεται την άνοιξη, ο χειμώνας και το φθινόπωρο έχουν παραπλήσια τιμή και το καλοκαίρι δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρό, καθώς σημειώνεται σημαντικό ποσό βροχόπτωσης. Από την ανάλυση των μηνιαίων δεδομένων προκύπτει πως ο μήνας με το μέγιστο μέσο ύψος βροχής είναι ο Νοέμβριος (56,6 mm) και με το ελάχιστο ο Αύγουστος (23,7 mm). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι μήνες Ιανουάριος και Ιούνιος παρουσιάζουν παραπλήσιες μέσες τιμές ύψους βροχής. Όσον αφορά την κλιματική κατάταξη της Θεσσαλονίκης στον κλιματικό τύπο Csa παρατηρούμε πως δεν ικανοποιούνται πλήρως οι προϋποθέσεις που ορίζει το γράμμα 's'. Η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα είναι μικρότερη από 30mm, ωστόσο, δεν είναι μικρότερη από το 1/3 του ύψους βροχής του μήνα με τη μέγιστη βροχόπτωση. Φαίνεται έτσι, η επιρροή και άλλων κλιματικών τύπων και συγκεκριμένα του Cfa. Τα

κλιματικά μοντέλα όμως, έχουν χαρακτηριστικά κλιματικού τύπου Csa και θα έχει ενδιαφέρον να δούμε πως αυτό θα επηρεάσει στη συνέχεια την σύγκριση τους με τις μετρήσεις του σταθμού και την προσπάθεια δημιουργίας μελλοντικών σεναρίων.



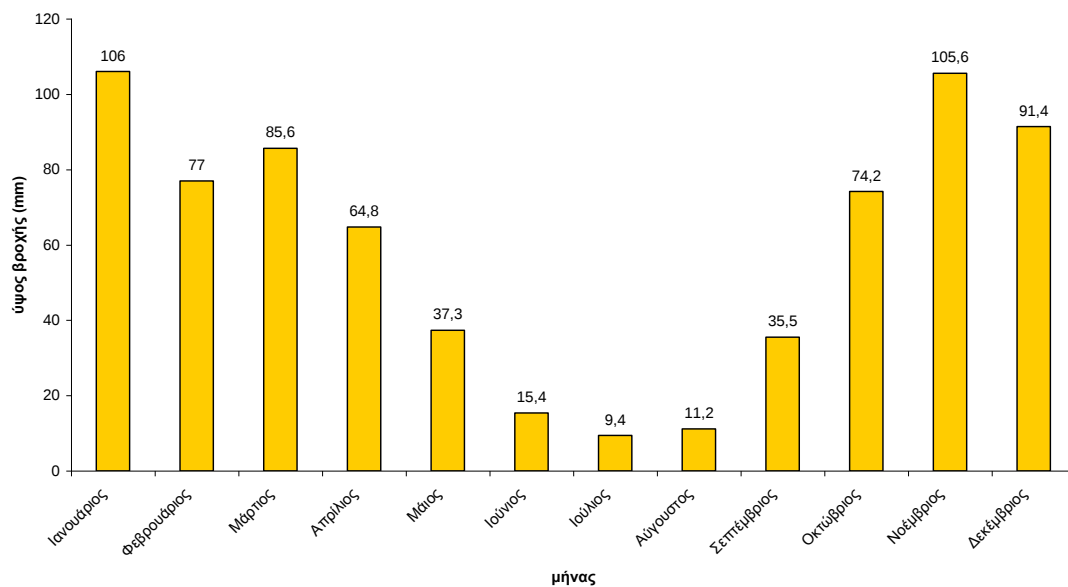
Γρ. 2.2 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής από τις μετρήσεις του σταθμού για την περίοδο 1960-1990

C4I: μέσο μηνιαίο ύψος βροχής 1960-1990



Γρ. 2.3 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής από τις εκτιμήσεις του C4I για την περίοδο 1960-1990

KNMI: μέσο μηνιαίο ύψος βροχής 1960-1990

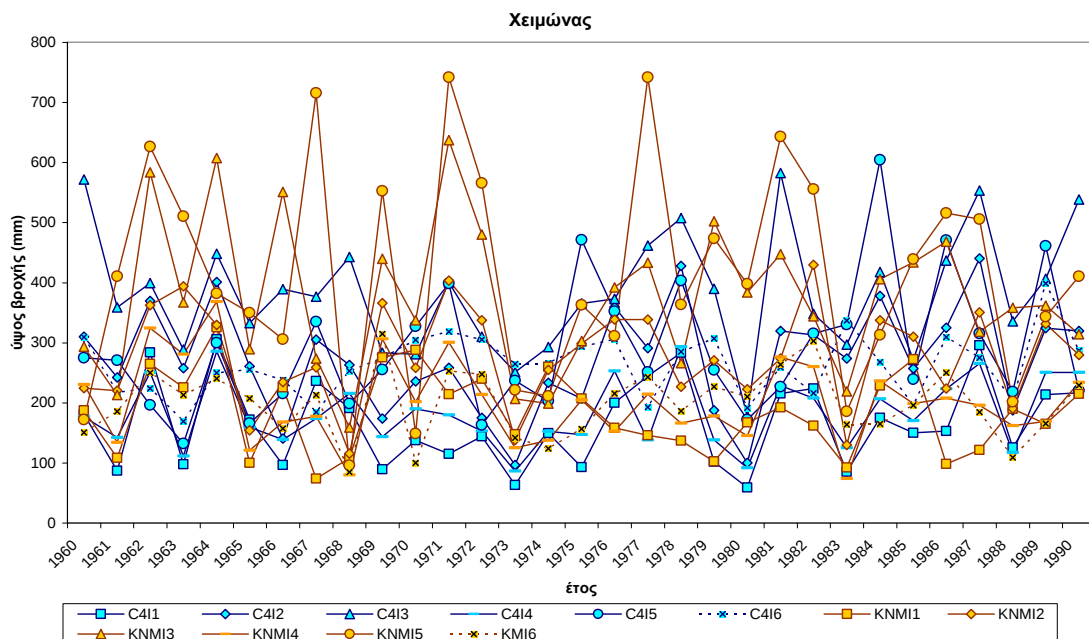


Γρ. 2.4 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής από τις εκτιμήσεις του KNMI για την περίοδο 1960-1990

Στα γραφήματα 2.5–2.8 παρουσιάζονται οι εποχιακές εκτιμήσεις του ποσού της βροχόπτωσης όλων των grid points των δύο μοντέλων για την περίοδο 1960-1990. Γενικά, παρατηρείται σημαντική διακύμανση των τιμών βροχόπτωσης από έτος σε έτος στα διάφορα grid points.

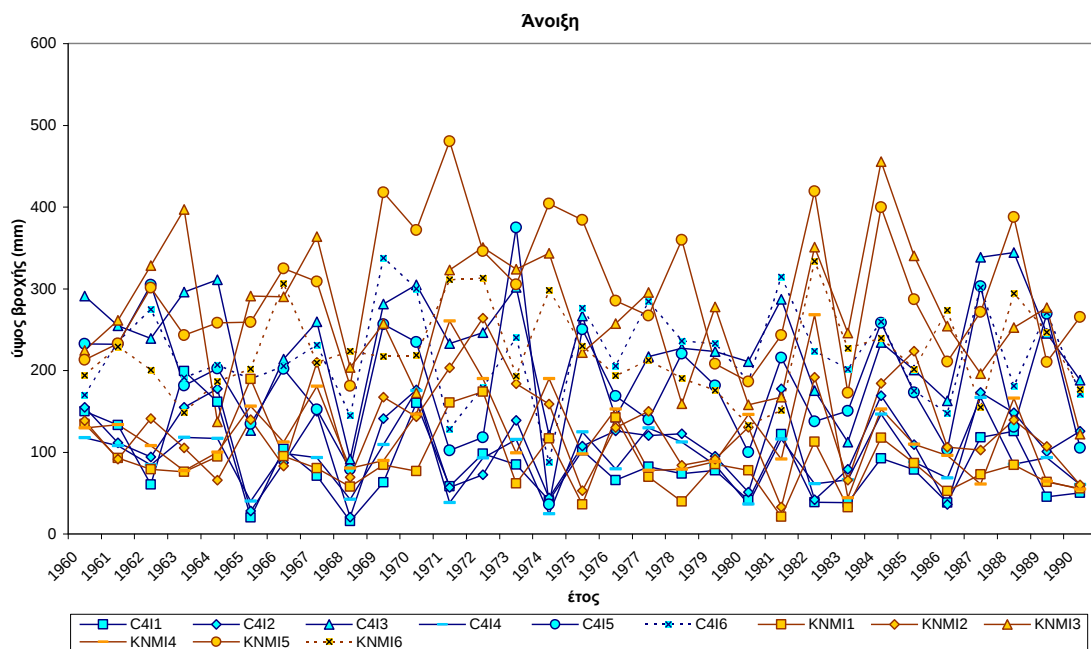
Χειμώνας

Από την αρχή της περιόδου μελέτης το κλιματικό μοντέλο KNMI εμφανίζει γενικά μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με το C4I. Ειδικότερα, το gr1 εμφανίζει βροχοπτώσεις που πλησιάζουν αυτές του σταθμού, ενώ, τα gr5 και gr3 εμφανίζουν πολύ υψηλότερες τιμές από τη μέση βροχόπτωση της περιοχής. Το gr5 εμφάνισε για 3 χρόνια (1967, 1971, 1977) χειμερινές βροχοπτώσεις μεγαλύτερες από 700mm. Αντίθετα, το κλιματικό μοντέλο C4I εμφανίζει καλλίτερα αποτελέσματα, με τα gr1 και gr4 να εμφανίζουν χειμερινή βροχόπτωση που πλησιάζει αυτή του σταθμού. Το gr3 είναι το κομβικό σημείο με τις μεγαλύτερες τιμές του μοντέλου.



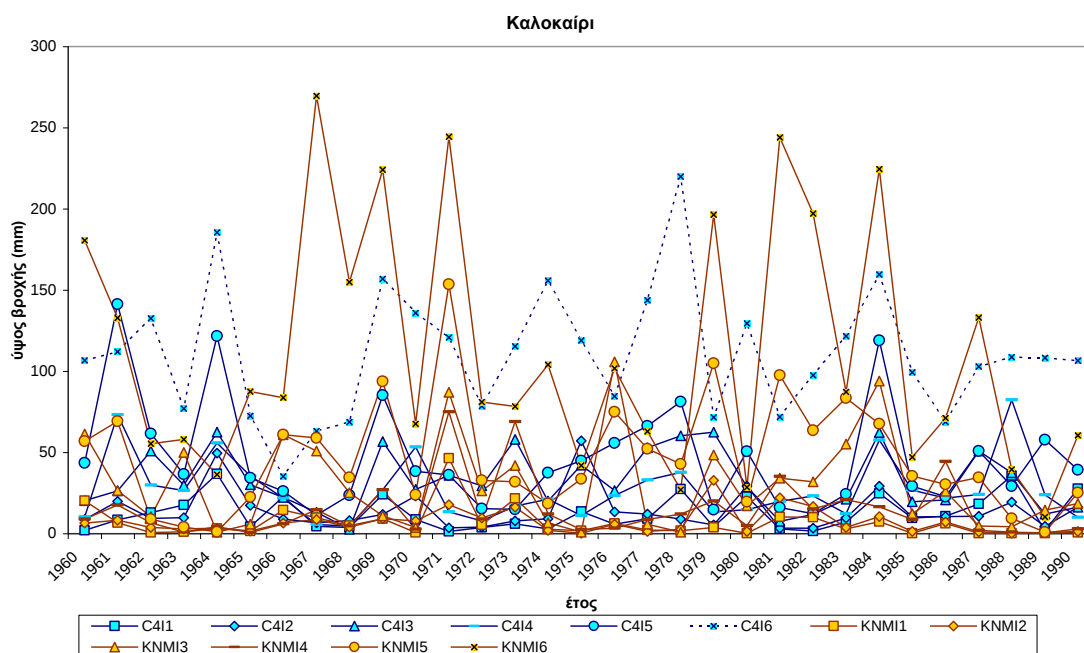
Γρ. 2.5 Σύγκριση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI. Χειμώνας 1960-1990

Τις μεγαλύτερες τιμές τις δίνουν gr του KNMI, ενώ τις μικρότερες κυρίως gr του C4I. Στο KNMI πολύ κοντά στις τιμές του σταθμού βρίσκονται αυτές των gr1 και gr4. Το gr5 δίνει τιμές βροχόπτωσης 400mm και περισσότερο για πέντε χρόνια (1969, 1971, 1974, 1982, 1985) και το gr3 για ένα (1982). Τη μικρότερη εκτίμηση τη δίνει το gr1 με 20,7mm (1981). Στο C4I δεν παρουσιάζονται εκτιμήσεις μεγαλύτερες από 400mm. Υπάρχουν όμως μερικές που είναι χαμηλότερες από 30mm, κυρίως από τα gr 1 και 2 και μάλιστα τα έτη 1965 και 1968 παρουσιάζουν και τα δύο αυτά gr πολύ χαμηλές τιμές. Το gr5 φαίνεται να πλησιάζει περισσότερο τις μετρήσεις του σταθμού.



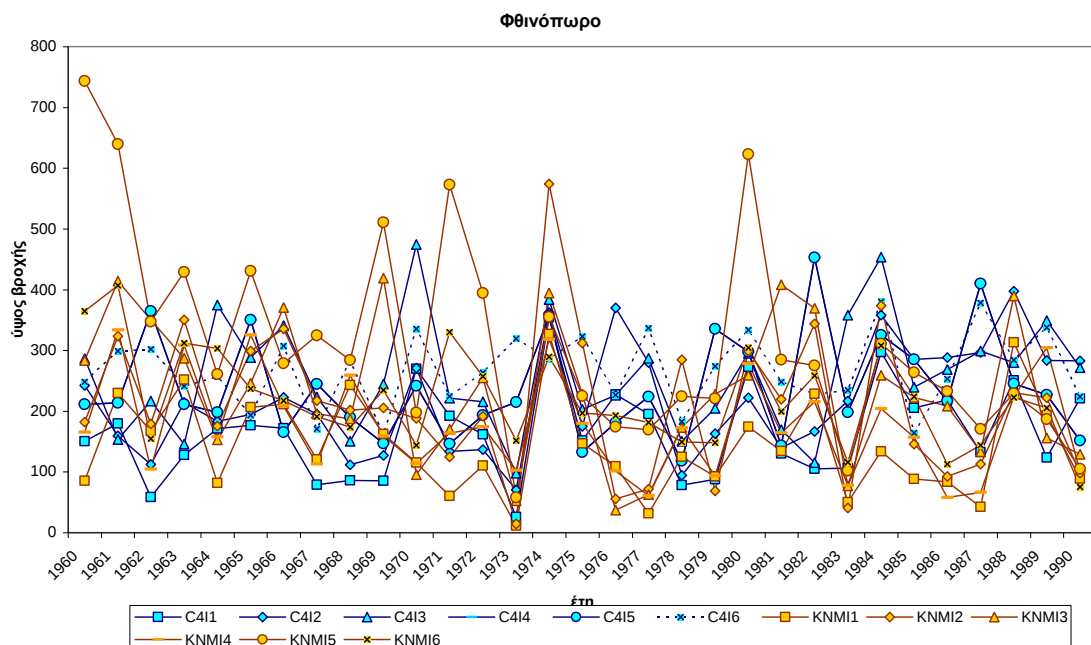
Γρ. 2.6 Σύγκριση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI. Άνοιξη 1960-1990

Το Καλοκαίρι, οι μέγιστες αλλά και οι ελάχιστες εκτιμήσεις ανήκουν κυρίως στο KNMI. Το gr6 έχει τις μεγαλύτερες τιμές οι οποίες για πέντε χρόνια ξεπερνούν τα 200mm (1967, 1969, 1971, 1981, 1984). Τις μικρότερες εκτιμήσεις τις δίνουν τα gr1 και gr2 τα οποία δίνουν πολύ συχνά τιμές μικρότερες των 10mm. Το gr3 φαίνεται ότι πλησιάζει περισσότερο τις μετρήσεις του σταθμού. Στο C4I εκτίμηση μεγαλύτερη από 200mm δίνει για το 1978 το gr6 το οποίο όπως και στο KNMI είναι το gr που δίνει γενικότερα τις υψηλότερες εκτιμήσεις. Οι τιμές μικρότερες από 10mm είναι λιγότερες από ότι στο KNMI και τις δίνουν τα gr 1, 2 και 3. Οι εκτιμήσεις των gr4 και 5 είναι οι πιο κοντινές στις μετρήσεις του σταθμού.



Γρ. 2.7 Σύγκριση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI. Καλοκαίρι 1960-1990

Γενικά, οι εκτιμήσεις και των δύο μοντέλων είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις μετρήσεις του σταθμού οι οποίες ξεπερνούν τα 200mm μόνο σε 4 έτη. Τις πιο ακραίες εκτιμήσεις τις δίνει το KNMI, τόσο στις μέγιστες, όπου ξεπερνάει τα 500mm για έξι έτη (1960, 1961, 1969, 1971, 1974, 1980) κα μάλιστα σχεδόν αποκλειστικά με το gr5, όσο και στις ελάχιστες όπου σημειώνονται εκτιμήσεις μικρότερες από 50mm για πέντε έτη (1973, 1976, 1977, 1983, 1987) στα gr 1, 2 και 3. Οι εκτιμήσεις του gr4 φαίνεται να είναι πιο κοντά στις τιμές του σταθμού. Στο C4I η εικόνα των gr πλησιάζει περισσότερο αυτή του σταθμού, κυρίως με τα gr 1 και 3, καθώς λείπουν οι πολύ έντονες διακυμάνσεις. Τις υψηλότερες εκτιμήσεις δίνει το gr3 και τις χαμηλότερες το gr1, οι οποίες όμως δε φτάνουν τις ακραίες τιμές των gr του KNMI. Στο γράφημα 2.8 είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική η αύξηση και μείωση της βροχόπτωσης την περίοδο 1973-1975, στην οποία συμφωνούν οι εκτιμήσεις σχεδόν όλων των gr, κάτι που δεν επαληθεύεται, ωστόσο, από τις μετρήσεις του σταθμού.

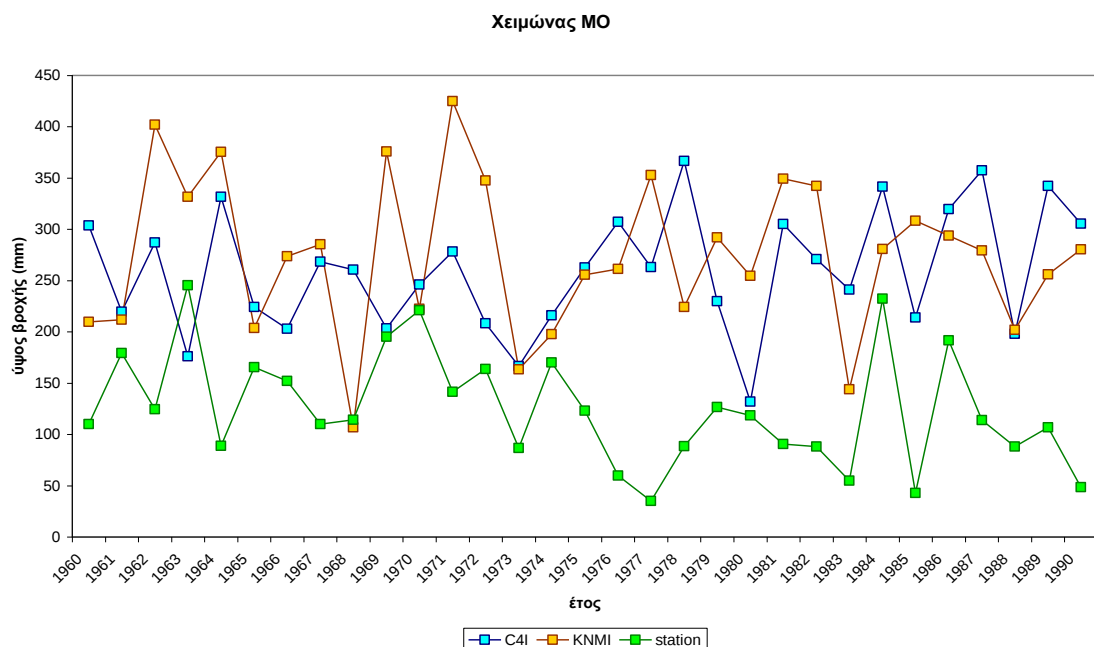


Γρ. 2.8 Σύγκριση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI. Φθινόπωρο 1960-1990

Στη συνέχεια, στα γραφήματα 2.9–2.12 γίνεται σύγκριση μεταξύ του μέσου όρου των εποχιακών εκτιμήσεων όλων των gr κάθε μοντέλου με τις εποχιακές μετρήσεις του σταθμού για την περίοδο 1960-1990.

Χειμώνας

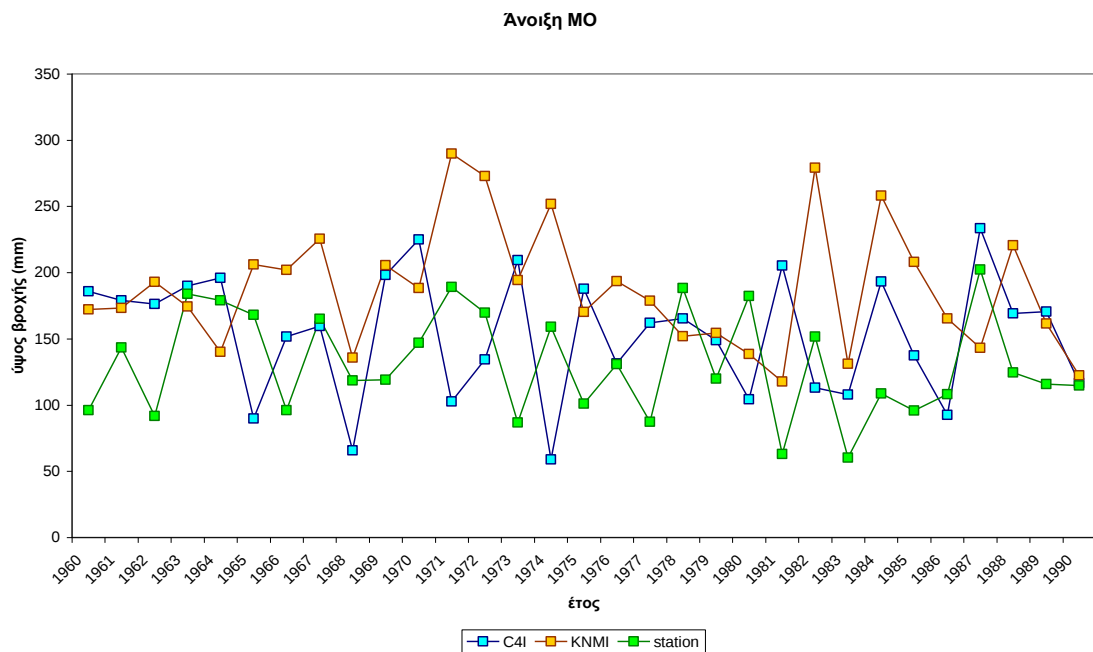
Οι εκτιμήσεις των δύο μοντέλων ξεπερνούν σημαντικά τις μετρήσεις του σταθμού. Το μεγαλύτερο εύρος παρουσιάζεται στις εκτιμήσεις του KNMI όπου συναντούμε και τις ακραίες τιμές. Η μέγιστη το 1971 με 424,8mm και η ελάχιστη το 1968 με 106,9mm. Για το C4I η μεγαλύτερη εκτίμηση είναι για το 1978 με 366,7mm και η μικρότερη για το 1980 με 131,8mm. Χαρακτηριστική είναι η απόκλιση που σημειώνεται την περίοδο 1975-1979 μεταξύ των εκτιμήσεων των δύο μοντέλων και των τιμών του σταθμού.



Γρ. 2.9 Σύγκριση MO εποχιακών τιμών βροχοπτώσεως C4I – KNMI - σταθμού.

Χειμώνας 1960-1990

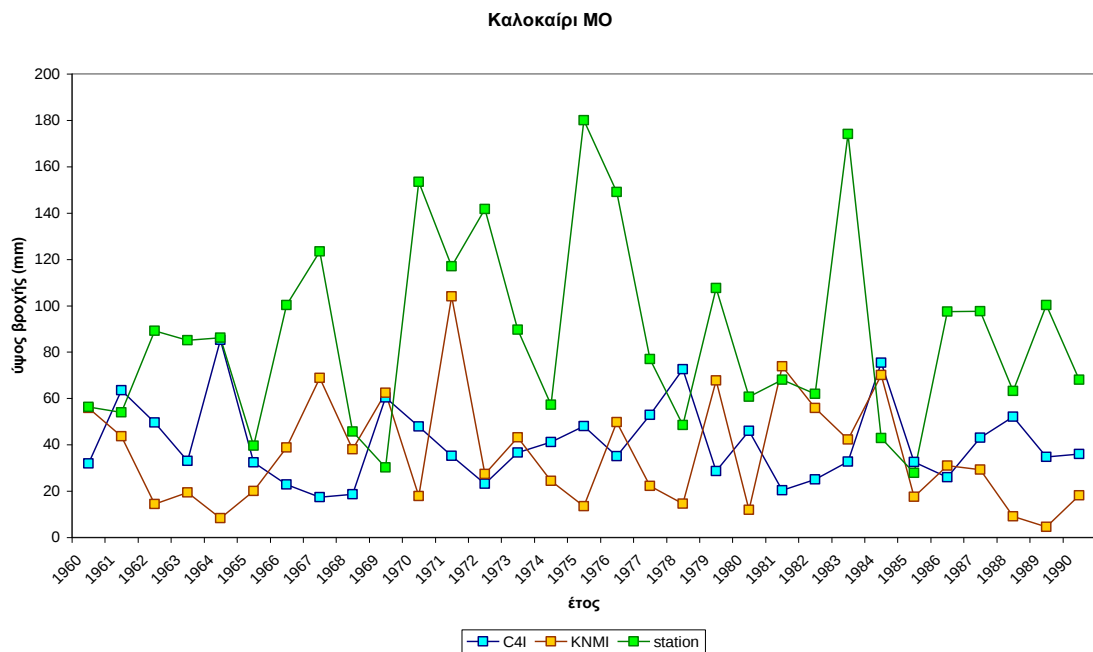
Οι μετρήσεις του σταθμού δε διαφέρουν σημαντικά από τις εκτιμήσεις του C4I, ωστόσο, και οι 2 υπολείπονται λίγο από αυτές του KNMI. Η μεγαλύτερη τιμή του KNMI είναι για το 1971 με 289,7mm και η μικρότερη για το 1981 με 117,7mm. Γενικά, φαίνεται να παρουσιάζει μία σταθερή απόκλιση από τις τιμές του σταθμού, με μια μικρή εξαίρεση προς το μέσο της δεκαετίας τους '80. Στο C4I η μεγαλύτερη τιμή σημειώνεται το 1987 με 233,3mm και η μικρότερη το 1974 με 58,8mm. Δεν σημειώνεται κάποια σημαντική απόκλιση με τις μετρήσεις του σταθμού.



Γρ. 2.10 Σύγκριση MO εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI - σταθμού.

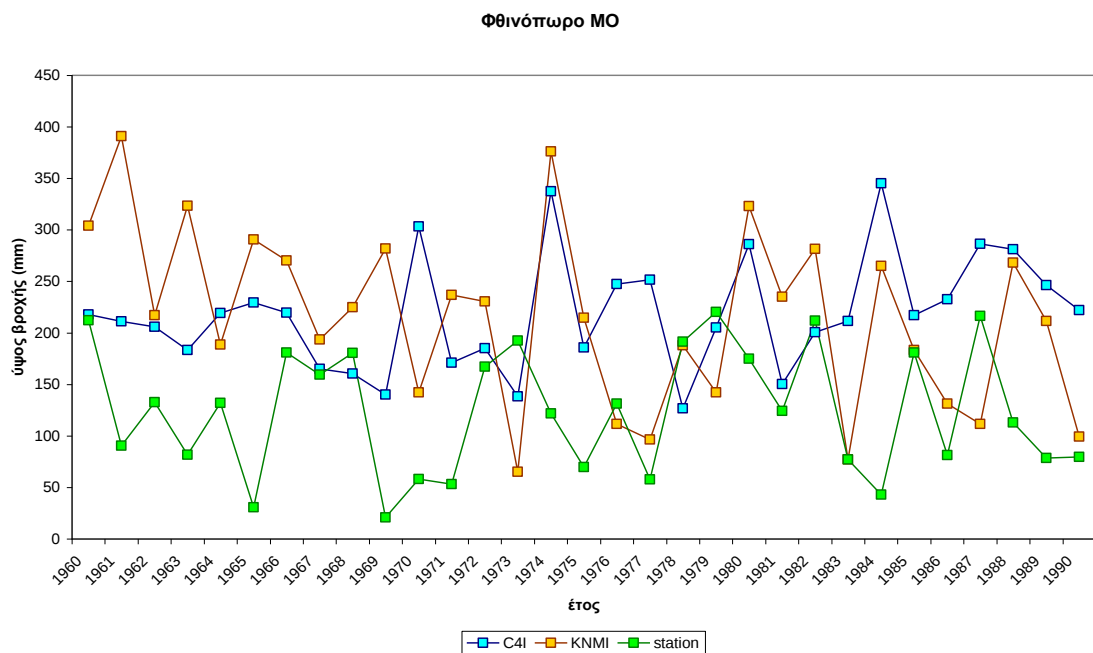
Άνοιξη 1960-1990

Οι μετρήσεις του σταθμού ξεπερνούν αρκετά τις εκτιμήσεις και των δύο μοντέλων, οι οποίες μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις σημειώνονται μέσα στην περίοδο 1970-1976 όπου καταγράφονται από το σταθμό αρκετά υψηλές μετρήσεις. Η μεγαλύτερη τιμή για το KNMI σημειώνεται το 1971 με 104mm και μάλιστα υπολείπεται ελάχιστα της μέτρησης του σταθμού, ενώ η μικρότερη το 1989 με μόλις 4,5mm. Στο C4I η μεγαλύτερη εκτίμηση είναι 75,4mm το 1984 και η μικρότερη 17,4mm το 1967.



Γρ. 2.11 Σύγκριση MO εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI - σταθμού.
Καλοκαίρι 1960-1990

Οι μετρήσεις του σταθμού υπολείπονται και πάλι των εκτιμήσεων των 2 μοντέλων και ιδιαίτερα αυτών του KNMI. Οι σημαντικότερες αποκλίσεις σημειώνονται στο πρώτο μισό της δεκαετίας του '60, στην αρχή και τη μέση της δεκαετίας του '70 και το 1984. Οφείλονται κυρίως στις μικρές τιμές των μετρήσεων του σταθμού που είναι αρκετά χαμηλότερες από 100mm σε αυτές τις περιόδους. Για το KNMI η μεγαλύτερες εκτιμήσεις είναι για τα έτη 1961 και 1974 με τιμές 391mm και 376,3 αντίστοιχα. Η μικρότερη σημειώνεται το 1973 με 65mm. Στο C4I, οι μεγαλύτερες τιμές είναι 345,3mm και 337,4mm για τα έτη 1984 και 1974, αντίστοιχα, και η μικρότερη 126,5mm το 1978.



Γρ. 2.12 Σύγκριση MO εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I – KNMI - σταθμού.
Φθινόπωρο 1960-1990

Στη συνέχεια, οι Πίνακες 2.1 και 2.2 παρουσιάζουν τους συντελεστές συσχέτισης των εκτιμήσεων για κάθε ένα gr των δύο μοντέλων με τις μετρήσεις του σταθμού. Με έντονη πλάγια γραφή σημειώνεται ο μεγαλύτερος κατά απόλυτη τιμή συντελεστής συσχέτισης κάθε εποχής.

C4I gr	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1	-0,3489	0,1233	-0,2347	-0,3326
2	-0,1693	-0,0674	0,1659	-0,2069
3	-0,2654	0,1441	-0,0386	-0,3682
4	-0,1983	-0,0797	-0,2779	-0,0990
5	0,0989	-0,2325	-0,2864	0,2755
6	0,0046	-0,2229	-0,1948	0,0086

Πίνακας 2.1 Συντελεστές συσχέτισης C4I

KNMI gr	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1	0,2126	0,4101	0,0617	-0,0814
2	0,1297	0,2232	0,0780	-0,0894
3	0,0696	-0,0257	0,2230	0,0165
4	0,1577	0,3937	0,0415	-0,1323
5	-0,0408	0,2450	0,1127	-0,0437
6	-0,0606	-0,0062	-0,1193	-0,0560

Πίνακας 2.2 Συντελεστές συσχέτισης KNMI

Από την ανάλυση του Πίνακα 2.1 προκύπτει ότι για τα κομβικά σημεία του μοντέλου C4I επικρατούν αρνητικές συσχετίσεις σε σχέση με τις μετρήσεις του σταθμού. Ειδικότερα, για το Χειμώνα οι κόμβοι που βρίσκονται νότια και ανατολικά

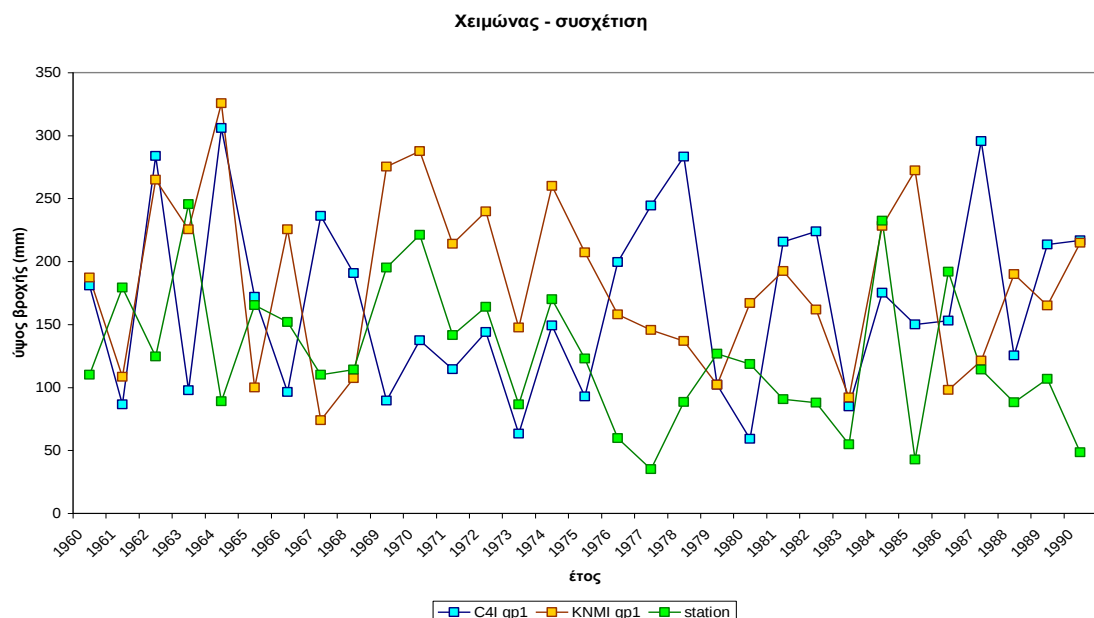
του σταθμού εμφανίζουν αρνητικές συσχετίσεις, με σημαντικότερη αυτή του gr1 (-0,3849). Τα gr 5 και 6 εμφανίζουν θετικές μη σημαντικές συσχετίσεις. Την Άνοιξη, ο κόμβος με τη μεγαλύτερη αρνητική συσχέτιση είναι το κοντινότερο κομβικό σημείο (gr5). Αντίθετα, τα δύο κομβικά σημεία που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα (gr 1 και 3) εμφανίζουν θετική συσχέτιση. Το Καλοκαίρι όλα τα σημεία εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση εκτός από το gr2 που βρίσκεται νότιο-ανατολικά του σταθμού, πάνω στην ηπειρωτική χώρα. Τέλος, το Φθινόπωρο παρουσιάζει αντίστοιχη εικόνα με εκείνη του Χειμώνα, με τη διαφορά ότι το gr5 εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερη θετική συσχέτιση.

Αντίθετη είναι η εικόνα που προκύπτει από τον Πίνακα 2.2 με τις θετικές συσχετίσεις να επικρατούν. Ειδικότερα, για το Χειμώνα, τα κομβικά σημεία gr 1 έως 4 παρουσιάζουν θετικές συσχετίσεις με μεγαλύτερη αυτή του gr1 (0.2126). Την Άνοιξη και πάλι το gr1 εμφανίζει θετική σημαντική συσχέτιση (0.4101), ενώ, για το Καλοκαίρι η μεγαλύτερη συσχέτιση εμφανίζεται στο gr3, που βρίσκεται νότια του σταθμού μελέτης. Μόνο το Φθινόπωρο, η μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή συσχέτιση εμφανίζεται στο gr4, που είναι όμως αρνητική συσχέτιση.

Στη συνέχεια, συγκρίνονται σε κάθε εποχή οι μετρήσεις του σταθμού της περιόδου 1960-1990 με τις εκτιμήσεις των gr που παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης από τα δύο μοντέλα. Παρουσιάζονται στα γραφήματα 2.13-2.16.

Χειμώνας

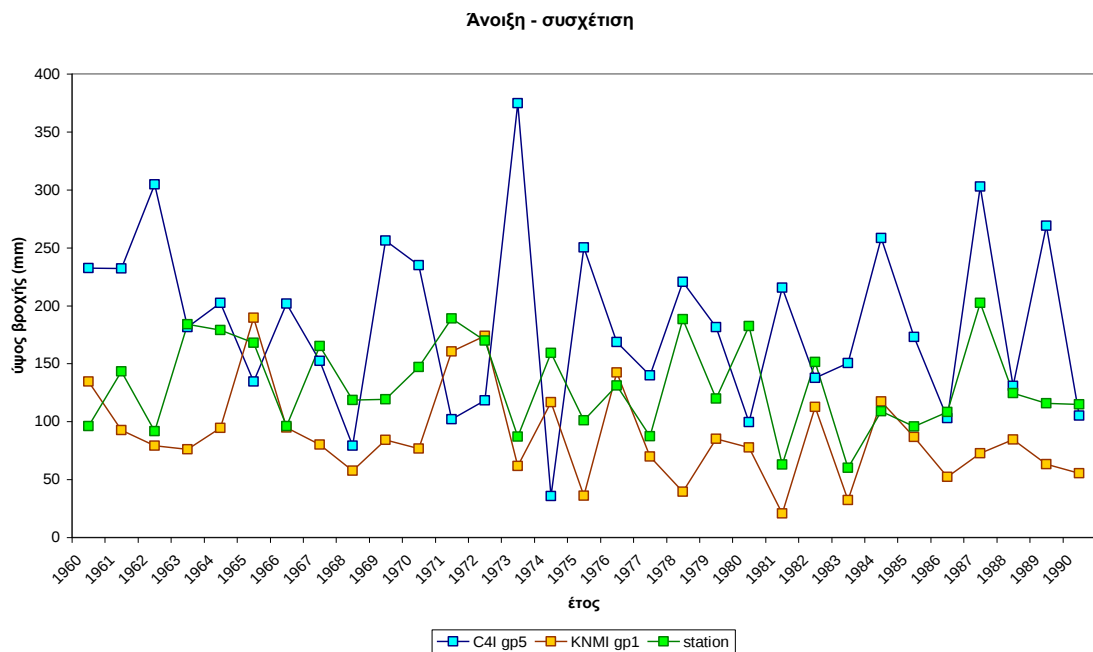
Είναι χαρακτηριστική, τόσο οι αντίστροφες διακυμάνσεις των εκτιμήσεων των μοντέλων με αυτές των μετρήσεων του σταθμού την περίοδο 1961-1967, όσο και η μετέπειτα ομοιότητά τους την περίοδο 1969-1975. Στη συνέχεια οι εκτιμήσεις μεταξύ των δύο μοντέλων διαφέρουν αρκετά και κατ' επέκταση και οι σχέσεις τους με τις μετρήσεις του σταθμού. Όσον αφορά τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές, οι σημαντικότερες διαφορές είναι στις μέγιστες, καθώς η μεγαλύτερη τιμή του σταθμού είναι 245,5mm το 1963, ενώ για το gr1 του KNMI 325,6mm το 1964 και για το gr1 του C4I 305,9mm, επίσης το 1964. Η μικρότερη τιμή του σταθμού είναι 35mm το 1977, για το gr1 του KNMI 73,8mm το 1967 και για το gr1 του C4I 59mm το 1980.



Γρ. 2.13 Συσχέτιση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I gp1 – KNMI gp1 – σταθμού.

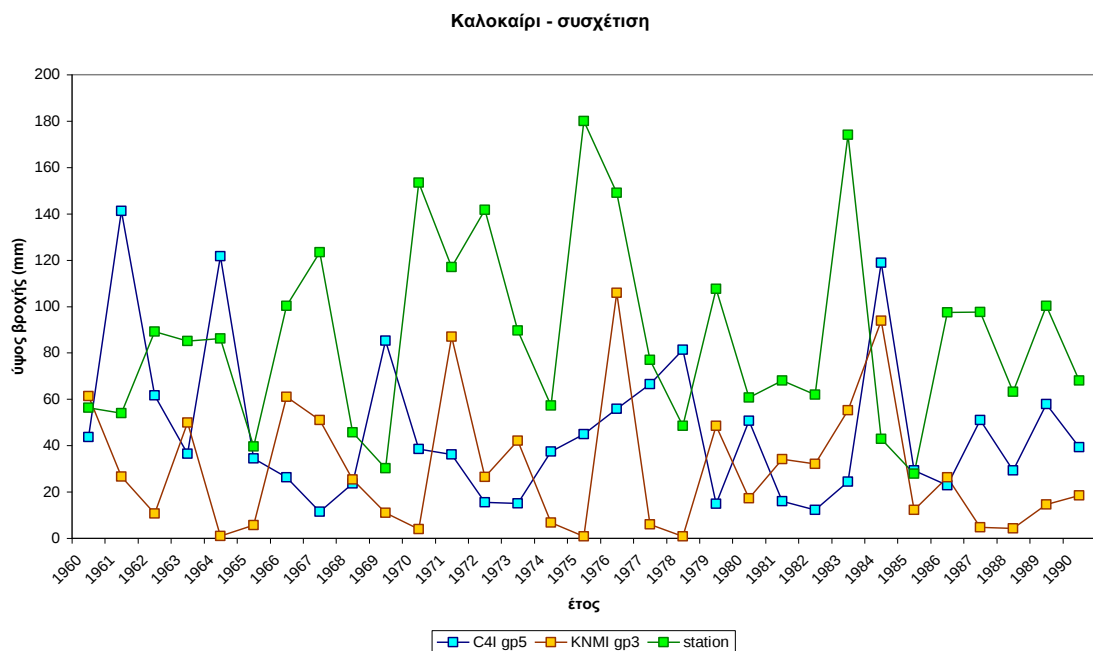
Χειμώνας 1960-1990

Την Άνοιξη, το gr5 του C4I έχει γενικά μεγαλύτερες τιμές και από το σταθμό και από το gr1 του KNMI. Επίσης, ακολουθεί σε μικρότερο βαθμό τις διακυμάνσεις των τιμών του σταθμού από ότι το gr1 του KNMI. Η μεγαλύτερη τιμή του είναι 374,8mm το 1973, ενώ και τα έτη 1962 και 1987 ξεπερνά τα 300mm. Η μικρότερη τιμή του είναι 35.8mm το 1974. Το gr1 του KNMI έχει μεγαλύτερη τιμή το 1965 με 189,4mm και μικρότερη το 1981 με 20,7mm. Η υψηλότερη μέτρηση του σταθμού καταγράφεται το 1987 με τιμή 202,2mm και η χαμηλότερη το 1983 με τιμή 60,2mm.



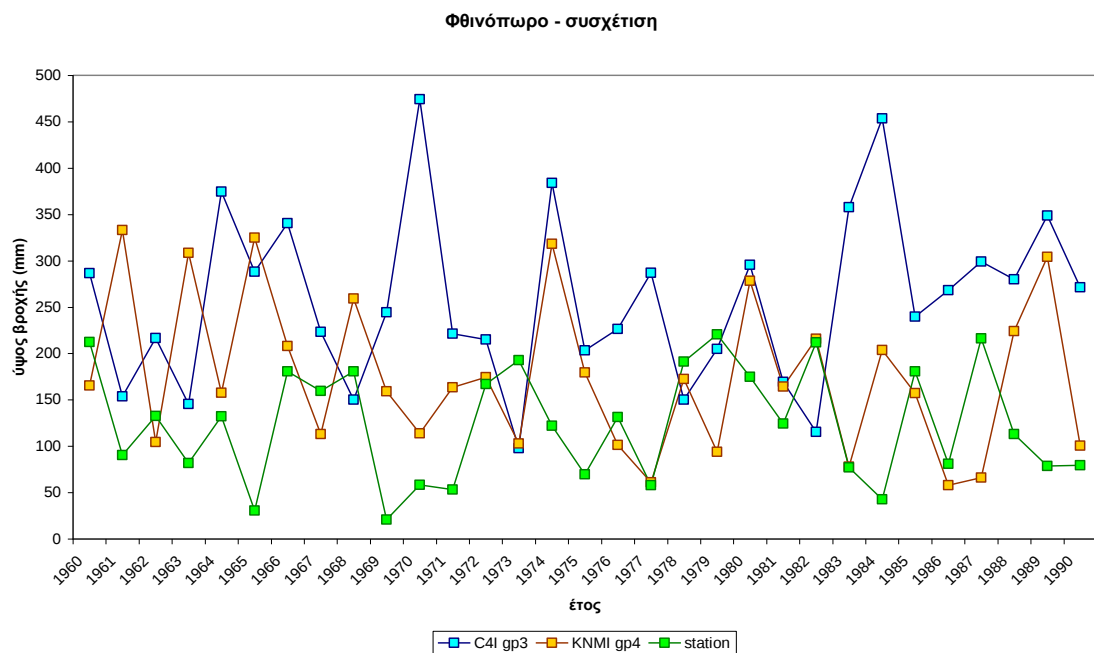
Γρ. 2.14 Συσχέτιση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I gr5 – KNMI gr1 – σταθμού.
Άνοιξη 1960-1990

Οι τιμές των δύο μοντέλων είναι εμφανώς μικρότερες από τις μετρήσεις του σταθμού. Το gr3 του KNMI από το 1965 κι έπειτα παρουσιάζει πάρα πολύ καλή ταύτιση με τις διακυμάνσεις των τιμών του σταθμού από έτος σε έτος. Για τις τιμές του gr5 του C4I, αξιόλογη ταύτιση με τις διακυμάνσεις του σταθμού συμβαίνει μόνο κατά την τελευταία δεκαετία. Ο σταθμός παρουσιάζει τρία μέγιστα βροχόπτωσης με τιμές πάνω από 150mm σε τρία διαφορετικά έτη (1970, 1975, 1983) και ελάχιστη τιμή το 1985 με 27.9mm. Το gr3 του KNMI έχει τη μεγαλύτερη τιμή του το 1976 με 105,8mm, ενώ σε τρία διαφορετικά έτη δίνει τιμή βροχόπτωσης μικρότερη από 1mm (1964, 1975, 1978). Η μεγαλύτερη τιμή για το gr5 C4I είναι 141,2mm για το 1961 και η μικρότερη 11,4 για το 1967.



Γρ. 2.15 Συσχέτιση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I gp5 – KNMI gp3 – σταθμού.
Καλοκαίρι 1960-1990

Τέλος, το Φθινόπωρο, οι μετρήσεις του σταθμού παρουσιάζουν γενικά μικρότερες τιμές από τις εκτιμήσεις του gr3 του C4I σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, ενώ σε σχέση με αυτές του gr4 του KNMI είναι μικρότερες στο πρώτο μισό και παρόμοιες στη συνέχεια. Το gr3 του C4I παρουσιάζει δύο φορές τιμές μεγαλύτερες από 450mm (1970, 1984) και η μικρότερη τιμή του είναι 97,6mm το 1973. Η μεγαλύτερη τιμή για το gr4 του KNMI είναι 333,2mm το 1961 και η μικρότερη 58mm το 1986. Στο σταθμό καταγράφηκε το μεγαλύτερο ποσό βροχόπτωσης το 1979 με τιμή 220,3mm, ενώ σε τρία διαφορετικά έτη η βροχόπτωση ήταν μικρότερη από 50mm (1965, 1969, 1984).



Γρ. 2.19 Συσχέτιση εποχιακών τιμών βροχόπτωσης C4I gr3 – KNMI gr4 – σταθμού. Φθινόπωρο 1960-1990

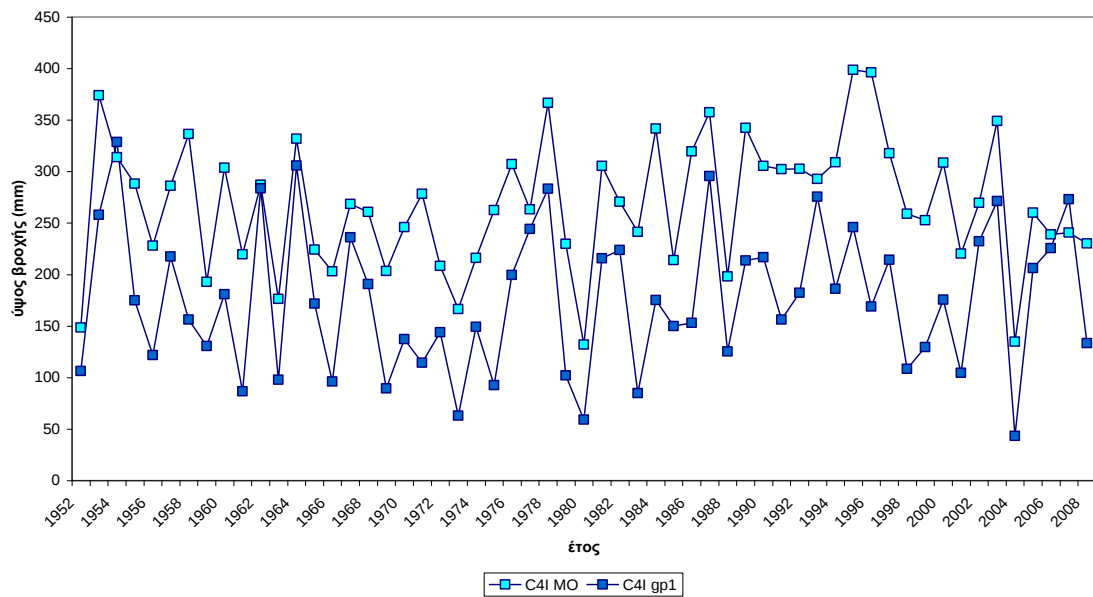
Στα γραφήματα 3.1-3.8 παρουσιάζονται και συγκρίνονται, για κάθε εποχή της περιόδου 1952-2008, ο μέσος όρος (ΜΟ) των εκτιμήσεων της βροχόπτωσης και των έξι gr κάθε μοντέλου σε σχέση με την εκτίμηση του gr κάθε μοντέλου που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης με τα δεδομένα του σταθμού, όπως αυτός εμφανίζεται στους Πίνακες 2.1 και 2.2 του προηγούμενου κεφαλαίου.

Χειμώνας

Στο C4I το μέγιστο για το gr1 εμφανίζεται το 1954 (328,5mm) και το ελάχιστο το 2004 (43,3mm) το οποίο όμως φαίνεται να αποτελεί εξαίρεση με βάση τη γενικότερη τάση. Γενικά οι τιμές του gr1 είναι μικρότερες από το ΜΟ των gr. Στο πρώτο μισό της δεκαετίας του '70 βλέπουμε μια περίοδο βροχοπτώσεων χαμηλής ποσότητας. Στη συνέχεια παρατηρούμε μια ανοδική τάση που διήρκεσε ως τα μέσα της δεκαετίας του '90 και μετά από μια μικρή διακοπή συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Σε αυτή την τελευταία περίοδο παρατηρείται απόκλιση στην τάση του ΜΟ των gr καθώς αυτή φαίνεται να είναι ελαφρά πτωτική.

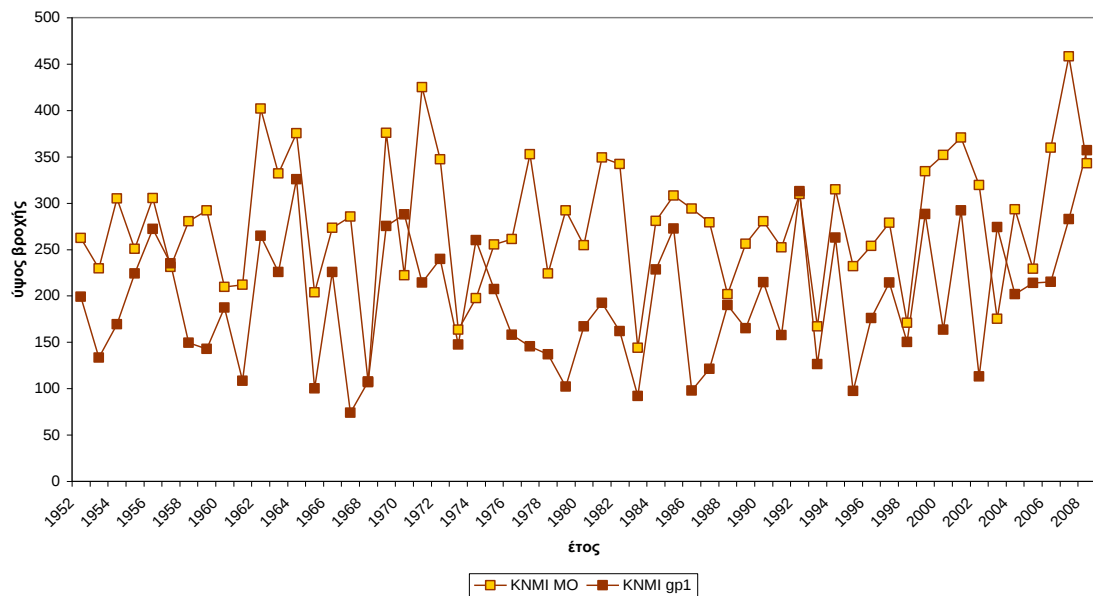
Στο KNMI παρατηρούμε παρόμοια χαρακτηριστικά όσο αφορά τη γενική ανοδική τάση από το πρώτο μισό της δεκαετίας του '80 μέχρι σήμερα. Είναι πιο χαρακτηριστική όμως η πιο απότομη αύξηση της τελευταίας δεκαετίας όπου σημειώνεται και η μέγιστη τιμή το 2008 (356,9mm). Η ελάχιστη είναι το 1967 (73,8mm). Δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ της γενικής τάσης του gr1 και του ΜΟ των gr. Και εδώ οι τιμές του ΜΟ είναι μεγαλύτερες από αυτές του gr1.

χειμώνας C4I



Γρ. 3.1 Σύγκριση MO gr C4I – gp1 C4I περιόδου 1952-2008, Χειμώνας

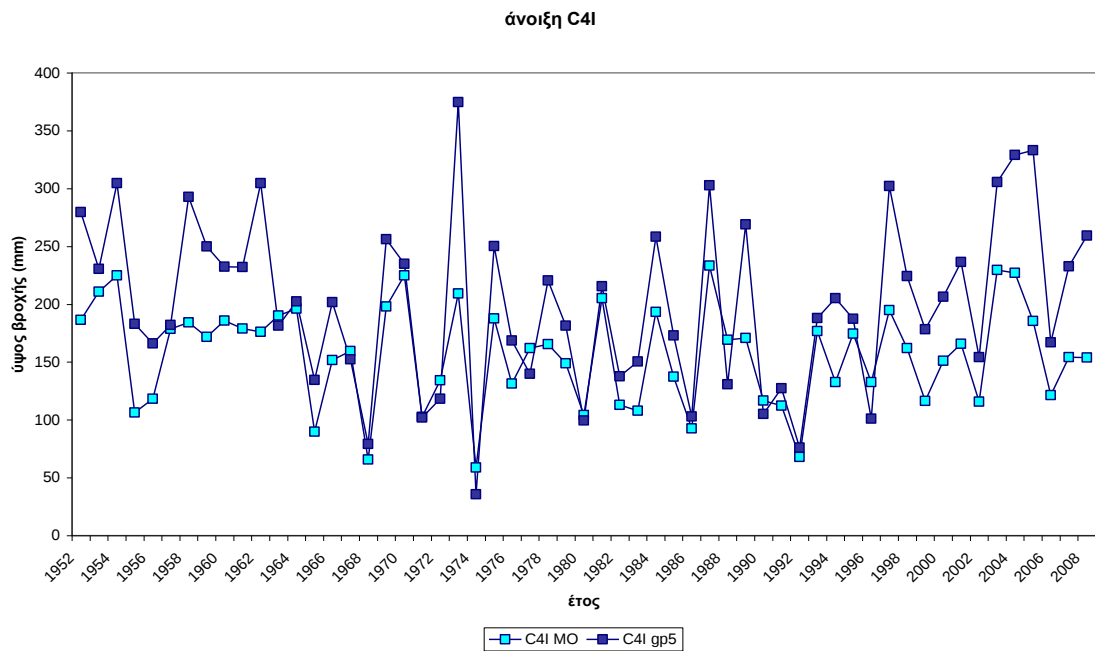
χειμώνας KNMI



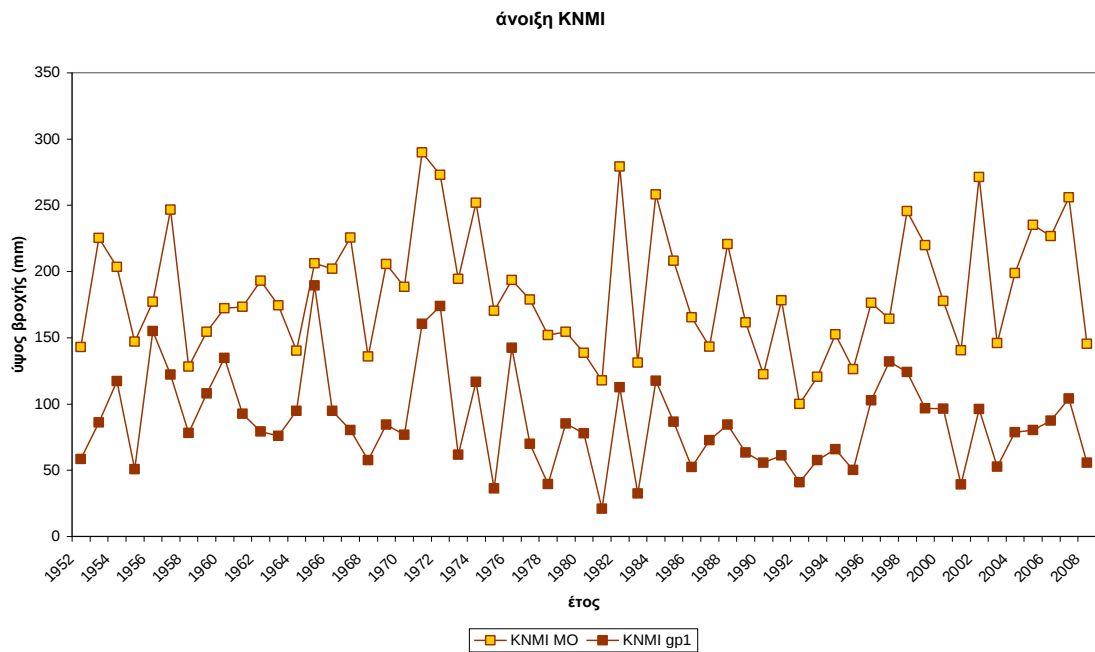
Γρ. 3.2 Σύγκριση MO gr KNMI – gp1 KNMI περιόδου 1952-2008, Χειμώνας

Στο C4I σε 2 διαδοχικά έτη 1973 (374,8mm) και 1974 (35,8mm) σημειώνονται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή αντίστοιχα. Έως τις αρχές της δεκαετίας του '90 παρατηρείται μια συνεχής πτωτική τάση των τιμών βροχόπτωσης η οποία αυξάνεται στη συνέχεια μέχρι και σήμερα. Ωστόσο, συνολικά στο διάστημα 1952-2008 η γενική τάση είναι ουδέτερη, καθώς είναι ελάχιστα πτωτική για το gr5 και ελάχιστα ανοδική για το MO των gr. Εδώ οι τιμές του gr5 είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του MO των gr.

Στο gr1 του KNMI παρατηρούμε αρχικά τις αισθητά μικρότερες απόλυτες τιμές βροχόπτωσης σε σχέση, τόσο με αυτές του gr5 του C4I, όσο και αυτές του MO των gr του KNMI. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται το 1965 (189,4mm) και η ελάχιστη το 1981 (20,7mm). Η ελαφρά πτωτική τάση έως τα τέλη της δεκαετίας του '80 εμφανίζεται και εδώ, όμως στη συνέχεια δεν είναι εμφανής η ανοδική πορεία που φαίνεται στο C4I. Έτσι, στο σύνολο του χρονικού διαστήματος 1952-2008 η τάση του ποσού της βροχόπτωσης έχει σαφή πτωτικό χαρακτήρα για το gr1 ενώ για το MO των gr είναι ελάχιστα ανοδική.



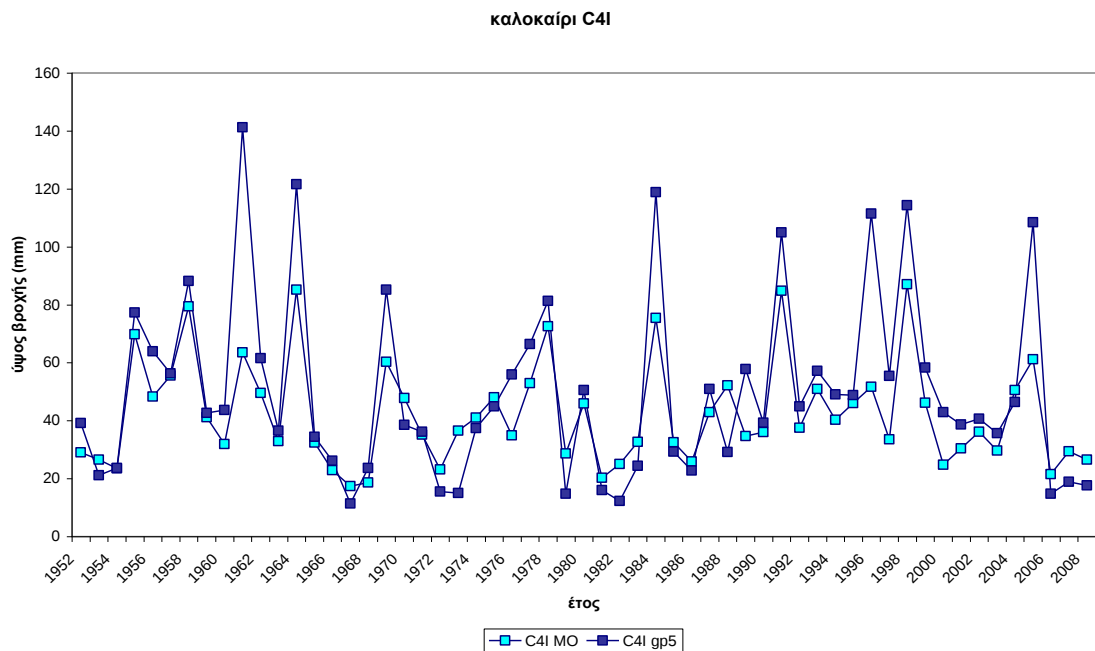
Γρ. 3.3 Σύγκριση MO gr C4I – gp5 C4I περιόδου 1952-2008, Άνοιξη



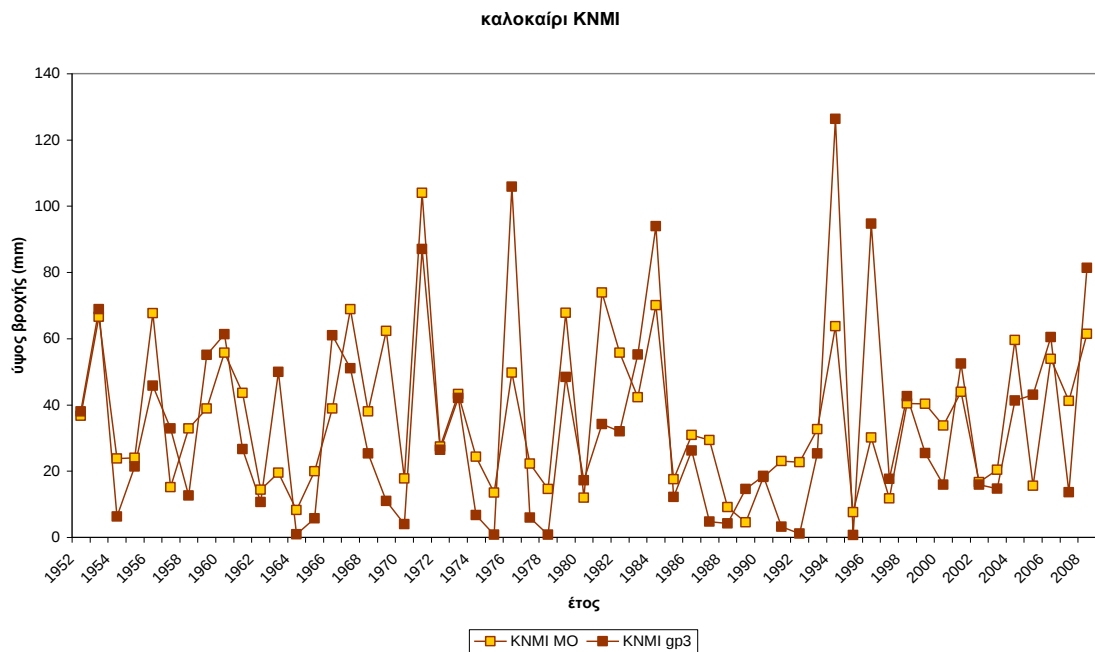
Γρ. 3.4 Σύγκριση MO gr KNMI – gp1 KNMI περιόδου 1952-2008, Άνοιξη



Γενικά στο C4I φαίνεται γενικά μία ουδέτερη έως πολύ μικρή πτωτική τάση ενώ αντιθέτως στο KNMI το gr3 δείχνει μία πολύ μικρή ανοδική τάση, σε αντίθεση με το MO που δείχνει μια πολύ μικρή πτωτική τάση. Η μέγιστη τιμή για το C4I εμφανίζεται το 1961 (141,2mm) και η ελάχιστη το 1967 (11,4mm). Στο KNMI το μέγιστο λαμβάνει χώρα το 1971 (104mm) και το ελάχιστο το 1989 (4,5mm). Αυτό που είναι αξιοσημείωτο όμως είναι οι αντίθετες εκτιμήσεις τους για την τελευταία δεκαετία. Το C4I δείχνει σαφή μείωση του ποσού της βροχόπτωσης ενώ το KNMI σαφή αύξηση. Και στα δύο μοντέλα οι τιμές των gr με τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από αυτές του MO των gr.



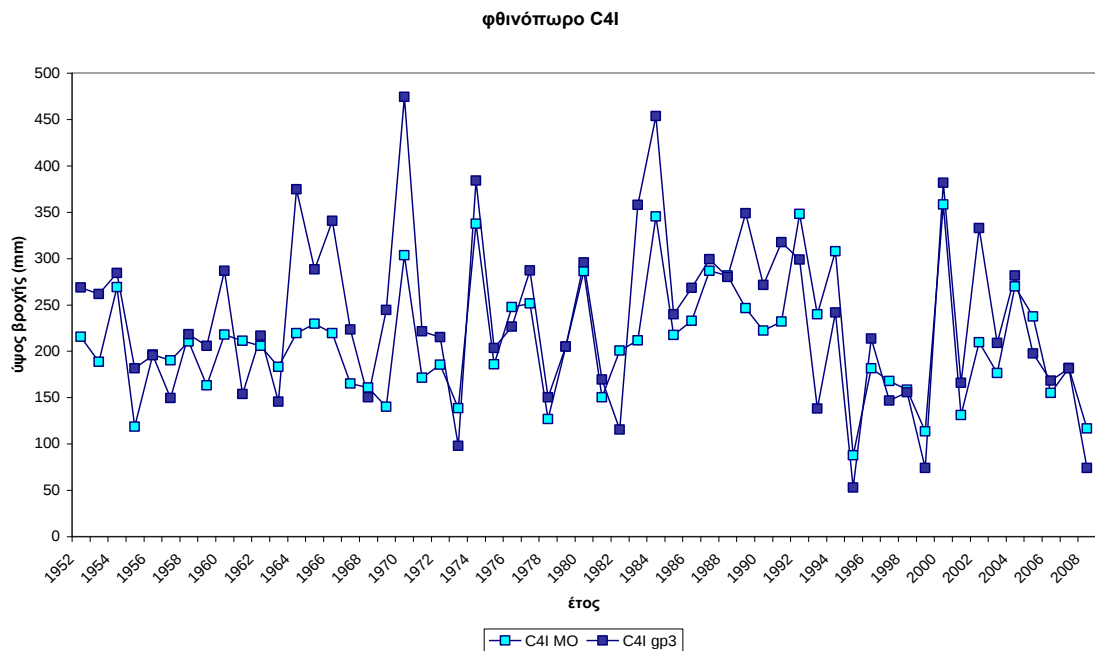
Γρ. 3.5 Σύγκριση MO gr C4I – gp5 C4I περιόδου 1952-2008, Καλοκαίρι



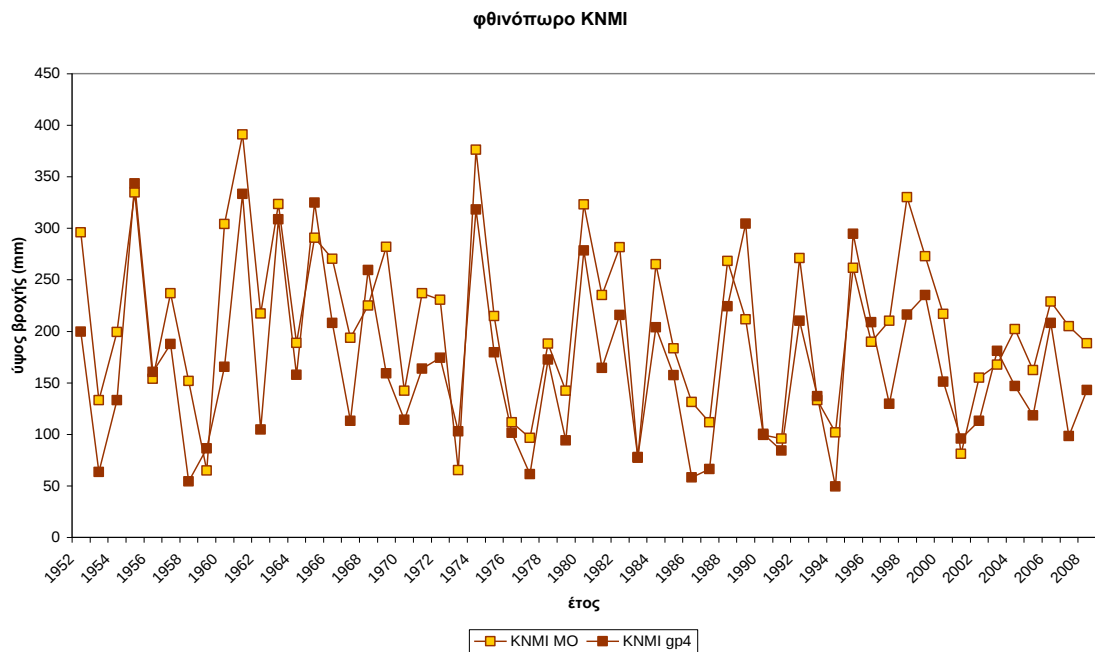
Γρ. 3.6 Σύγκριση MO gr KNMI – gp3 KNMI περιόδου 1952-2008, Καλοκαίρι

Στο C4I από τα τέλη του '70 παρατηρείται τάση μείωσης των τιμών της βροχής ή οποία εντείνεται με το πέρασμα των χρόνων και είναι πιο χαρακτηριστική τα τελευταία είκοσι χρόνια. Είναι χαρακτηριστικό πως οι 3 μικρότερες τιμές σημειώνονται την τελευταία 15ετία με την ελάχιστη το 1995 (52,6mm). Η μέγιστη σημειώνεται το 1970 (474,3mm). Παρατηρείται διαφορά στη γενική τάση όλης της περιόδου 1952-2008 ανάμεσα στο gr3 και το MO των gr. Στο gr3 είναι σαφώς πτωτική ενώ στο MO των gr ουδέτερη έως ελάχιστη ανοδική.

Στο KNMI οι πτωτικές τάσεις είναι σαφείς, τόσο για το gr4, όσο και για το MO των gr, για το σύνολο της περιόδου 1952-2008. Η σημαντική όμως πτωτική τάση της τελευταίας εικοσαετίας που παρατηρήθηκε στο C4I δεν είναι τόσο εμφανής εδώ. Το εύρος των τιμών εμφανίζει μείωση την τελευταία δεκαετία. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται το 1955 (343,3mm) και η ελάχιστη το 1959 (64,6mm).



Γρ. 3.7 Σύγκριση MO gr C4I – gp3 C4I περιόδου 1952-2008, Φθινόπωρο



Γρ. 3.8 Σύγκριση MO gr KNMI – gp4 KNMI περιόδου 1952-2008, Φθινόπωρο

Όλες οι τάσεις για κάθε εποχή παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 με το αντίστοιχο για κάθε μία θετικό (πράσινο) ή αρνητικό (κόκκινο) πρόσημο.

Μοντέλο		Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
C4I	MO	+	-	-	+
	gr	+	+	-	-
KNMI	MO	+	+	-	-
	gr	+	-	+	-

Πίνακας 3.1 Συγκεντρωτική παρουσίαση τάσεων

Για το C4I, από τον Πίνακα 3.1, προκύπτει ότι υπάρχει αύξηση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του Χειμώνα για την περίοδο μελέτης, ενώ για το Καλοκαίρι η βροχόπτωση παρουσιάζει πτωτική τάση. Η εικόνα είναι κοινή, τόσο στο MO, όσο και στο gr. Οι δύο ενδιάμεσες εποχές εμφανίζουν αντίστροφη εικόνα. Την Άνοιξη ο MO παρουσιάζει ελάττωση της βροχόπτωσης, ενώ το gr αύξηση, και το Φθινόπωρο ο MO παρουσιάζει αύξηση του ποσού βροχής, ενώ το gr ελάττωση.

Το KNMI (Πίνακας 3.1) παρουσιάζει ταύτιση με το C4I μόνο για το Χειμώνα, όπου και ο MO και το gr εμφανίζουν αυξητική τάση. Την ίδια πτωτική τάση εμφανίζουν ο MO και το gr για το Φθινόπωρο, ενώ αντίστροφη είναι η συμπεριφορά των MO και των gr για την Άνοιξη και το Καλοκαίρι.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέγιστες και ελάχιστες εκτιμώμενες τιμές της βροχόπτωσης κάθε εποχής των δύο μοντέλων, όπως αυτές προκύπτουν για κάθε μοντέλο από το gr με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης με τις μετρήσεις του σταθμού. Παρατηρούμε πως το εύρος των τιμών που προκύπτουν από το C4I είναι αισθητά μεγαλύτερο από αυτό των τιμών του KNMI.

Μοντέλο		Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
C4I	max	328,5	374,8	141,2	474,3
	min	43,3	35,8	11,4	52,6
KNMI	max	356,9	189,4	104	343,3
	min	73,8	20,7	4,5	64,6

Πίνακας 3.2 Μέγιστες και ελάχιστες εκτιμώμενες τιμές βροχόπτωσης

Εδώ γίνεται σύγκριση του συνολικού ποσού της βροχόπτωσης κάθε εποχής της περιόδου 1960-1990 που εκτιμήθηκε από το κάθε μοντέλο, καθώς επίσης και των μετρήσεων του σταθμού της ίδιας περιόδου, με το αντίστοιχο ποσό της βροχόπτωσης της περιόδου 2020-2050 που εκτιμάται από τα δύο μοντέλα., και της περιόδου 2070-2100 που εκτιμάται από το KNMI, καθώς δεν είναι διαθέσιμα τα αντίστοιχα δεδομένα από το μοντέλο C4I Η σύγκριση γίνεται σε εποχιακά ραβδογράμματα του κάθε μοντέλου, με διαχωρισμό του ποσού της βροχόπτωσης ανά grid point, στα οποία παρουσιάζονται:

α. Τα ποσοστά της επί τοις εκατό διαφοράς των εκτιμήσεων της βροχόπτωσης της περιόδου 2020-2050 κάθε μοντέλου από τις εκτιμήσεις της βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990 του ίδιου μοντέλου.

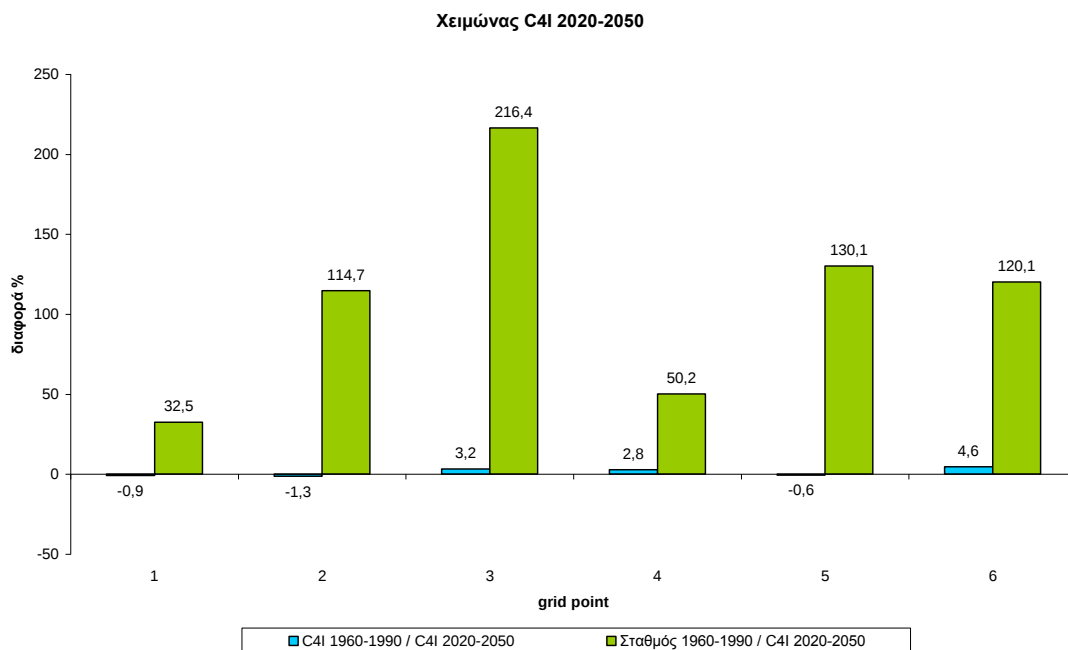
β. Τα ποσοστά της επί τοις εκατό διαφοράς των εκτιμήσεων της βροχόπτωσης της περιόδου 2020-2050 κάθε μοντέλου από τις μετρήσεις της βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990 του μετεωρολογικού σταθμού..

Χειμώνας

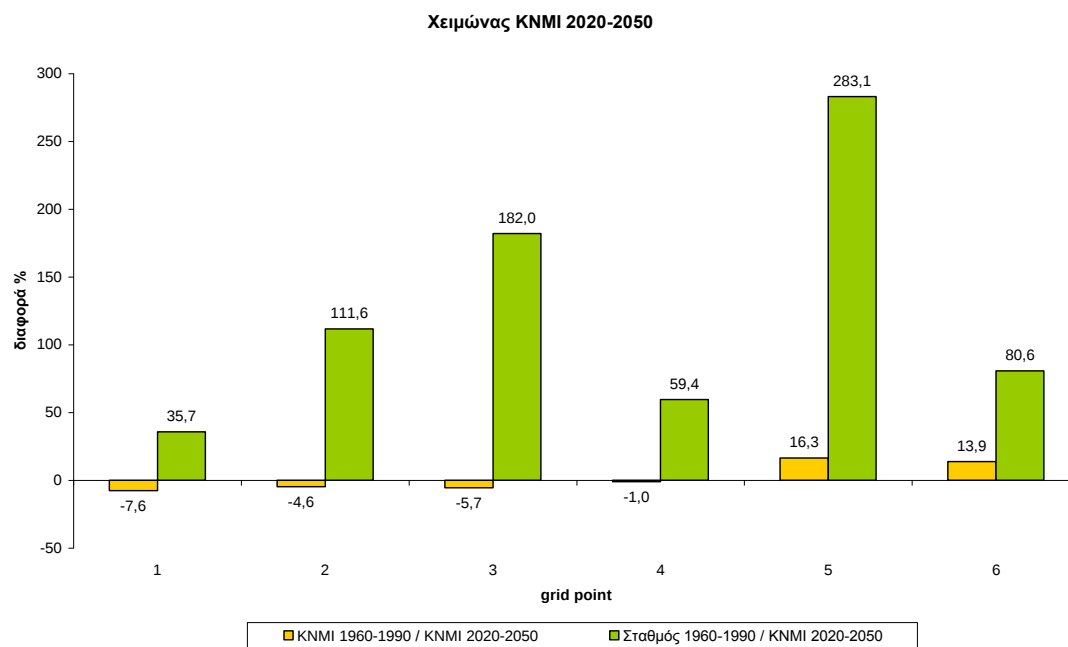
Από τη σύγκριση των δύο περιόδων για το C4I (γράφημα 4.1) δεν προκύπτει κάποια αξιοσημείωτη διαφορά. Στα μισά gr σημειώνεται αμελητέα μείωση της βροχόπτωσης και στα άλλα μισά ελάχιστη αύξηση με μέγιστη αυτή του gr6 με ποσοστό 4,6%. Η διαφορά όμως από τις μετρήσεις του σταθμού είναι εντελώς διαφορετική. Σημειώνονται μεγάλες αυξήσεις σε όλα τα gr που κυμαίνονται από 32,5% στο gr1 έως 216,4% στο gr3, με ένα μέσο όρο αύξησης του ποσού της βροχόπτωσης 110,6%.

Στο KNMI τα αποτελέσματα είναι παρόμοια (γράφημα 4.2). Από τη σύγκριση των εκτιμήσεων της περιόδου 2020-2050 με αυτές της περιόδου 1960-1990 προκύπτουν πάρα πολύ μικρές διαφορές με εξαίρεση τα gr 5 και 6 όπου η αύξηση ξεπερνά το 10%. Οι αυξομειώσεις ανά gr δεν ταυτίζονται με αυτές των gr του C4I. Όσο αφορά τη σύγκριση με τις μετρήσεις του σταθμού σημειώνεται κι εδώ αύξηση σε όλα τα gr. Οι διαφορές είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του C4I, με το μέσο όρο να δείχνει αύξηση 125,4%. Η μικρότερη αύξηση σημειώνεται κι εδώ στο gr1 (35,7%) ενώ η μεγαλύτερη στο gr5 (283,1%).

Οπότε, η εκτίμηση των μοντέλων για το χειμώνα της περιόδου 2020-2050 δεν διαφέρει ιδιαίτερα από την εκτίμηση των ίδιων μοντέλων για την περίοδο 1960-1990, και ως συνέπεια δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν κάποια ασφαλή συμπεράσματα για την βροχόπτωση.



Γρ. 4.1 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, C4I Χειμώνας

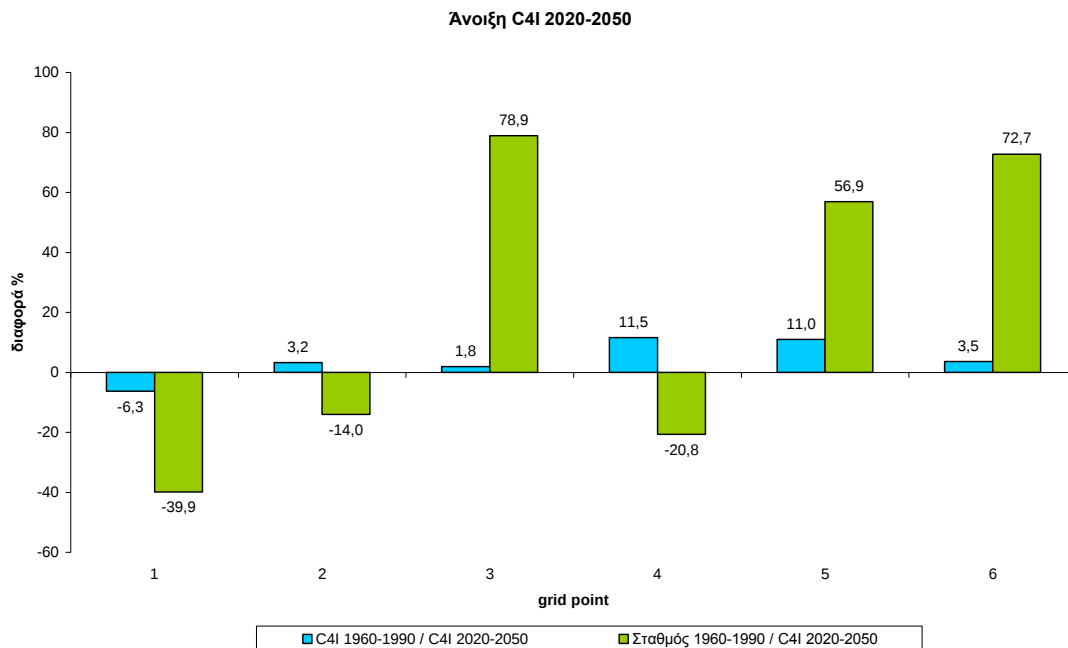


Γρ. 4.2 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, KNMI Χειμώνας

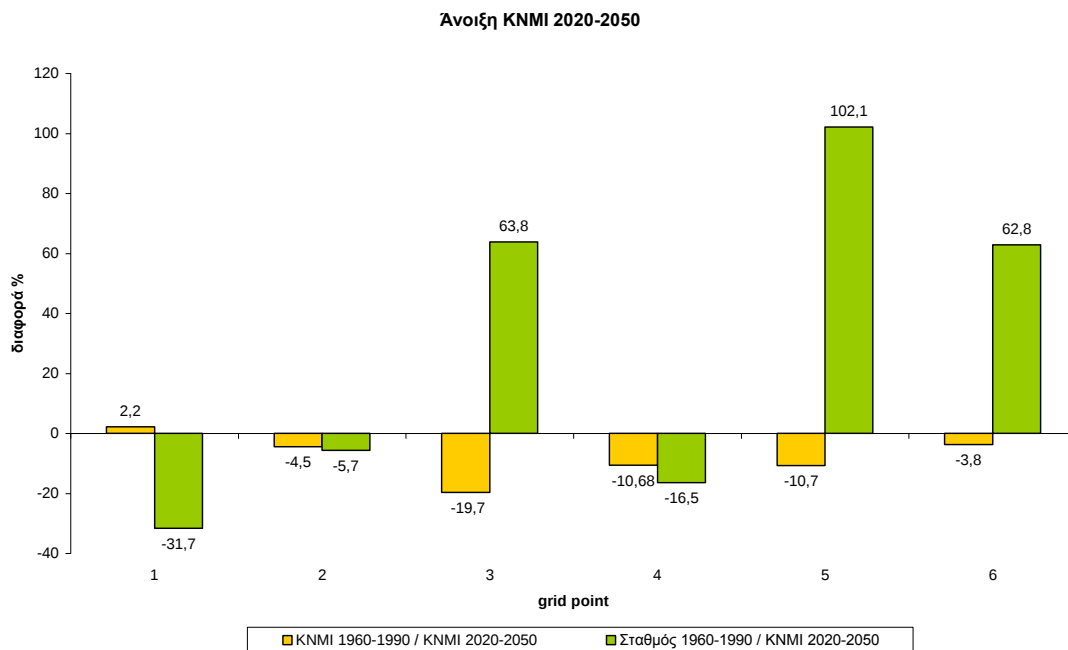
Στο C4I (γράφημα 4.3) οι διαφορές των εκτιμήσεων στα gr της περιόδου 2020-2050 από την περίοδο 1960-1990 έχουν θετικό πρόσημο με εξαίρεση το gr1 όπου σημειώνεται μείωση της τάξης του 6,3%. Οι τιμές των αυξήσεων κυμαίνονται από 1,8% έως 11,5%. Τα gr 4 και 5 είναι αυτά στα οποία η αύξηση υπερβαίνει το 10%. Συγκριτικά με τις μετρήσεις του σταθμού, στα gr 1, 2 και 4 σημειώνεται μείωση που φτάνει ως το 40% , ενώ στα gr 3, 5 και 6 σημειώνεται αύξηση, μεγαλύτερου βαθμού, που κυμαίνεται από 56,7% έως 78,9%.

Στο KNMI (γράφημα 4.4) τα αποτελέσματα της σύγκρισης των εκτιμήσεων του μοντέλου στις δύο περιόδους είναι ακριβώς αντίστροφη από αυτή του C4I. Εδώ το gr1 είναι το μοναδικό που σημειώνεται μικρή αύξηση 2,2%, ενώ σε όλα τα υπόλοιπα υπάρχει μείωση με τιμές από 3,8% στο gr6 έως 19,7% στο gr3. Αντιθέτως, στη σύγκριση των εκτιμήσεων του μοντέλου της περιόδου 2020-2050 με τις μετρήσεις του σταθμού, υπάρχει συμφωνία με τα αποτελέσματα της ίδιας σύγκρισης που έγινε στο C4I, καθώς οι αυξήσεις και οι μειώσεις συμβαίνουν ακριβώς στα ίδια gr, αλλά με λίγο διαφορετικές τιμές. Δηλαδή, η διακύμανση των μειώσεων είναι 5,7% - 31,7%, ενώ αυτή των αυξήσεων είναι 62,8% - 102,1%.

Εδώ λοιπόν, το πρόβλημα είναι τα αντίθετα αποτελέσματα που δίνουν τα δύο μοντέλα συγκρινόμενα με τις εκτιμήσεις τους για την περίοδο 1960-1990. Το μεν C4I δείχνει μια μέση αύξηση του ποσού της βροχόπτωσης της τάξης του 4,1% για την περίοδο 2020-2050, το δε KNMI δείχνει μείωση της τάξης του 7,8%. Οπότε, η εξαγωγή συμπερασμάτων θα μπορούσε να γίνει μόνο με την επιλογή ενός μοντέλου, εφόσον είναι δυνατή η κρίση της αξιοπιστίας τους.



Γρ. 4.3 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, C4I Άνοιξη

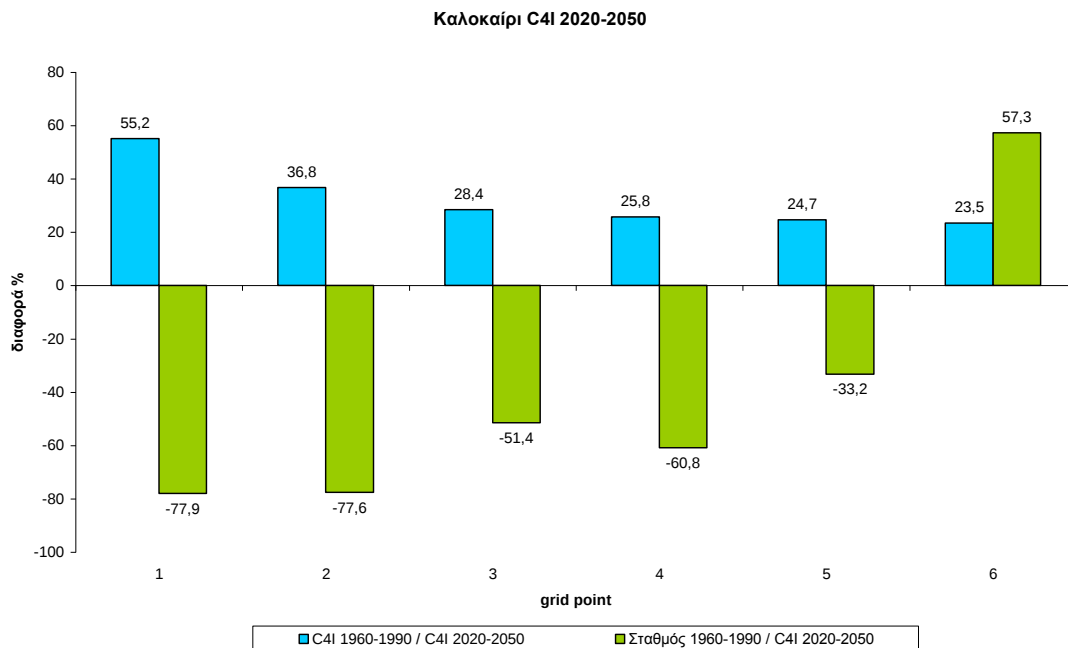


Γρ. 4.4 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, KNMI Άνοιξη

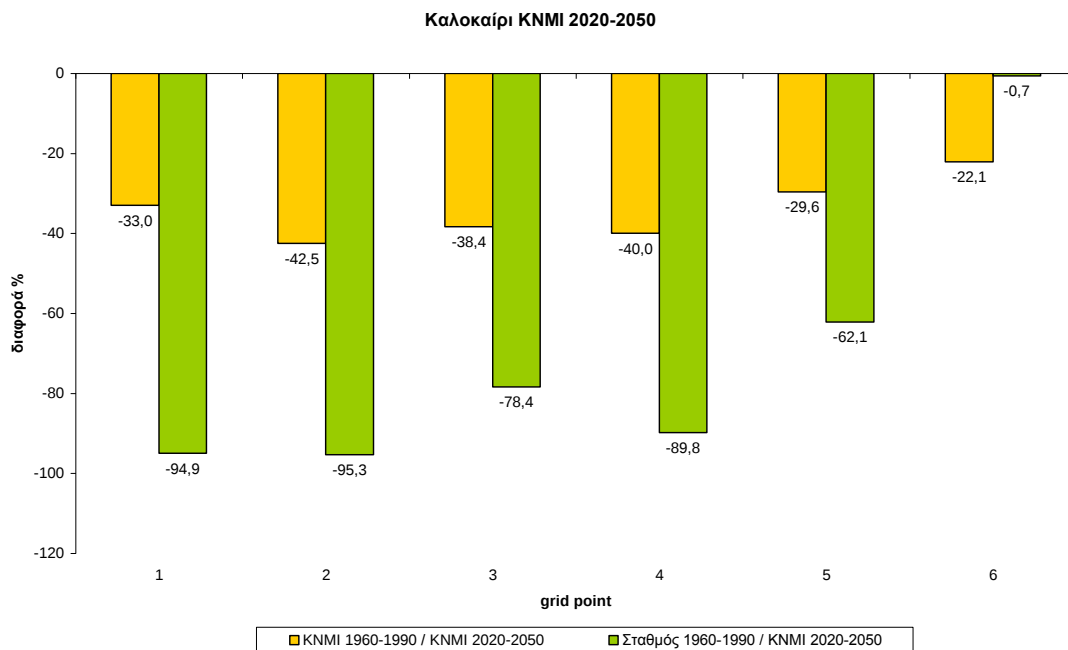
Σε όλα τα gr, οι διαφορές στη σύγκριση των εκτιμήσεων του C4I της περιόδου 2020-2050 με αυτές της περιόδου 1960-1990 (γράφημα 4.5) δείχνουν σημαντική αύξηση του ποσού της βροχόπτωσης. Τα ποσοστά της κυμαίνονται από 23,5% έως 55,2% με μέση τιμή 32,4%. Στη σύγκριση όμως με τις μετρήσεις του σταθμού, μόνο στο gr6 σημειώνεται αύξηση, και μάλιστα μεγάλη (57,3%), ενώ σε όλα τα άλλα παρατηρείται μείωση από 33,2% έως 77,9%.

Τα αποτελέσματα για το KNMI (γράφημα 4.6) είναι και εδώ εντελώς αντίθετα σε σχέση με αυτά του C4I. Η σύγκριση των εκτιμήσεων του μοντέλου για τις δύο περιόδους δείχνει σημαντική μείωση του ποσού της βροχόπτωσης την περίοδο 2020-2050 σε όλα τα gr. Το ποσοστό της μείωσης είναι κατά μέσο όρο 34,2%, με μέγιστη τιμή 42,5% και ελάχιστη 22,1%. Από τη σύγκριση των εκτιμήσεων του μοντέλου με τις μετρήσεις του σταθμού προκύπτουν επίσης αρνητικά ποσοστά σε όλα τα gr, αρκετά μεγαλύτερα από αυτά της σύγκρισης των εκτιμήσεων του KNMI για τις δύο περιόδους. Εξαίρεση αποτελεί το gr6 όπου ουσιαστικά δεν υπάρχει διαφορά. Αυτό σε συνδυασμό με τη θετική διαφορά που έχει το συγκεκριμένο gr στη σύγκριση του C4I ίσως αποτελεί ένδειξη πως η αυτή περιοχή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες επηρεάζεται διαφορετικά από τη βροχόπτωση, πιθανόν εξ' αιτίας γεωγραφικών παραγόντων.

Γενικά, όπως και την Άνοιξη τα αποτελέσματα που δίνουν τα δύο μοντέλα είναι και εδώ αντικρουόμενα. Είναι απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των δύο μοντέλων για την ώστε να επιλεγεί το πιο αξιόπιστο και να γίνει εξαγωγή ικανοποιητικών συμπερασμάτων.



Γρ. 4.5 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, C4I Καλοκαίρι

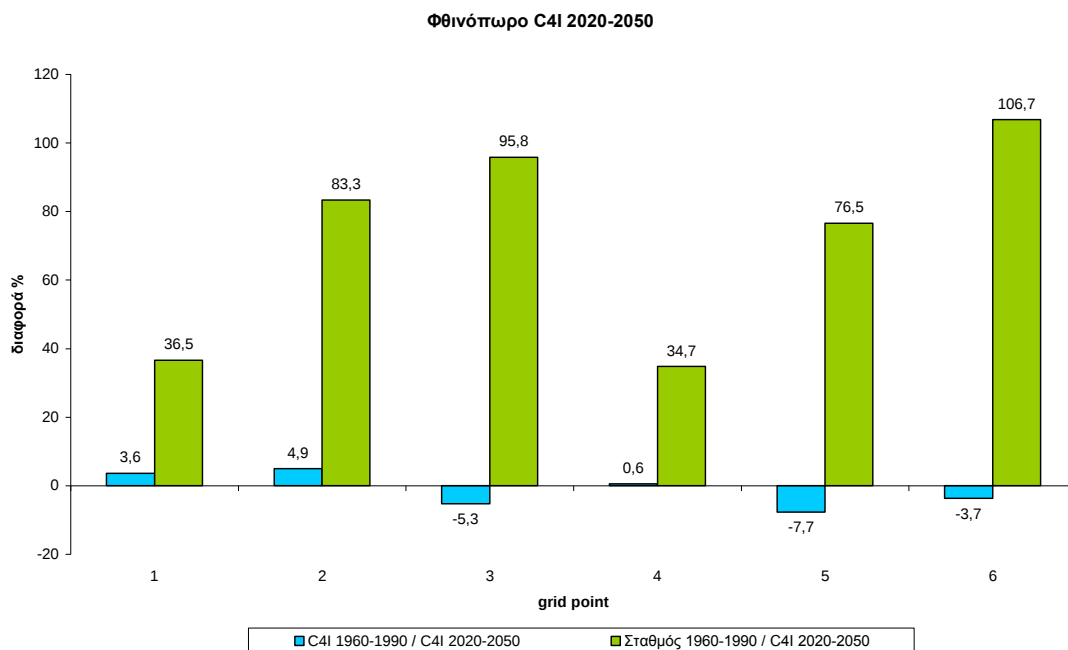


Γρ. 4.6 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, KNMI Καλοκαίρι

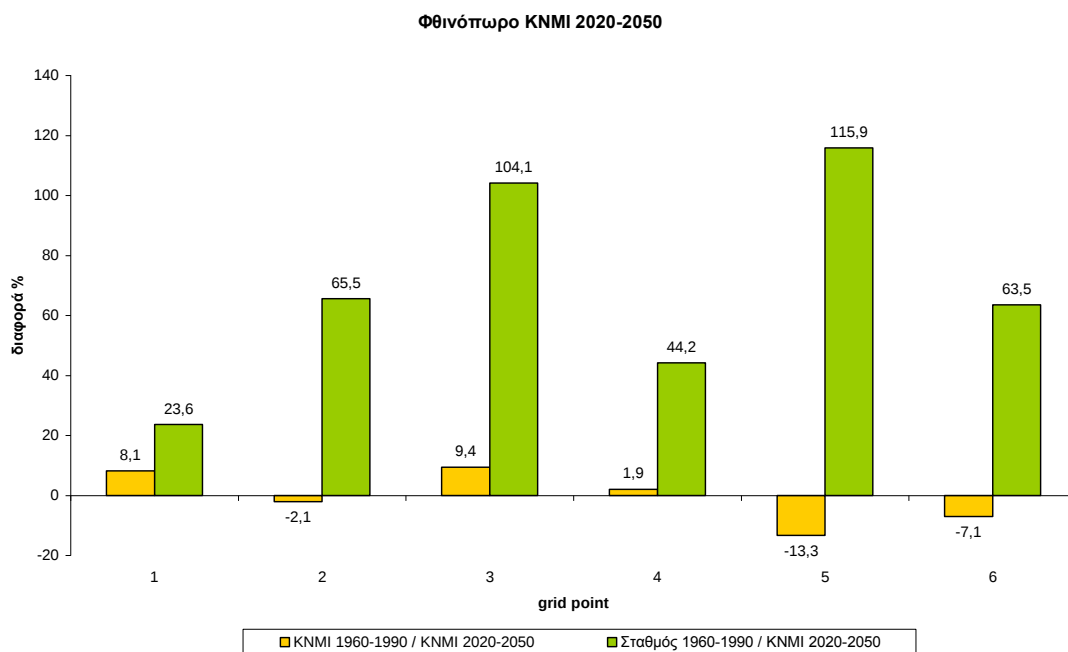
Στο C4I (γράφημα 4.7), η σύγκριση των εκτιμήσεων της περιόδου 2020-2050 με αυτές της περιόδου 1960-1990 δίνει διαφορετικά αποτελέσματα ανά gr. Στα gr 1, 2 και 4 φαίνεται να αυξάνεται το ποσό της βροχόπτωσης, ενώ στα gr 3, 5 και 6 φαίνεται να μειώνεται. Οι μεταβολές, ωστόσο, είναι μικρές. Η μεγαλύτερη αύξηση φτάνει το 4,9% στο gr2 και η μεγαλύτερη μείωση σημειώνεται στο gr5 με 7,7%. Υπολογίζοντας το μέσο όρο όλων των gr προκύπτει μείωση 1,3%. Συγκρινόμενες με τις μετρήσεις του σταθμού της περιόδου 1960-1990, οι εκτιμήσεις του μοντέλου είναι κατά πολύ αυξημένες, με μέση αύξηση 72,3%.

Στο KNMI (γράφημα 4.8) η κατάσταση είναι παρόμοια με αυτή του C4I. Και εδώ, στη σύγκριση των εκτιμήσεων μεταξύ των δύο περιόδων του μοντέλου, στα μισά gr παρουσιάζεται αύξηση της βροχόπτωσης και στα άλλα μισά μείωση, με απόλυτα ποσοστά ελάχιστα αυξημένα σε σχέση με αυτά του C4I. Τα gr των δύο μοντέλων στα οποία σημειώνεται αύξηση ή μείωση ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό. Η μέγιστη αύξηση στο KNMI σημειώνεται στο gr1 με 8,1% και η μέγιστη μείωση στο gr 5 με 13,3%. Η μέση μεταβολή όλων των gr υπολογίζεται σε -0,52%. Σε σχέση με τις μετρήσεις του σταθμού παρουσιάζονται και εδώ μεγάλα ποσοστά αύξησης που κυμαίνονται από 23,6% έως 115,9%.

Τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν για το Φθινόπωρο παραπλήσιες εκτιμήσεις. Και στα δύο το πρόσημο της μεταβολής του ποσού της βροχόπτωσης είναι αρνητικό, όμως είναι τόσο μικρή η μείωση που βρίσκεται μέσα στα όρια του στατιστικού σφάλματος. Δεν παύει παρόλα αυτά να αποτελεί μια ένδειξη της μελλοντικής τάσης.



Γρ. 4.7 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, C4I Φθινόπωρο



Γρ. 4.8 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990, KNMI Φθινόπωρο

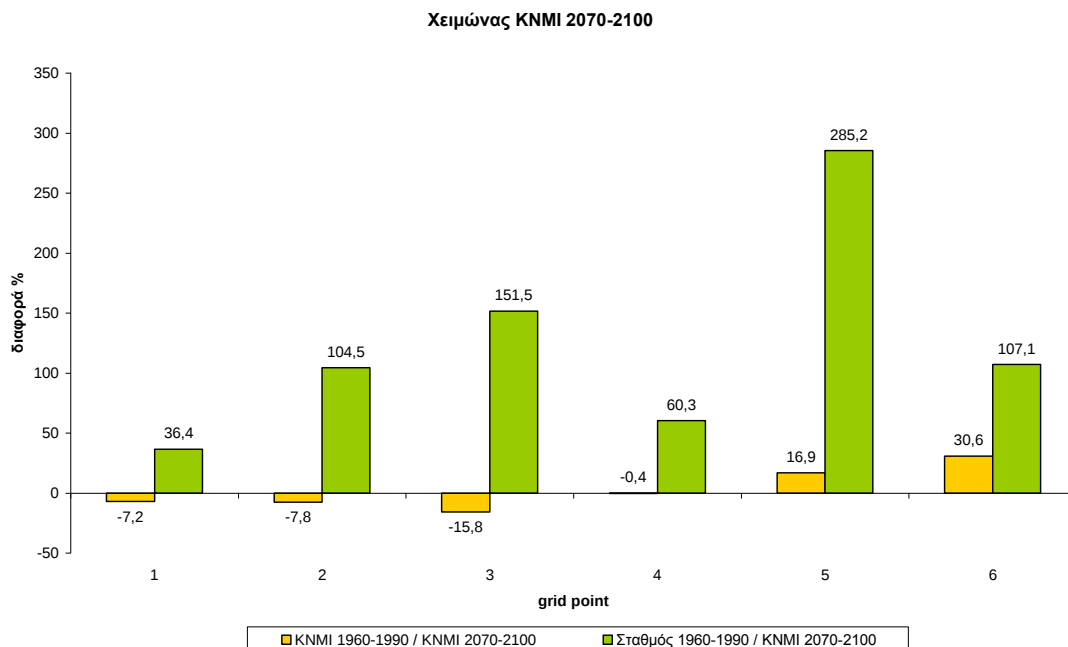
Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα μέσα ποσοστά των διαφορών των δύο περιόδων, τόσο μεταξύ των εκτιμήσεων των μοντέλων, αλλά και των εκτιμήσεων των μοντέλων από τις μετρήσεις του σταθμού. Για την ευκολότερη παρατήρηση τα θετικά ποσοστά βρίσκονται σε ελαφρά πράσινα κελιά και τα αρνητικά σε ελαφρά κόκκινα κελιά.

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
<i>C4I 2020-2050/C4I 1960-1990</i>	1,3%	4,1%	32,4%	1,3%
<i>C4I 2020-2050/Σταθμός 1960-1990</i>	110,7%	22,3%	40,6%	72,3%
<i>KNMI 2020-2050/KNMI 1960-1990</i>	1,9%	7,8%	34,3%	0,5%
<i>KNMI 2020-2050/Σταθμός 1960-1990</i>	125,4%	29,1	70,2%	69,4%

Πίνακας 4.1 Ποσοστιαία διαφορά βροχόπτωσης περιόδων 2020-2050/1960-1990

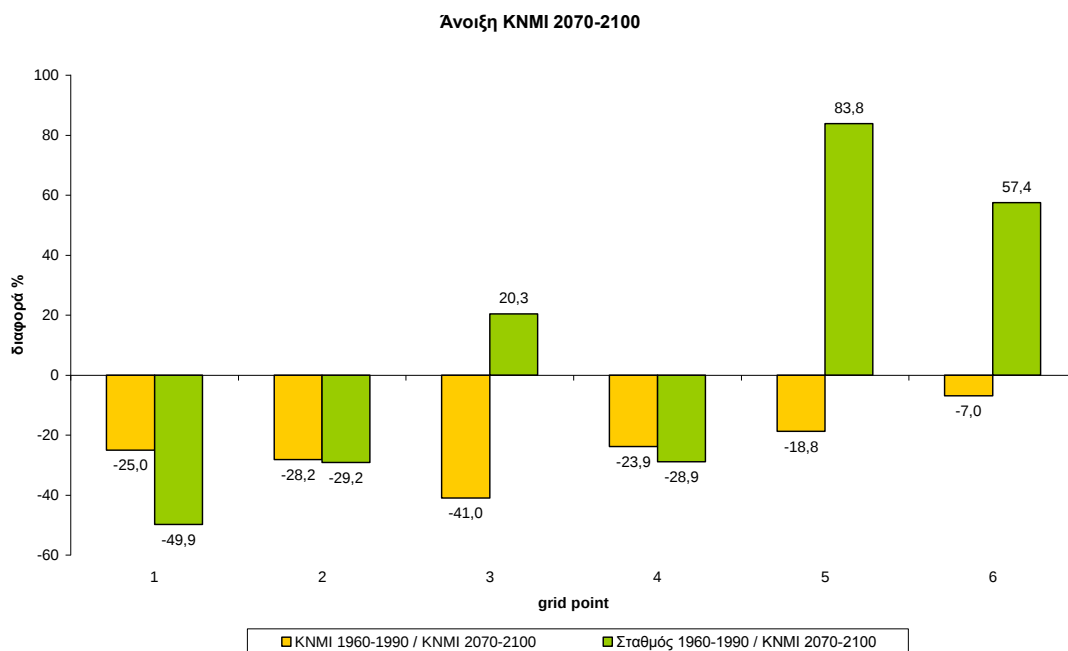
Χειμώνας

Οι διαφορές των εκτιμήσεων του ποσού της βροχόπτωσης του KNMI της περιόδου 2070-2100 από τις αντίστοιχες της περιόδου 1960-1990 παρουσιάζουν θετικό πρόσημο μόνο σε δύο gr (5 και 6) ενώ στα υπόλοιπα είναι αρνητικό. Ωστόσο, τα αρνητικά ποσοστά έχουν μικρές τιμές, 0,4%-15,8%, ενώ τα δύο θετικά έχουν τιμές 16,9% και 30,6% και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέση διαφορά να είναι θετική, με τιμή 2,7%. Αυτή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που υπολογίστηκε προηγουμένως για την περίοδο 2020-2050, η οποία ήταν επίσης θετική, και αποτελεί ένδειξη πως το ποσό της βροχόπτωσης θα συνεχίζει να αυξάνεται, έστω και με πολύ μικρό ρυθμό. Η σύγκριση με της μετρήσεις του σταθμού της περιόδου 1960-1990 δείχνει σημαντική αύξηση, με μέση διαφορά 124,2%, η οποία είναι παρόμοια με τη μέση διαφορά που υπολογίστηκε για την περίοδο 1960-1990.



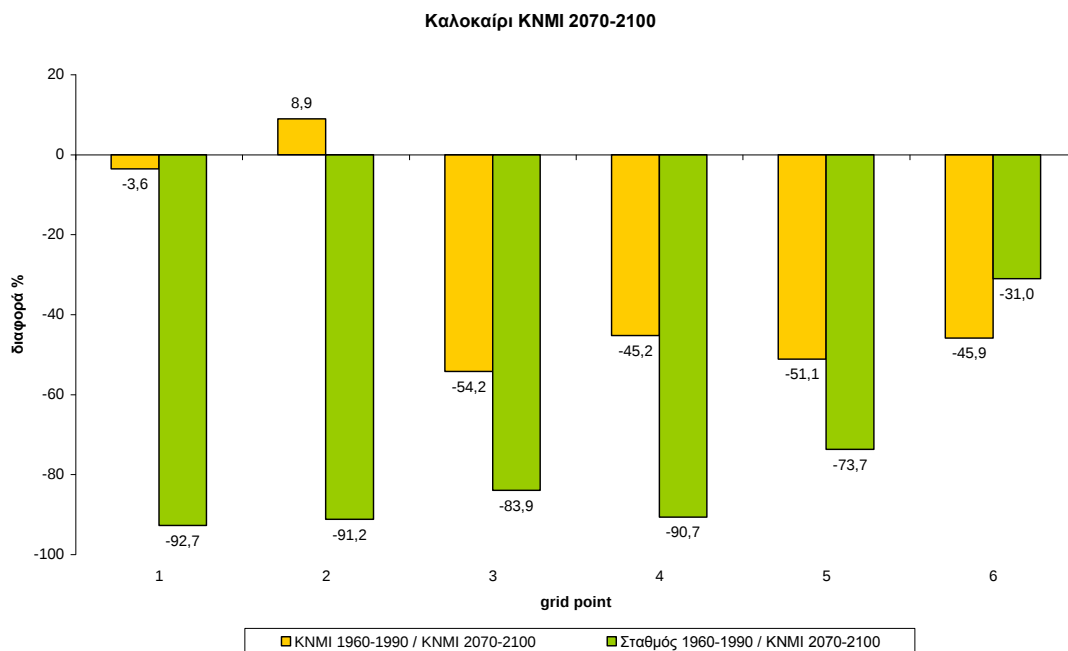
Γρ. 4.9 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2070-2100/1960-1990, KNMI Χειμώνας

Εδώ οι σύγκριση των εκτιμήσεων του μοντέλου ανάμεσα στις δύο περιόδους δείχνει σαφή μείωση του ποσού της βροχόπτωσης για τη περίοδο 2070-2100. Σε όλα τα gr η διαφορά είναι αρνητική. Τα ποσοστά της διαφοράς κυμαίνονται από 7% έως 41%, με το μέσο όρο της μείωσης να είναι 24%. Σε σχέση με την σύγκριση της περιόδου 2020-2050 που υπολογίστηκε μέση μείωση 7,8% φαίνεται μια σαφής τάση συνεχούς μείωσης του ποσού της βροχόπτωσης με το πέρασμα των χρόνων. Συγκρινόμενες με της μετρήσεις του σταθμού της περιόδου 1960-1990, οι εκτιμήσεις του μοντέλου είναι αρνητικές σε κάποια gr και θετικές σε κάποια άλλα, με διαφορές από -49,9% έως 88,8%. Η μέση διαφορά είναι θετική και υπολογίζεται σε 8,9%, αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη της σύγκρισης της περιόδου 1960-1990 που βρέθηκε 29,1%.



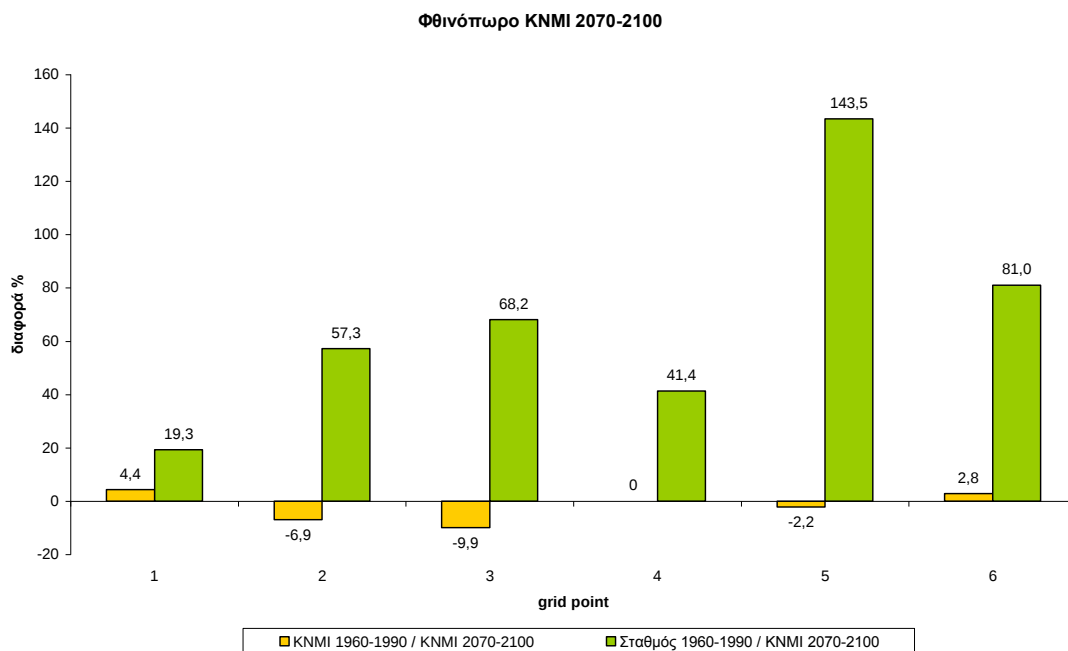
Γρ. 4.10 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2070-2100/1960-1990, KNMI Άνοιξη

Στη σύγκριση των εκτιμήσεων του μοντέλου για την περίοδο 2070-2100 με αυτές της περιόδου 1960-1990 φαίνεται πως στο gr1 σημειώνεται μικρή μείωση της τάξης του 3,5%, στο gr2 η μοναδική αύξηση με ποσοστό 8,9% και στα gr 3-6 σημαντική μείωση με ποσοστά από 45,2% έως 54,2%. Ως αποτέλεσμα η μέση διαφορά που προκύπτει είναι αρνητική με τιμή 31,9%. Αυτή δεν απέχει ιδιαίτερα από την αντίστοιχη μέση διαφορά της περιόδου 2020-2050 που βρέθηκε 34,3%. Οπότε και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται μελλοντική σαφής μείωση του ποσού της βροχόπτωσης περίπου κατά το 1/3. Η διαφορές στη σύγκριση με της μετρήσεις του σταθμού είναι παντού αρνητικές με μέσο ποσοστό διαφοράς 77,2%.



Γρ. 4.11 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2070-2100/1960-1990, KNMI Καλοκαίρι

Από τη σύγκριση εδώ των εκτιμήσεων του KNMI των δύο μελετώμενων περιόδων προκύπτουν μικρές διαφορές. Σε 3 gr το ποσό της βροχόπτωσης μειώνεται έως και 9,9%, σε 2 gr αυξάνεται έως και 4,4% και σε ένα δεν σημειώνεται μεταβολή. Ο μέσος όρος των διαφορών υπολογίζεται σε -2%, δηλαδή, περαιτέρω μείωση σε σχέση με την περίοδο 2020-2050 όπου ο μέσος όρος είχε υπολογιστεί σε -0,5%. Φαίνεται λοιπόν κάποια, έστω και μικρή, τάση μείωσης του ποσού της βροχόπτωσης. Από τη σύγκριση των εκτιμήσεων του μοντέλου με τις μετρήσεις του σταθμού της περιόδου 1960-1990 προκύπτουν θετικές διαφορές με μεγάλα ποσοστά. Η μέση τιμή τους ανέρχεται σε 68,4%.



Γρ. 4.12 Σύγκριση συνολικού ποσού βροχόπτωσης περιόδων 2070-2100/1960-1990, KNMI Φθινόπωρο

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα μέσα ποσοστά των διαφορών των δύο περιόδων, τόσο μεταξύ των εκτιμήσεων του μοντέλου, αλλά και των εκτιμήσεων του μοντέλου από τις μετρήσεις του σταθμού. Για την ευκολότερη παρατήρηση τα θετικά ποσοστά βρίσκονται σε ελαφρά πράσινα κελιά και τα αρνητικά σε ελαφρά κόκκινα κελιά.

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
KNMI 2070-2100/KNMI 1960-1990	2,7%	24%	31,9%	2%
KNMI 2070-2100/Σταθμός 1960-1990	124,2%	8,9%	77,2%	68,4%

Πίνακας 4.2 Ποσοστιαία διαφορά βροχόπτωσης περιόδων 2070-2100/1960-1990

5. Σύνθεση αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Εδώ γίνεται συνοπτική σύνθεση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων των προηγούμενων κεφαλαίων ώστε να προκύψει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα και να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για τη βροχόπτωση σε κάθε εποχή.

Χειμώνας

Οι εκτιμήσεις του ποσού της βροχόπτωσης των δύο μοντέλων για την περίοδο 1960-1990 είναι υπερδιπλάσιες των μετρήσεων του σταθμού. Οι εκτιμήσεις του KNMI έχουν μεγαλύτερο εύρος και περισσότερες ακραίες τιμές (κυρίως μέγιστες) από αυτές του C4I. Η συμφωνία των διακυμάνσεων της βροχόπτωσης από έτος σε έτος είναι καλλίτερη μεταξύ των δύο μοντέλων από ότι μεταξύ των μοντέλων και του σταθμού. Το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης με τις μετρήσεις του σταθμού παρουσιάζει και στα δύο μοντέλα το gr1 και τις μικρότερες τα gr5 και gr6. Οι εκτιμήσεις του gr1 είναι εμφανώς μικρότερες από το μέσο όρο των εκτιμήσεων σε κάθε μοντέλο και πιο κοντά στις μετρήσεις του σταθμού. Ενώ, όμως, στα τελευταία χρόνια της περιόδου 1952-2008, στα διαγράμματα του gr1, φαίνεται μία τάση αύξησης της βροχόπτωσης, δεν είναι απόλυτα σαφές ότι αυτή συνεχίζεται και κατά την περίοδο 2020-2050. Ωστόσο, είναι πιθανή μία ελάχιστη αύξηση της βροχόπτωσης και σε αυτή την περίοδο. Στην περίοδο 2070-2100 το KNMI επιβεβαιώνει πως η βροχόπτωση έχει γενικότερη μικρή τάση αύξησης αλλά με πολύ αργό ρυθμό, καθώς εδώ φτάνει το 2,4% σε σχέση με την περίοδο 1960-1990.

Είναι αρκετά χρήσιμο το γεγονός ότι και τα δύο μοντέλα ταυτίζονται στις προβλέψεις τους. Οπότε, λοιπόν, δεν αναμένεται κάποια σημαντική αλλαγή στην ποσότητα της βροχόπτωσης κατά την εποχή αυτή. Αν ληφθεί υπόψη και το στατιστικό σφάλμα τότε τα πολύ μικρά ποσοστά αύξησης είτε θα μηδενιστούν, είτε θα εξακολουθήσουν να είναι πολύ μικρά και η κατάσταση θα παραμείνει πρακτικά

ίδια με τη σημερινή με ήπιους χειμώνες και μέση εποχιακή βροχόπτωση περίπου 125-130mm.

Ανοιξη

Τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν λίγο μεγαλύτερες εκτιμήσεις βροχόπτωσης από τις μετρήσεις του σταθμού για την περίοδο 1960-1990. Οι ακραίες τιμές παρατηρούνται στα ίδια ακριβώς grid points με το χειμώνα στα αντίστοιχα μοντέλα. Ομοίως, οι εκτιμήσεις του C4I συνεχίζουν να παρουσιάζουν μικρότερο εύρος από αυτές του KNMI και είναι πολύ κοντά στις μετρήσεις του σταθμού. Οι αυξομειώσεις της βροχόπτωσης των εκτιμήσεων των μοντέλων από έτος σε έτος φαίνεται εδώ να συμφωνούν περισσότερο με τις μετρήσεις του σταθμού από ότι το χειμώνα. Τους μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης παρουσιάζουν τα gr5 του C4I και gr1 του KNMI, με το δεύτερο να παρουσιάζει μεν λίγο μικρότερες τιμές από τις μετρήσεις του σταθμού αλλά να ταυτίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με τις διακυμάνσεις της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου σύγκρισης. Στην περίοδο μελέτης 1952-2008, το gr5 του C4I δείχνει σαφή τάση αύξηση της βροχόπτωσης τις τελευταίες δύο δεκαετίες, ενώ, για το gr1 του KNMI είναι πιο ασφαλές η τάση να χαρακτηριστεί ως ουδέτερη κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Οι εκτιμήσεις για την περίοδο 2020-2050 φαίνεται να αποτελούν τη φυσιολογική συνέχεια των προηγούμενων τάσεων. Στο C4I φαίνεται μικρή αύξηση της βροχόπτωσης, περίπου 4%. Το KNMI, όμως, δείχνει ξεκάθαρη μείωση της τάξεως του 8%. Για την περίοδο 2070-2100 το ποσοστό της μείωσης της βροχόπτωσης φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά και να φτάνει το 24%.

Εδώ, η πρόβλεψη της μελλοντικής βροχόπτωσης δυσκολεύει καθώς τα δύο μοντέλα δίνουν αντίθετα αποτελέσματα. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το gr1 του KNMI έχει τον υψηλότερο μέγιστο συντελεστή συσχέτισης με τις μετρήσεις του σταθμού από όλα τα gr για κάθε εποχή (-0,41) και μάλιστα ακολουθεί πολύ πιστά τις διακυμάνσεις της πραγματικής βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990. Οπότε, ίσως θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα αποτελέσματα του KNMI που δείχνουν αισθητή μείωση της βροχόπτωσης η οποία φτάνει το 8% για την περίοδο 2020-2050 και το 24% για την περίοδο 2070-2100 σε

σχέση με την περίοδο 1960-1990. Αλλά, ακόμη και αν ληφθούν υπόψη και τα δύο μοντέλα πάλι θα αναμένεται σταδιακή μείωση της βροχόπτωσης στο μέλλον, καθώς το ποσοστό αύξησης που προβλέπει το C4I είναι περίπου μισό από το ποσοστό μείωσης που προβλέπει το KNMI. Οπότε, μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές να εκτιμηθεί πως η βροχόπτωση στο μέλλον πιθανότατα θα μειωθεί σε αυτή την εποχή, χωρίς όμως να προσδιορίζεται ικανοποιητικά το πόσο.

Καλοκαίρι

Οι εκτιμήσεις των δύο μοντέλων δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, όμως είναι αρκετά μικρότερες από τις μετρήσεις του σταθμού της περιόδου 1960-1990. Στο KNMI οι εκτιμήσεις έχουν μεγαλύτερο εύρος από το C4I και το gr6 παρουσιάζει μερικές πολύ υψηλές τιμές. Όσο αφορά τη διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου το KNMI φαίνεται να ταυτίζεται αρκετά καλά, ενώ το C4I λιγότερο. Τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης με τις μετρήσεις του σταθμού στο C4I έχει το gr5, αν και ακολουθεί με πολύ μικρή διαφορά το gr4, και ακολουθεί πιστά τη διακύμανση της βροχόπτωσης από τις μετρήσεις του σταθμού, με εξαίρεση μόνο την τελευταία πενταετία της περιόδου. Στο KNMI το gr3 έχει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης χωρίς κάποια ιδιαίτερη, όμως, ταύτιση με τις διακυμάνσεις του σταθμού. Είναι χαρακτηριστικές οι αντίθετες εκτιμήσεις τους για την τελευταία δεκαετία της περιόδου 1952-2008. Το gr5 του C4I δείχνει σαφή μείωση του ποσού της βροχόπτωσης, που συμφωνεί τη γενικότερη πτωτική τάση του μοντέλου, ενώ, το gr3 του KNMI σαφή αύξηση η οποία έρχεται σε αντίθεση με τη γενικότερη τάση του μοντέλου που είναι και εδώ πτωτική. Τα σενάριο της περιόδου 2020-2050 προκαλούν ακόμη περισσότερες δυσκολίες. Στο C4I φαίνεται πολύ σημαντική αύξηση της βροχόπτωσης, κάτι που έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την προηγούμενη τάση του μοντέλου. Η μέση αύξηση φτάνει το 32%. Στο KNMI παρουσιάζεται η ακριβώς αντίθετη εικόνα, καθώς εκτιμάται μέση μείωση της βροχόπτωσης της τάξεως του 34%, αλλά εδώ συμφωνεί τουλάχιστον με τη γενικότερη τάση της προηγούμενης περιόδου. Για την περίοδο 2070-2100 προβλέπεται παρόμοια μείωση 32%.

Τα δύο μοντέλα δίνουν εντελώς αντίθετες προβλέψεις. Το C4I εκτιμά σημαντική αύξηση και το KNMI σημαντική μείωση της βροχόπτωσης. Τα gr του C4I όμως παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης με τις μετρήσεις του σταθμού για την περίοδο 1960-1990 από ότι τα αντίστοιχα του KNMI. Οπότε, αν θα έπρεπε να επιλεγεί ένα από τα δύο μοντέλα ως πιο κατάλληλο για πρόβλεψη αυτό θα ήταν το C4I η εκτίμηση του για αύξηση της μελλοντικής βροχόπτωσης σε αυτή της εποχή. Ωστόσο, τίποτα δεν μπορεί να θεωρηθεί ως δεδομένο και χρειάζεται μεγάλη προσοχή σε οποιαδήποτε επιλογή.

Φθινόπωρο

Στα δύο μοντέλα οι εκτιμήσεις για την περίοδο 1960-1990 είναι παραπλήσιες μεταξύ τους, αλλά, αρκετά υψηλότερες από τις μετρήσεις του σταθμού. Το C4I έχει μικρότερο εύρος τιμών και είναι πιο κοντά στις μετρήσεις του σταθμού, κυρίως με τα gr 1 και 3, ενώ στο KNMI παρατηρούνται σχεδόν όλες οι ακραίες τιμές στα gr 1 (ελάχιστες) και 5 (μέγιστες). Την τελευταία δεκαετία της περιόδου οι εκτιμήσεις του C4I ξεπερνούν αυτές του KNMI. Επίσης, τα gr του C4I παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης με το σταθμό από ότι τα gr του KNMI, με μέγιστο στο gr3, ενώ για το KNMI ο μεγαλύτερος συντελεστής βρίσκεται στο gr4 ο οποίος όμως είναι ο μικρότερος από όλους τους μέγιστους συντελεστές συσχέτισης. Παρόλα αυτά οι εκτιμήσεις του είναι πιο κοντά στις μετρήσεις του σταθμού σε σχέση με τις αντίστοιχες του gr3 του C4I και η ταύτιση τους με τις διακυμάνσεις της πραγματικής βροχόπτωσης λίγο καλλίτερη στο δεύτερο μισό της περιόδου σύγκρισης. Κατά την περίοδο 1952-2008 παρατηρούνται σαφείς πτωτικές τάσεις στο KNMI, ενώ, στο C4I το gr3 δείχνει πτωτική τάση αλλά η μέση τάση του μοντέλου φαίνεται ουδέτερη έως ελάχιστη ανοδική. Για την περίοδο 2020-2050 οι προηγούμενες τάσεις και των δύο μοντέλων δε φαίνεται να αντιτίθενται στην πρόβλεψη, καθώς είναι πιθανή κάποια αμελητέα μείωση της βροχόπτωσης (περίπου 1%). Παρόμοια εικόνα υπάρχει και για την περίοδο 2070-2100 όπου αναμένεται περεταίρω μικρή μείωση της βροχόπτωσης της τάξεως του 2% σε σχέση με την περίοδο 1960-1990.

Και σε αυτή την εποχή τα gr του C4I παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης με τις μετρήσεις του σταθμού για την περίοδο 1960-1990 από ότι τα αντίστοιχα του KNMI. Επιπλέον, όμως, οι προβλέψεις και των δύο μοντέλων συγκλίνουν σε μια πολύ μικρή μείωση της μελλοντικής βροχόπτωσης για την περίοδο 2020-2050 και, επιπροσθέτως, η μείωση αυτή φαίνεται να συνεχίζεται και την περίοδο 2070-2100 σύμφωνα με το KNMI. Οπότε, μπορεί με αρκετή ασφάλεια να θεωρηθεί πως η μελλοντική βροχόπτωση θα διατηρηθεί περίπου στα ίδια επίπεδα με αυτή της περιόδου 1960-1990, πιθανώς, με μία πολύ ελαφρά τάση μείωσης.

Πρέπει να επισημανθεί πως τα αποτελέσματά των κλιματικών μοντέλων δεν μπορούν να θεωρούνται απόλυτα ακριβή, κάτι που οφείλεται σε διάφορους παράγοντες. Στην παρούσα εργασία τα δύο μοντέλα αντιστοιχούν σε λίγο διαφορετικό κλιματικό τύπο από αυτόν της περιοχής της Θεσσαλονίκης. Επίσης, τα grid points βρίσκονται μακριά από το μετεωρολογικό σταθμό της Θεσσαλονίκης οπότε το καθένα παρουσιάζει διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά και παρεμβάλλονται διάφοροι τοπογραφικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη κίνηση των μετεωρολογικών συστημάτων προς τη Θεσσαλονίκη. Ωστόσο, τα αποτελέσματα τους αποτελούν χρήσιμες ενδείξεις και εργαλεία για περεταίρω μελέτη και κυρίως στις περιπτώσεις που οι προβλέψεις τους συγκλίνουν θα πρέπει να εξετάζονται με ιδιαίτερη σοβαρότητα και προσοχή.



Μακρογιάννης Τ. - Σαχσαμάνογλου Χ. *'Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας'*

Μπαλαφούτης Χ. - Μαχαίρας Π. *'Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με Στοιχεία Βιοκλιματολογίας'*

http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_model

http://en.wikipedia.org/wiki/Global_climate_model

<http://climateprediction.net/content/regional-climate-models>

<http://climateprediction.net/content/modelling-climate>

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2007/05/climate-models-local-climate/>

<http://bobtisdale.blogspot.com/2010/12/very-basic-introduction-to-knmi-climate.html>

http://www.knmi.nl/about_knmi/

<http://www.c4i.ie/>

http://www.c4i.ie/docs/Project_Description.pdf

http://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification

http://en.wikipedia.org/wiki/Mediterranean_climate

http://en.wikipedia.org/wiki/Humid_subtropical_climate

<http://www.blueplanetbiomes.org/climate.htm>

<http://climateprediction.net/content/modelling-climate>

<http://www.aip.org/history/climate/simple.htm>

http://www.sciencedaily.com/articles/g/global_climate_model.htm