



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΑΜΟΥΚΑ ΘΕΑΝΩ

ΕΠΟΧΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΑΙΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΜΑΜΟΥΚΑ ΘΕΑΝΩ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5535

ΕΠΟΧΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΑΙΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Κ. Πυθαρούλης Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής



© Μαμούκα Θεανώ, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΠΟΧΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΑΙΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ – Διπλωματική Εργασία

© Mamouka Theano, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2022

All rights reserved.

SEASONAL WEATHER PREDICTION THROUGH THE COMBINATION OF NUMERICAL MODELS – *Bachelor Thesis*

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Πηγή <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/seasonal-original-single-levels?tab=overview>



Γενική παραδοχή στις μέρες μας αποτελεί το γεγονός πως οι εποχικές προγνώσεις καιρού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη λήψη οικονομικών, και όχι μόνο, αποφάσεων σε μία πληθώρα τομέων της σύγχρονης κοινωνίας.

Η παρούσα εργασία, λοιπόν, αποσκοπεί στην αξιολόγηση των εποχικών προγνώσεων από τα έξι σημαντικότερα και πιο εύκολα προσβάσιμα, από άποψη παροχής δεδομένων, προγνωστικά κέντρα για την γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης και την χρονική περίοδο: Μάιος-Οκτώβριος 2021.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε σε αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνει μια αρχική επεξεργασία των δεδομένων από το κάθε κέντρο για τον υπολογισμό τεσσάρων (4) μετεωρολογικών παραμέτρων (σχετική υγρασία στα 2m, θερμοκρασία αέρα στα 2m, ταχύτητα ανέμου στα 10m και υετό) και τον συνδυασμό τους σε ένα ξεχωριστό μοντέλο. Η προγνωστική ικανότητα για κάθε μεταβλητή και κέντρο εκτιμήθηκε στη συνέχεια με βάση δύο (2) σκορ : το Mean Absolute Error (MAE) και το Fraction Skill Score (FSS).

Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί και μία υποτυπώδης μεθοδολογία για τη δημιουργία ενός συνδυαστικού μοντέλου από τα έξι αρχικά προγνωστικά κέντρα. Σκοπός αυτού του εγχειρήματος είναι, θεωρητικά, η εξομάλυνση των σφαλμάτων από τα μεμονωμένα προγνωστικά κέντρα.

Οι μετεωρολογικές προβλέψεις που αξιοποιήθηκαν για αυτόν τον σκοπό προέρχονται από 6 προγνωστικά κέντρα : ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), METEO-FRANCE, UKMO (UK Met Office), CMCC (Euro-Mediterranean Center on Climate Change), DWD (Deutscher Wetterdienst) και NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Γενικά, η παράμετρος που παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση στα προγνωστικά σκορ, για την εξεταζόμενη περίοδο, είναι η ταχύτητα ανέμου, με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία να ακολουθούν επιδεικνύοντας μέτρια έως υψηλά σφάλματα. Οι προβλέψεις για τον υετό, ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις φάνηκε να πλήττονται από ιδιαίτερα χαμηλή προγνωστική ικανότητα.



Nowadays, it is generally accepted that seasonal weather forecasts hold an important role in making financial, and not only, decisions in numerous sectors of the modern society.

Therefore, the present paper aims to evaluate the seasonal weather forecasts of six of the most important and most easily accessible, data-wise, forecasting centers for the geographical area of Europe and the time period: May-October 2021.

The methodology applied in this context includes an initial processing of the data from each center to calculate four (4) meteorological parameters (relative humidity at 2m, air temperature at 2m, wind speed at 10m and precipitation) and their combination into a separate model. The predictability for each variable of every center was then assessed based on two (2) skill scores: the Mean Absolute Error (MAE) and the Fraction Skill Score (FSS).

In addition to the assessment of their predictive capacity, in the context of this work, a rudimentary methodology has been developed for the creation of a multi-model from the six initial forecasting centers. The goal of this endeavor is, in theory, to smooth the errors of the individual forecasting centers.

The forecasts used for this purpose are produced from 6 different centers: ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts), METEO-FRANCE, UKMO (UK Met Office), CMCC (Euro-Mediterranean Center on Climate Change), DWD (Deutscher Wetterdienst) and NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

In general, the parameter that performs the best in forecast scores for the period under consideration is wind speed, followed by temperature and relative humidity which show moderate to high errors. However, the precipitation in all cases appeared to suffer from particularly poor predictability.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	8
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	16
2.1 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ.....	16
2.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	16
2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	17
2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ-ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	20
3.1 ΜΗΝΙΑΙΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙΡΟΥ	20
3.1.1 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΜΑΪΟΣ 2021	22
3.1.2 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΙΟΥΝΙΟΣ 2021	30
3.1.3 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΙΟΥΛΙΟΣ 2021	38
3.1.4 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2021	46
3.1.5 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021	54
3.1.6 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021	62
3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	70
3.2.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ 10m.....	70
3.2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΤΑ 2m.....	80
3.2.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑ 2m.....	87
3.2.4 ΥΕΤΟΣ.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

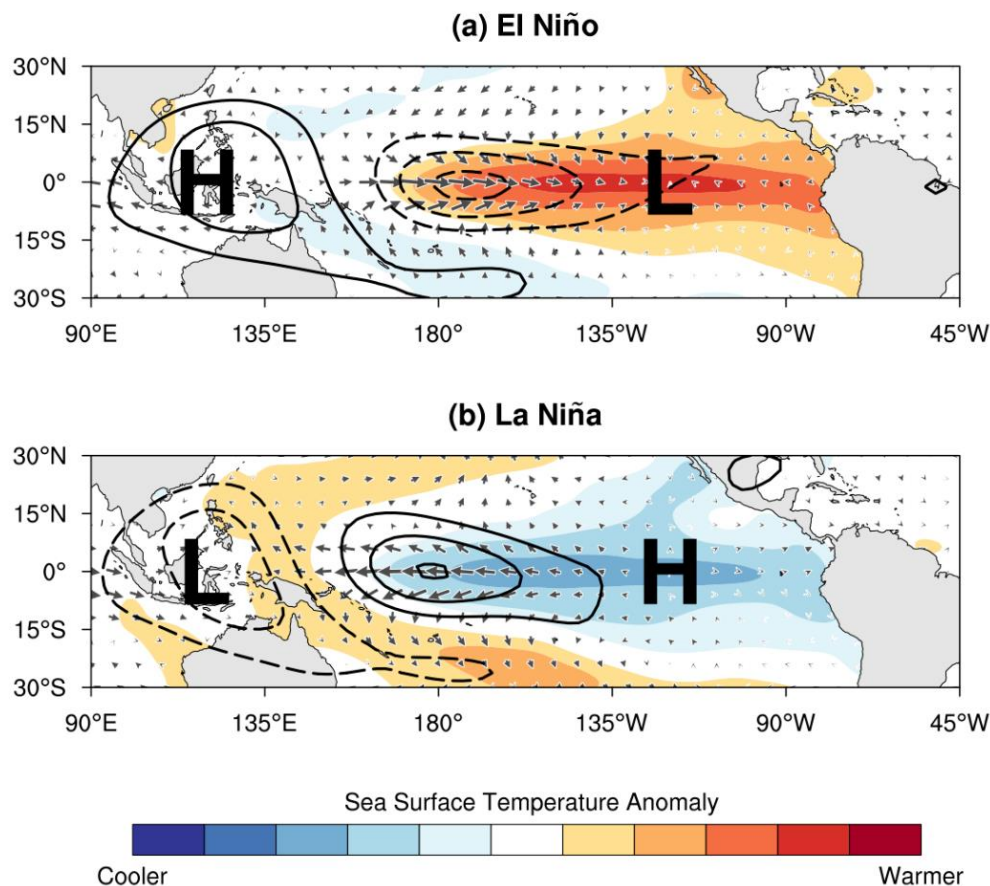
Η ραγδαία πρόοδος της σύγχρονης τεχνολογίας συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη της αριθμητικής πρόγνωσης καιρού (NWP–Numerical Weather Prediction), με τη βοήθεια διάφορων μοντέλων όπως το WRF (Weather Research and Forecasting Model) [1]. Ταυτόχρονα, πολυάριθμες κοινωνικο-οικονομικές δομές γίνονται ολοένα και πιο ευαίσθητες σε ακραία καιρικά φαινόμενα και στη γενικότερη κλιματική μεταβολή. Σε αυτό το πλαίσιο, εξαφανίσεις ειδών, πληθυσμιακές ανακατανομές, φαινολογικές ή/και βιολογικές αλλαγές καταγράφονται με έναν αυξανόμενο ρυθμό [2].

Σήμερα, λοιπόν, για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με την πρόληψη τέτοιου είδους αλλαγών, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής προγνώσεων που ξεπερνούν τη διάρκεια μερικών ημερών στο μέλλον και που χρησιμοποιούνται ως κατευθυντήριες γραμμές για τη συμπεριφορά του καιρού σε χρονικό βάθος μηνών. Αυτές είναι οι λεγόμενες εποχικές (μακροπρόθεσμες) προγνώσεις, που στοχεύουν στο σχηματισμό μιας όσο το δυνατόν καλύτερης εικόνας της παγκόσμιας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και την πρόγνωση πιθανών τάσεων απόκλισης από τις αναμενόμενες κλιματολογικά τιμές. Σε αντίθεση με τις βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, οι οποίες παρέχουν μια αναλυτική, καθημερινή και ακριβή χωρο-χρονικά αναπαράσταση της ατμόσφαιρας, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε τοπική κλίμακα, η έντονη χαοτική συμπεριφορά της καθιστά κάτι αντίστοιχο στις εποχικές προβλέψεις εξαιρετικά δύσκολο και συχνά τα αποτελέσματα εμπεριέχουν ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας.

Τα βασικά στοιχεία του γήινου συστήματος που επηρεάζουν την παραγωγή των μακροπρόθεσμων προβλέψεων είναι οι ωκεάνιες λεκάνες και η κρυόσφαιρα, τα οποία παρουσιάζουν έναν πιο αργό ρυθμό εξέλιξης από την ατμόσφαιρα, κάτι που καθιστά την εκτίμηση της μελλοντικής τους κατάστασης σχετικά ευκολότερη. Οι βασικότερες παράμετροι και τα σημαντικότερα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε αυτά τα συστήματα και που συνιστούν τη βάση εκτίμησης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε μακροπρόθεσμη βάση είναι [3]:

- Η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (Sea Surface Temperature).
- Η εδαφική υγρασία και η χιονοκάλυψη.
- Τα φαινόμενα της Νότιας ταλάντωσης του Ειρηνικού ωκεανού (El Niño, La Niña). Η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του ωκεανού στην περιοχή του Κεντρικού-Ανατολικού Ειρηνικού, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της βροχοπτώσης επιδρά σημαντικά στη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας σε όλη την έκταση του εν λόγω ωκεανού, όπως και στην ένταση των τροπικών βροχοπτώσεων (Σχήμα 1.1). Τα φαινόμενα αυτά είναι ο πιο γνωστός παράγοντας της ετήσιας κλιματικής μεταβλητότητας. Ασυνήθιστα υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια της

θάλασσας, για παράδειγμα, ενδέχεται να προκαλέσουν αξιόλογες μεταβολές στις εποχικές διακυμάνσεις του κλίματος στις κοντινές ηπείρους.



Σχήμα 1. 1 : Σχηματικά διαγράμματα που απεικονίζουν το καθεστώς της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας (SST) και της επιφανειακής πίεσης (MSLP) κατά τη διάρκεια των φαινομένων (a) El Niño και (b) La Niña. Πηγή : <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>.

Η καλύτερη προγνωστική ικανότητα σημειώνεται πιο εμφανώς στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη, καθώς σε αυτές τις περιοχές η επίδραση των παραπάνω παραγόντων είναι προβλέψιμη με έναν πιο αξιόπιστο μηχανισμό σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές της Γης. Αντίθετα, στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, η αξιοπιστία των μακροπρόθεσμων προβλέψεων κυμαίνεται από χαμηλή έως μέτρια.

Από την άλλη μεριά, οι επιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως ξηρασίες και πλημμύρες, γίνονται ιδιαίτερα αισθητές σε περιοχές όπως η Ανατολική Αφρική και είναι δυνατό να αποφευχθούν με την παροχή ακριβών και έγκαιρων προειδοποιήσεων. Ωστόσο, ικανές εποχικές προβλέψεις για τις περιόδους βροχόπτωσης μεγάλης διάρκειας είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθούν, δεδομένης της ελλιπούς κατανόησης της ενδο-



ετήσιας μεταβλητότητας αυτών των φαινομένων. Παράλληλα, ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται με μη-τοπικές διεργασίες σε δυναμικά κλιματικά μοντέλα είναι σχετικά άγνωστος [4]. Για παράδειγμα, οι προγνώσεις που είχαν παραχθεί και χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων αγροτικής πολιτικής πριν την ασυνήθιστα υγρή περίοδο του 2018, δεν έδωσαν κάποια ένδειξη των ενισχυμένων βροχοπτώσεων που ήταν επικείμενες, ακόμα και λιγότερο από ένα μήνα πριν από την έναρξη της υγρής αυτής περιόδου [5]. Επιπλέον, η ασυμφωνία στο χρόνο εμφάνισης των βροχοπτώσεων μεταξύ προγνώσεων και πραγματικότητας έχει αισθητό αντίκτυπο και στον τομέα της γεωργίας και κυρίως στις δραστηριότητες σποράς και συγκομιδής των διάφορων καλλιεργειών [6].

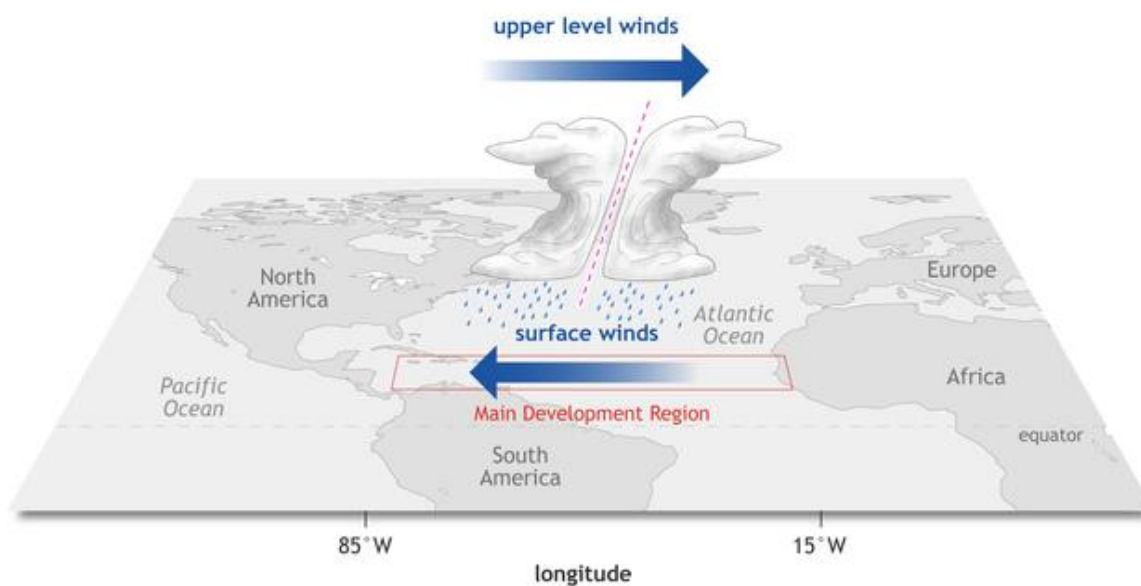
Αντίστοιχα προβλήματα από την έλλειψη μακροπρόθεσμων προβλέψεων ικανών να ανιχνεύσουν την εμφάνιση ακραίων φαινομένων, και ιδιαίτερα για τις έντονες βροχοπτώσεις, καταγράφονται και σε περιοχές της Ασίας [7]. Για τη γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης, οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις είναι γενικά μέτριας έως υψηλής προγνωστικής ικανότητας και ιδιαίτερα στο νοτιοανατολικό της τμήμα. Εκεί, οι χειμερινές και ακόμα περισσότερο οι καλοκαιρινές προβλέψεις της θερμοκρασίας είναι επαρκώς αξιόπιστες [8].

Στο σημείο αυτό, αξίζει να επισημανθεί πως οι εποχικές προβλέψεις από το Climate Forecast System (CFS), παρουσιάζουν ορισμένες ελλείψεις που είναι αναγκαίο να διορθωθούν. Το μεγάλο πλάτος της νότιας ταλάντωσης του Ειρηνικού ωκεανού (El Niño Southern Oscillation, ENSO) κατά την έναρξη των προβλέψεων ενδεχομένως να προκαλεί μια εσφαλμένη ατμοσφαιρική απόκριση και να οδηγεί σε μη ικανοποιητικές προβλέψεις. Από την άλλη, ο καθοριστικός ρόλος της εδαφικής υγρασίας και η αβεβαιότητά της στις αναλύσεις δημιουργεί την ανάγκη ύπαρξης αξιόπιστων παρατηρήσεων για τη συγκεκριμένη παράμετρο, ενώ παράλληλα το χρησιμοποιούμενο μοντέλο δε δύναται να αποτυπώσει την παρατηρούμενη μακροπρόθεσμη τάση θέρμανσης [9].

Εντούτοις, έχουν αναπτυχθεί ορισμένα συστήματα τα οποία στηρίζονται σε φυσικές παραμετροποιήσεις που λαμβάνουν υπόψη τη Βόρεια ταλάντωση του Ατλαντικού και Αρκτικού ωκεανού. Τέτοιου είδους συστήματα έχουν παρουσιάσει θετικά αποτελέσματα με υψηλότερα σκορ προγνωστικής ικανότητας [10].

Βέβαια, οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις δεν παρουσιάζουν μόνο ελλείματα σε επιτυχημένες προγνώσεις, αλλά είναι πολυάριθμες οι περιπτώσεις που οδήγησαν, και εξακολουθούν να οδηγούν σε ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, είναι δυνατό μοντέλα της γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (atmospheric general circulation model, AGCM) να χρησιμοποιηθούν για την εποχική πρόβλεψη εκδήλωσης τροπικών κυκλώνων [11]. Αυτό οφείλεται στην ισχυρή σύνδεση μεταξύ της εμφάνισης τροπικών κυκλώνων και στις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην εν λόγω ζώνη (Σχήμα 1. 2). Οι διεργασίες αυτές προβλέπονται με καλύτερη αξιοπιστία από δυναμικά κλιματικά μοντέλα σε σχέση με τα στατιστικά μοντέλα.

Hurricanes in the Atlantic



NOAA Climate.gov

Σχήμα 1. 2 : Την περίοδο εκδήλωσης κυκλώνων στον Ατλαντικό πνέουν ανατολικοί άνεμοι κοντά στην επιφάνεια και δυτικοί άνεμοι σε ανώτερα επίπεδα, δημιουργώντας έναν κατακόρυφο διατμητικό άνεμο που συνήθως αποτελεί ένδειξη γένεσης και ανάπτυξης κυκλωνικών φαινομένων.

Πηγή : <https://www.climate.gov/enso>

Συγκεκριμένα, μακροπρόθεσμες προγνώσεις για τη κύρια ζώνη ανάπτυξης (Main Development Region, MDR) παράχθηκαν στο κέντρο UK-Met Office (UKMO) με το αντίστοιχο μοντέλο γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και αξιοποιώντας παρατηρήσεις/προγνώσεις για τη θερμοκρασία στη στάθμη της θάλασσας. Η προσεκτική παρακολούθηση αυτών των προβλέψεων μπορεί να δώσει μια καθοδήγηση όσον αφορά την εκδήλωση τροπικών κυκλώνων σε ένα χρονικό βάθος μηνών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό με κάποιο στατιστικό μοντέλο πρόγνωσης. Ακόμη, το σύνολο του προγνωστικού δείγματος (ensemble) παρουσιάζει αξιόλογη ικανότητα πρόβλεψης. Είναι αρκετά πιθανό, πως η προγνωστική ικανότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά με τη δημιουργία ενός συνδυαστικού μοντέλου, ώστε να μειωθούν τα συστηματικά λάθη. Εξίσου σημαντικό ρόλο στη βελτίωση αυτή παίζει και η παραγωγή προγνώσεων για την παράμετρο της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, αφού η καλύτερη ποιότητά τους θα ωφελήσει αναμφισβήτητα και την προγνωστική ικανότητα όλων των προβλέψεων που παράγονται σε επόμενο χρόνο. Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες, όμως, η σχετική υγρασία είναι ένας ακόμα που πιθανώς να επηρεάζει με κάποιο τρόπο την κυκλωνική δραστηριότητα, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Θα ήταν χρήσιμο, λοιπόν, μελλοντικές δραστηριότητες να εστιάσουν στη διερεύνηση και άλλων παραμέτρων, σχετιζόμενων με τη θερμοδυναμική αστάθεια, ως παραγόντων που επηρεάζουν τη μεταβλητότητα των τροπικών κυκλώνων.

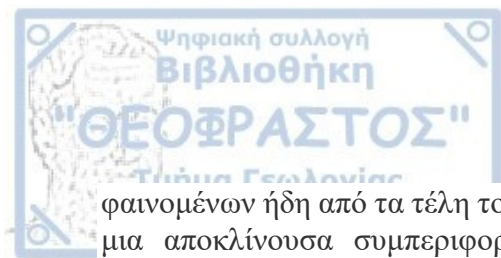
Μία ακόμα περίπτωση επιτυχούς εποχικής πρόγνωσης αφορά την εκδήλωση κυκλωνικών φαινομένων το 1995 [12]. Η συγκεκριμένη χρονιά παρουσίασε μια από τις εντονότερες περιόδους κυκλωνικής δραστηριότητας, με την εκδήλωση 11 κυκλώνων συνολικής διάρκειας 60 ημερών. Μάλιστα σε αυτό το έτος σημειώθηκε κυκλωνική δραστηριότητα και σε «βαθιά» τροπικά γεωγραφικά πλάτη (νότια των 25°B, με εξαίρεση τον κόλπο του Μεξικού).

Η απότομη αύξηση των κυκλωνικών φαινομένων σε σχέση με την προηγούμενη, σχετικά ήρεμη, χρονιά του 1994, αποδίδεται κυρίως στον κατακόρυφο διατμητικό άνεμο (vertical wind shear), στις τιμές της επιφανειακής πίεσης που ήταν χαμηλότερες από τις φυσιολογικές τιμές, στα ασυνήθιστα θερμά νερά του Ατλαντικού ωκεανού και στα εξαιρετικά υψηλά ποσά βροχόπτωσης που καταγράφηκαν.

Αυτοί οι περιβαλλοντικοί παράγοντες ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκοί για τη γένεση κυκλώνων και άρχισαν να αναπτύσσονται ήδη από το τέλος της χειμερινής περιόδου του 1994, πολύ πριν την εκδήλωση των κυκλωνικών φαινομένων, κάτι που επιβεβαιώνει το γεγονός πως αποτελούν την αιτία και όχι το αποτέλεσμα της κυκλωνικής δραστηριότητας. Η μεγάλη διάρκεια της αποκλίνουσας αυτής ατμοσφαιρικής συμπεριφοράς πάνω από την περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού αποδίδεται εν μέρη και στην μετάβαση (στις τροπικές περιοχές του Ειρηνικού ωκεανού) από τα θερμά επεισόδια El Niño στα ψυχρά επεισόδια La Niña στις αρχές του 1995 και πριν την έναρξη των κυκλωνικών φαινομένων. Ειδικά το φαινόμενο El Niño έχει τουλάχιστον μια ασθενή επίδραση στη δημιουργία ατμοσφαιρικών συνθηκών ευνοϊκών για την έξαρση της κυκλωνικής δραστηριότητας.

Αν και το 1995 ήταν στο σύνολο της διάρκειάς του εξαιρετικά ενεργό από άποψη κυκλωνικής δραστηριότητας, υψηλότερες συχνότητες αυτών των φαινομένων σημειώθηκαν τους μήνες Αύγουστο και Οκτώβριο και χαμηλότερες το μήνα Σεπτέμβριο. Ενδεικτικά, οι περίοδοι κατά την οποία σημειώνονται τα φαινόμενα των τροπικών κυκλώνων στην ωκεάνια λεκάνη του Ατλαντικού είναι συνήθως από τον Ιούνιο μέχρι τον Οκτώβριο του κάθε έτους [13]. Αυτή η διαφοροποίηση του έτους 1995 οφείλεται πιθανότατα σε αλλαγές στην άνω-τροποσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό, που είχε ως αποτέλεσμα την επάνοδο ενός σχεδόν φυσιολογικού διατμητικού ανέμου κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου καθώς και στην εμφάνιση αναμενόμενων για την περίοδο τιμών θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας στις τροπικές και υπο-τροπικές περιοχές του Βόρειου Ατλαντικού, λόγω της ενισχυμένης κυκλωνικής δραστηριότητας που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του Αυγούστου.

Οι μακροπρόθεσμες προγνώσεις που παράχθηκαν τον Νοέμβριο του 1994, τον Ιούνιο και τον Αύγουστο του 1995 από το πανεπιστήμιο του Colorado (Colorado State University) ήταν επιτυχείς στην πρόβλεψη μιας περιόδου με πολύ πιο έντονη κυκλωνική δραστηριότητα από το αναμενόμενο. Ωστόσο, φάνηκε να υποτιμούν το εξαιρετικά μεγάλο εύρος των κυκλωνικών φαινομένων που αργότερα σημειώθηκαν. Εντούτοις, η σωστή πρόβλεψη της συμπεριφοράς δύο παραγόντων, της λήξης του θερμού επεισοδίου στον Ειρηνικό ωκεανό και της έναρξης της διετούς στρατοσφαιρικής ταλάντωσης στον Ισημερινό (stratospheric quasi-biennial oscillation, QBO), είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή προγνώσεων που προέβλεψαν επιτυχώς την εκδήλωση έντονων κυκλωνικών



φαινομένων ήδη από τα τέλη του Νοεμβρίου του 1994. Κατάφεραν δηλαδή να εντοπίσουν μια αποκλίνουσα συμπεριφορά από αυτήν που ήταν κλιματολογικά αναμενόμενη, καθιστώντας την επιτυχία τους ακόμα πιο αξιόλογη.

Ενθαρρυντικά είναι επίσης και τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση των προγνώσεων του Ευρωπαϊκού κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού - ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) για το χρονικό διάστημα 1979-1993 στο πλαίσιο του έργου PROVOST (PRediction Of climate Variations On Seasonal to interannual Time-scales) [14]. Κατά τη διάρκεια αυτής της 15ετίας σημειώθηκαν δύο (2) κύρια και τρία (3) δευτερεύοντα φαινόμενα Νότιας Ταλάντωσης του Ειρηνικού ωκεανού (ENSO), κάτι το οποίο σε γενικές γραμμές λειτούργησε ευεργετικά για την προγνωστική ικανότητα των παραγόμενων προβλέψεων από ένα μοντέλο στηριζόμενο στη σύζευξη του ωκεάνιου και του ατμοσφαιρικού συστήματος.

Επιπρόσθετα, το συστηματικό λάθος του μοντέλου (ανάλογο με το πλάτος της ταλάντωσης) φαίνεται να παρουσιάζει αυξημένες τιμές κατά τα τη διάρκεια της άνοιξης στις βόρειες πολικές περιοχές και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στις τροπικές περιοχές. Σε γενικές γραμμές πάντως, η προγνωστική ικανότητα του δείγματος (ensemble) διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Με εξαίρεση τις χειμερινές περιόδους, οι προβλέψεις που αφορούν τους μήνες 2-4 από τη στιγμή εκκίνησης εμφανίζουν χειρότερη απόδοση από τις προβλέψεις για τους μήνες 1-3 από τη στιγμή εκκίνησης, κάτι που υποδεικνύει την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των αρχικών συνθηκών. Αυτή η ενδο-ετήσια μεταβλητότητα της προγνωστικής ικανότητας είναι περισσότερο έντονη στη ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης σε σχέση με το υπόλοιπο Βόρειο ημισφαίριο με την επίδραση της Νότιας Ταλάντωσης του Ειρηνικού ωκεανού να είναι αρκετά πιο αδύναμη.

Συμπληρωματικά, βρέθηκε πως οι προβλέψεις αναφορικά με τη βροχόπτωση παρουσιάζουν κατά γενική παραδοχή καλύτερη απόδοση στις τροπικές περιοχές. Παρόλα αυτά, ακόμα και σε αυτές τις περιοχές, υπάρχουν ορισμένες ζώνες όπου τα φαινόμενα βροχόπτωσης παρουσιάζουν χαοτική συμπεριφορά, με αποτέλεσμα να μειώνεται η προγνωσιμότητά τους και εκεί.

Επιπλέον, γενική παραδοχή αποτελεί το γεγονός πως ο καιρός που θα επικρατήσει στο χρονικό βάθος της επόμενης εβδομάδας είναι σχετικά ανεξάρτητος από τις καιρικές συνθήκες που σημειώνονται την παρούσα εβδομάδα. Παρόλο που μεμονωμένα καιρικά συστήματα ενδέχεται να είναι απρόβλεπτα και να επιδεικνύουν μια χαοτική συμπεριφορά πέρα από βάθος πρόβλεψης των επτά (7) ημερών, τα στατιστικά στοιχεία που τα περιγράφουν είναι δυνατό να υποστούν προβλέψιμες διαταράξεις, ιδιαίτερα με βάση τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον των ωκεάνιων λεκανών. Στο παρελθόν, οι εποχικές προβλέψεις ατμοσφαιρικών παραμέτρων είχαν βασιστεί αρκετά σε εμπειρικές σχέσεις, που δεν χαίρουν παγκόσμιας εφαρμογής. Πιο πρόσφατα, όμως, η σύζευξη ατμοσφαιρικών και ωκεάνιων μοντέλων έχει τεθεί σε εφαρμογή με ενθαρρυντικά αποτελέσματα για τις μακροπρόθεσμες προβλέψεις σε βάθος αρκετών μηνών [15]. Τέτοιου είδους δυναμικά μοντέλα είναι ικανά να δημιουργήσουν προσομοιώσεις των διαταραχών του εποχικού κλίματος με τη χρήση βέβαια σημαντικών υπολογιστικών πόρων. Η εκτίμηση της προγνωστικής τους ικανότητας έδειξε υψηλά σκορ για την πρόβλεψη των βροχοπτώσεων κυρίως σε τροπικά γεωγραφικά πλάτη, αλλά και ικανοποιητικά αποτελέσματα για την περιοχή της Ευρώπης.

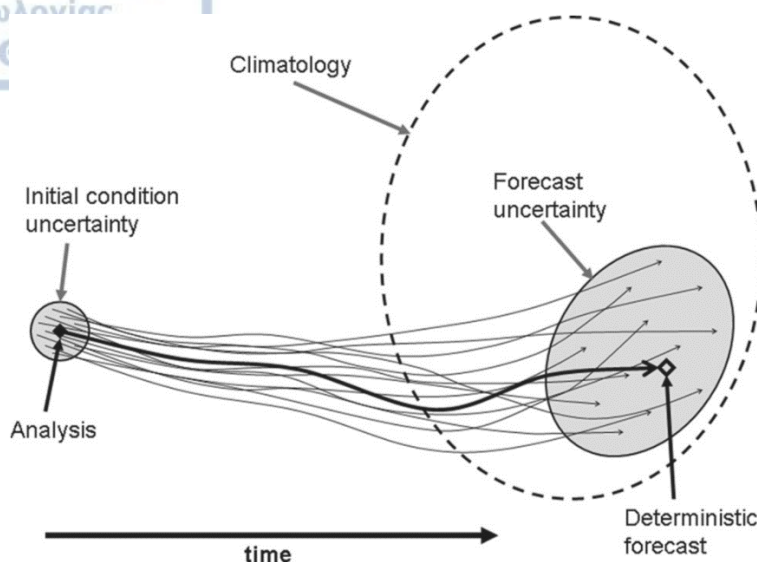


Παράλληλα, συνδυαστικά μοντέλα πολλαπλών δειγμάτων αξιοποιούνται συχνά για την παραγωγή μεσοπρόθεσμων έως μακροπρόθεσμων προβλέψεων. Αυτή η μέθοδος περιορίζει τον βαθμό αβεβαιότητας στα δυναμικά μοντέλα καθώς η χρήση πολλών μοντέλων με διαφορετικές φυσικές παραμετροποιήσεις συμβάλλει στη διεύρυνση των δειγμάτων-μελών [16].

Σήμερα, καιρικές προβλέψεις παράγονται από μια πληθώρα προγνωστικών κέντρων παγκοσμίως, με τη χρήση δυναμικών και στατιστικών μοντέλων, όπως για παράδειγμα το European Centre for Medium Range Weather Forecasting (ECMWF), το UK Met-Office, το National Centers for Environmental Prediction (NCEP), κ.ά.

Τα αριθμητικά μοντέλα καιρού που χρησιμοποιούνται από τα διάφορα κέντρα για τις μακροπρόθεσμες προβλέψεις στηρίζονται στην τεχνική των προγνώσεων πολλαπλού δείγματος (ensembles, *Σχήμα 1. 3*). Αυτό σημαίνει πως για κάθε μήνα εκτελούνται πολλαπλοί υπολογισμοί και σενάρια με ελαφρώς τροποποιημένες αρχικές συνθήκες, από όπου υπολογίζονται τελικά οι πιθανότητες εμφάνισης διαφορετικών φαινομένων τους προσεχείς μήνες [17]. Οι βασικές μέθοδοι που εφαρμόζονται για την παραγωγή αυτού του πολλαπλού δείγματος είναι οι ακόλουθες:

- Poor man's ensemble, αξιοποιώντας προγνώσεις από διαφορετικά κέντρα [18]. Κάθε σετ προγνώσεων έχει παραχθεί από αριθμητικά μοντέλα με τροποποιημένες φυσικές παραμετροποιήσεις. Το όνομα της συγκεκριμένης μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι όλες οι προβλέψεις έχουν ήδη παραχθεί από άλλους φορείς με τη χρήση των υποδομών τους και για τη δημιουργία του πολλαπλού δείγματος απαιτείται μόνο η συλλογή τους από αυτούς [19].
- Lagged average forecasting, όπου το προγνωστικό δείγμα παράγεται με αρχικοποίηση σε διαδοχικούς χρόνους [20], ενώ η διαφοροποίηση μεταξύ των ιδιαίτερα βραχυπρόθεσμων προγνώσεων και των διαδοχικών αναλύσεων αντιμετωπίζεται ως μια διατάραξη των αρχικών συνθηκών [21], και
- Στοχαστική πρόγνωση από τροποποιημένες αρχικές συνθήκες για την ίδια αρχική χρονική στιγμή [22].



Σχήμα1. 3 : Διαδικασία στοχαστικής πρόγνωσης καιρού - Ensemble Forecasting [23]

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δεδομένης της πληθώρας των κέντρων που ασχολούνται με την εποχική πρόγνωση, η συγκεκριμένη εργασία έχει δύο βασικούς σκοπούς:

- α) τον συνδυασμό εποχικών προγνώσεων παρεχόμενων από μεγάλα διεθνή προγνωστικά κέντρα σε ένα συνδυαστικό μοντέλο,
- β) και την εκτίμηση της προγνωστικής ικανότητας τόσο του κάθε κέντρου ξεχωριστά, όσο και του μοντέλου που θα προκύψει από τον συνδυασμό τους.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ

Οι εποχικές προγνώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας εστιάζουν στην περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής, έχουν χωρική ανάλυση $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, ημερήσιο χρονικό βήμα (με την έννοια του ημερήσιου μέσου όρου και της ημερήσιας αθροιστικής τιμής για τον υετό), χρονικό ορίζοντα έως και έξι μήνες από την ημέρα εκκίνησης (01/05/2021, 00 UTC με εξαίρεση ένα κέντρο). Η συγκεκριμένη χρονική περίοδος προβλέψεων επιλέχθηκε διότι παρείχε τα πιο πρόσφατα δεδομένα κατά τη έναρξη συγγραφής της εργασίας. Η πρόσβασή τους έγινε μέσω του CDS (Climate Data Store, [24]) και συνολικά αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τα έξι (6) ακόλουθα προγνωστικά κέντρα [25]:

- I. ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts): Το δείγμα προγνώσεων έχει 51 μέλη και προέρχονται από το ανανεωμένο σύστημα SEAS5 [3].
- II. METEO-FRANCE : Το δείγμα προγνώσεων έχει 51 μέλη και προέρχονται από το σύστημα system 8 (CNRM-CM 6) [26].
- III. UKMO (UK Met Office): Το δείγμα προγνώσεων έχει 2 μέλη (λόγω τροποποιημένων αρχικών συνθηκών στον ίδιο αρχικό χρόνο) και προέρχονται από το σύστημα GloSea6-GC3.28 [27].
- IV. CMCC (Euro-Mediterranean Center on Climate Change): Το δείγμα προγνώσεων έχει 50 μέλη και προέρχονται από το σύστημα CMCC-SPS3.5 [28].
- V. DWD (Deutscher Wetterdienst) : Το δείγμα προγνώσεων έχει 50 μέλη και προέρχονται από το σύστημα GCFS 2.1 [29].
- VI. NCEP (National Centers for Environmental Prediction): Το δείγμα προγνώσεων έχει 4 μέλη, οι οποίες αρχικοποιήθηκαν στις 00, 06, 12, 18 UTC 1/5/2021 και προέρχονται από το σύστημα CFSv2 [30].

2.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Μετά την απόκτηση των προγνώσεων αυτών, έγινε ο υπολογισμός των τεσσάρων (4) ακόλουθων μεταβλητών για κάθε μέλος (ensemble member) των προαναφερόμενων δειγμάτων:

- I. Ταχύτητα ανέμου (m/s) στα 10m, με βάση τις συνιστώσες u και v από τη σχέση:

$$wind\ speed = \sqrt{u^2 + v^2}$$

- II. Σχετική υγρασία (%) στα 2m, με βάση τη θερμοκρασία αέρα και τη θερμοκρασία δρόσου στα 2m (σε βαθμούς Kelvin) από τη σχέση:



$$relative\ humidity = 100 * \left[\frac{610.78 * e^{(17.2694 * \frac{Td-273.16}{Td-35.86})}}{610.78 * e^{(17.2694 * \frac{T-273.16}{T-35.6})}} \right]$$

- III. Θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}C$) στα 2m, απλά κάνοντας την μετατροπή από βαθμούς Kelvin που δίνονται τα αρχικά δεδομένα σε βαθμούς Celsius:

$$temperature\ (Celsius) = Temperature(Kelvin) - 273.15$$

- IV. Ημερήσιος συνολικός νετός (mm), απλά κάνοντας την μετατροπή από m που δίνονται τα αρχικά δεδομένα σε mm:

$$total\ precipitation\ (mm) = total\ precipitation\ (m) * 1000$$

Κατόπιν, για κάθε κέντρο και παράμετρο υπολογίστηκε η μέση τιμή των μελών από το δείγμα προγνώσεων (ensemble mean), ώστε η απεικόνιση των προβλέψεων αργότερα σε καιρικούς χάρτες να είναι πιο κατανοητή.

2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Αφού εφαρμοστεί η μεθοδολογία των μεμονωμένων κέντρων και υπολογιστούν οι μέσες τιμές (ensemble mean) των τεσσάρων καιρικών παραμέτρων, οι αντίστοιχες παράμετροι του συνδυαστικού μοντέλου προκύπτουν από τον μέσο όρο των έξι προγνωστικών κέντρων, καθένα από τα οποία έχει την ίδια βαρύτητα. Δηλαδή:

$$Ensemble\ Mean\ (multi - model) = \frac{\sum_{k=1}^6 Ensemble\ Mean\ (k)}{6}$$

όπου k : οι τιμές ensemble mean κάθε μιας παραμέτρου από τα 6 προγνωστικά κέντρα που περιγράφηκαν προηγουμένως.

2.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ-ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Προκειμένου να εκτιμηθεί η προγνωστική ικανότητα και η αξιοπιστία των εποχικών προγνώσεων, όπως έχουν προκύψει από τις 2 προαναφερθείσες μεθοδολογίες, συγκρίνονται με τα πλεγματικά δεδομένα ERA5 [31]. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από τον συνδυασμό του προγνωστικού μοντέλου από το ECMWF με όλες τις διαθέσιμες επίγειες και δορυφορικές παρατηρήσεις. Αποτελούν ένα πλήρες, συνεχές και υψηλής ποιότητας σύνολο δεδομένων.

Προτού γίνει η σύγκριση αυτή, ωστόσο, χρειάζεται να γίνει μια προ-επεξεργασία των δεδομένων reanalysis, η οποία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- I. Υπολογισμός των 4 μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και συνολικός νετός) όπως και στη μεθοδολογία των μεμονωμένων κέντρων, και



II. Μετατροπή του ωριαίου βήματος των αρχικών δεδομένων σε ημερήσιο, ώστε η σύγκριση ERA5-προγνώσεων να είναι ορθή.

Στη συνέχεια, με την βοήθεια του λογισμικού Model Evaluation Tools (MET) [32], το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Development Testbed Center (DTC) και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό τυπικών σκορ αξιολόγησης, συγκρίνονται καθένα από πλεγματικά σημεία πρόγνωσης για τις τέσσερις μετεωρολογικές παραμέτρους (τόσο για κάθε κέντρο ξεχωριστά όσο και για το συνδυαστικό μοντέλο) με τα πλεγματικά σημεία παρατήρησης (δεδομένα reanalysis ERA5). Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, πως το εν λόγω λογισμικό, εκτελεί και χωρική παρεμβολή, πριν προχωρήσει στον υπολογισμό των σκορ, ώστε και οι δύο πηγές δεδομένων να έρθουν στην ίδια (τη χαμηλότερη) χωρική ανάλυση ($1^\circ \times 1^\circ$).

Αυτές, οι μετεωρολογικές μεταβλητές εξετάζονται και υπό διάφορα όρια (thresholds) με σκοπό τη αξιολόγηση της απόκρισης του προγνωστικού μοντέλου σε ακραίες καιρικές συνθήκες.

Τα σκορ που υπολογίζονται [33] περιλαμβάνουν:

- Για τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα ανέμου, το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE: Mean Absolute Error), ως τη μέση τιμή της απόλυτης τιμής της διαφοράς μεταξύ της πρόγνωσης f_i και της παρατήρησης o_i :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |f_i - o_i|$$

Οι τιμές του MAE κυμαίνονται από 0 μέχρι άπειρο, όπου 0 αντιστοιχεί σε μια «τέλεια» πρόγνωση.

- Για τον υετό, το Fraction Skill Score (FSS), από τη σχέση:

$$FSS = \frac{FBS}{\frac{1}{N} [\sum_N \langle P_f \rangle_s^2 + \sum_N \langle P_o \rangle_s^2]}$$

όπου, FBS είναι το Fraction Brier Score:

$$FBS = \frac{1}{N} \sum_N [\langle P_f \rangle_s - \langle P_o \rangle_s]^2$$

όπου N: ο αριθμός των γειτονικών σημείων,

$\langle P_f \rangle_s$: είναι ο αριθμός των πλεγμάτων σε μια «γειτονιά» πλεγμάτων πρόγνωσης,

όπου το υπό εξέταση όριο επαληθεύτηκε,

$\langle P_o \rangle_s$: είναι ο αριθμός των πλεγμάτων σε μια «γειτονιά» σημείων παρατήρησης,

όπου το υπό εξέταση όριο δεν επαληθεύτηκε.



Ο παρονομαστής στο FSS σκορ, αντιπροσωπεύει το χειρότερο δυνατό σενάριο, δηλαδή καμία επικάλυψη μεταξύ προγνώσεων και παρατηρήσεων. Έτσι, το FSS κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, με το 0 να αντιπροσωπεύει καμία επικάλυψη και 1 την πλήρη επικάλυψη μεταξύ πρόγνωσης και παρατηρήσεων («τέλεια» πρόγνωση).

- Για τα διάφορα όρια υπό τα οποία συγκρίνονται οι προγνώσεις και οι παρατηρήσεις, υπολογίζονται επίσης και η *Πιθανότητα Ανίχνευσης* (POD: Probability of Detection) και η *Πιθανότητα Εσφαλμένης Ανίχνευσης* (POFD: Probability of False Detection). Το POD, ή αλλιώς ποσοστό επιτυχίας (hit rate), υπολογίζεται ως το ποσοστό των γεγονότων που ορθώς προγνώστηκαν σε σχέση με αυτά που παρατηρήθηκαν. Εκφράζει ουσιαστικά το ποσοστό (πολλαπλασιασμένο επί 100) των συμβάντων που προβλέφθηκαν επιτυχώς. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, με μια «τέλεια» πρόγνωση, όπου όλα τα συμβάντα προβλέφθηκαν με 100% επιτυχία, να αντιστοιχεί σε $POD=1$ και μια «άστοχη» πρόγνωση, όπου κανένα από τα παρατηρούμενα συμβάντα δεν προβλέφθηκαν, να αντιστοιχεί σε 0.

$$POD = \frac{n_{11}}{n_{11}+n_{01}} = \frac{hits}{hits+misses}$$

Το POFD, ή αλλιώς ποσοστό αποτυχίας, ορίζεται ως το ποσοστό των γεγονότων που εσφαλμένως δεν προγνώστηκαν σε σχέση με αυτά που δεν παρατηρήθηκαν. Κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, με μια «τέλεια» πρόγνωση, όπου δεν υπήρξε κανένας λανθασμένος συναγερμός για γεγονότα που τελικά δε συνέβησαν, να αντιστοιχεί σε $POFD=0$ και μια «άστοχη» πρόγνωση, όπου όλα τα προβλεπόμενα συμβάντα αντιστοιχούν σε λανθασμένους συναγερμούς, να αντιστοιχεί σε 1.

$$POFD = \frac{n_{10}}{n_{10}+n_{00}} = \frac{false\ alarms}{false\ alarms+correct\ negatives}$$



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΜΗΝΙΑΙΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙΡΟΥ

Στις ακόλουθες σελίδες, απεικονίζονται οι προγνώσεις των προγνωστικών κέντρων και του συνδυαστικού μοντέλου για τις τέσσερις υπό εξέταση μετεωρολογικές μεταβλητές (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και συνολικός υετός). Γεωγραφικά, τα δεδομένα καλύπτουν την περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής και χρονικά την περίοδο έξι (6) μηνών : Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2021. Σε όλες τις περιπτώσεις η ημερομηνία εκκίνησης των προγνώσεων είναι η 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP όπου επιλέχθηκαν οι κύκλοι 00, 06, 12 και 18 UTC αυτής της ημέρας. Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, πως σε όλα τα σχήματα και τους πίνακες που ακολουθούν, ο μήνας Μάιος για το κέντρο NCEP λείπει καθώς τα δεδομένα που κατέβηκαν ήταν αλλοιωμένα.

Στα σχήματα 3.1, 3.5, 3.9, 3.13, 3.17 και 3.21 παρουσιάζεται ο μέσος ημερήσιος αθροιστικός υετός για τους μήνες Μάιο μέχρι και Οκτώβριο του 2021. Οι τιμές του εμφανίζουν μια αναμενόμενη μείωση τους θερμότερους μήνες (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), ενώ κατά την «υγρή περίοδο» των μηνών Μαΐου και Οκτωβρίου αυξάνονται και πάλι. Η γεωχωρική κατανομή του συγκεκριμένου πεδίου είναι σχετικά η ίδια σε όλα τα προγνωστικά κέντρα (εντονότερες βροχοπτώσεις στις ορεινές περιοχές της Σκανδιναβίας και των Άλπεων). Βέβαια, το κέντρο METEO-FRANCE φαίνεται πως έχει μια τάση πρόβλεψης ισχυρότερων βροχοπτώσεων από τα υπόλοιπα κέντρα, ενώ το NCEP προβλέπει μεγαλύτερα ποσά υετού εκτεταμένης χωρικής κατανομής κατά τους θερινούς μήνες. Σε σύγκριση με τα δεδομένα reanalysis, που αντιστοιχούν στη βέλτιστη αναπαράσταση της πραγματικότητας, το κέντρο NCEP φαίνεται πως είχε τις πιο επιτυχείς προγνώσεις υετού, αν και μετά τον τρίτο μήνα προβλέψεων, όλα τα κέντρα εμφάνισαν σημαντικές αποκλίσεις. Στα σχήματα 3.2, 3.6, 3.10, 3.14, 3.18 και 3.22 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια θερμοκρασία για τους μήνες Μάιο μέχρι και Οκτώβριο του 2021. Όπως είναι αναμενόμενο, αυξημένες τιμές σημειώνονται τους μήνες Μάιο-Αύγουστο. Σε όλα τα κέντρα το πεδίο της θερμοκρασίας δεν παρουσιάζει έντονες διαφορές, με τις ψυχρότερες συνθήκες να εντοπίζονται στη Βόρεια Ευρώπη (Αγγλία-Σκανδιναβία), τις θερμότερες νοτιότερα της Μεσογείου και μια πιο εύκρατη κατάσταση από άποψη θερμοκρασιακού καθεστώτος στην κεντρική Ευρώπη. Σε σύγκριση με τα δεδομένα reanalysis, το κέντρο DWD φαίνεται πως είχε τις πιο επιτυχείς προγνώσεις θερμοκρασίας, και για τους έξι μήνες πρόγνωσης.

Στα σχήματα 3.3, 3.7, 3.11, 3.15, 3.19 και 3.23 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια σχετική υγρασία για τους μήνες Μάιο μέχρι και Οκτώβριο του 2021. Μειωμένες τιμές σημειώνονται τους μήνες Μάιο-Αύγουστο, με τις ξηρότερες συνθήκες να εντοπίζονται πάντοτε στα νοτιότερα της Μεσογείου. Το κέντρο DWD φαίνεται επίσης να προβλέπει συστηματικά χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα. Σε σύγκριση με τα δεδομένα reanalysis, φαίνεται πως υπάρχει μια υπερεκτίμηση της σχετικής υγρασίας στις ηπείρους από όλα τα κέντρα για τους τρεις πρώτους μήνες πρόγνωσης, με αυτό να συμβαίνει σε ελαφρώς μικρότερο βαθμό για το κέντρο CMCC.

Στα σχήματα 3.4, 3.8, 3.12, 3.16, 3.20 και 3.24 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου για τους μήνες Μάιο μέχρι και Οκτώβριο του 2021, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις



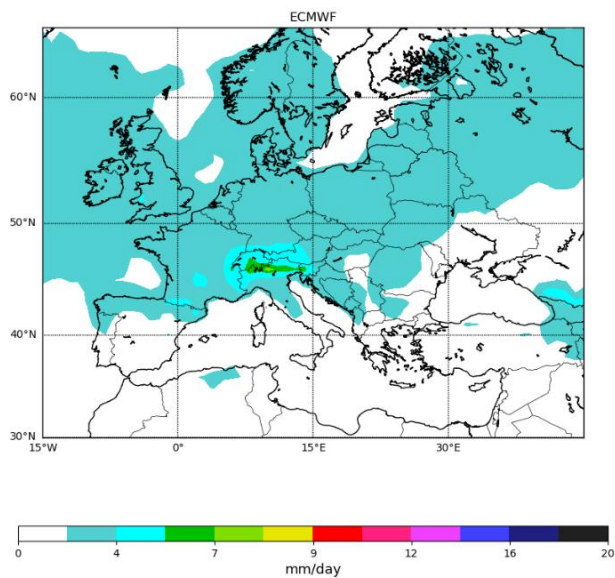
κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Όλα τα κέντρα προβλέπουν παρεμφερή γεωχωρική κατανομή του πεδίου, με τους ισχυρότερους ανέμους δυτικής κατεύθυνσης να εντοπίζονται στις ωκεάνιες και θαλάσσιες λεκάνες της ευρωπαϊκής ηπείρου. Σε σύγκριση με τα δεδομένα reanalysis, το κέντρο ECMWF φαίνεται πως είχε τις πιο επιτυχείς προγνώσεις για την ταχύτητα ανέμου. Η απεικονιζόμενη διεύθυνση του ανέμου σε όλες τις περιπτώσεις υπολογίστηκε με βάση την αντίστοιχη μέση μηνιαία ζωνική u και μεσημβρινή v συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου.



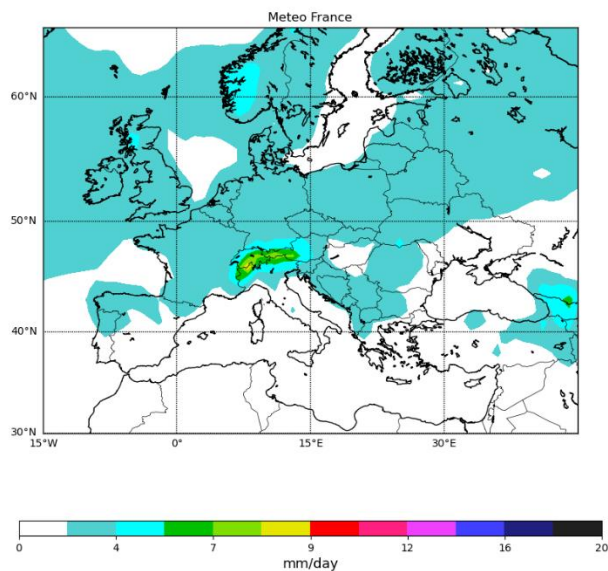
3.1.1 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΜΑΪΟΣ 2021

Υετός (mm/day)

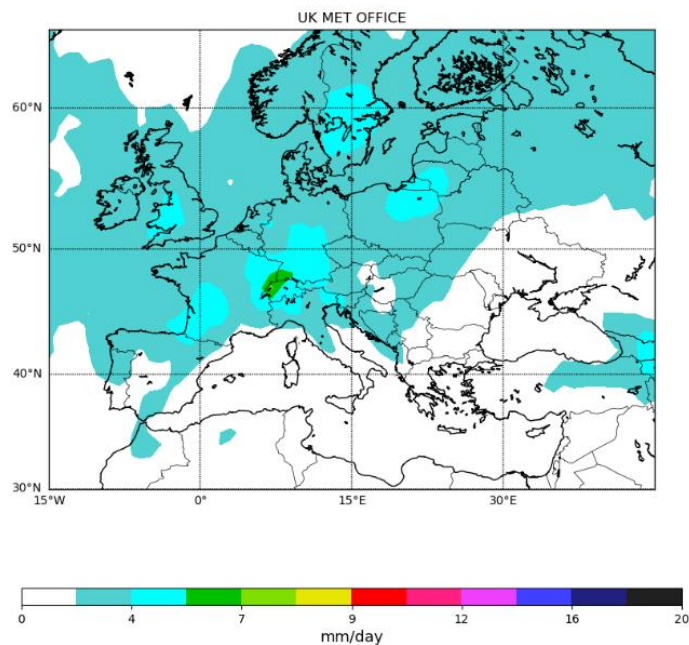
Seasonal forecasts for 05/2021, Total Precipitation



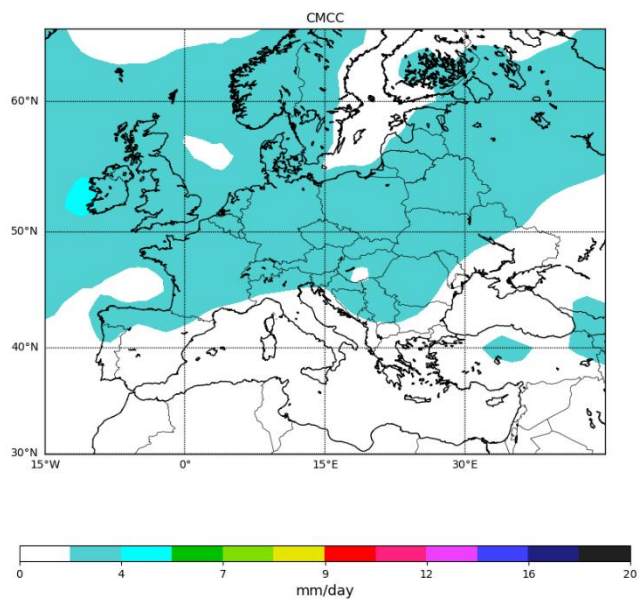
Seasonal forecasts for 05/2021, Total Precipitation



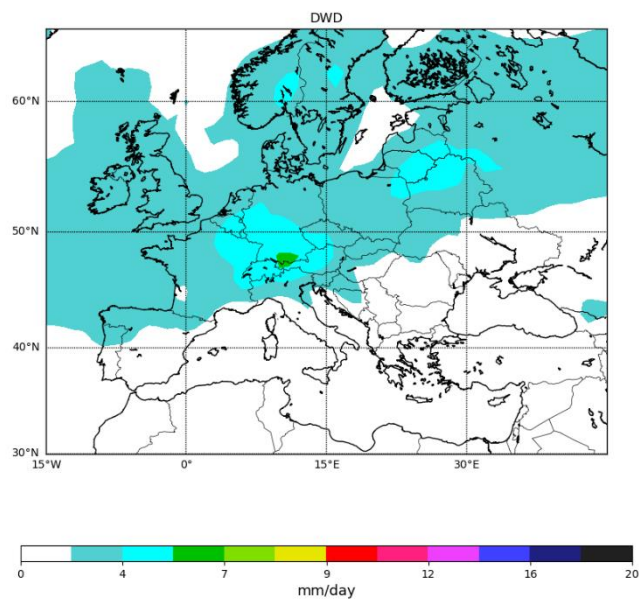
Seasonal forecasts for 05/2021, Total Precipitation



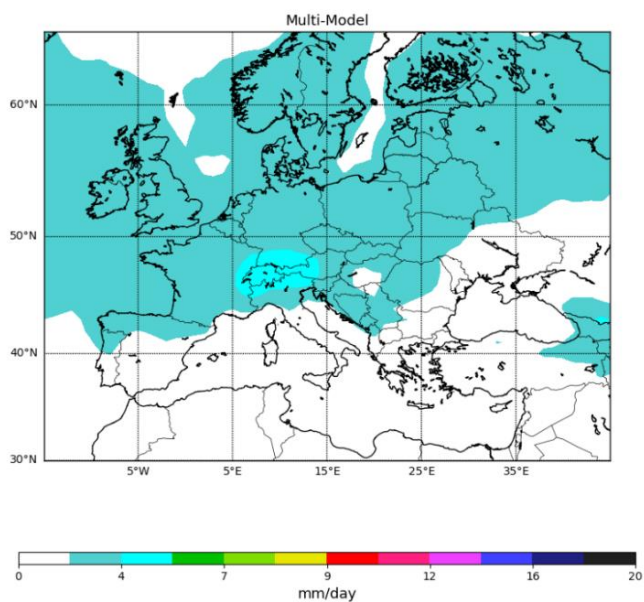
Seasonal forecasts for 05/2021, Total Precipitation



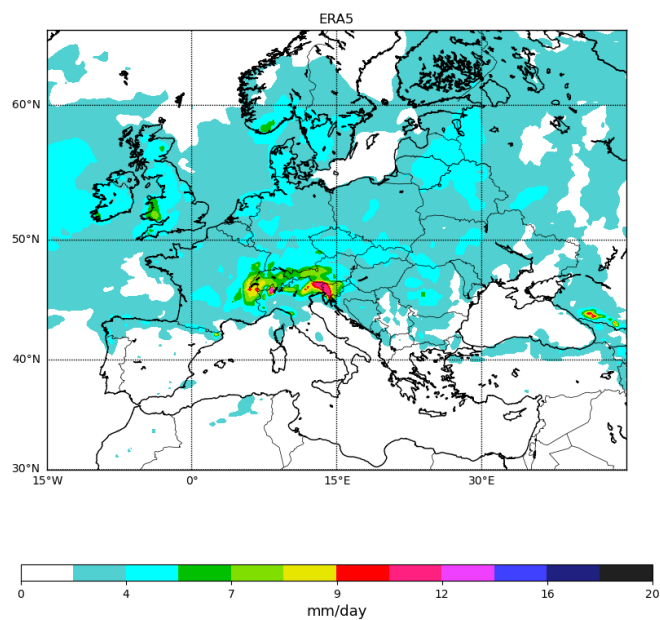
Seasonal forecasts for 05/2021, Total Precipitation



Seasonal forecasts for 05/2021, Total Precipitation



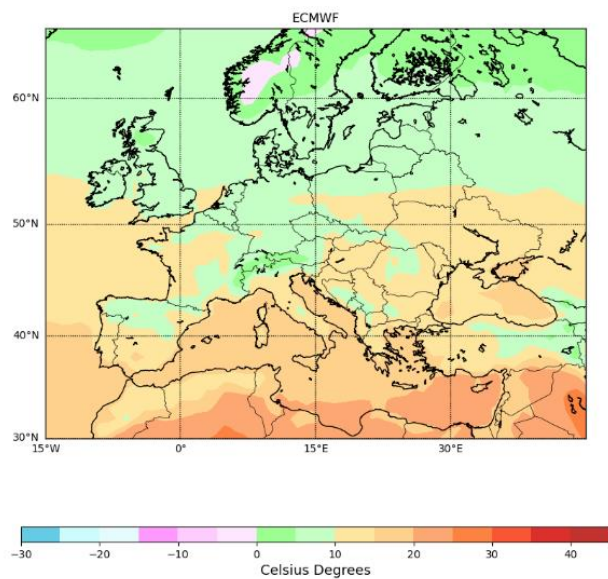
Reanalysis data for 05/2021, Total Precipitation



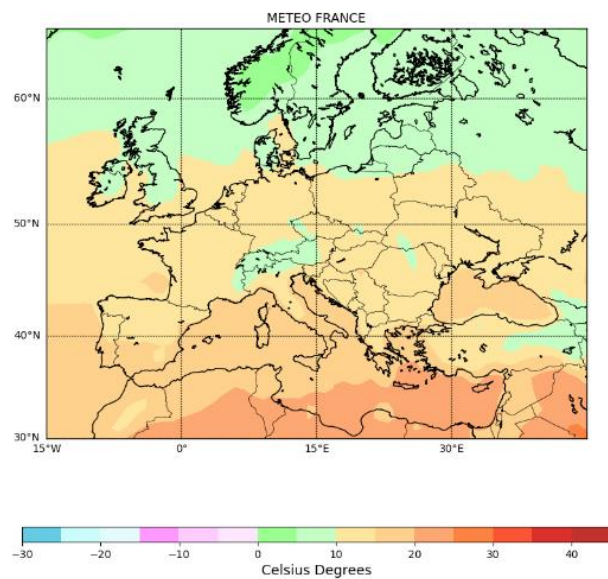
Σχήμα 3. 1 : Προγνωστικοί χάρτες του νετού για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Μάιος του 2021)



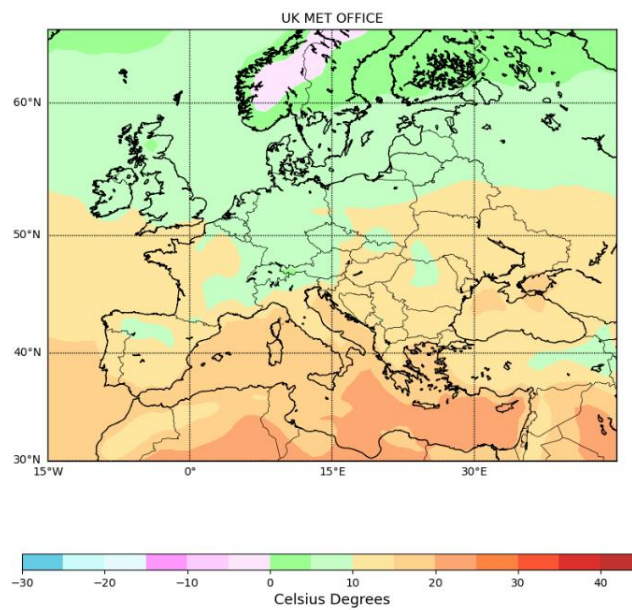
Seasonal forecasts for 05/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 05/2021, 2m temperature

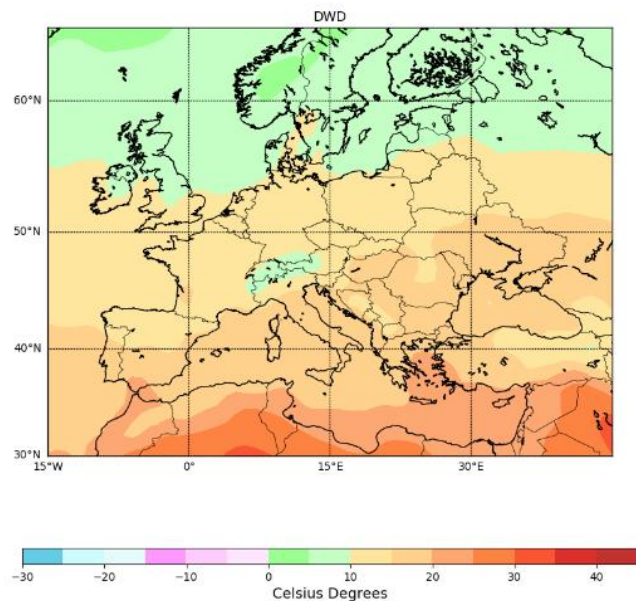
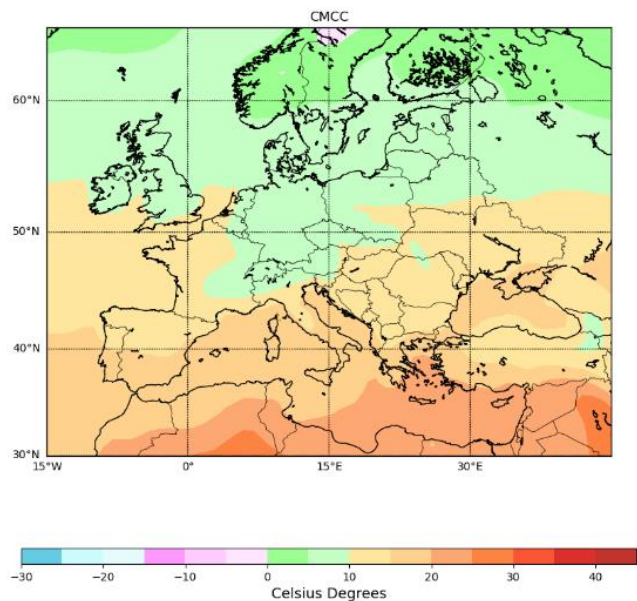


Seasonal forecasts for 05/2021, 2m temperature



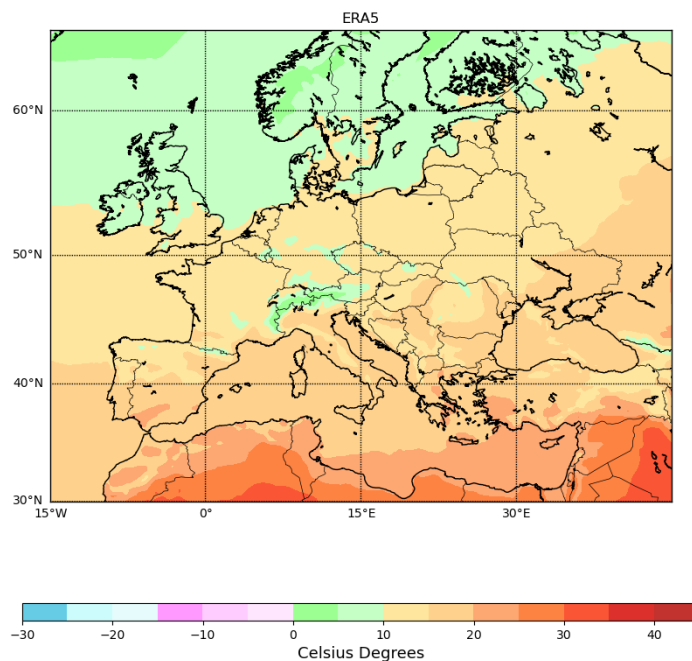
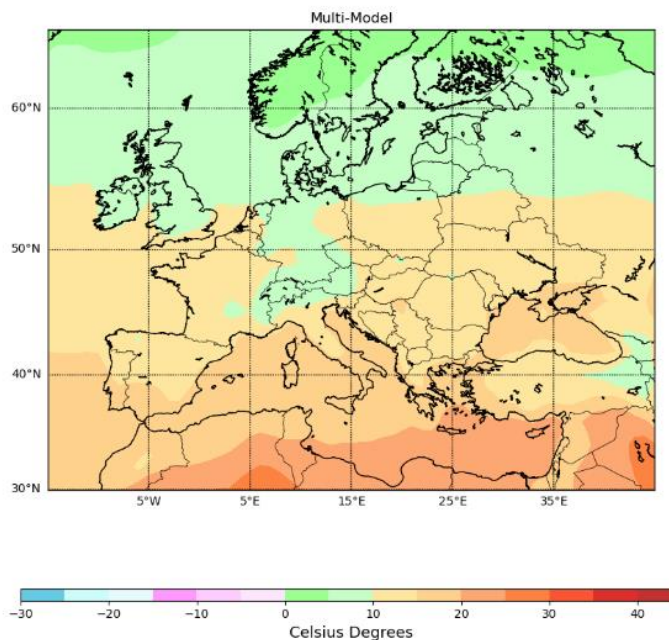
Seasonal forecasts for 05/2021, 2m temperature

Seasonal forecasts for 05/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 05/2021, 2m temperature

Reanalysis data for 05/2021, 2m temperature

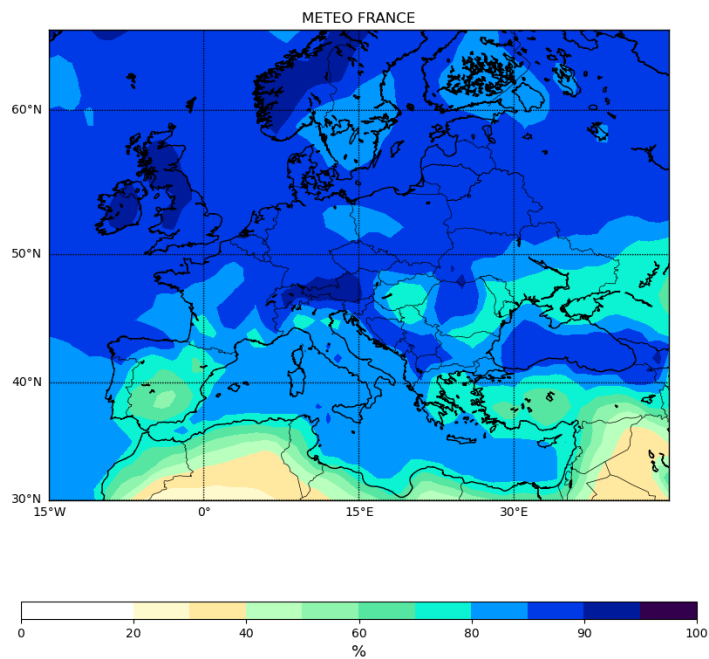
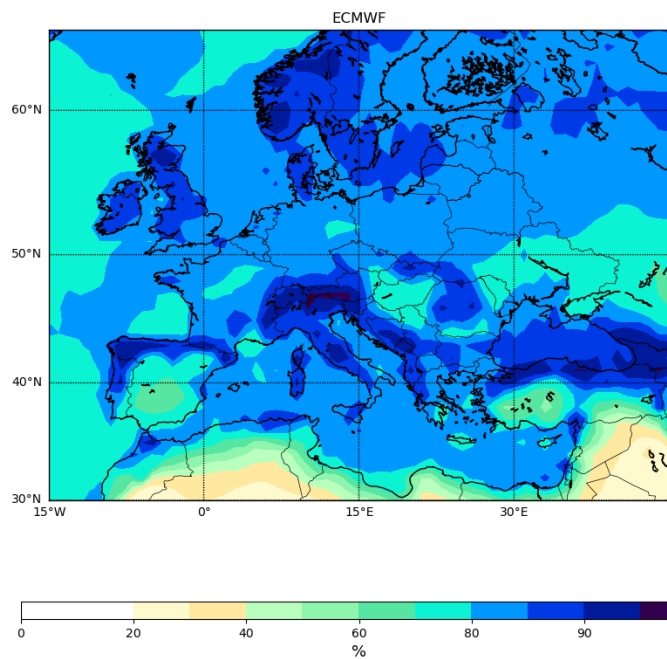


Σχήμα 3. 2 : Προγνωστικοί χάρτες της θερμοκρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Μάιος του 2021)

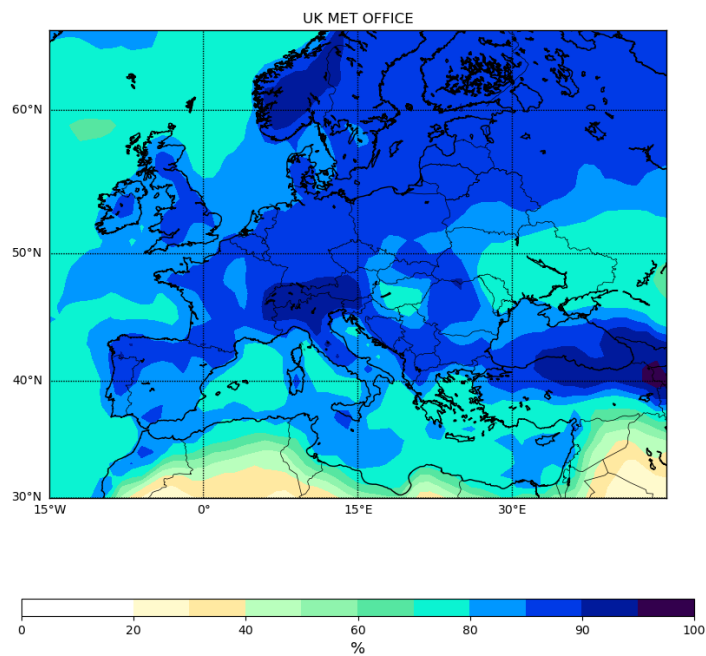


Seasonal forecasts for 05/2021, Relative Humidity

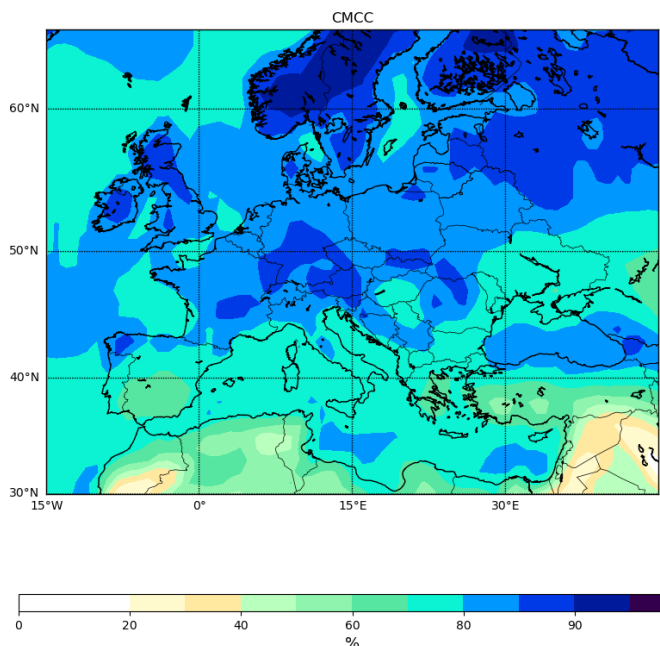
Seasonal forecasts for 05/2021, Relative Humidity



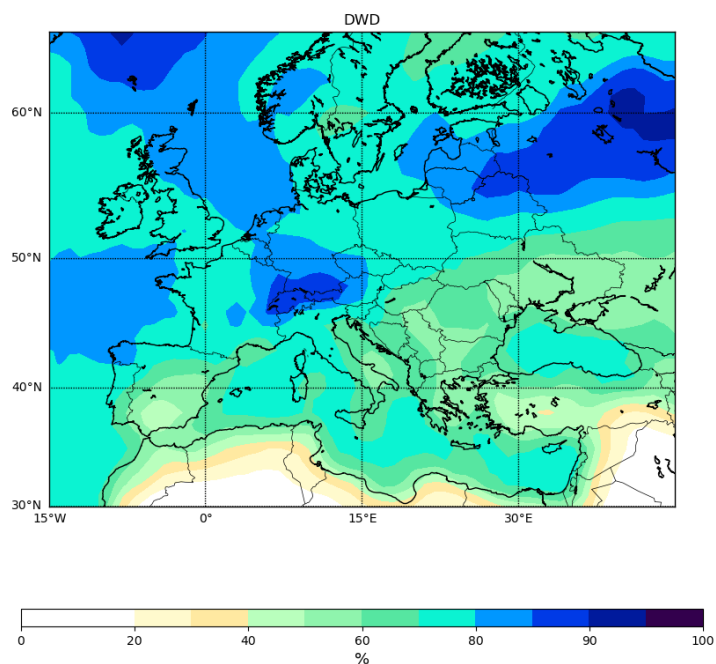
Seasonal forecasts for 05/2021, Relative Humidity



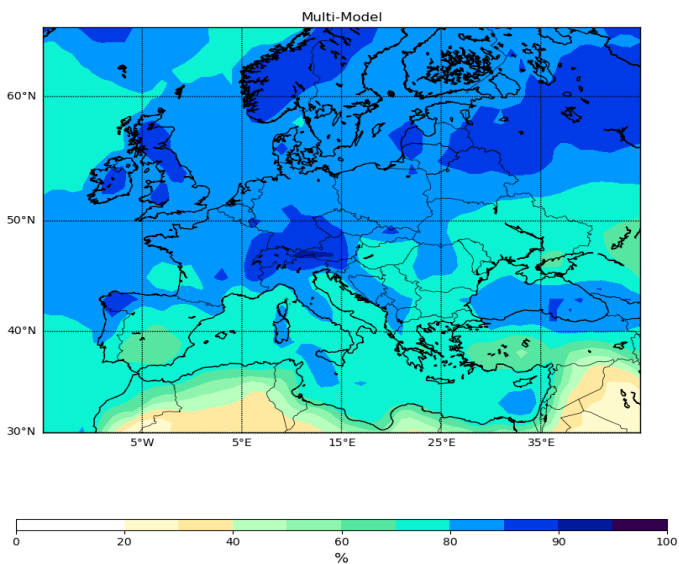
Seasonal forecasts for 05/2021, Relative Humidity



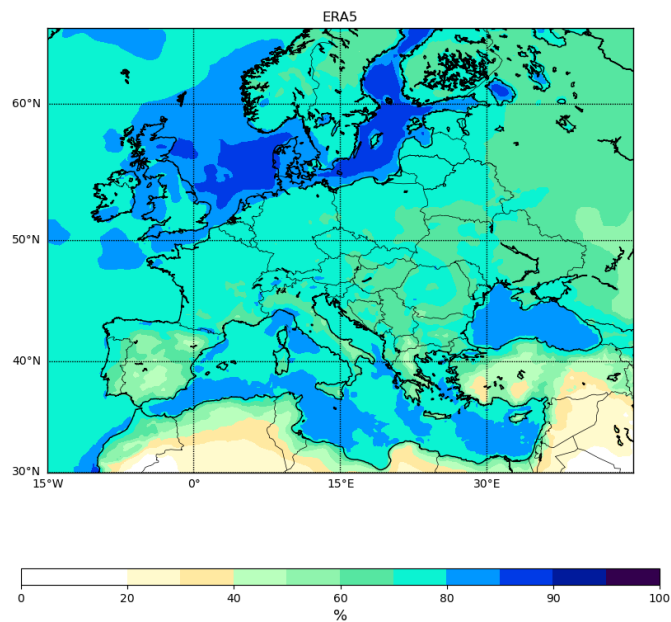
Seasonal forecasts for 05/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 05/2021, Relative Humidity



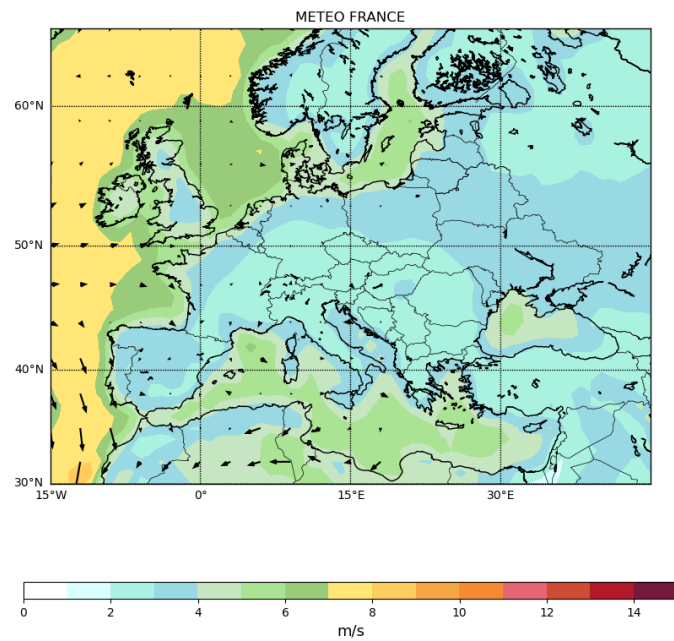
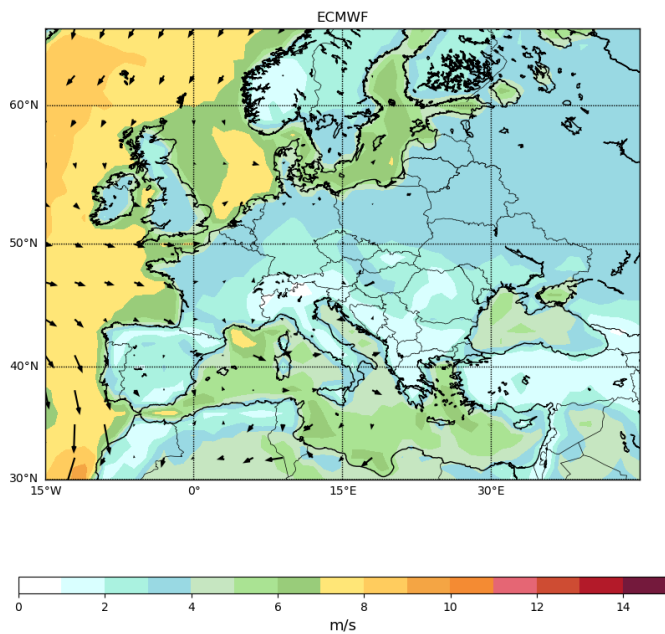
Reanalysis data for 05/2021, Relative Humidity



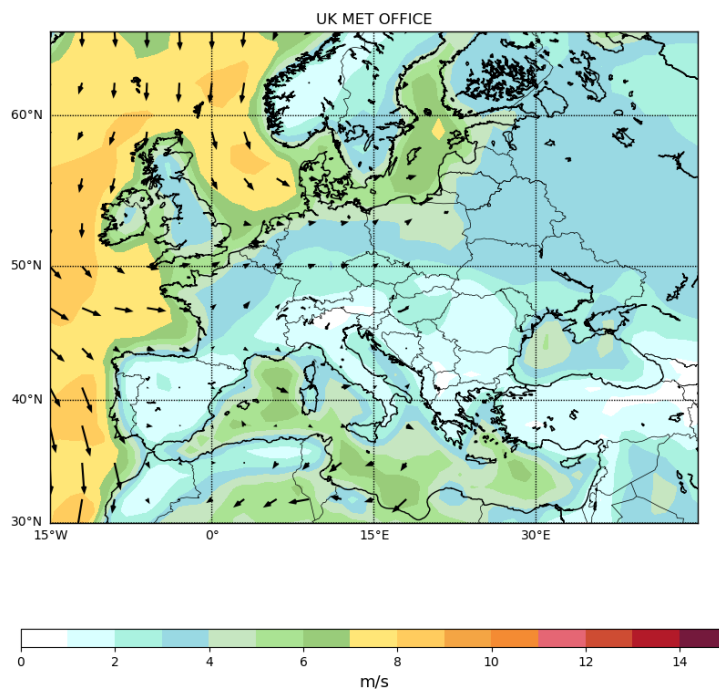
Σχήμα 3.3 : Προγνωστικοί χάρτες της σχετικής υγρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Μάιος του 2021)

Ταχύτητα ανέμων στα 10m (m/s)

Seasonal forecasts for 05/2021, 10m wind speed and direction

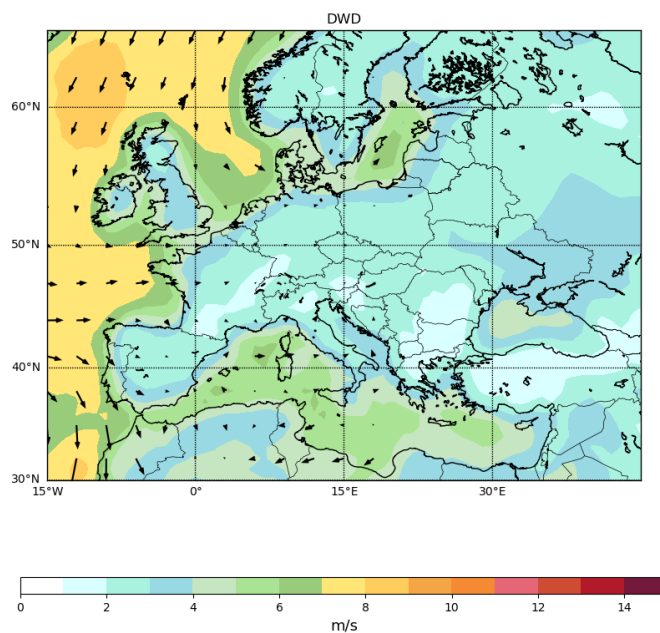
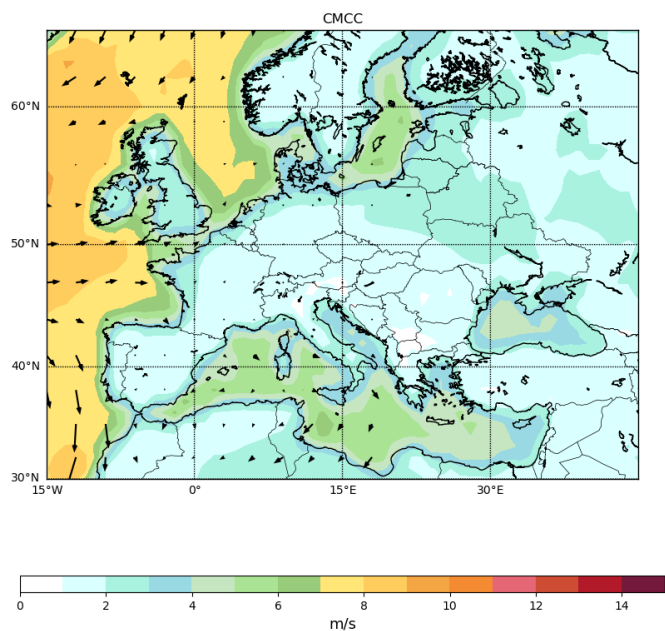


Seasonal forecasts for 05/2021, 10m wind speed and direction



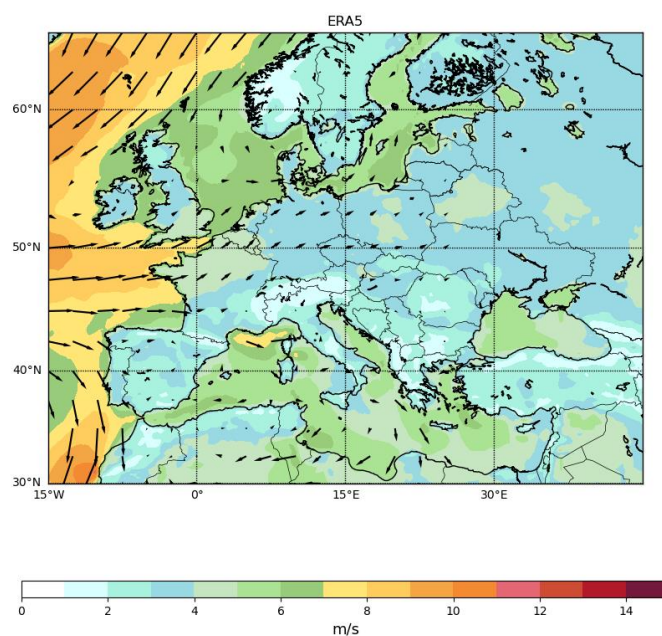
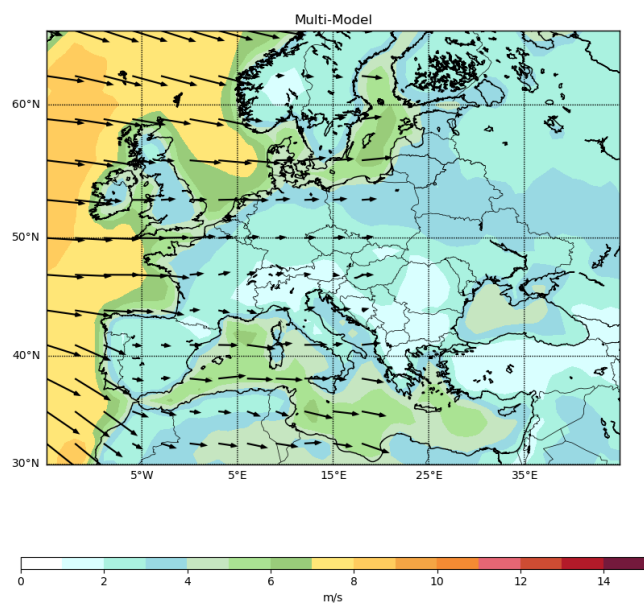
Seasonal forecasts for 05/2021, 10m wind speed and direction

Seasonal forecasts for 05/2021, 10m wind speed and direction



Seasonal forecasts for 05/2021, 10m wind speed and direction

Reanalysis data for 05/2021, 10m wind speed and direction



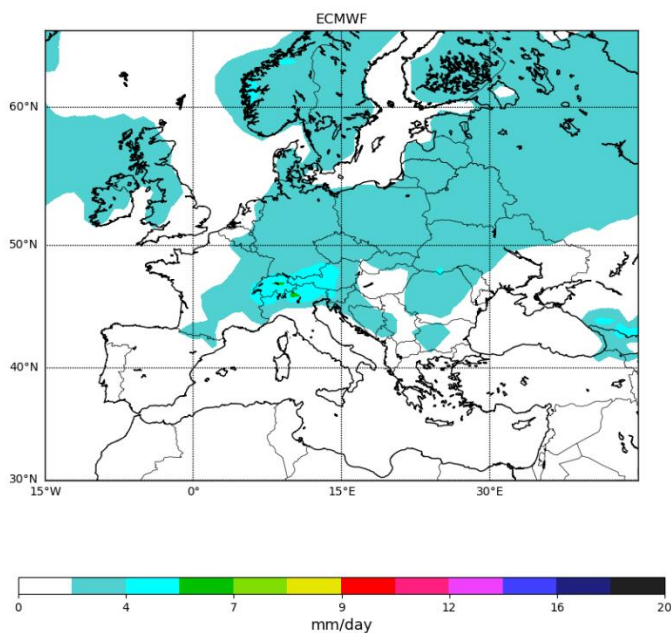
Σχήμα 3. 4 : Προγνωστικοί χάρτες της ταχύτητας ανέμου για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Μάιος του 2021)



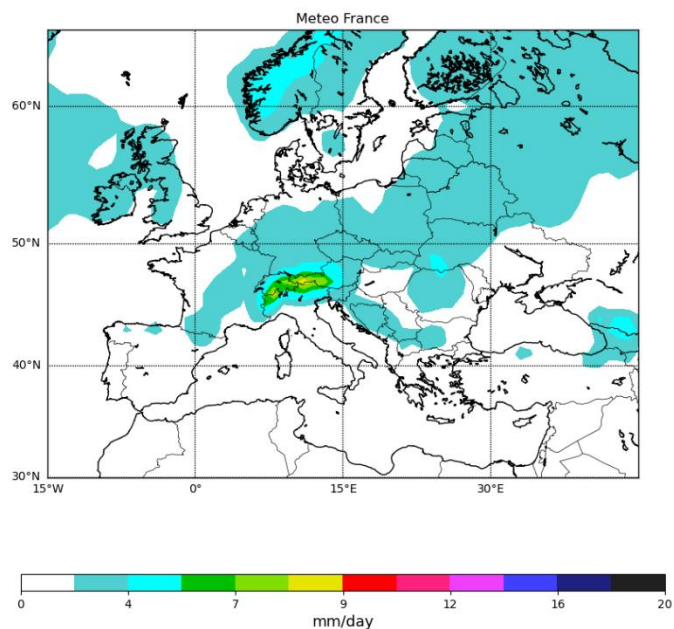
3.1.2 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

Υετός (mm/day)

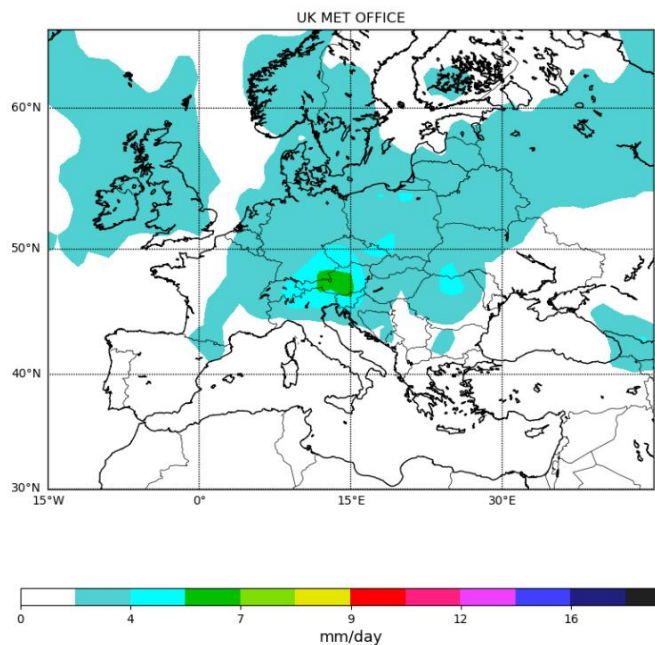
Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



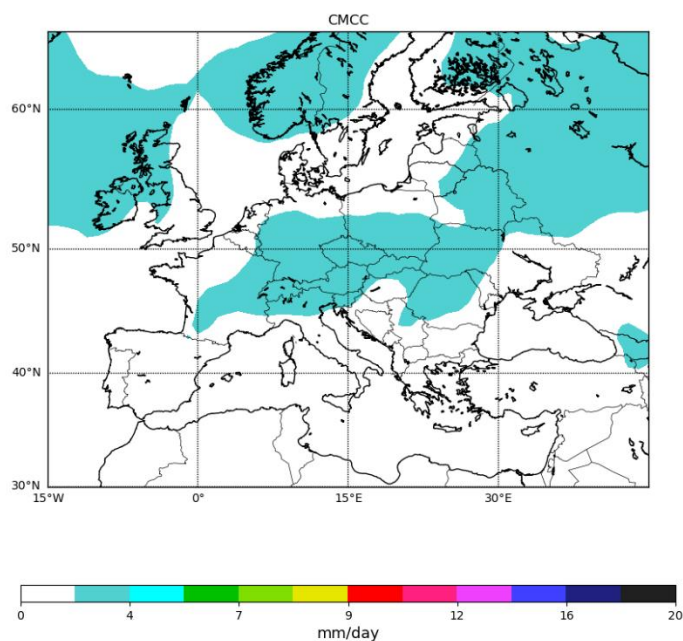
Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



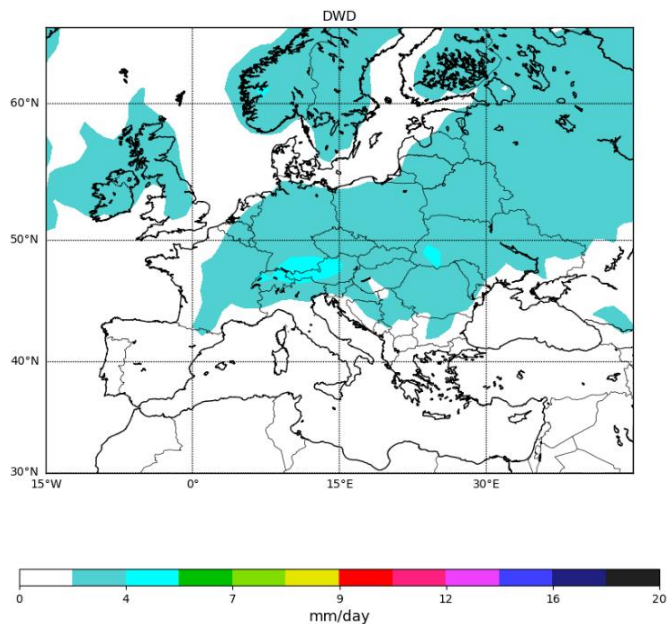
Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



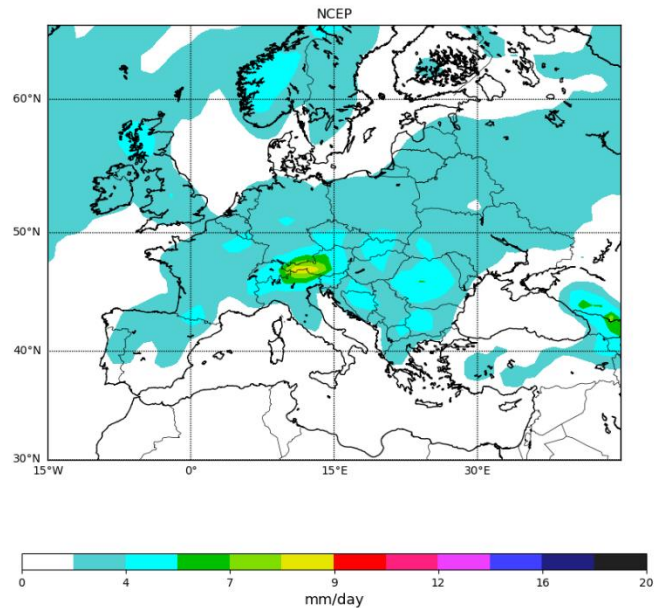
Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



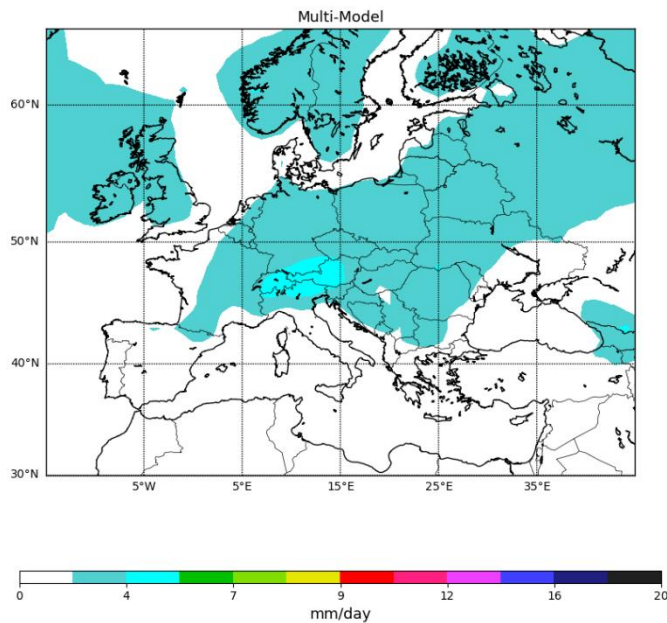
Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



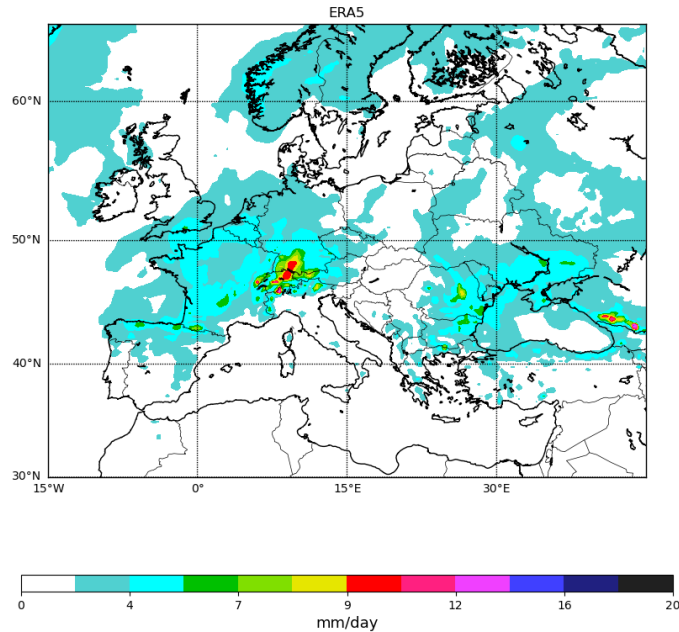
Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



Seasonal forecasts for 06/2021, Total Precipitation



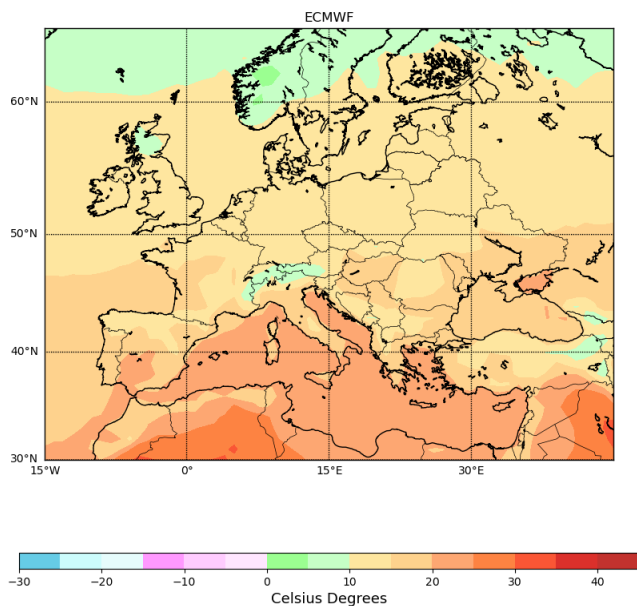
Reanalysis data for 06/2021, Total Precipitation



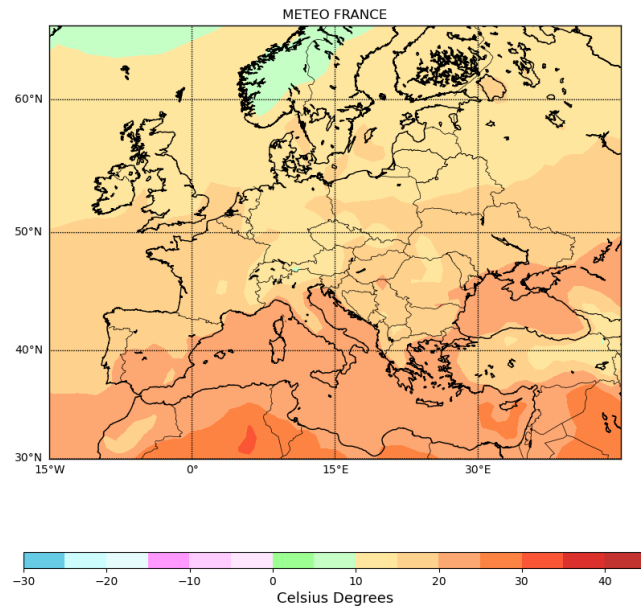
Σχήμα 3.5 : Προγνωστικοί χάρτες του νετού για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούνιος του 2021)



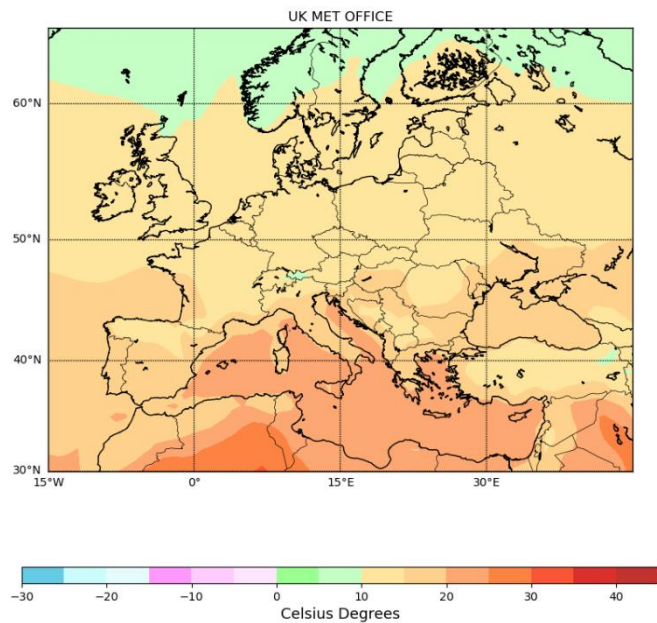
Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



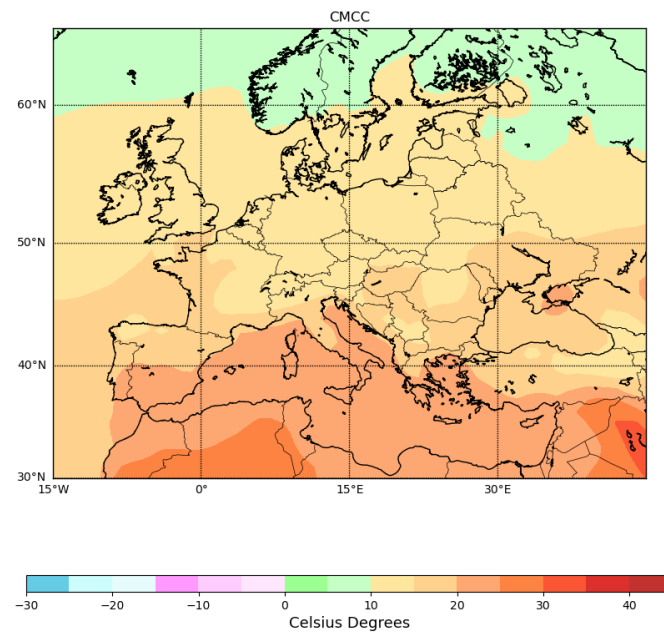
Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



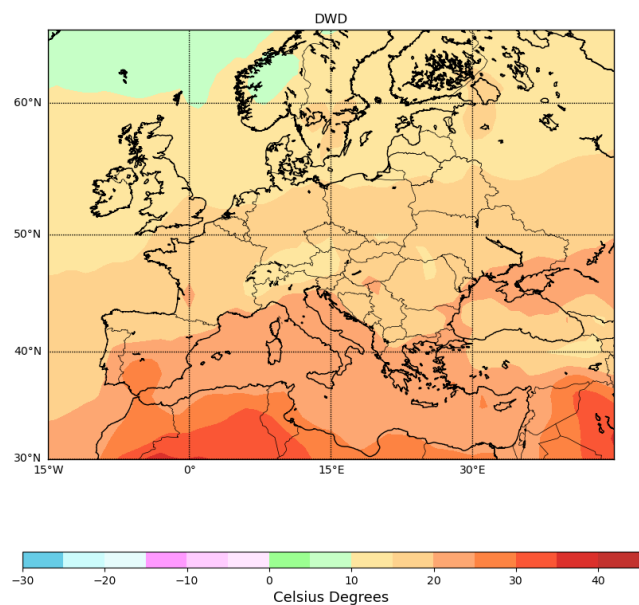
Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



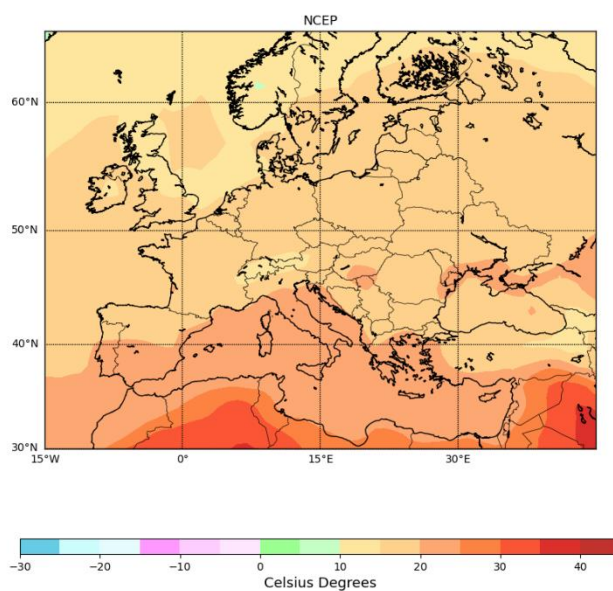
Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



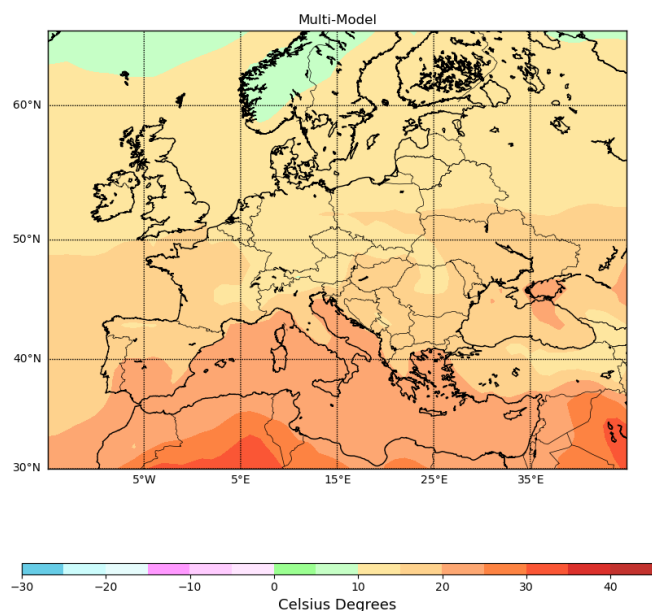
Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



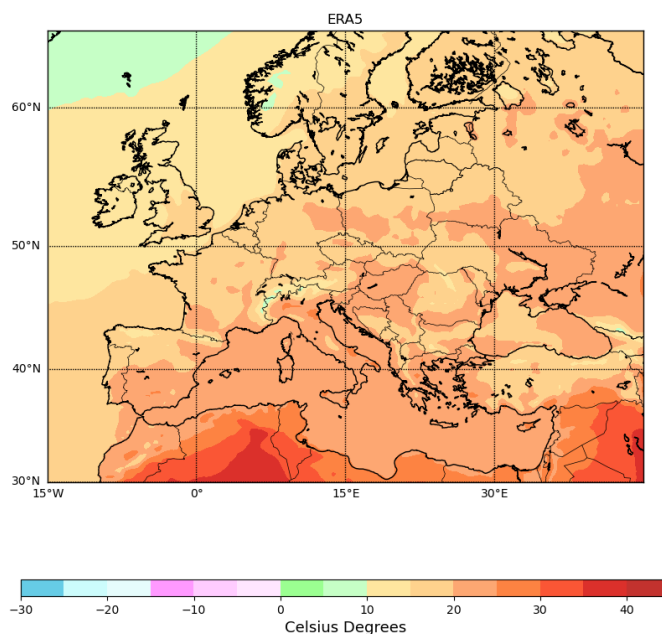
Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 06/2021, 2m temperature



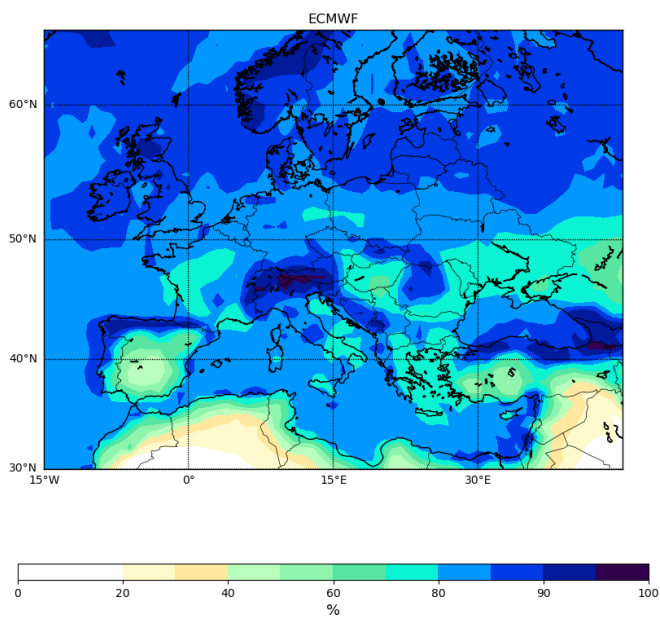
Reanalysis data for 06/2021, 2m temperature



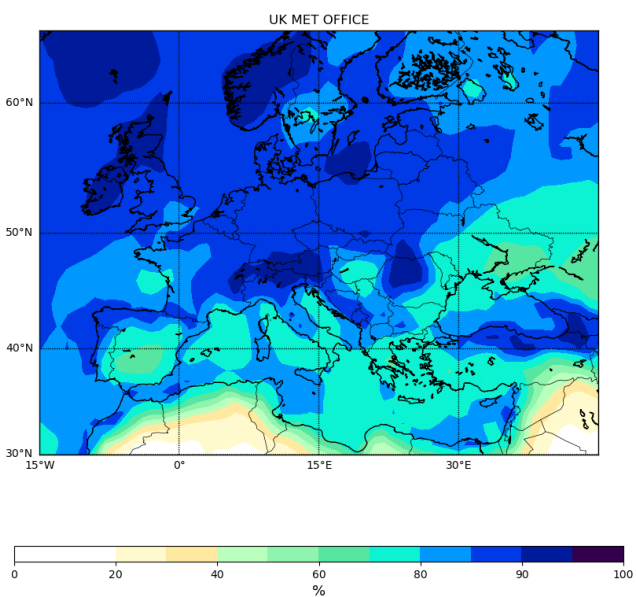
Σχήμα 3. 6 : Προγνωστικοί χάρτες της θερμοκρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούνιος του 2021)



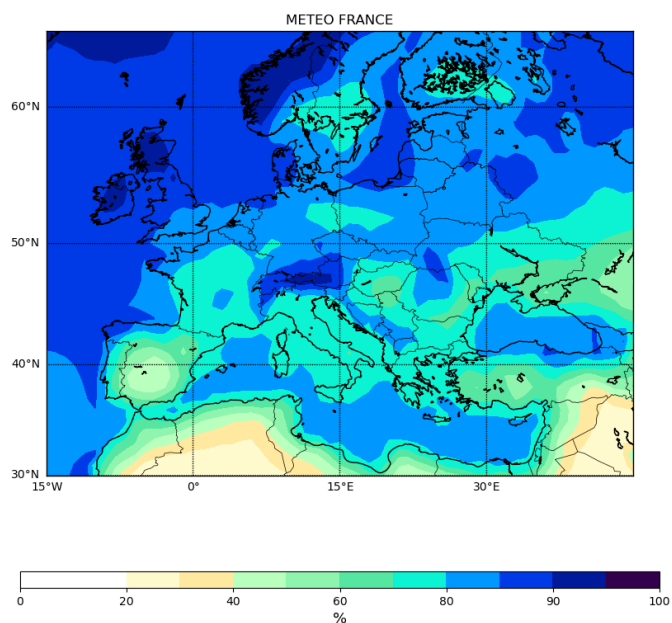
Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity



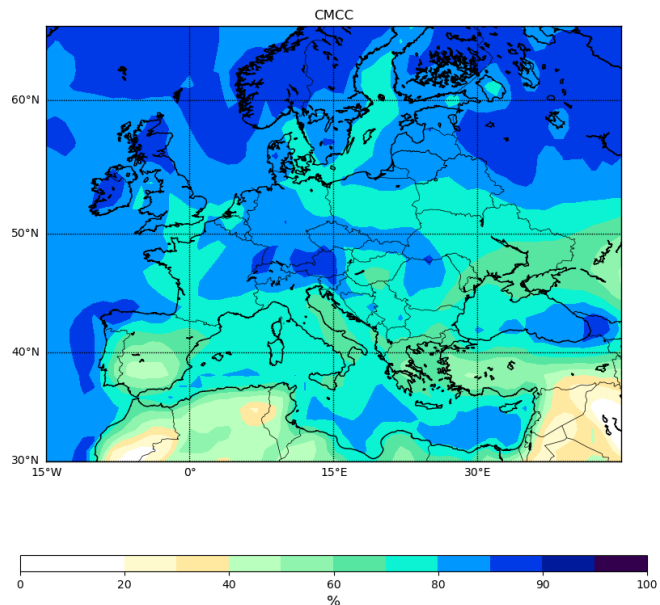
Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity

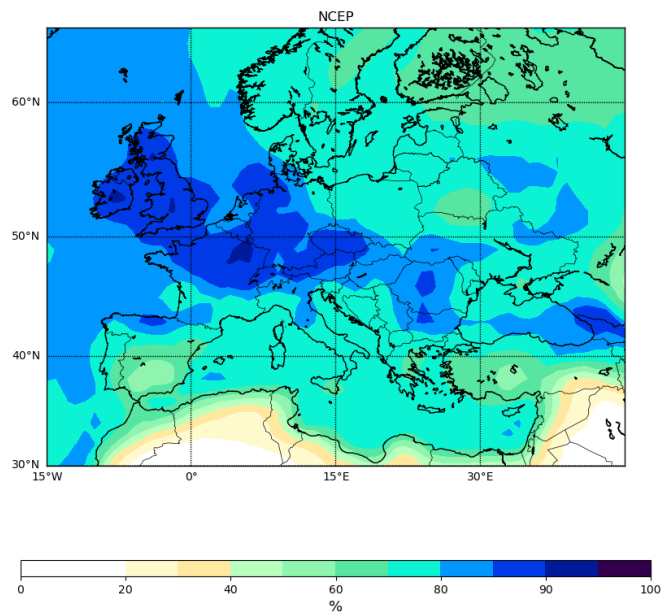
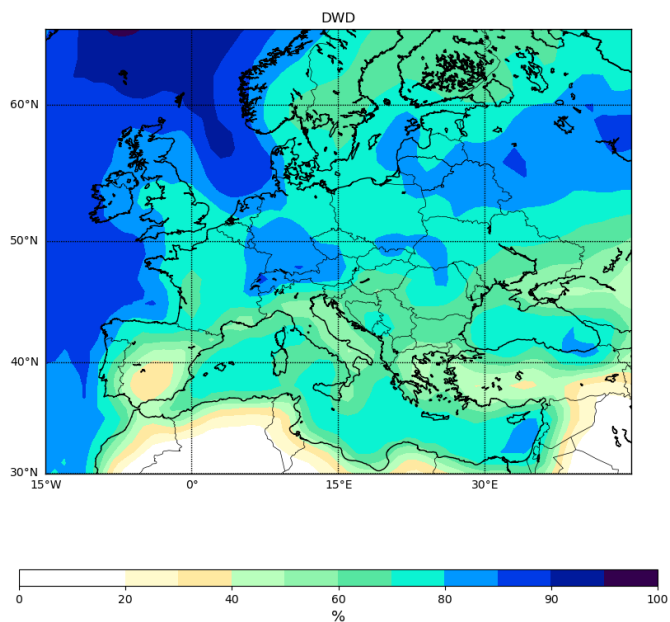


Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity



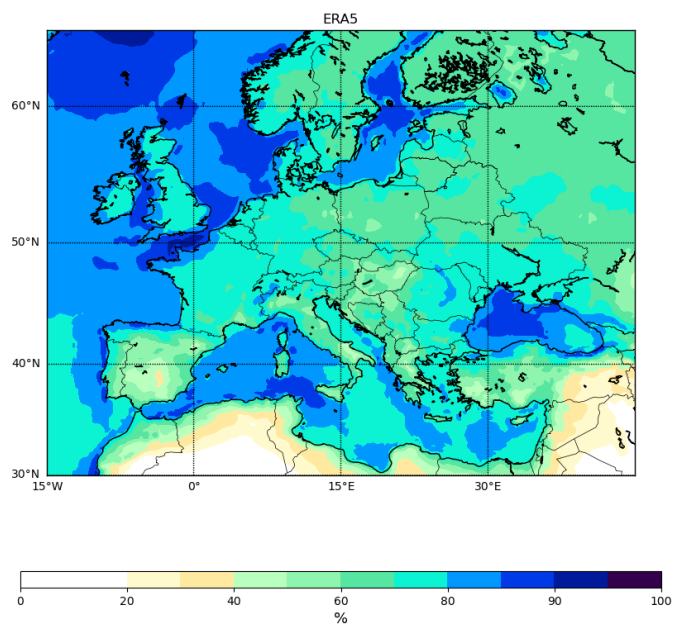
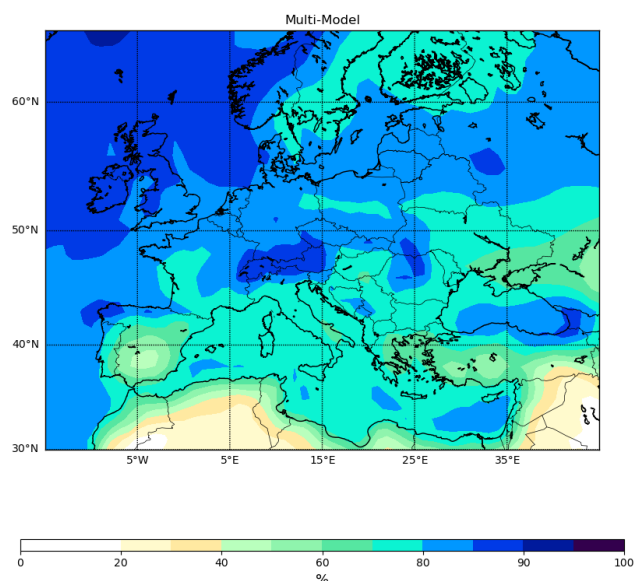
Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity

Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 06/2021, Relative Humidity

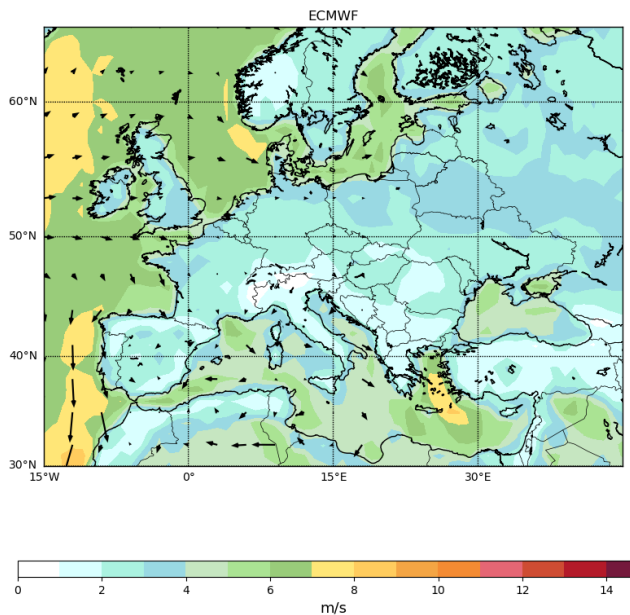
Reanalysis data for 06/2021, Relative Humidity



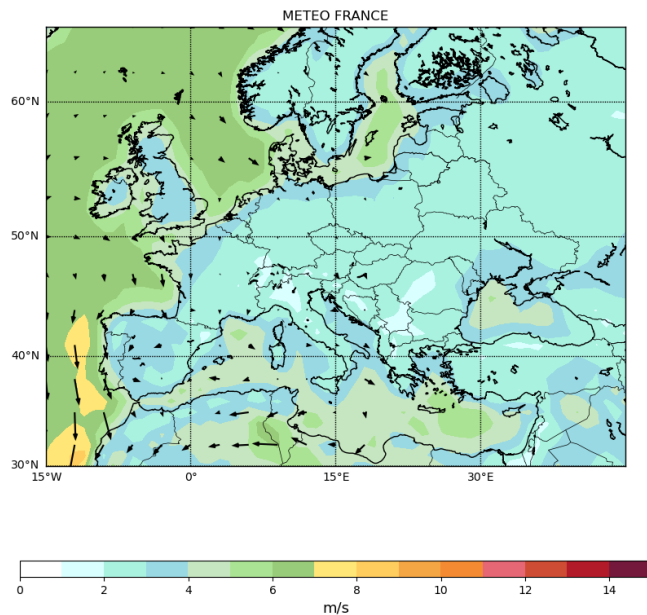
Σχήμα 3. 7 : Προγνωστικοί χάρτες της σχετικής υγρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούνιος του 2021)

Ταχύτητα ανέμων στα 10m (m/s)

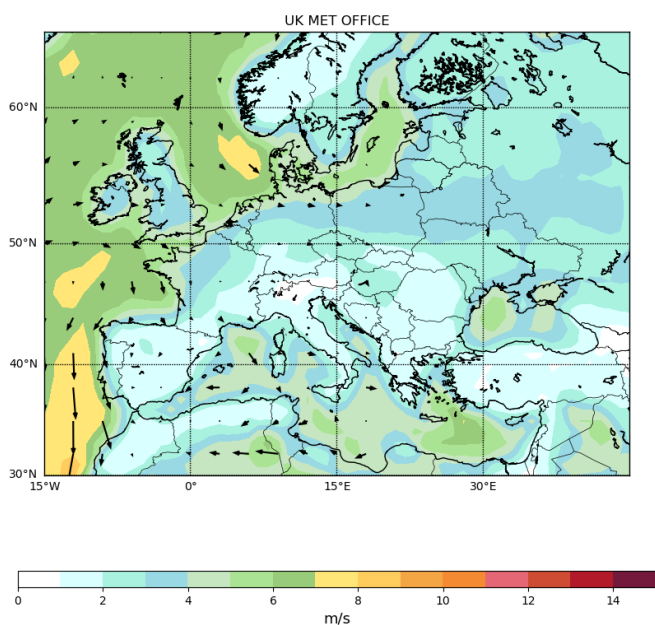
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



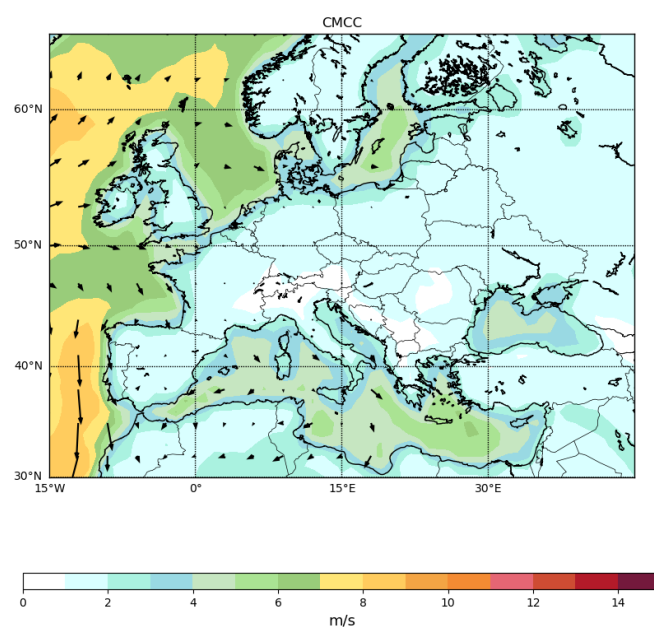
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



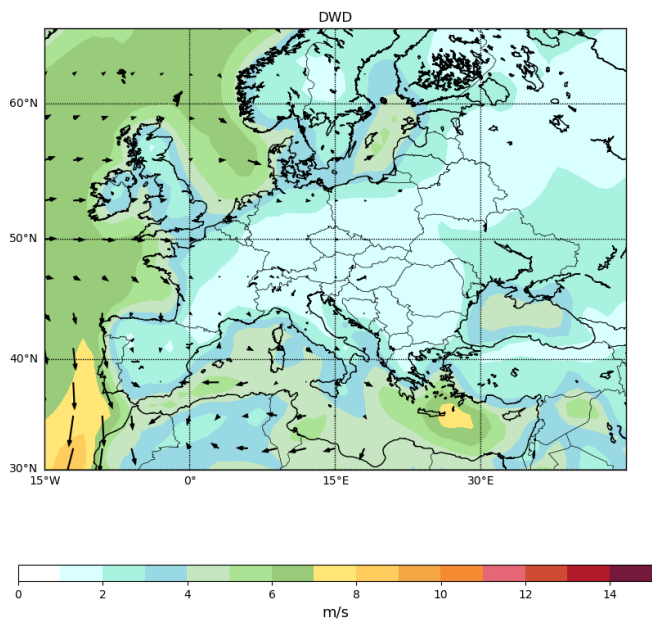
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



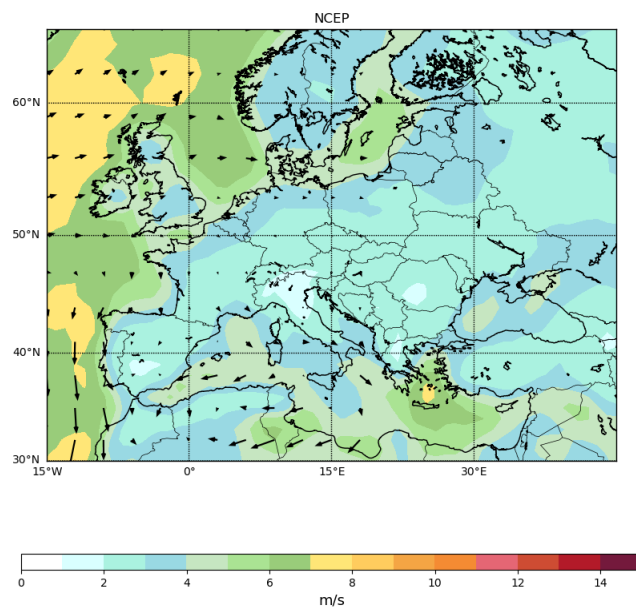
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



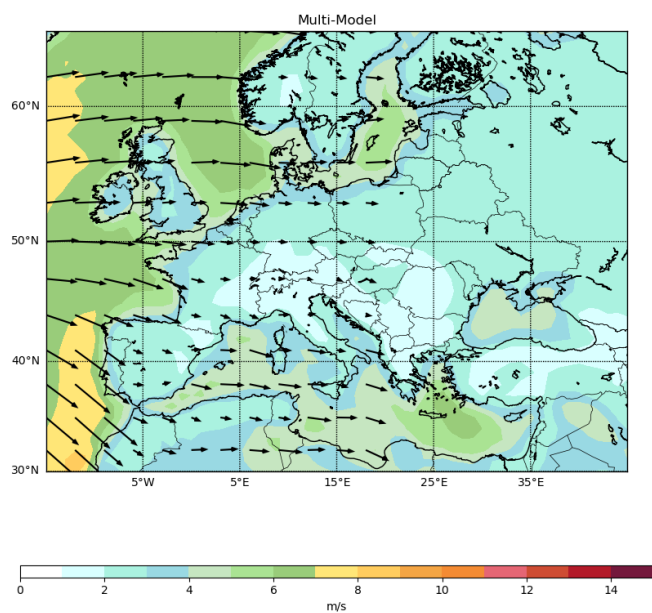
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



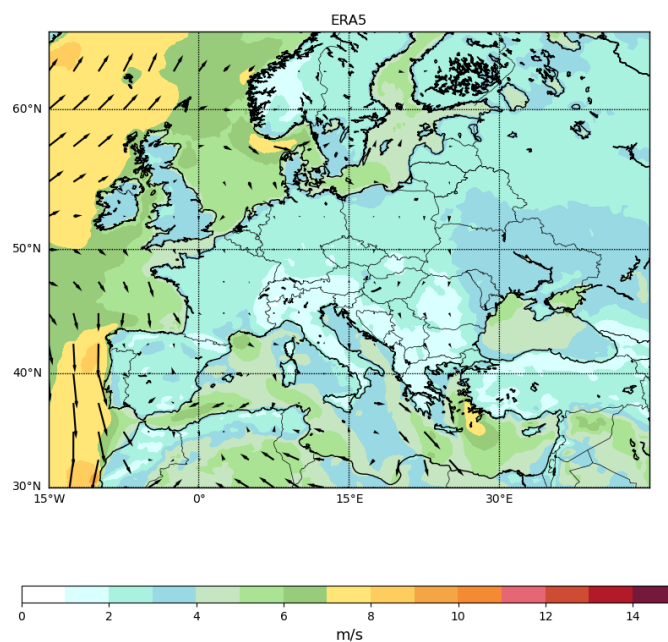
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



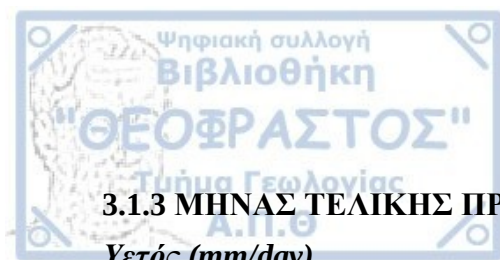
Seasonal forecasts for 06/2021, 10m wind speed and direction



Reanalysis data for 06/2021, 10m wind speed and direction



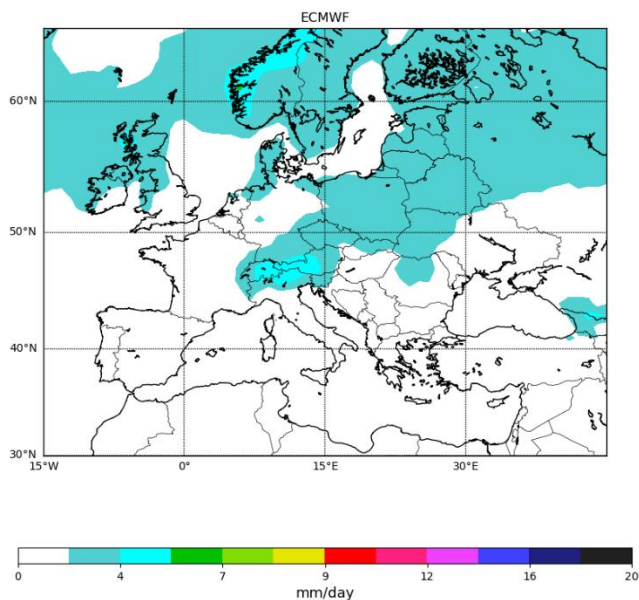
Σχήμα 3. 8 : Προγνωστικοί χάρτες της ταχύτητας ανέμου για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούνιος του 2021)



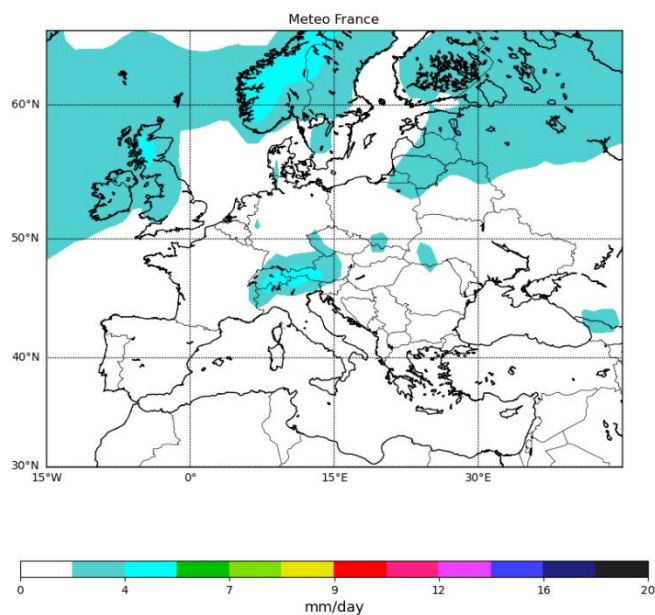
3.1.3 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

Υετός (mm/day)

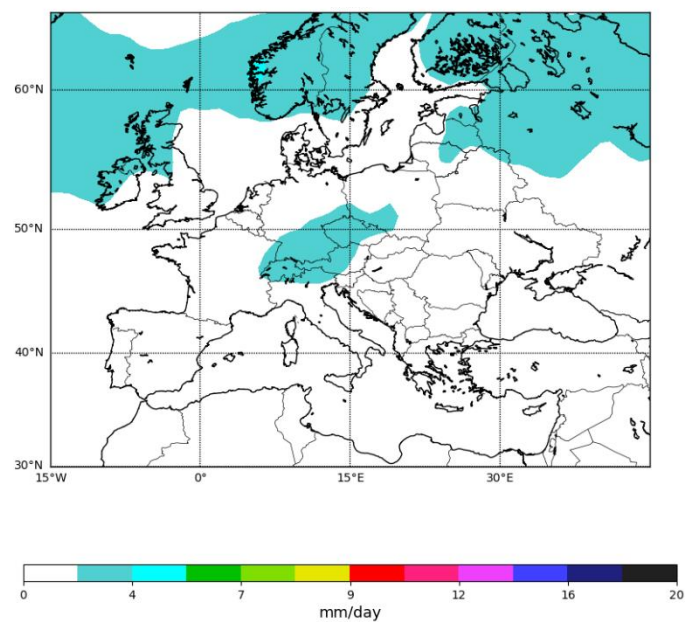
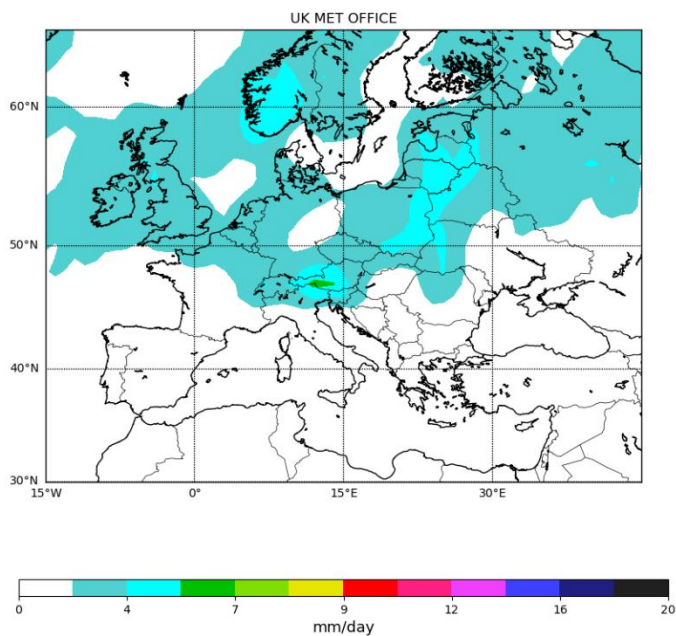
Seasonal forecasts for 07/2021, Total Precipitation



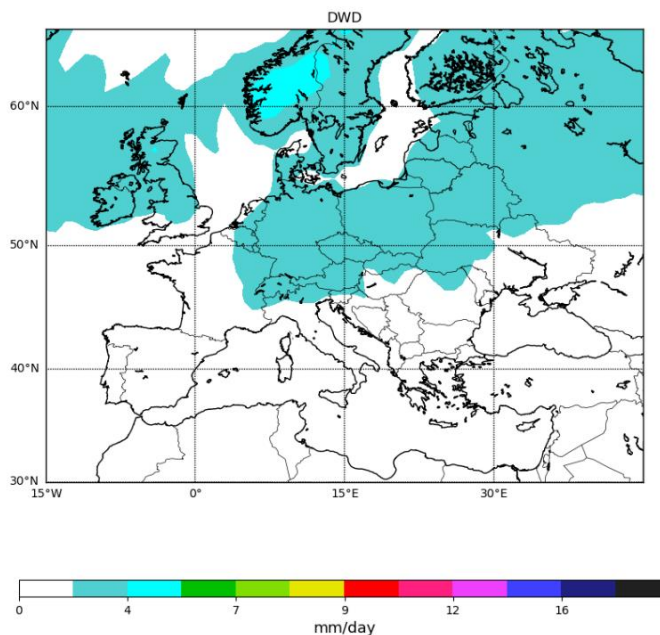
Seasonal forecasts for 07/2021, Total Precipitation



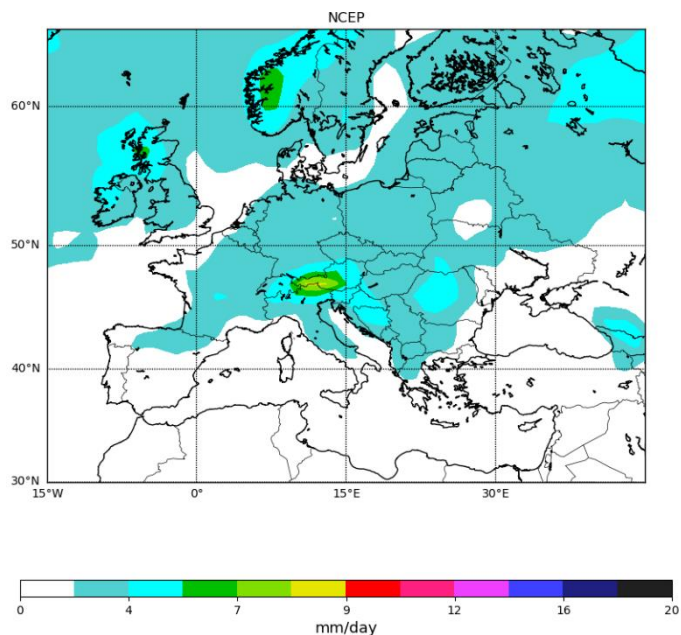
Seasonal forecasts for 07/2021, Total Precipitation



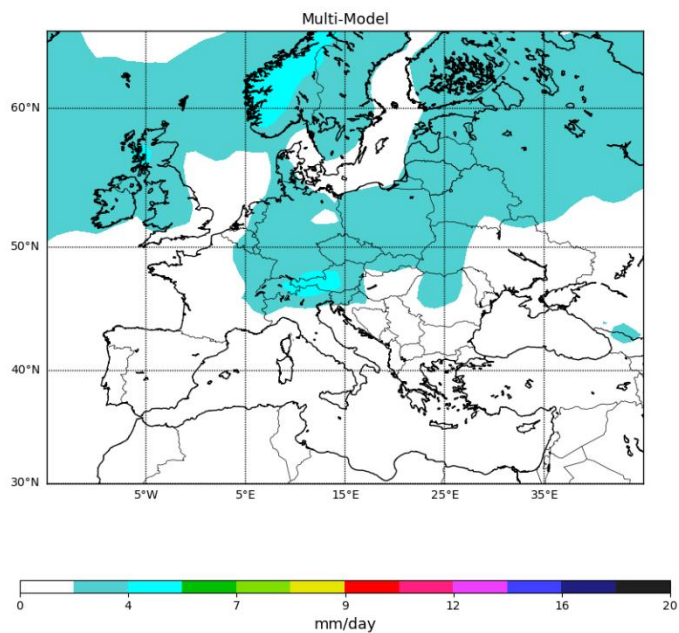
Seasonal forecasts for 07/2021, Total Precipitation



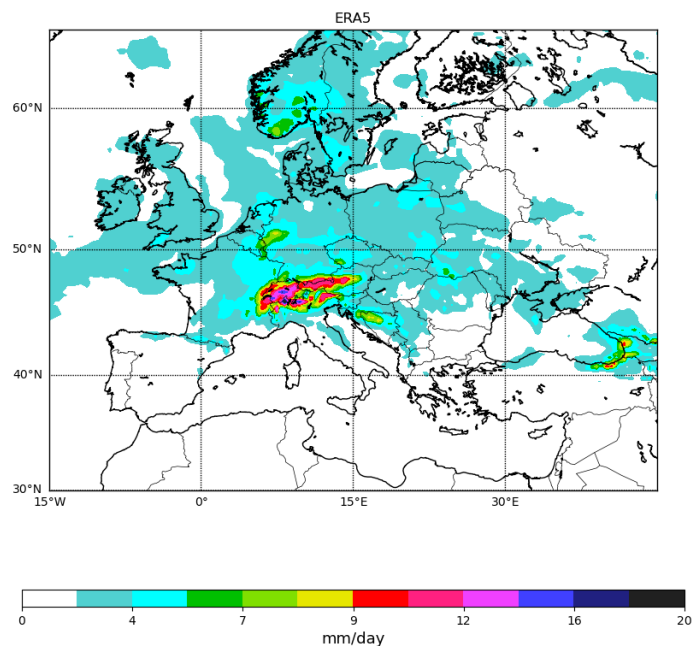
Seasonal forecasts for 07/2021, Total Precipitation



Seasonal forecasts for 07/2021, Total Precipitation



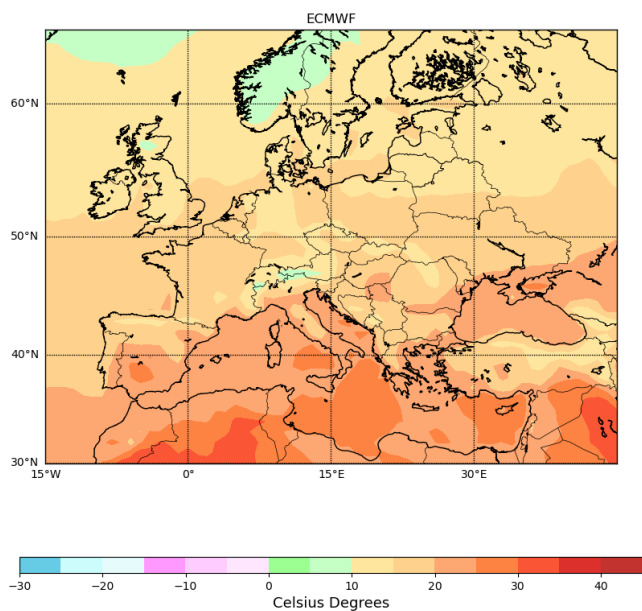
Reanalysis data for 07/2021, Total Precipitation



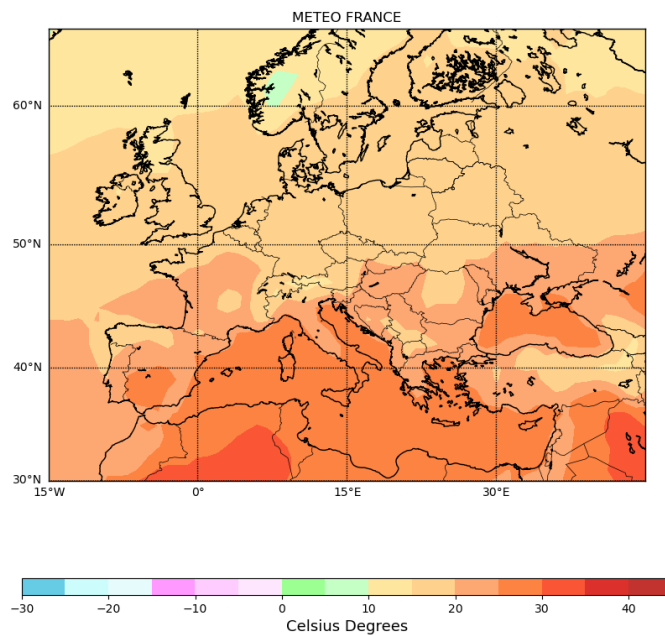
Σχήμα 3. 9: Προγνωστικοί χάρτες του νετού για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούλιος του 2021)



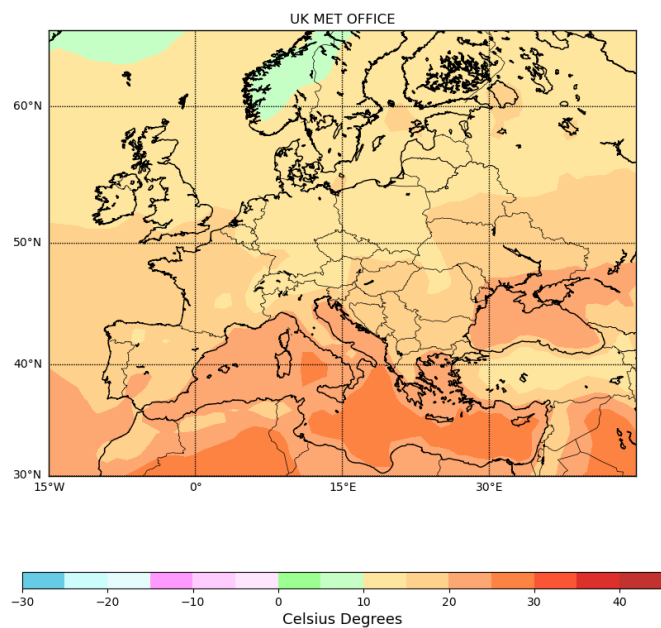
Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature



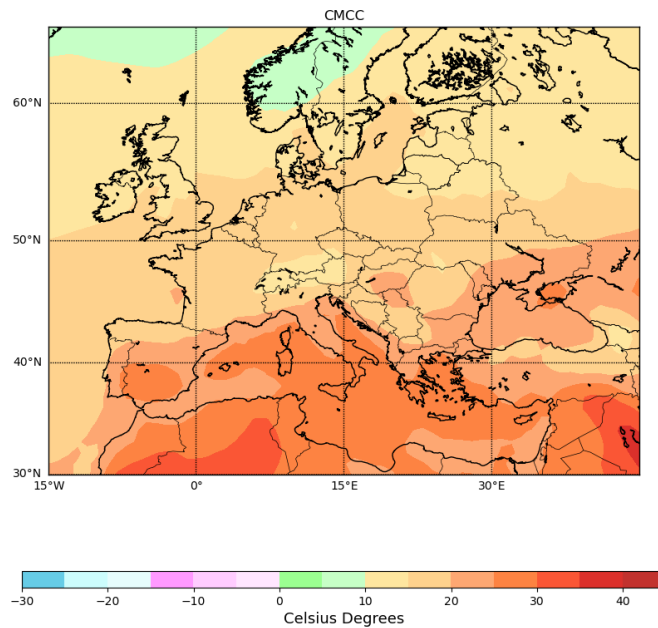
Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature

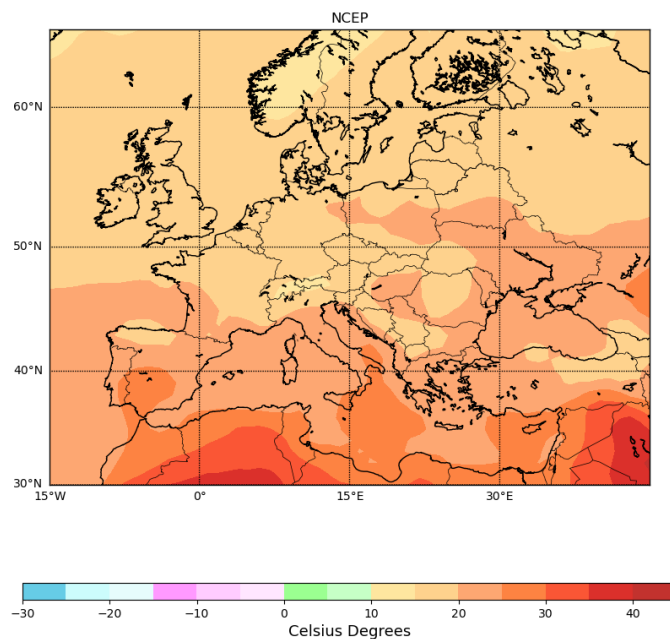
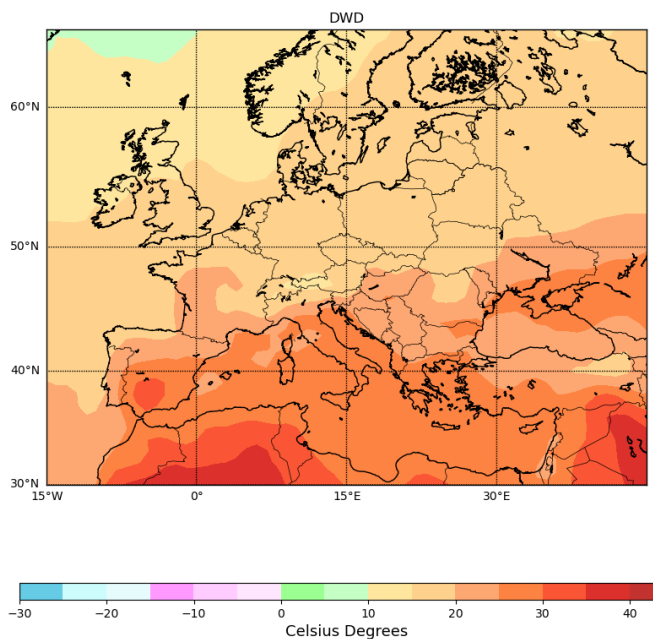


Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature



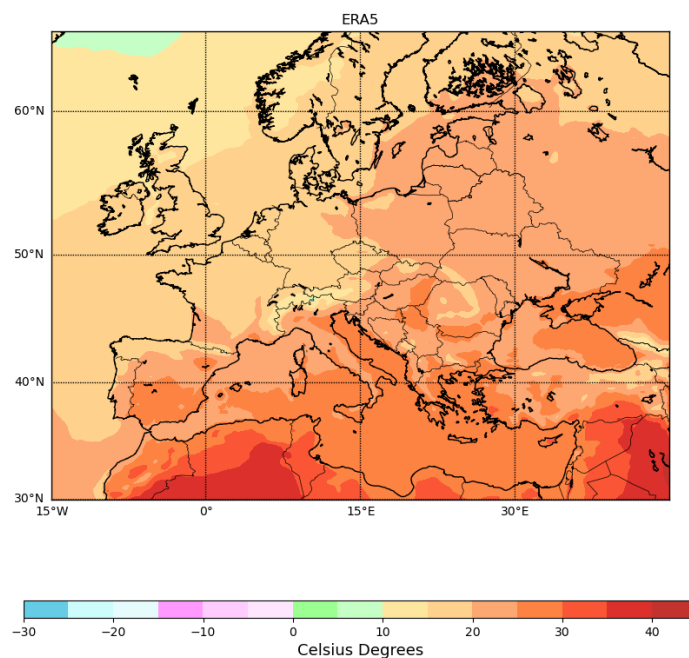
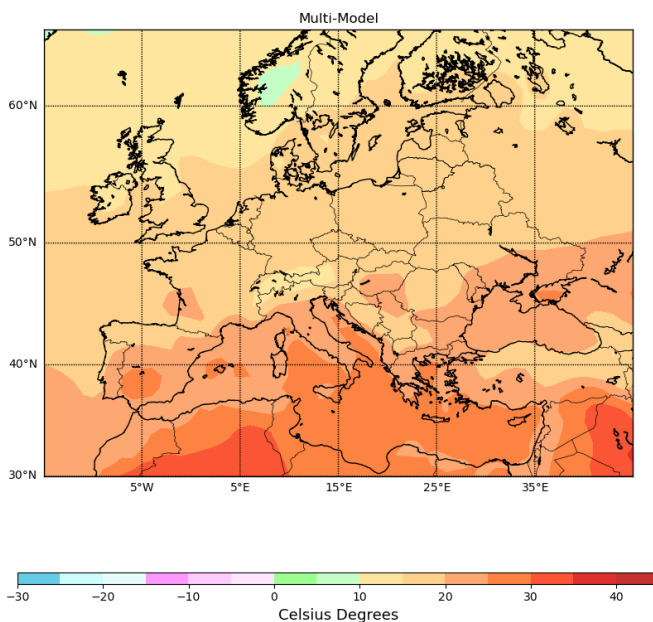
Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature

Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 07/2021, 2m temperature

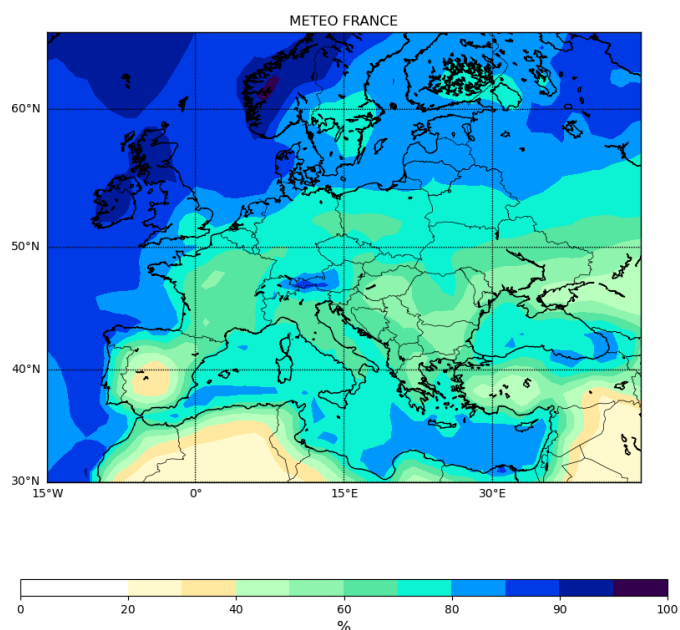
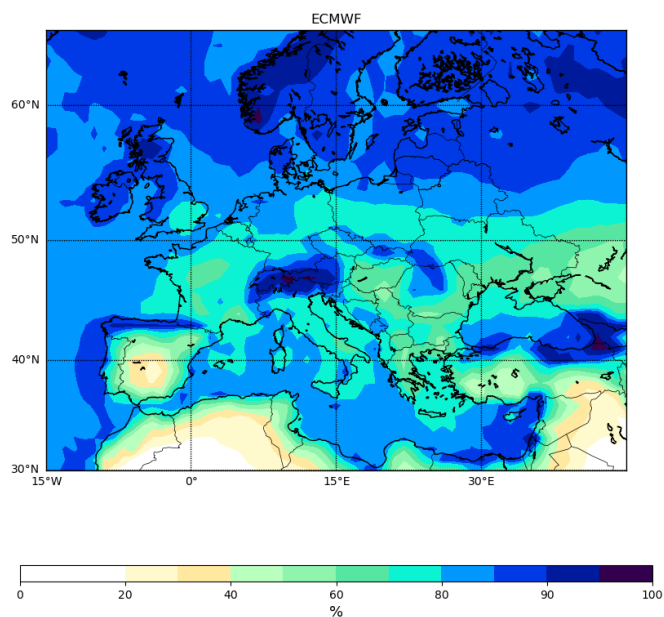
Reanalysis data for 07/2021, 2m temperature



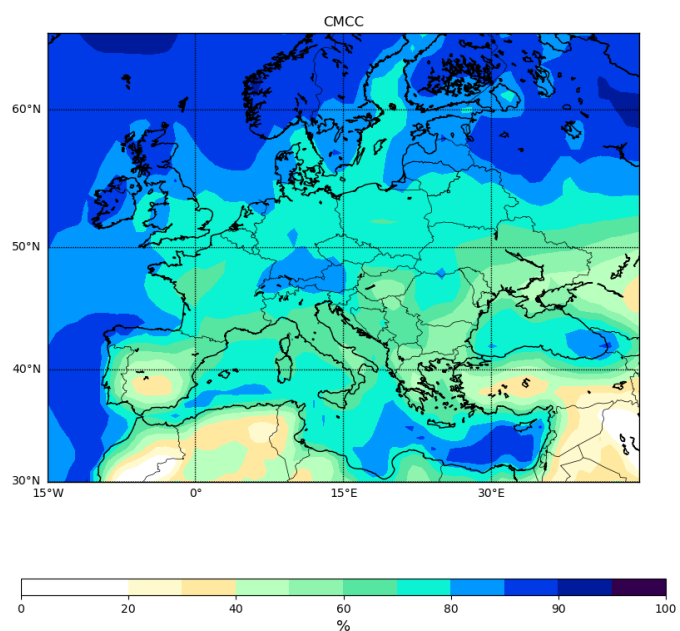
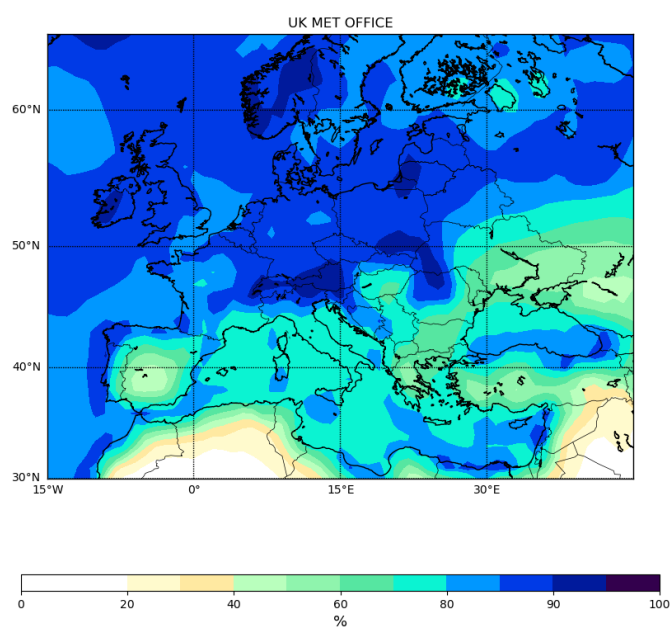
Σχήμα 3. 10 : Προγνωστικοί χάρτες της θερμοκρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούλιος του 2021)



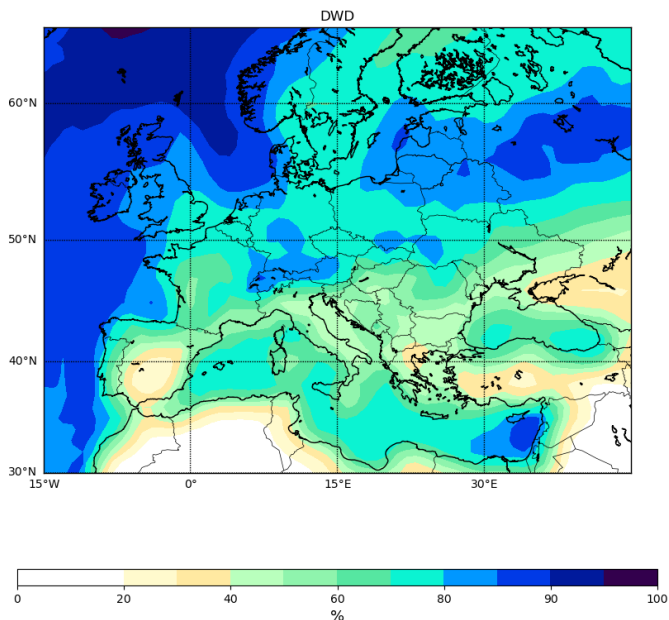
Seasonal forecasts for 07/2021, Relative Humidity



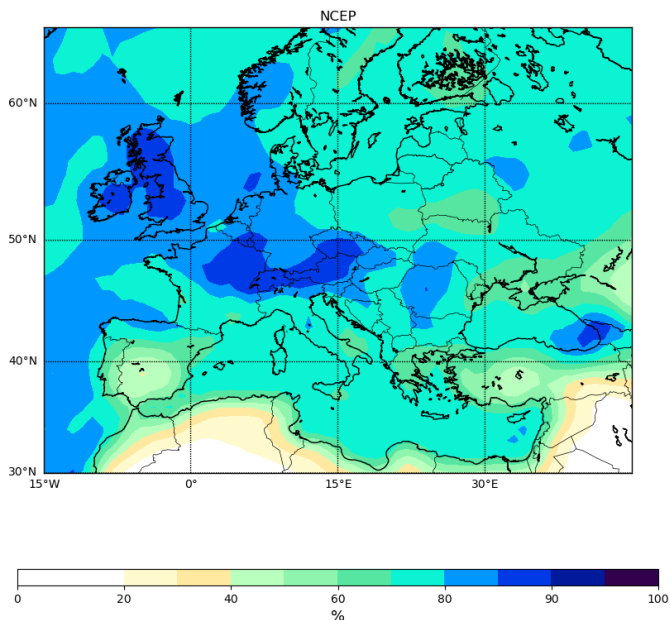
Seasonal forecasts for 07/2021, Relative Humidity



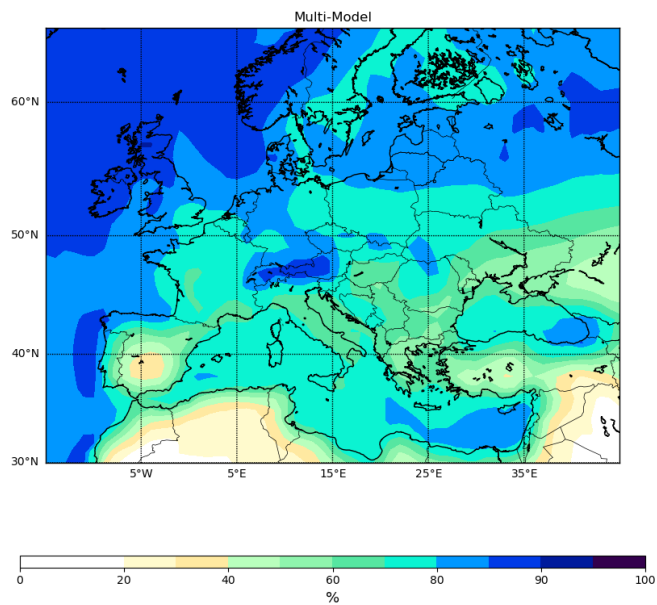
Seasonal forecasts for 07/2021, Relative Humidity



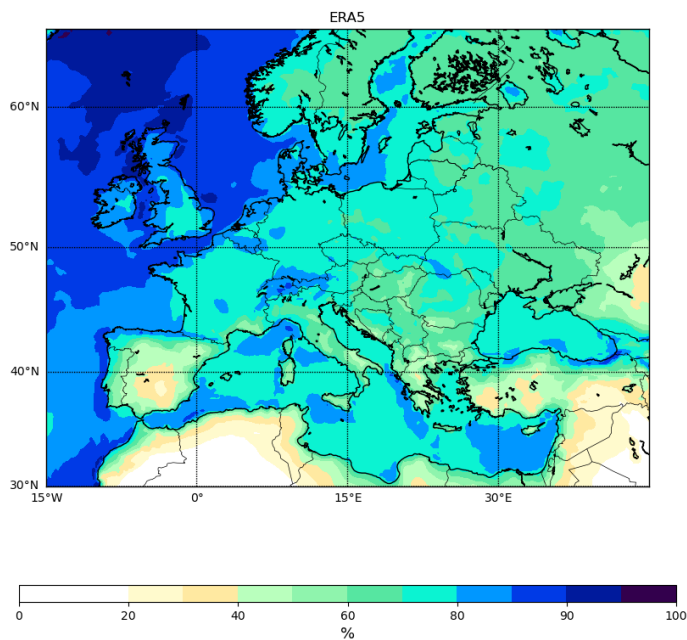
Seasonal forecasts for 07/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 07/2021, Relative Humidity



Reanalysis data for 07/2021, Relative Humidity

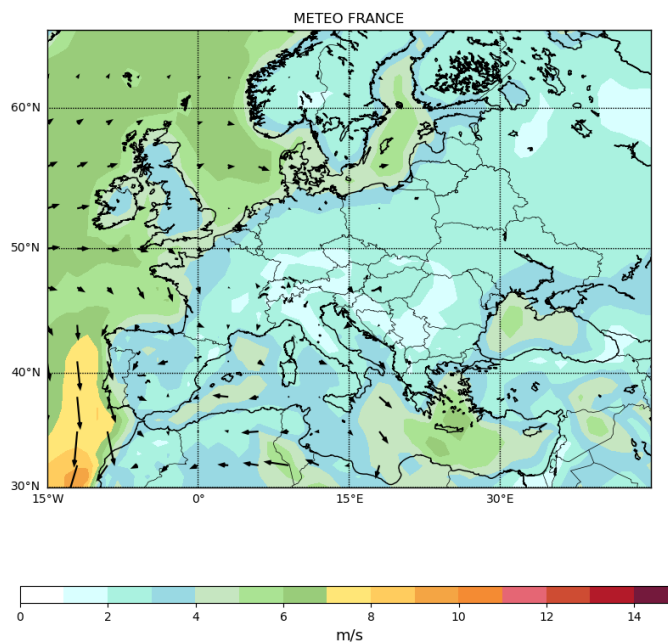
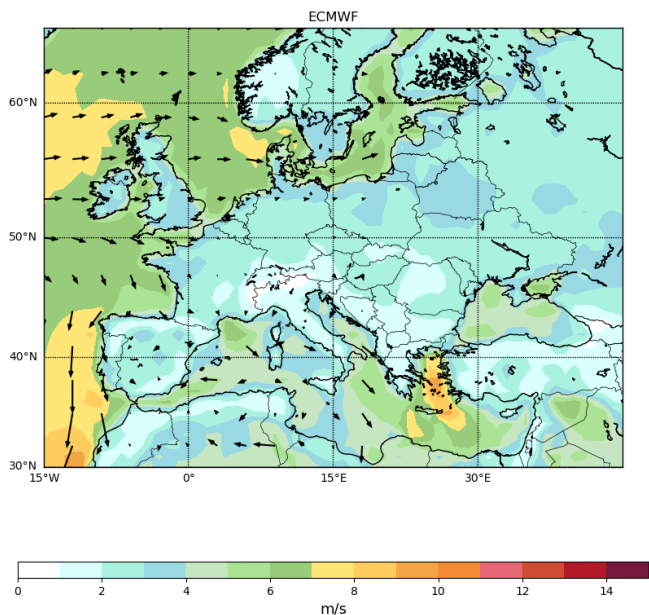


Σχήμα 3. 11 : Προγνωστικοί χάρτες της σχετικής υγρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούλιος του 2021)

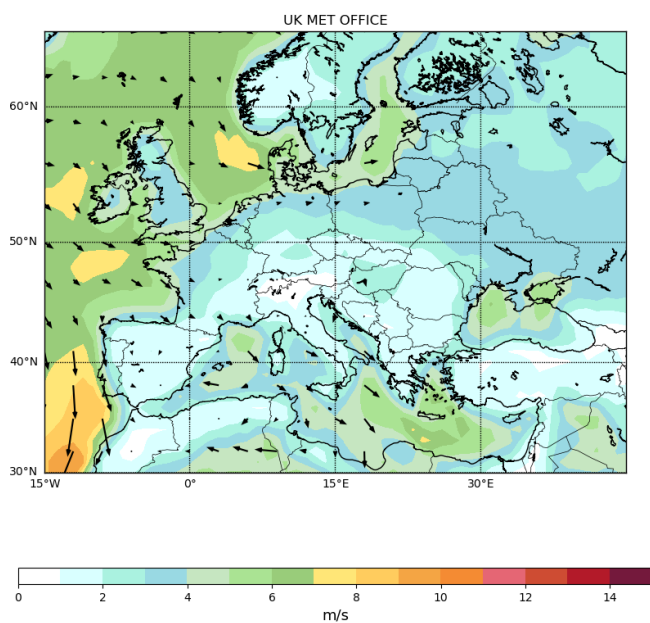


Ταχύτητα ανέμων στα 10m (m/s)

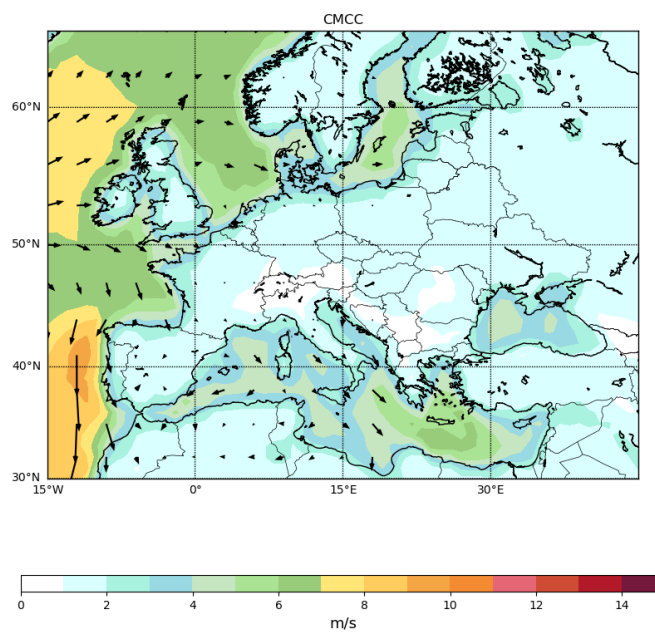
Seasonal forecasts for 07/2021, 10m wind speed and direction



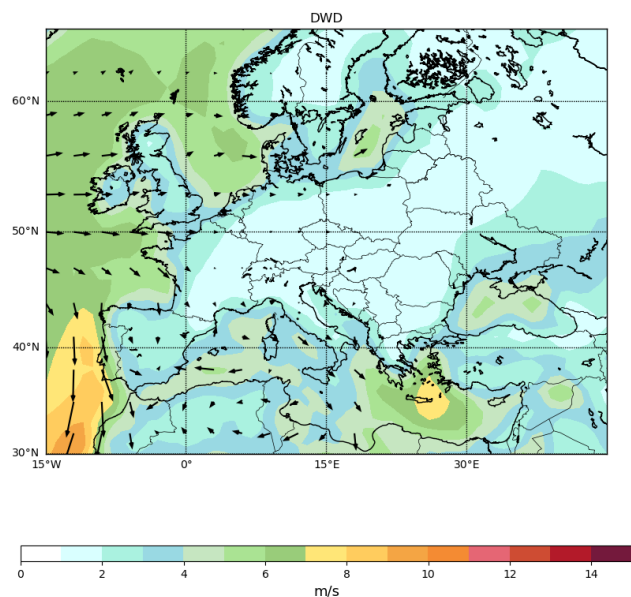
Seasonal forecasts for 07/2021, 10m wind speed and direction



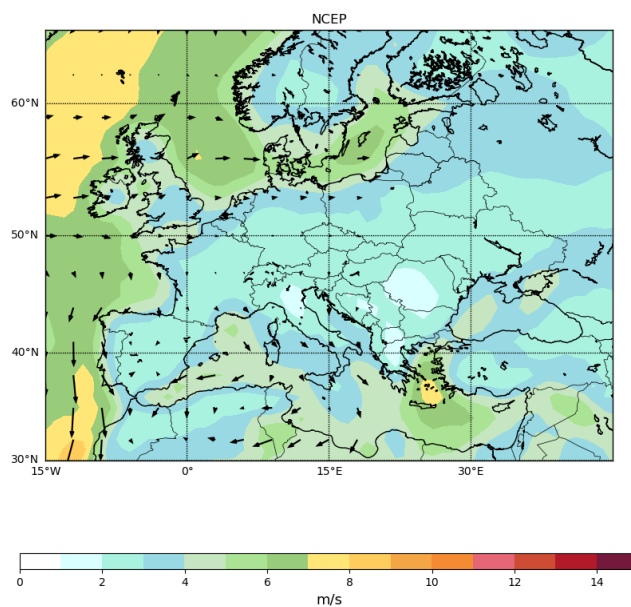
Seasonal forecasts for 07/2021, 10m wind speed and direction



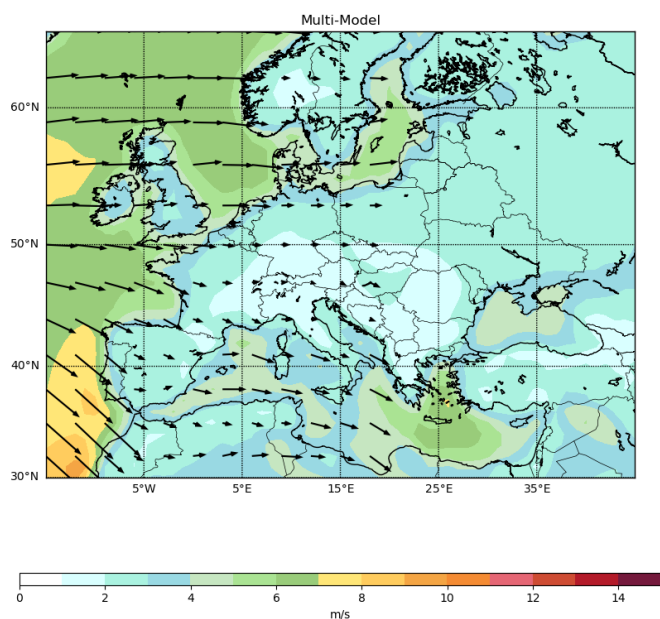
Seasonal forecasts for 07/2021, 10m wind speed and direction



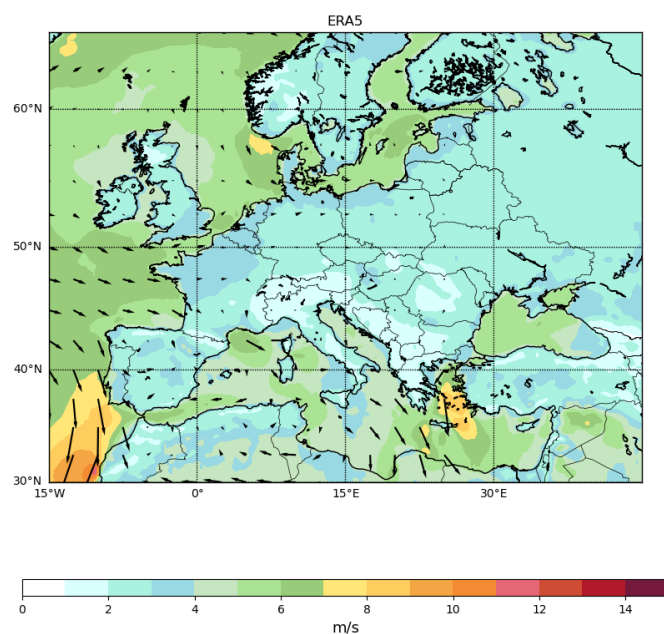
Seasonal forecasts for 07/2021, 10m wind speed and direction



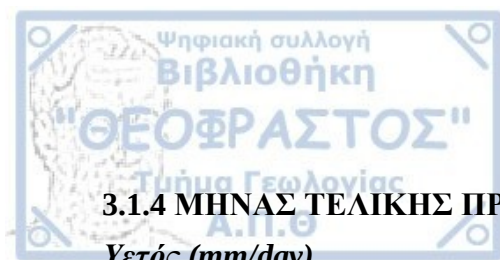
Seasonal forecasts for 07/2021, 10m wind speed and direction



Reanalysis data for 07/2021, 10m wind speed and direction



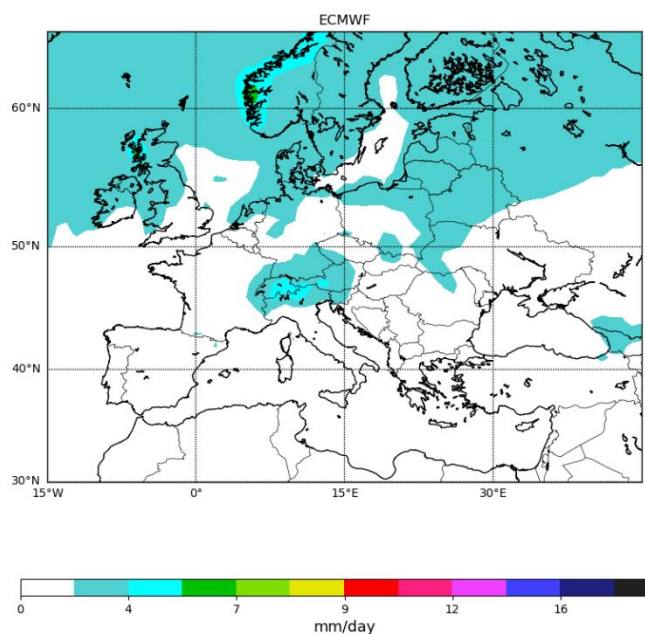
Σχήμα 3. 12 : Προγνωστικοί χάρτες της ταχύτητας ανέμου για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Ιούλιος του 2021)



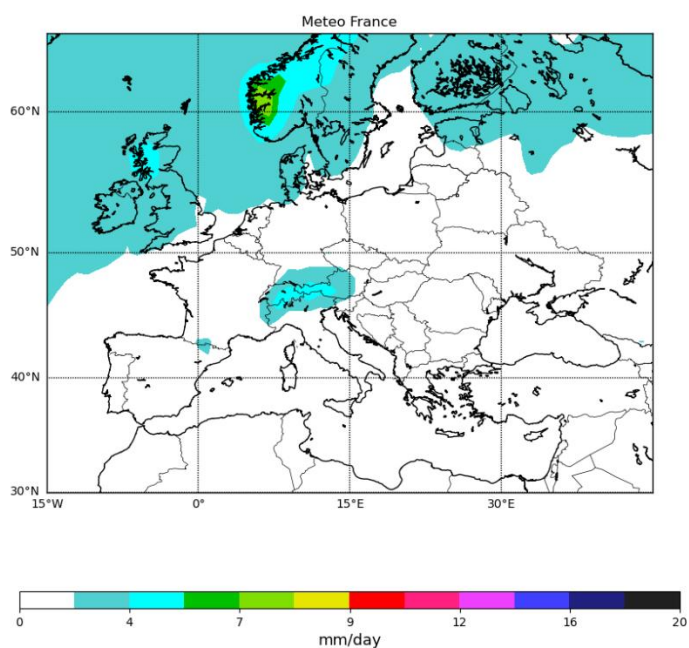
3.1.4 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2021

Υετός (mm/day)

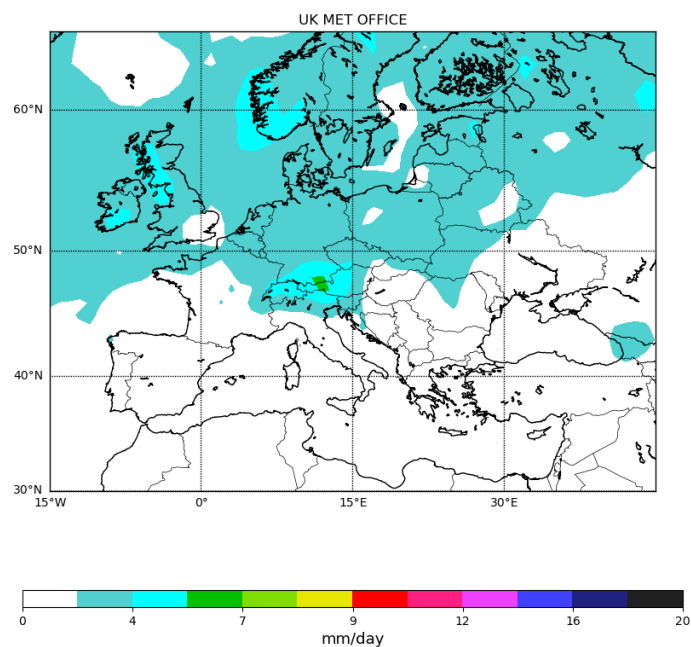
Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



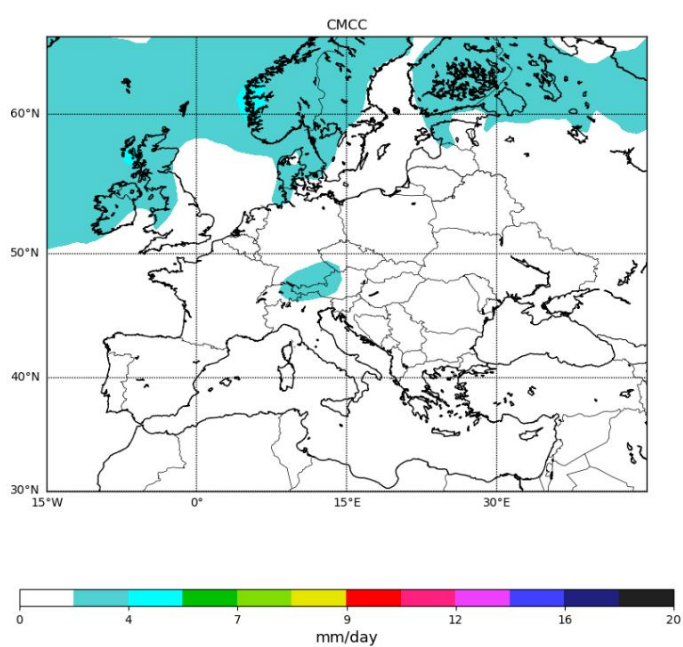
Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



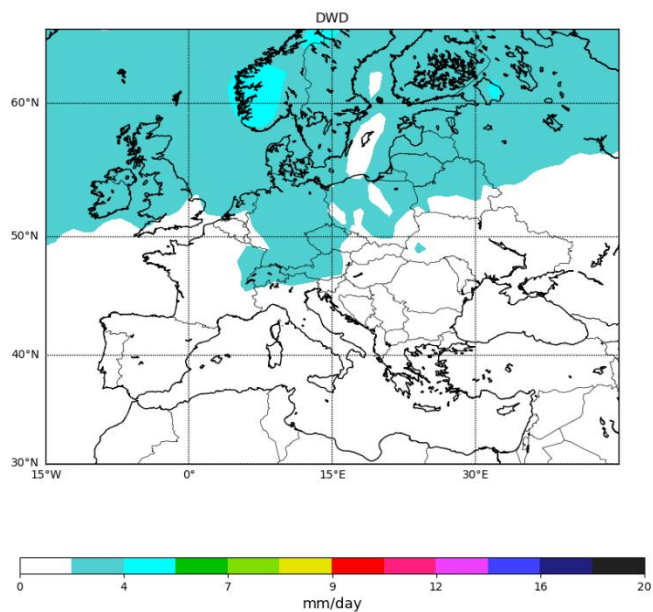
Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



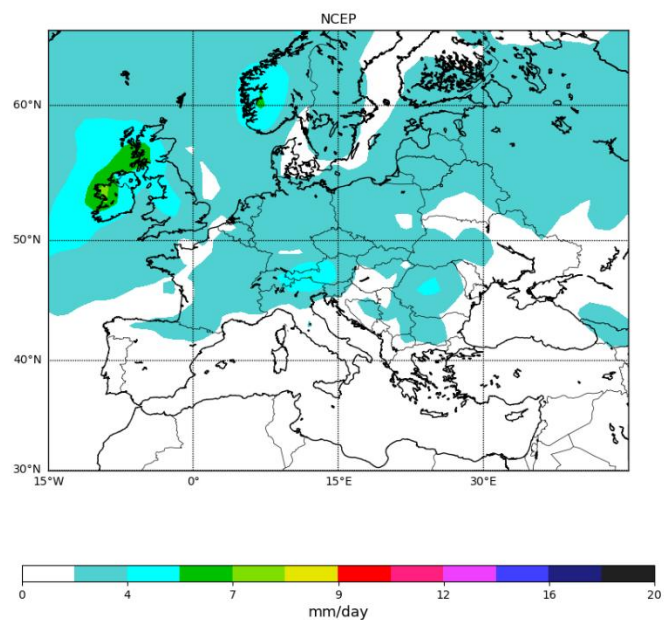
Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



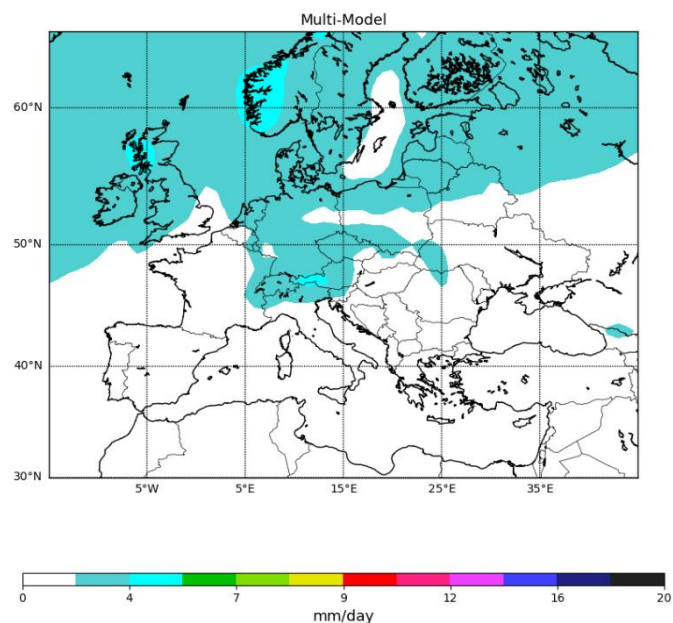
Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



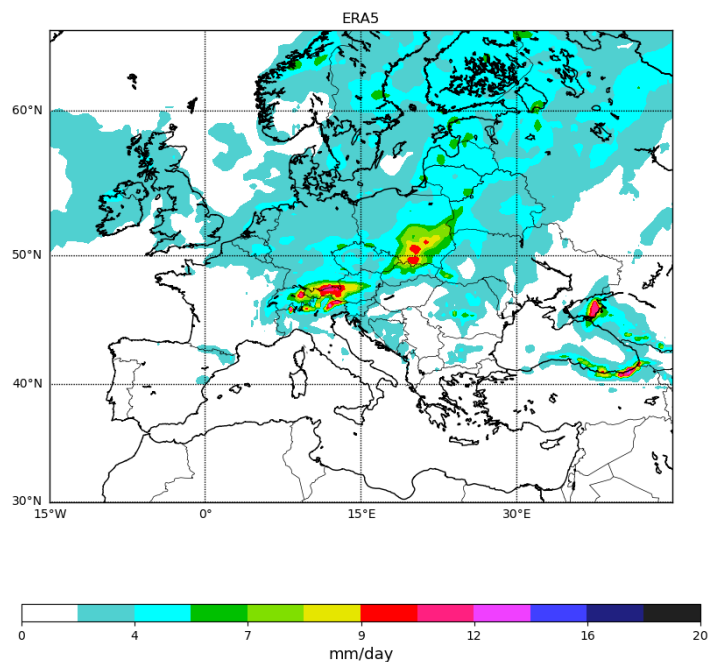
Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



Seasonal forecasts for 08/2021, Total Precipitation



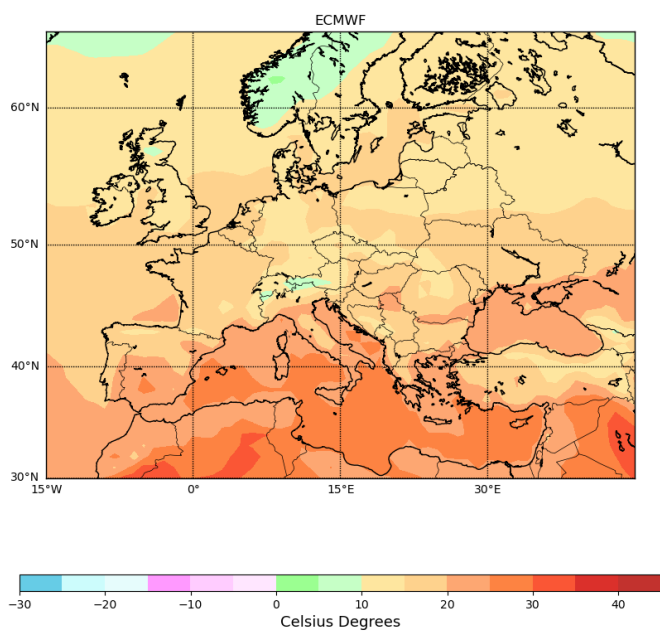
Reanalysis data for 08/2021, Total Precipitation



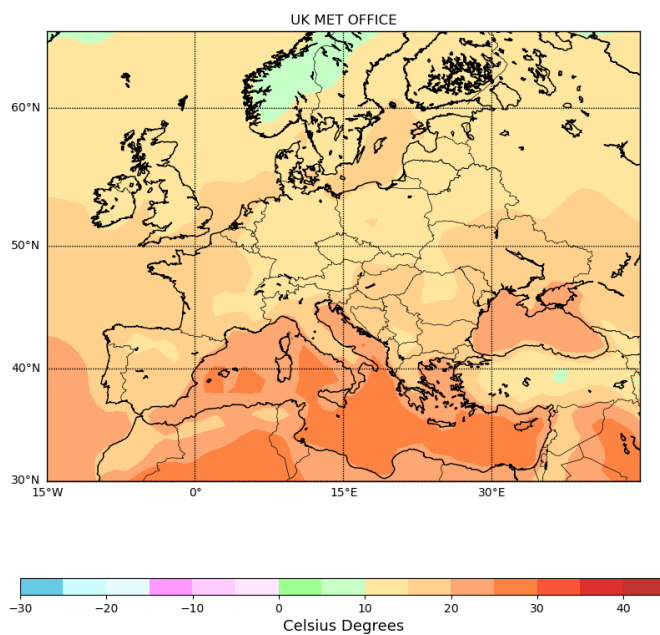
Σχήμα 3. 13 : Προγνωστικοί χάρτες του νετού για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Αύγουστος του 2021)



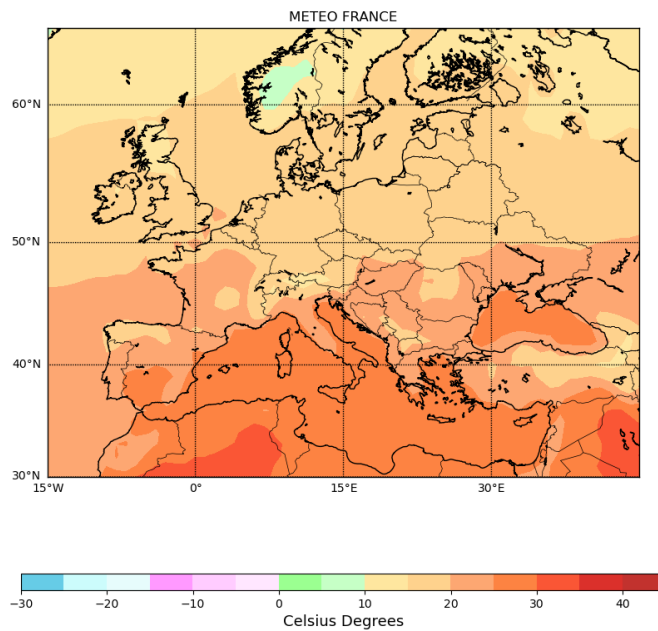
Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature



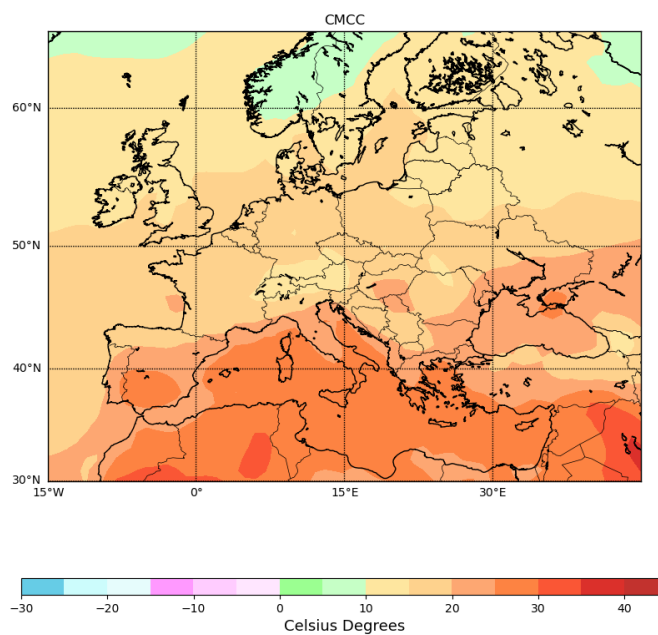
Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature

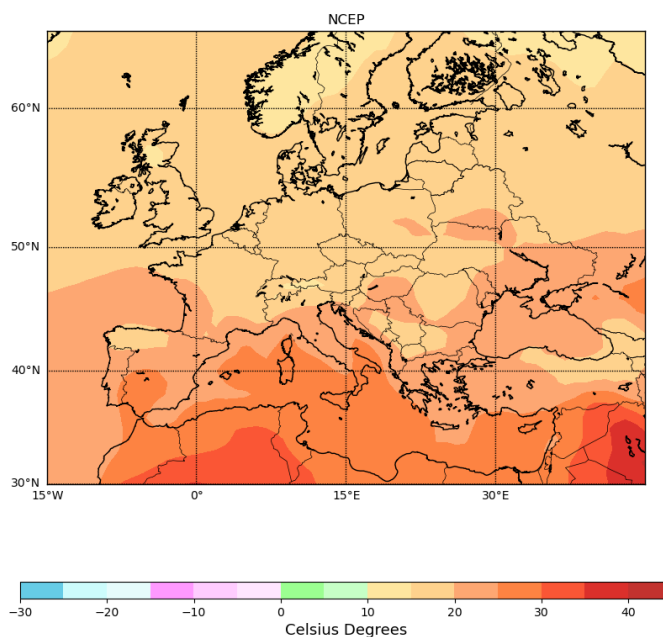
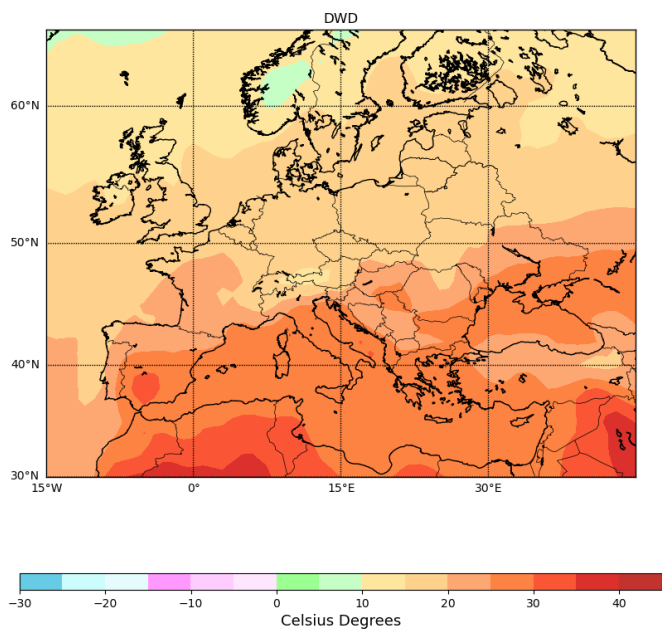


Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature



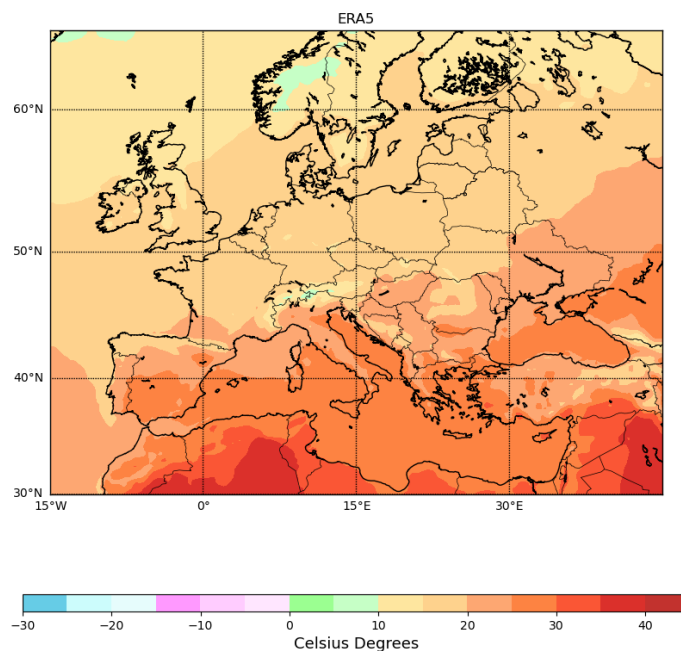
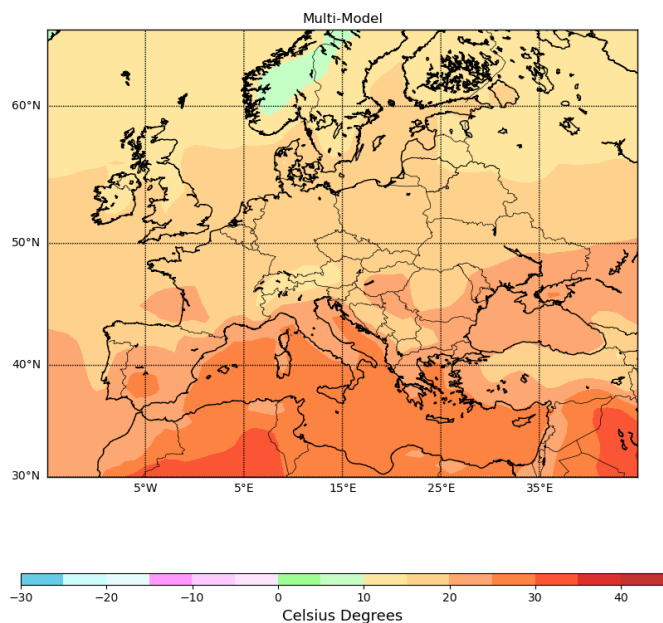
Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature

Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 08/2021, 2m temperature

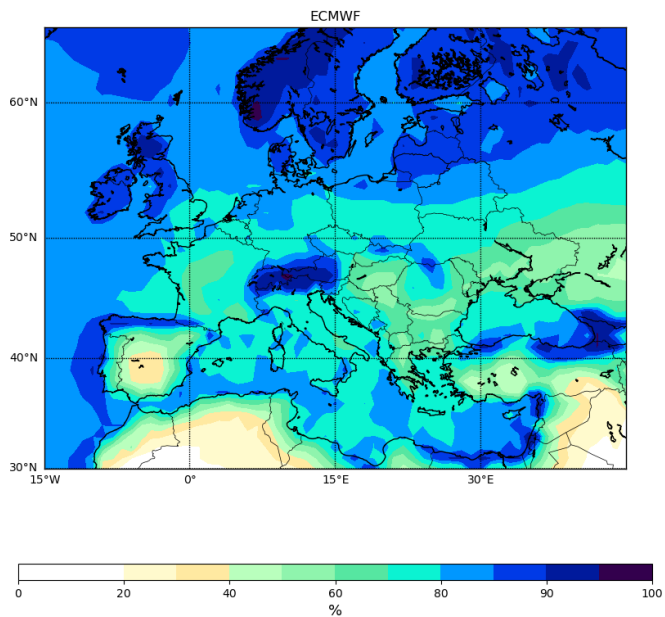
Reanalysis data for 08/2021, 2m temperature



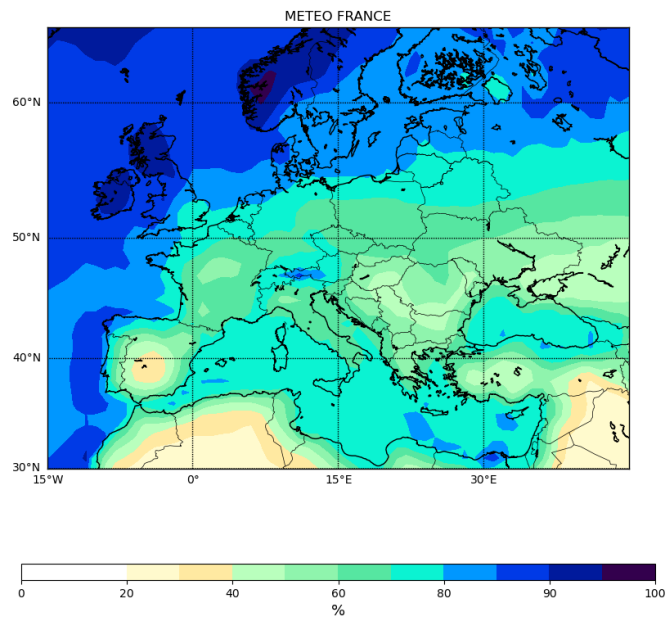
Σχήμα 3. 14 : Προγνωστικοί χάρτες της θερμοκρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Αύγουστος του 2021)



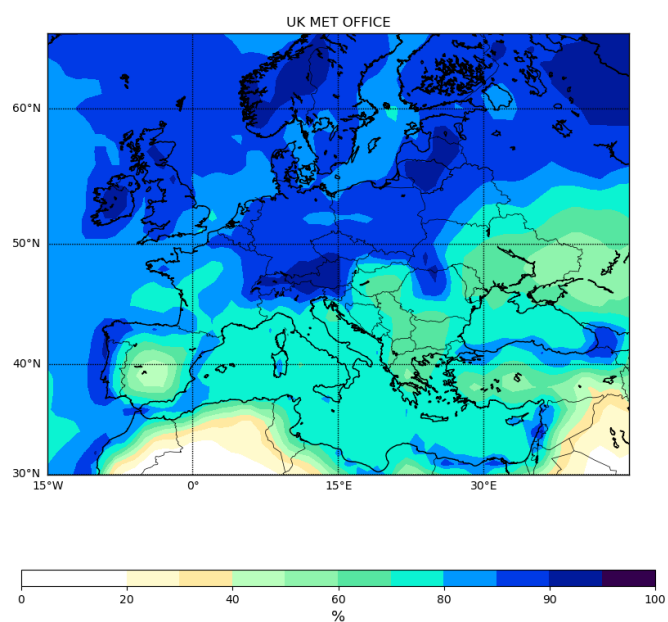
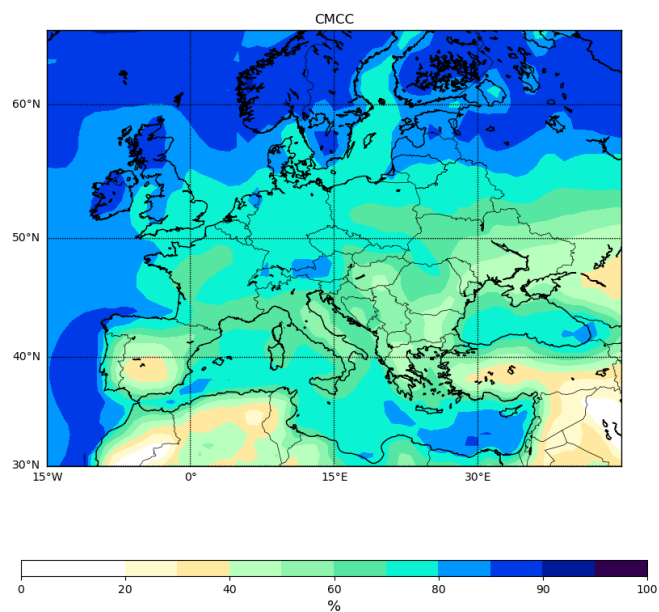
Seasonal forecasts for 08/2021, Relative Humidity



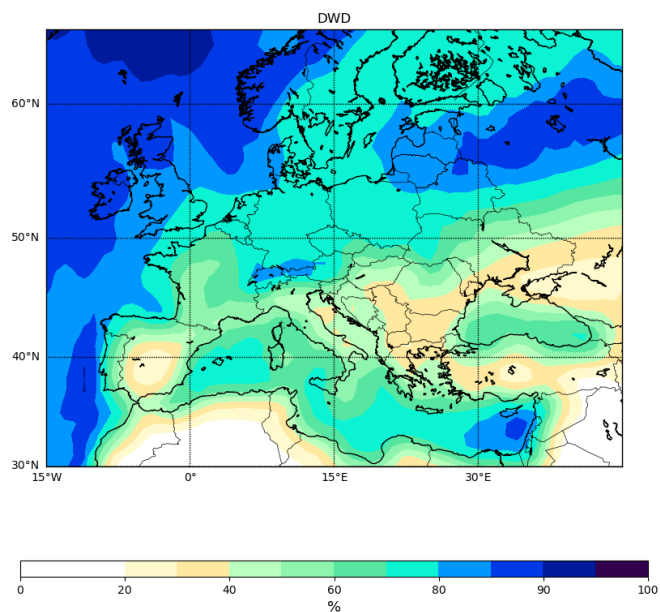
Seasonal forecasts for 08/2021, Relative Humidity



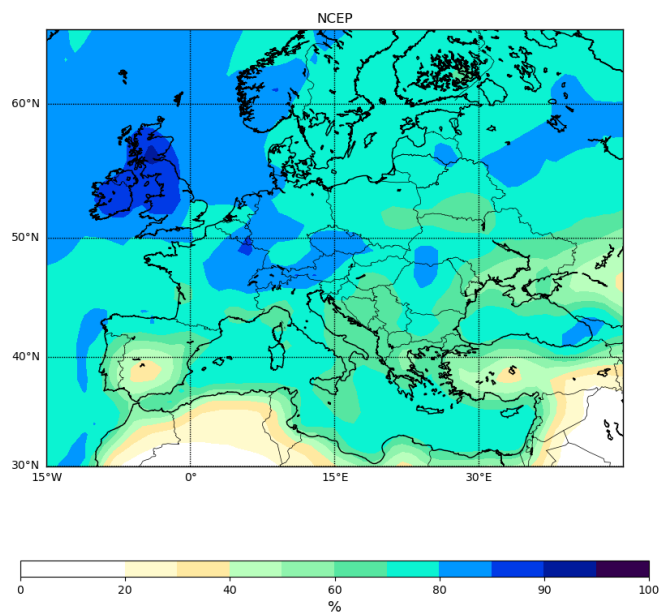
Seasonal forecasts for 08/2021, Relative Humidity



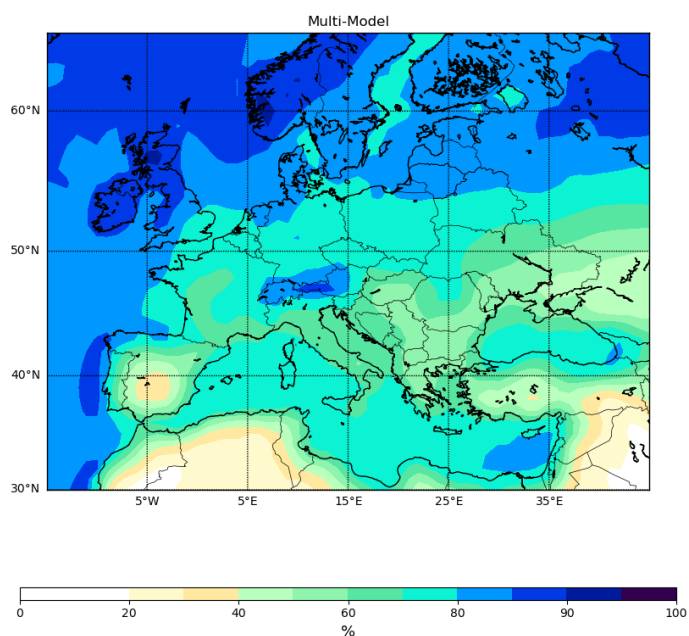
Seasonal forecasts for 08/2021, Relative Humidity



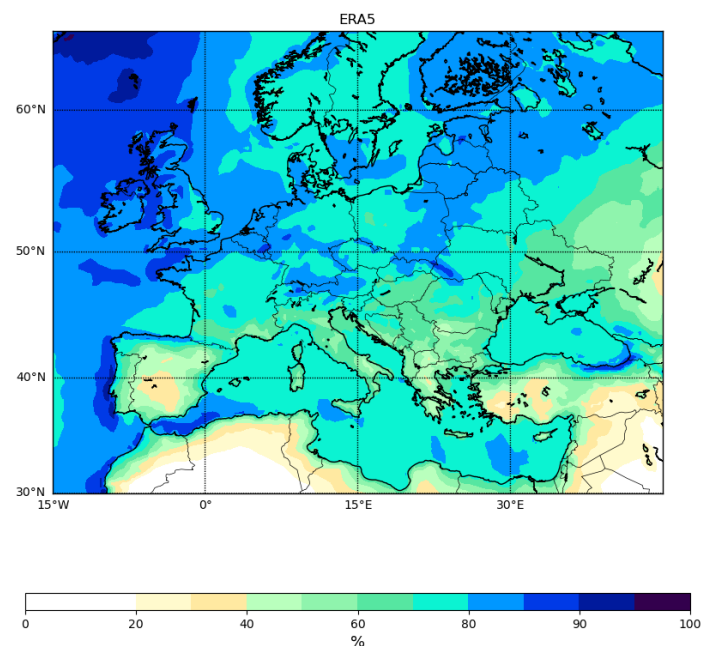
Seasonal forecasts for 08/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 08/2021, Relative Humidity



Reanalysis data for 08/2021, Relative Humidity

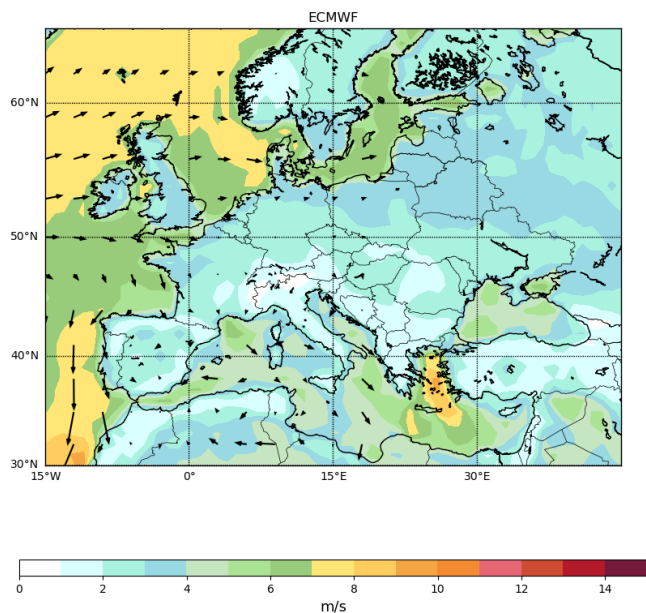


Σχήμα 3. 15 : Προγνωστικοί χάρτες της σχετικής υγρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Αύγουστος του 2021)

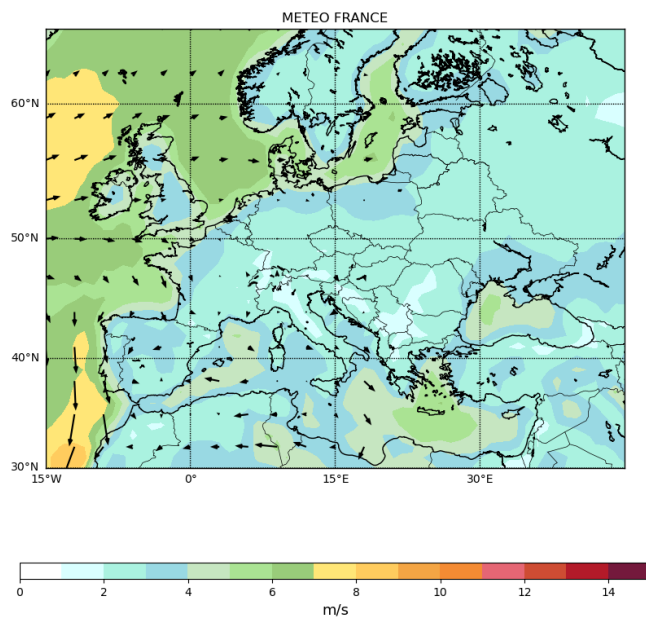


Ταχύτητα ανέμων στα 10m (m/s)

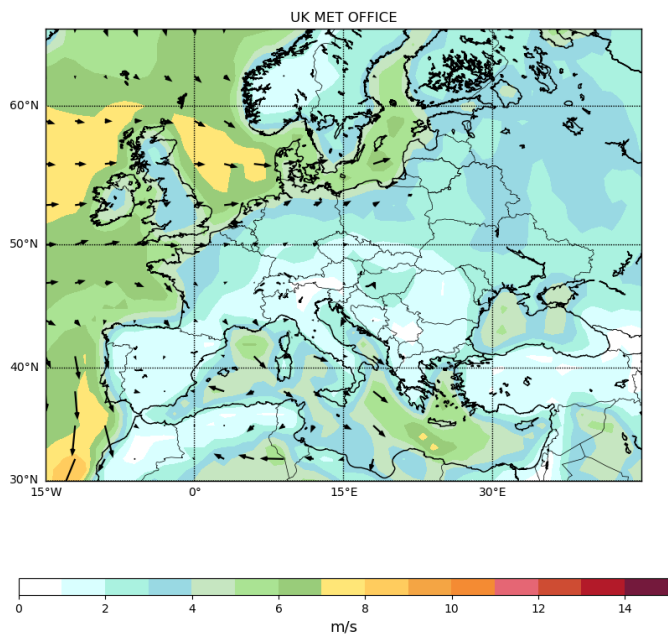
Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction



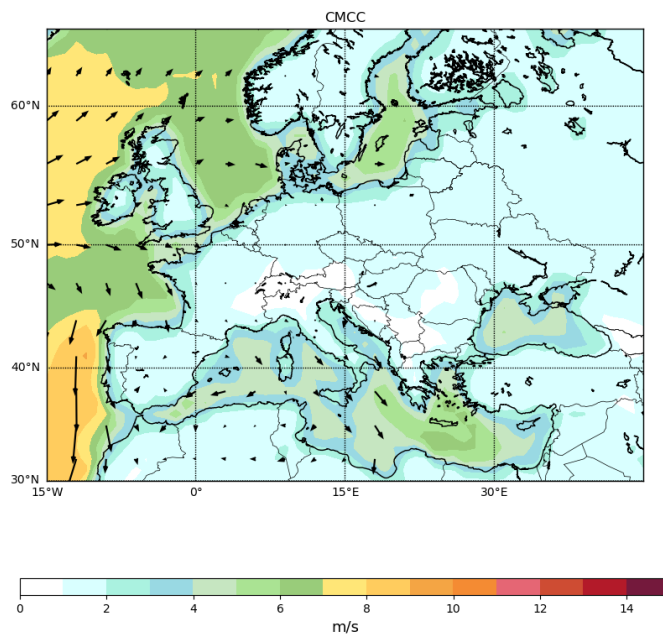
Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction



Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction

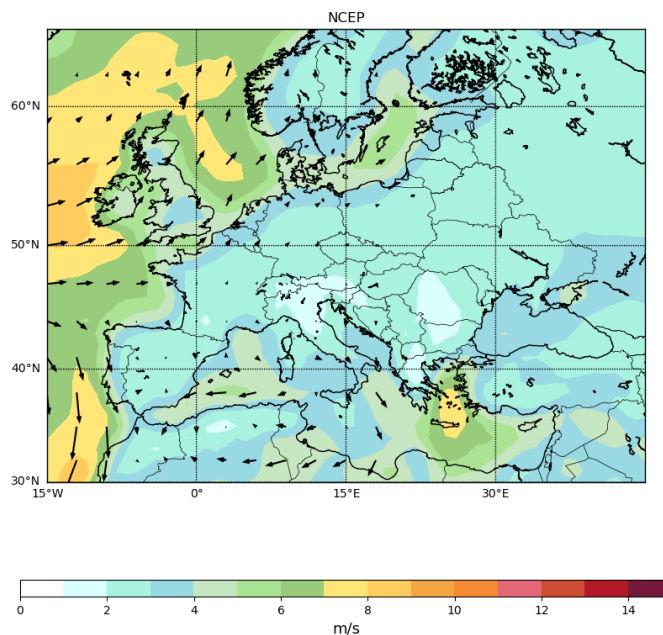
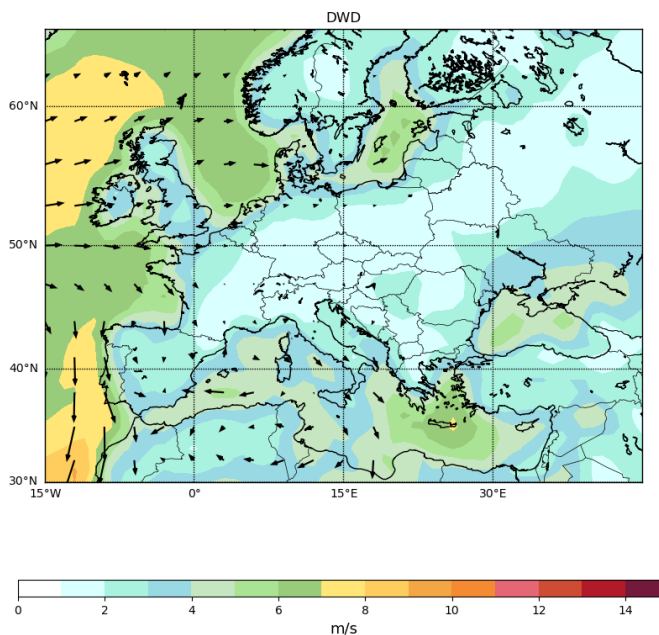


Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction



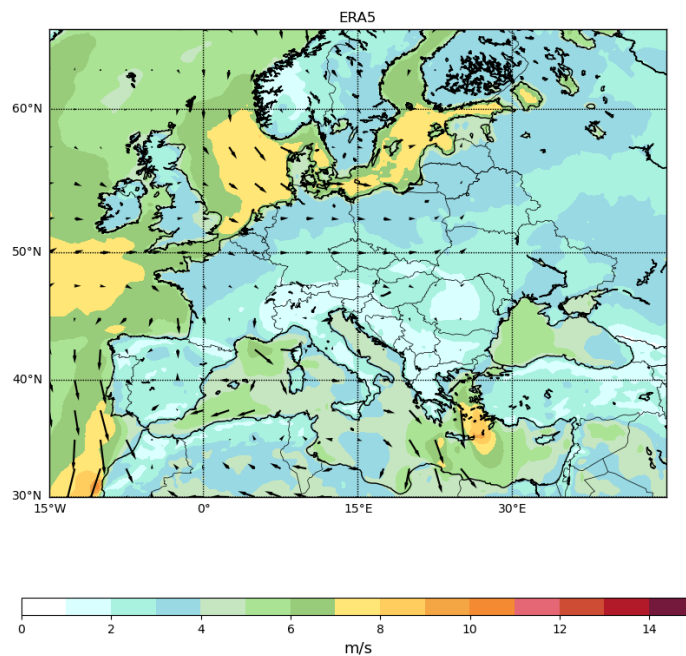
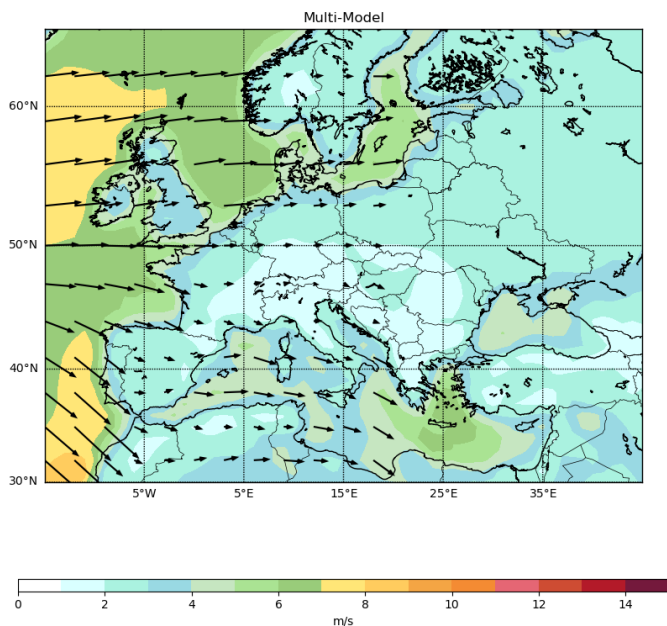
Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction

Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction

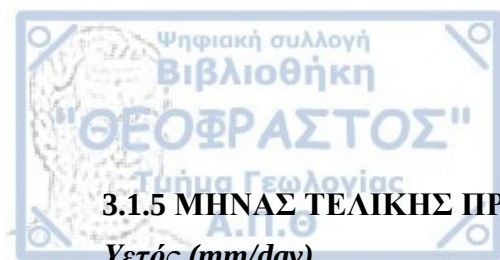


Seasonal forecasts for 08/2021, 10m wind speed and direction

Reanalysis data for 08/2021, 10m wind speed and direction



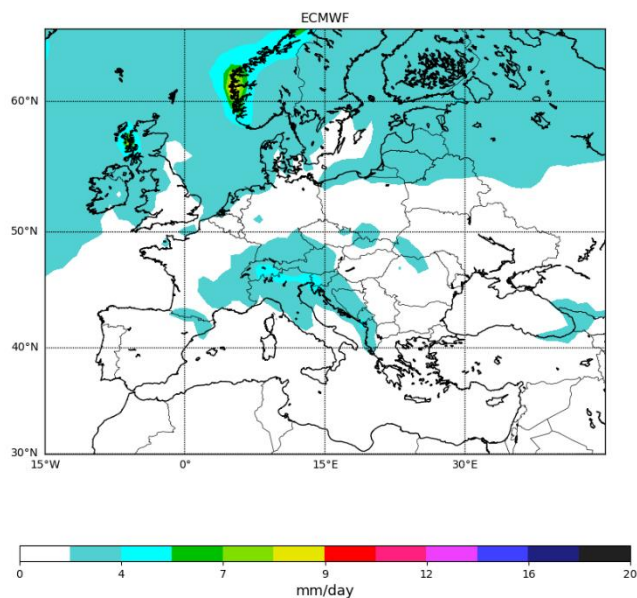
Σχήμα 3. 16 : Προγνωστικοί χάρτες της ταχύτητας ανέμου για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Αύγουστος του 2021)



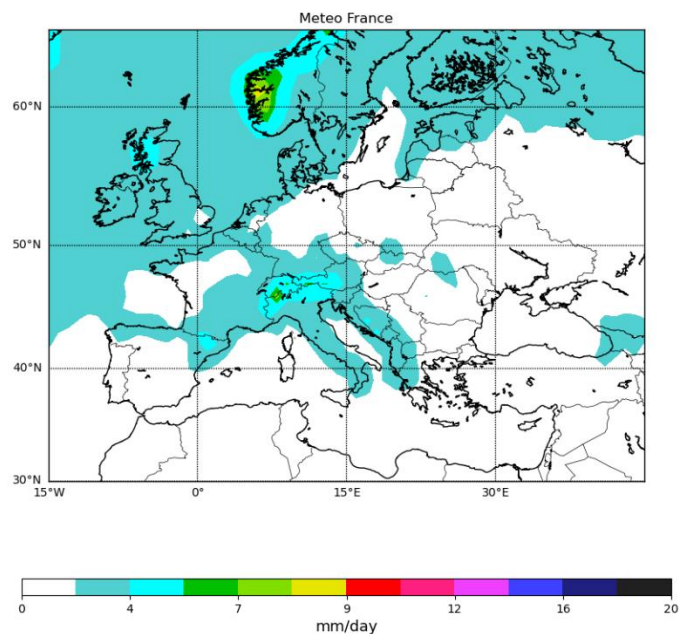
3.1.5 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021

Υετός (mm/day)

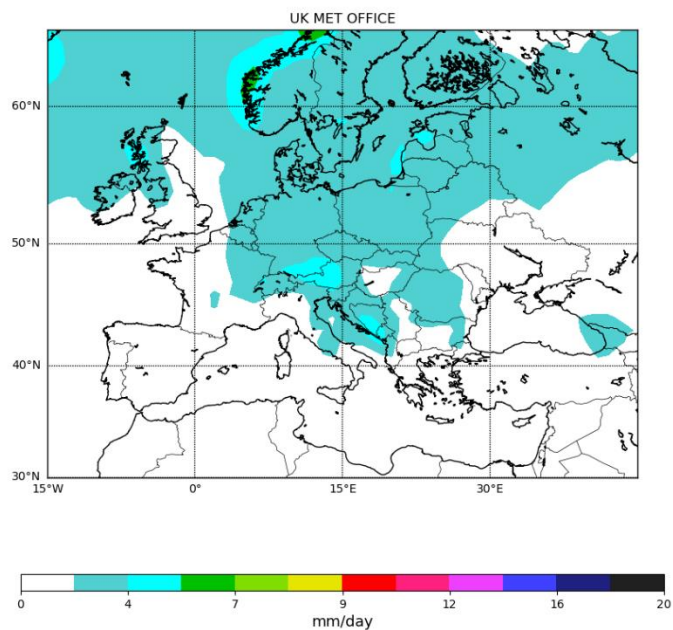
Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



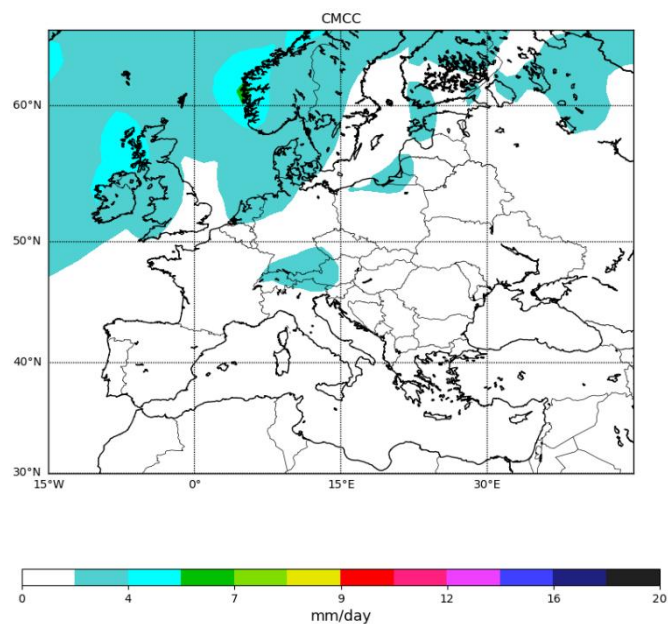
Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



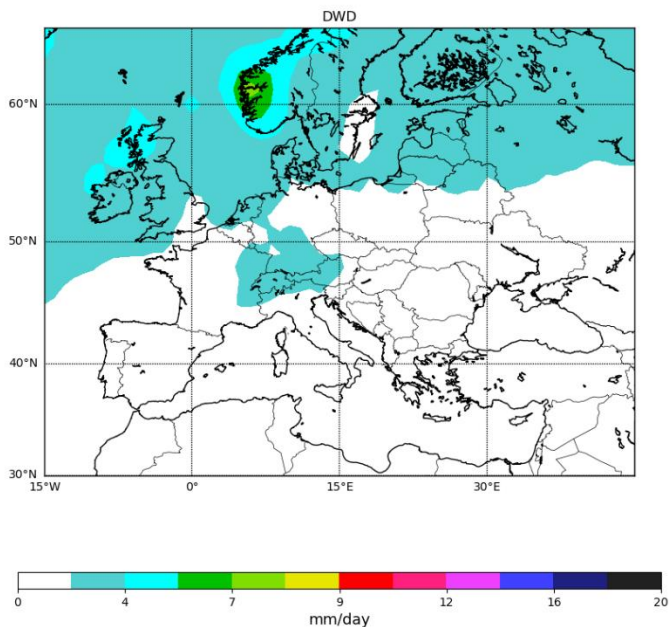
Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



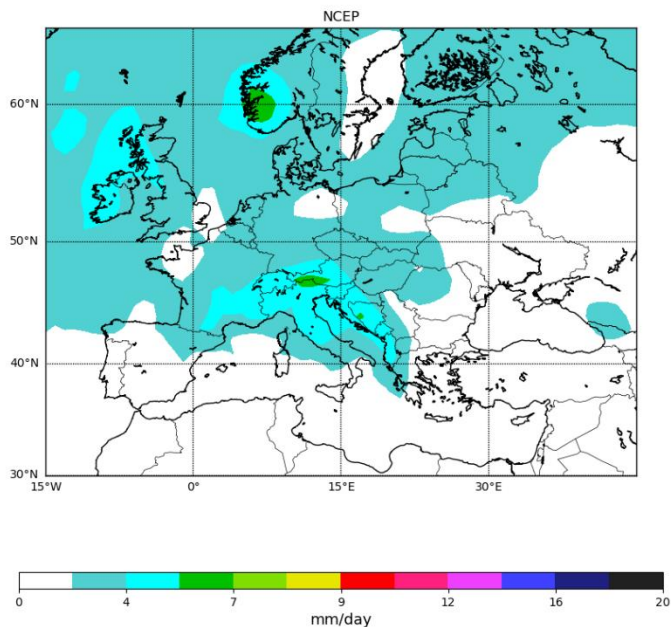
Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



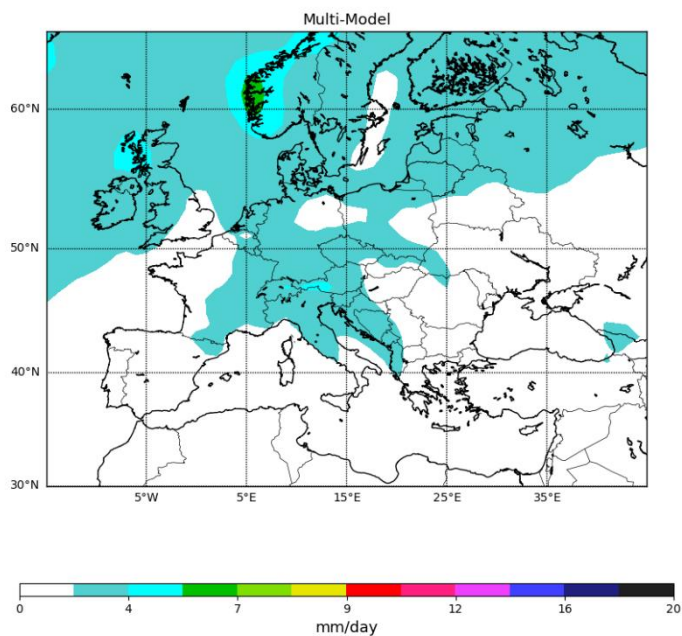
Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



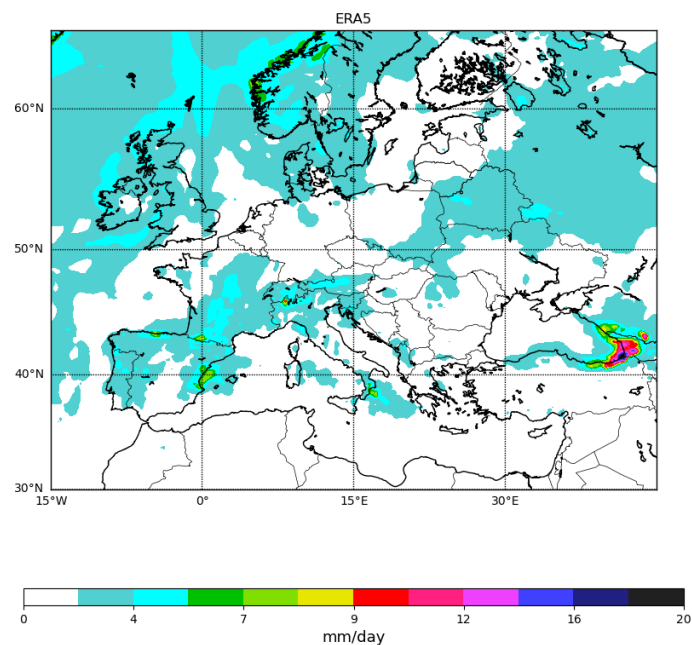
Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



Seasonal forecasts for 09/2021, Total Precipitation



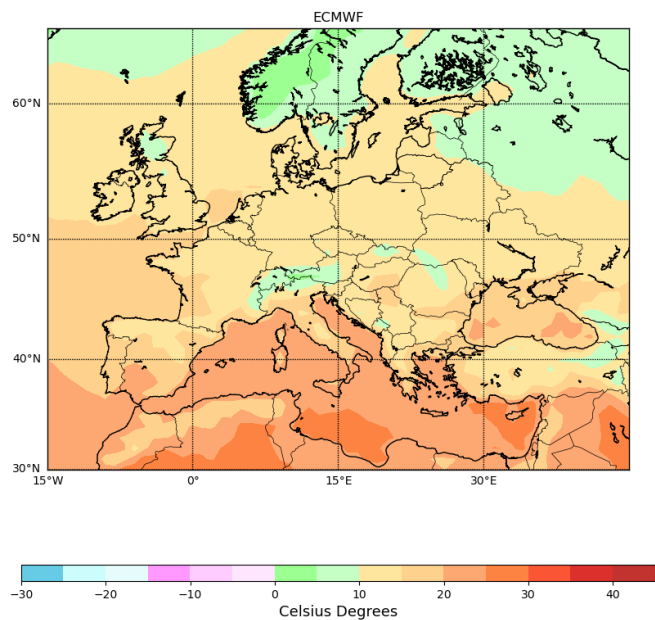
Reanalysis data for 09/2021, Total Precipitation



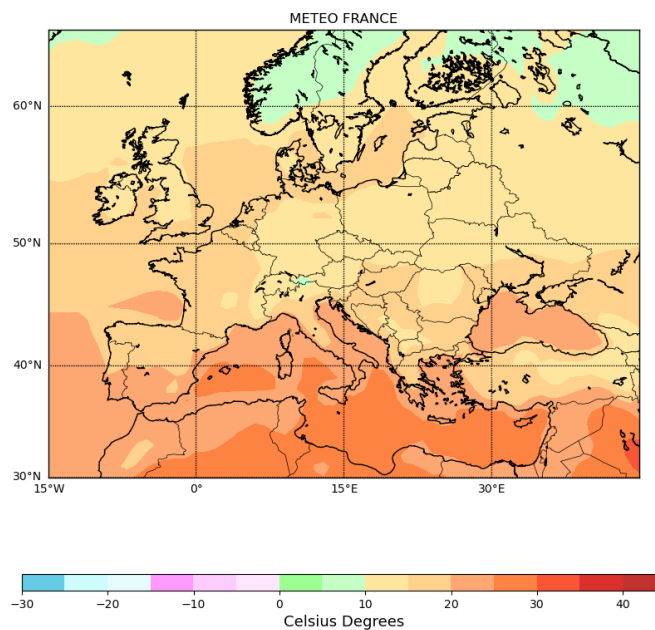
Σχήμα 3. 17 : Προγνωστικοί χάρτες του νετού για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Σεπτέμβριος του 2021)



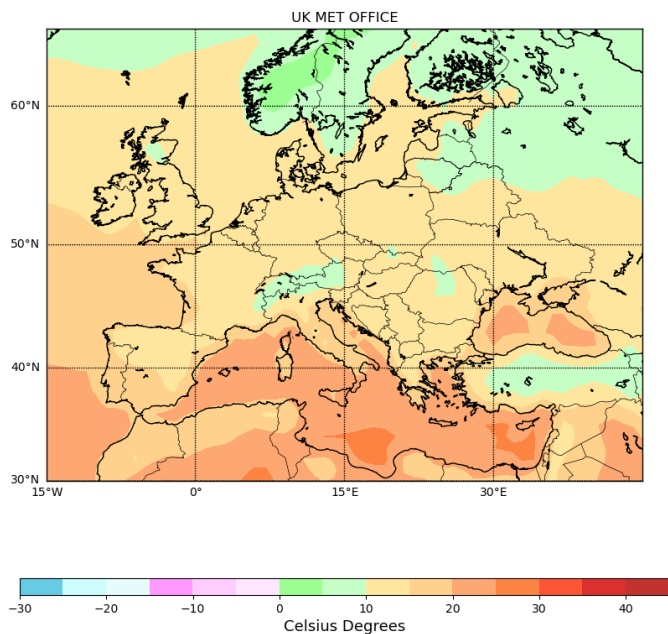
Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



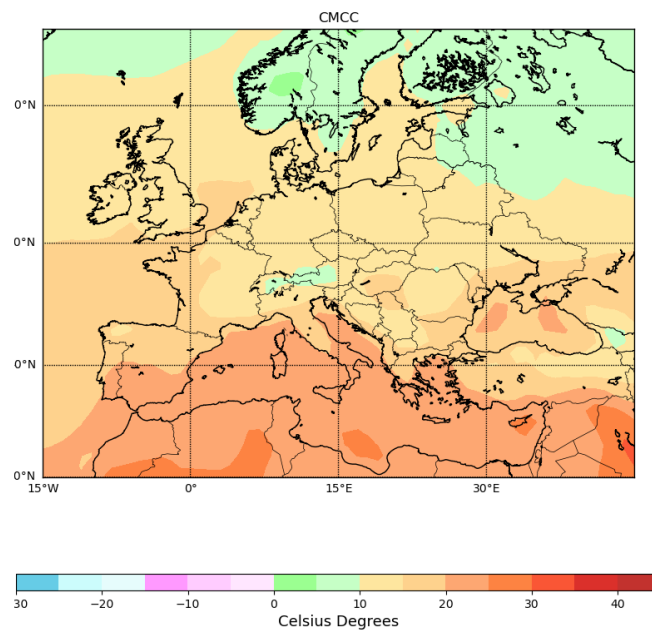
Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



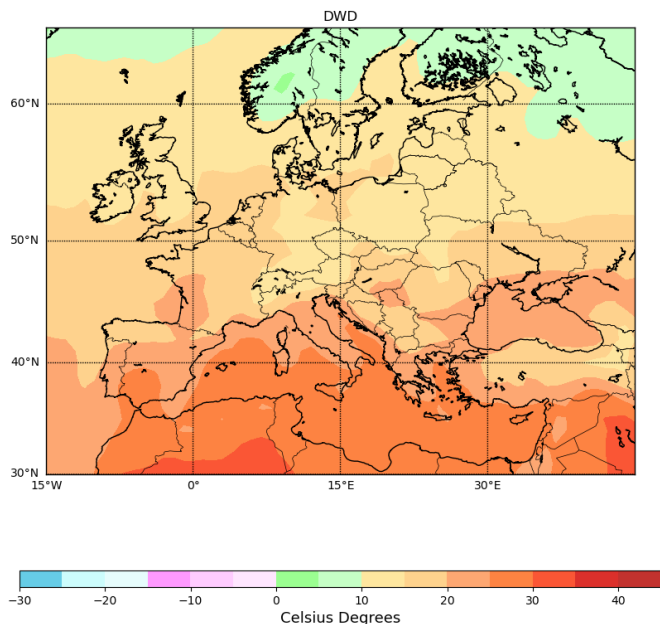
Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



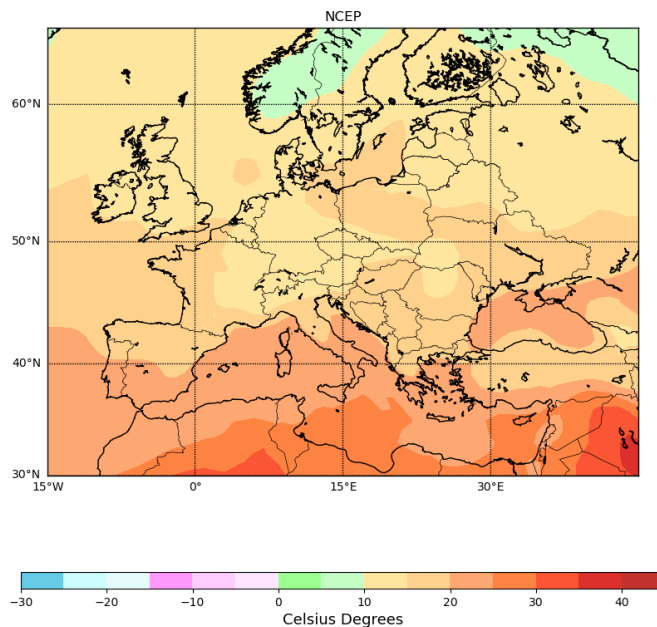
Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



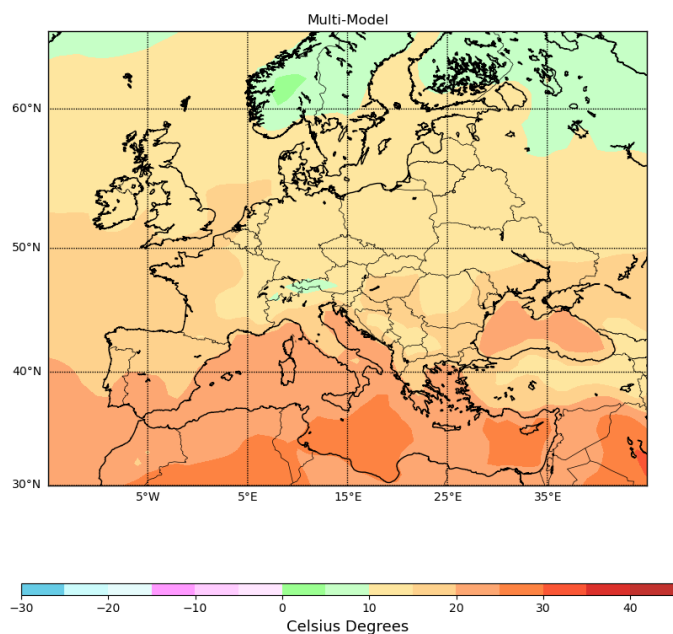
Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



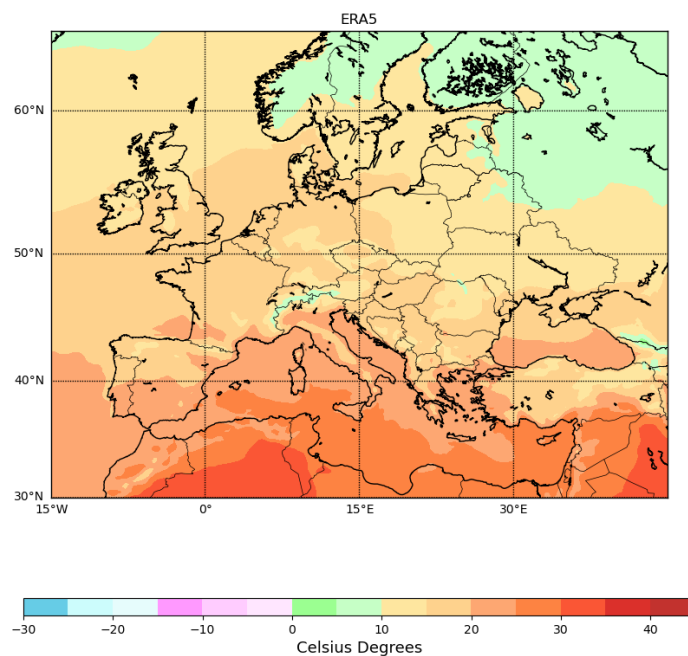
Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 09/2021, 2m temperature



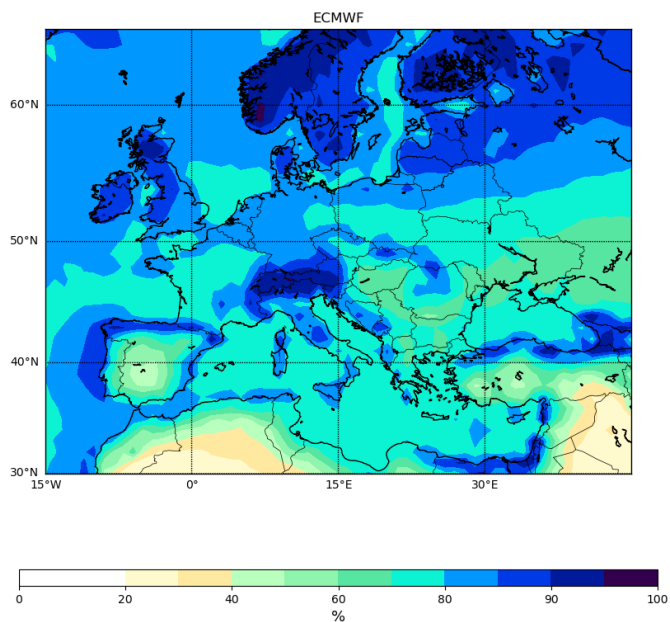
Reanalysis data for 09/2021, 2m temperature



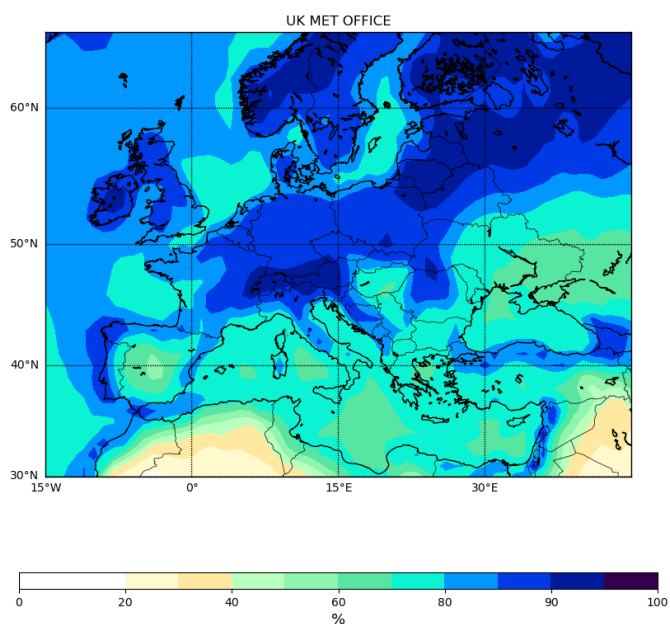
Σχήμα 3. 18 : Προγνωστικοί χάρτες της θερμοκρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Σεπτέμβριος του 2021)



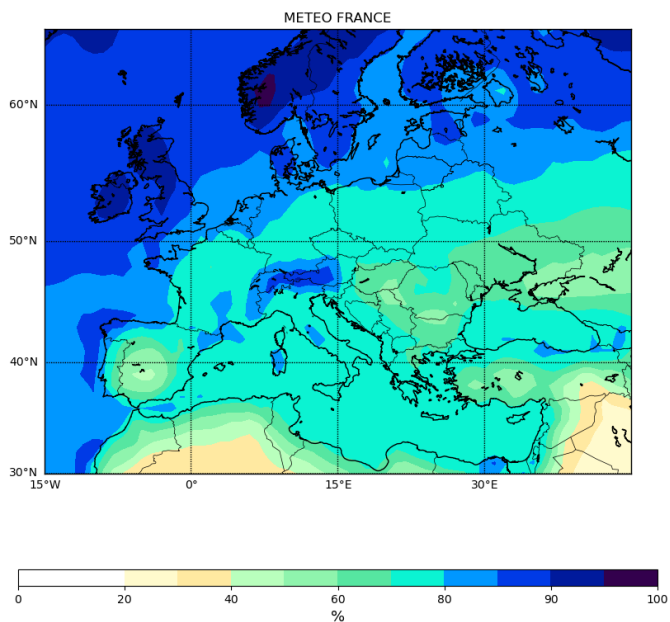
Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



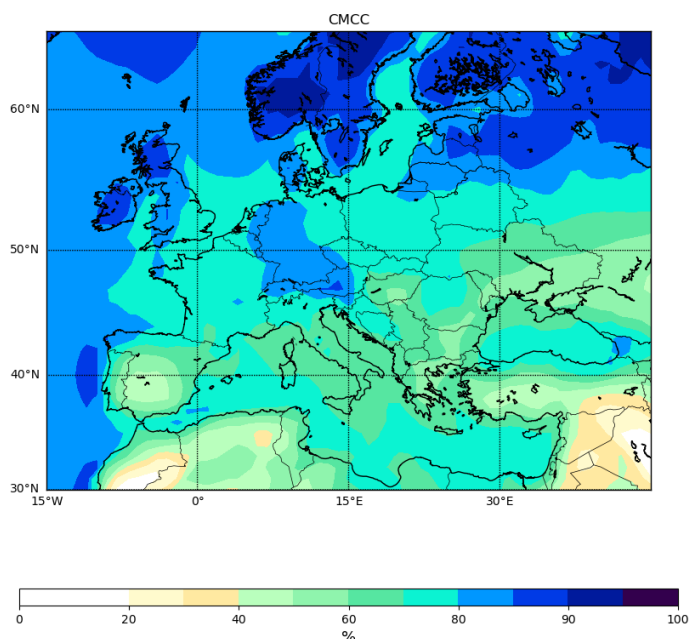
Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



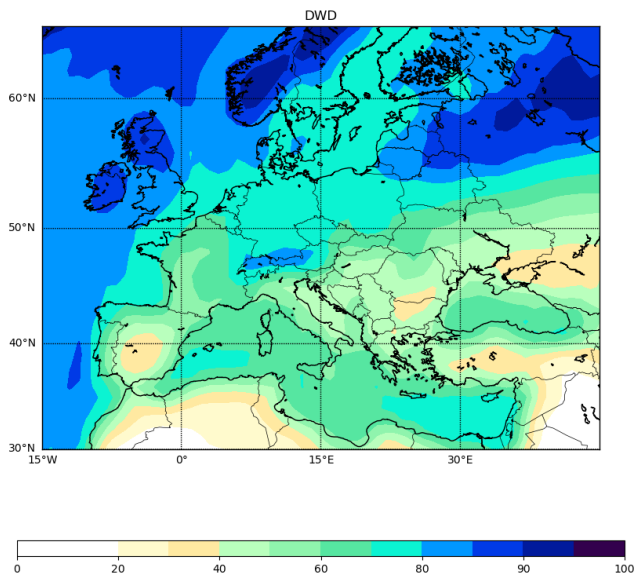
Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



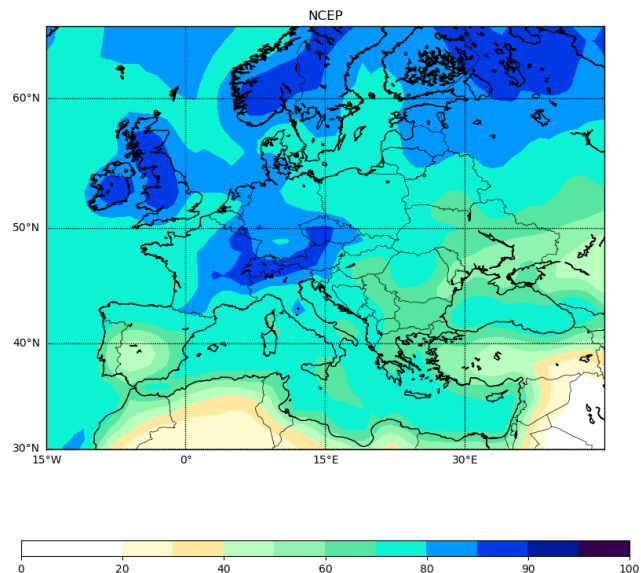
Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



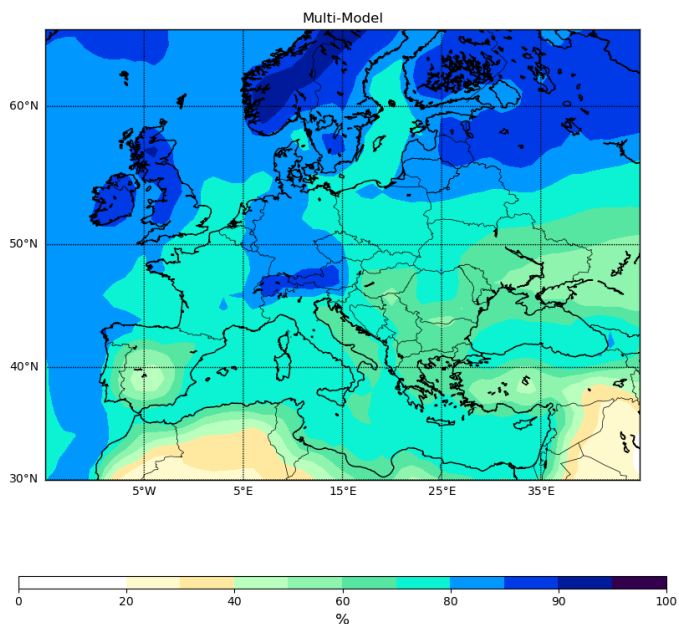
Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



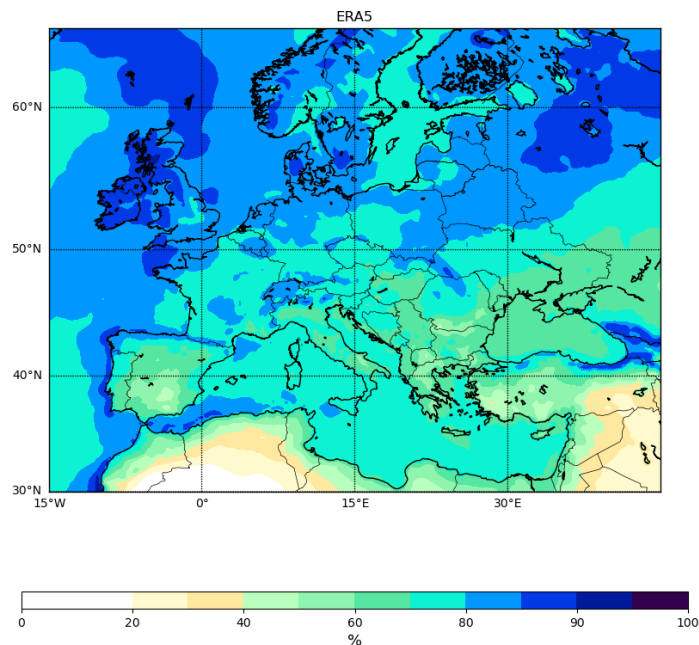
Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 09/2021, Relative Humidity



Reanalysis data for 09/2021, Relative Humidity

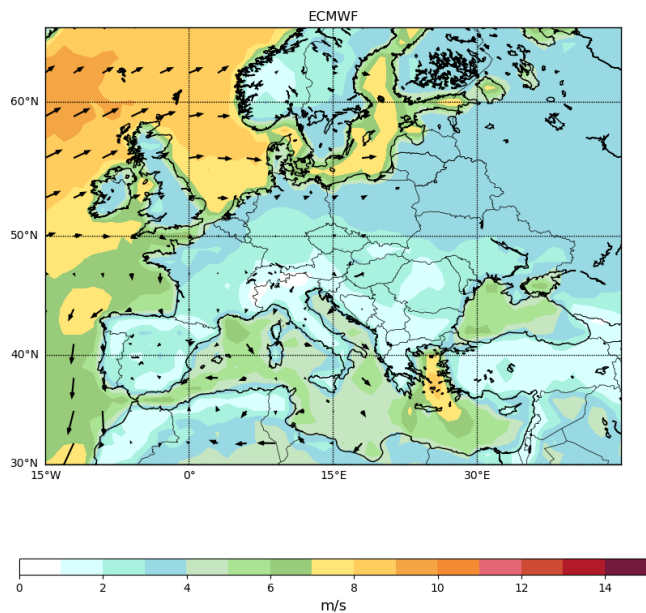


Σχήμα 3. 19 : Προγνωστικοί χάρτες της σχετικής υγρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Σεπτέμβριος του 2021)

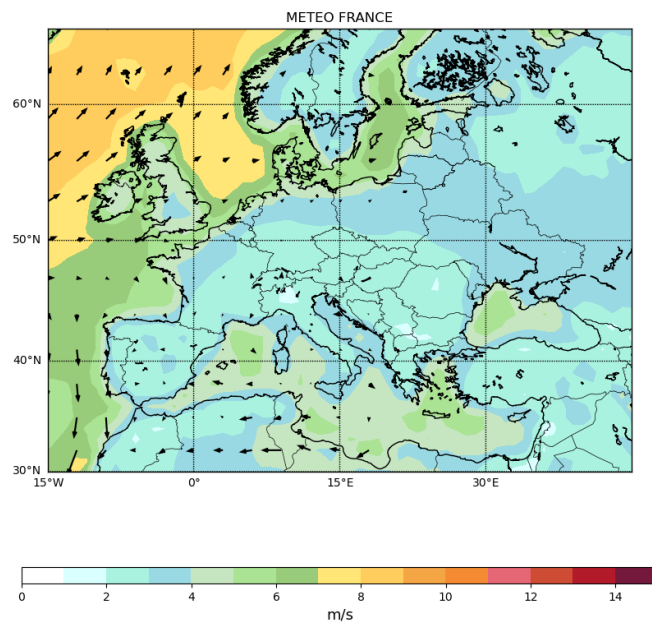


Ταχύτητα ανέμων στα 10m (m/s)

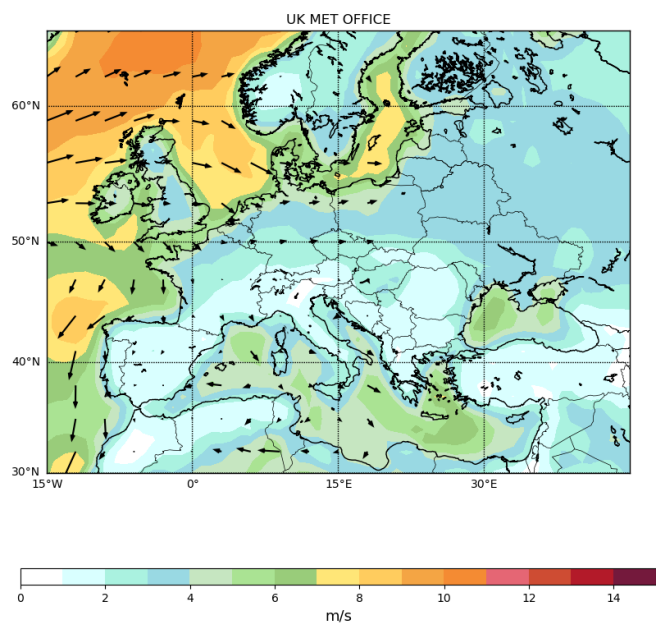
Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



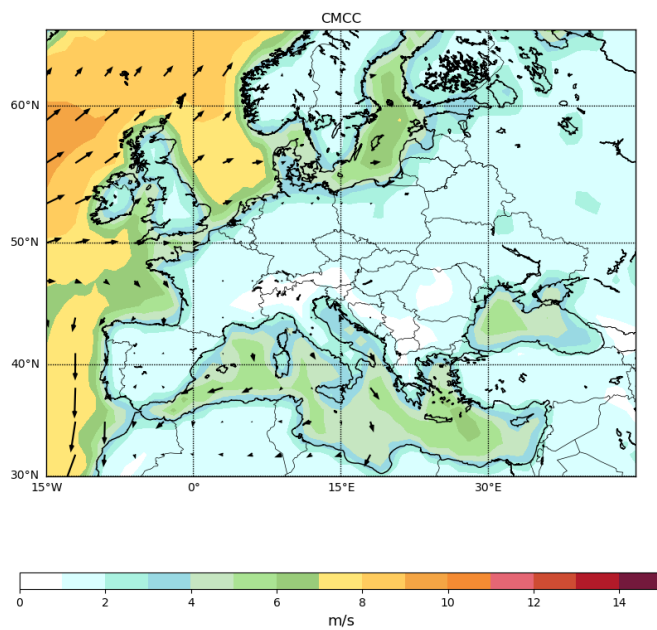
Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



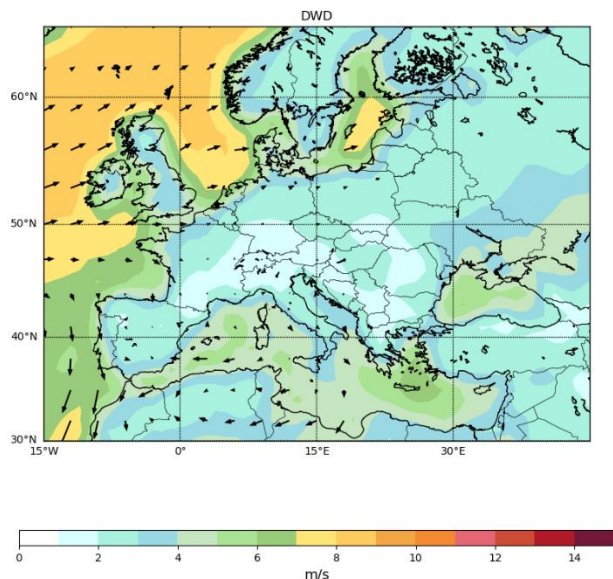
Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



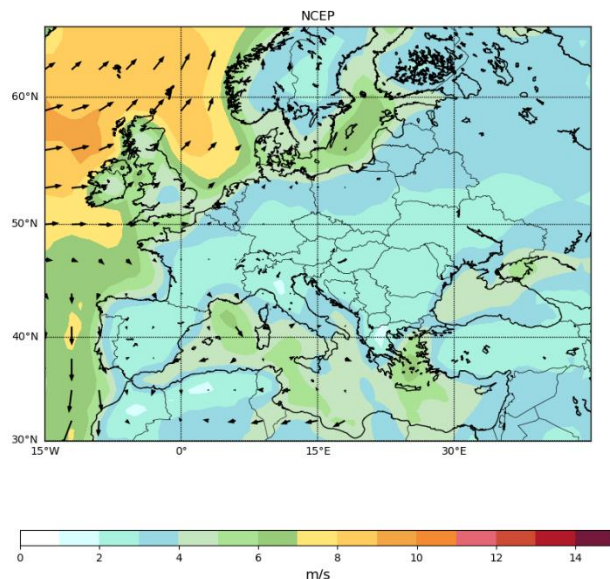
Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



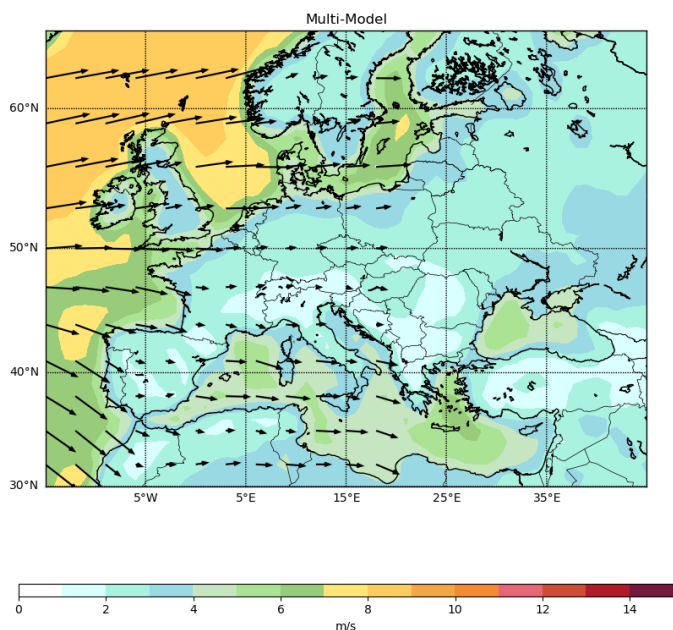
Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



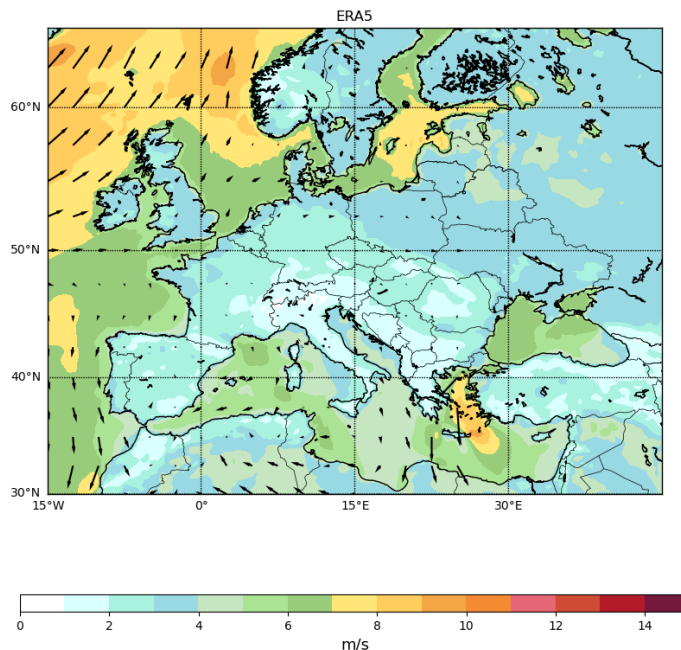
Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



Seasonal forecasts for 09/2021, 10m wind speed and direction



Reanalysis data for 09/2021, 10m wind speed and direction



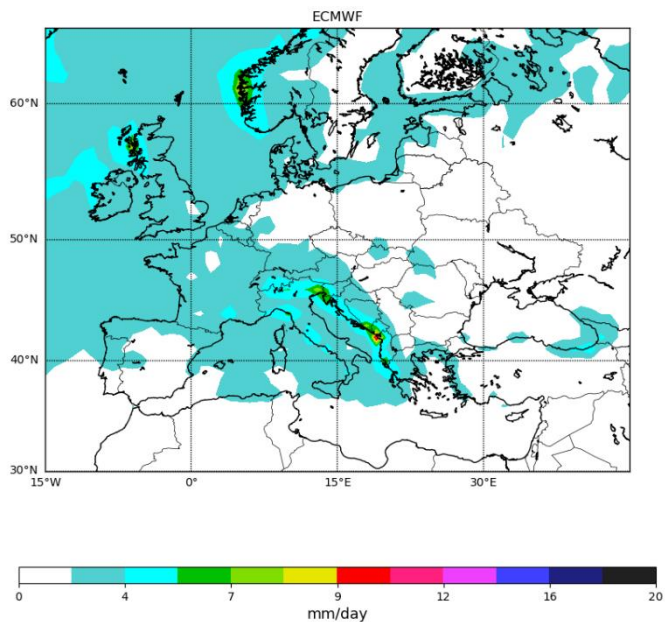
Σχήμα 3. 20 : Προγνωστικοί χάρτες της ταχύτητας ανέμου για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Σεπτέμβριος του 2021)



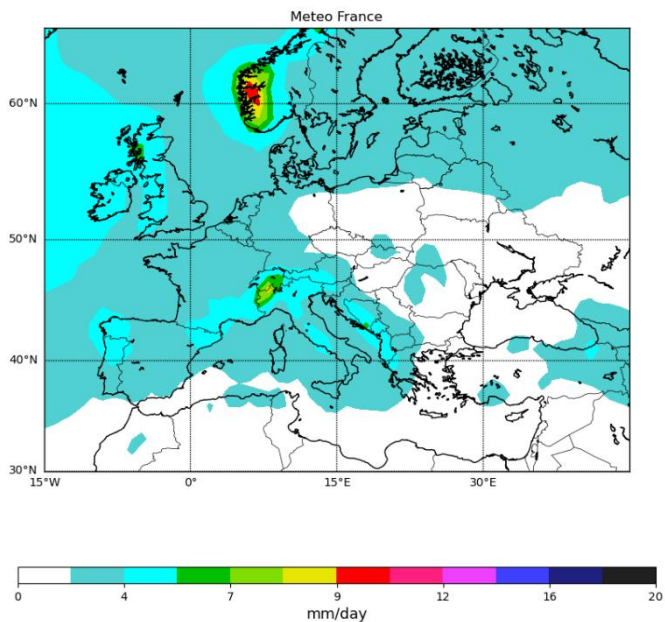
3.1.6 ΜΗΝΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ : ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

Υετός (mm/day)

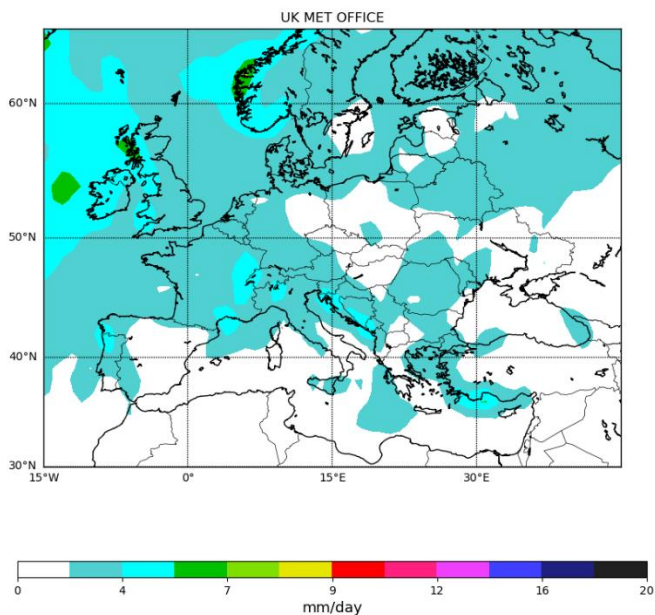
Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



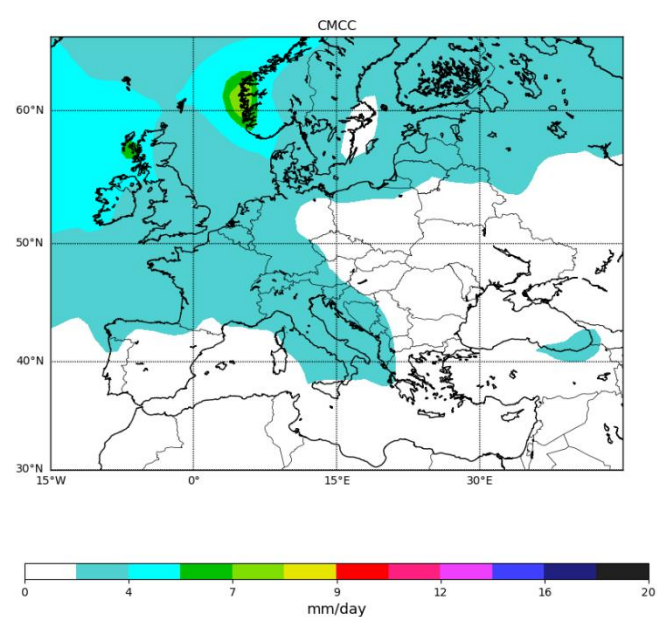
Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



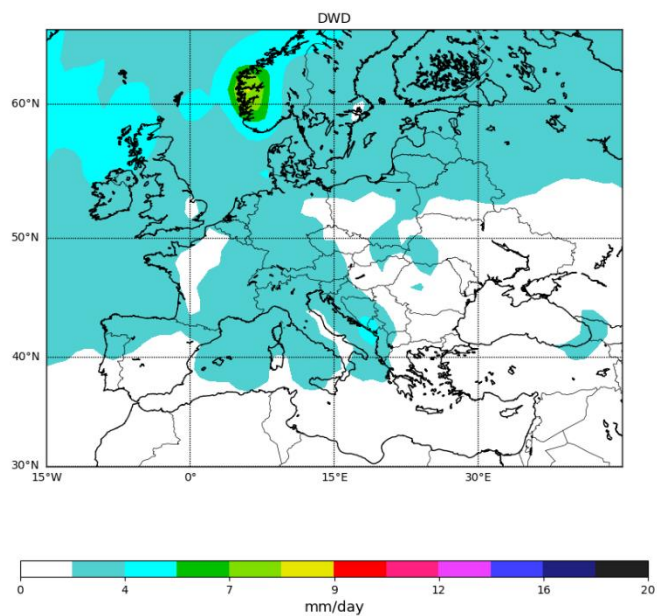
Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



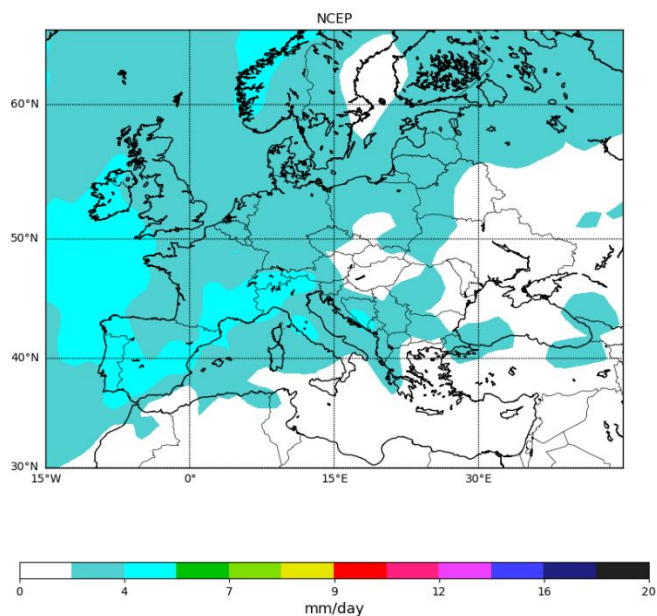
Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



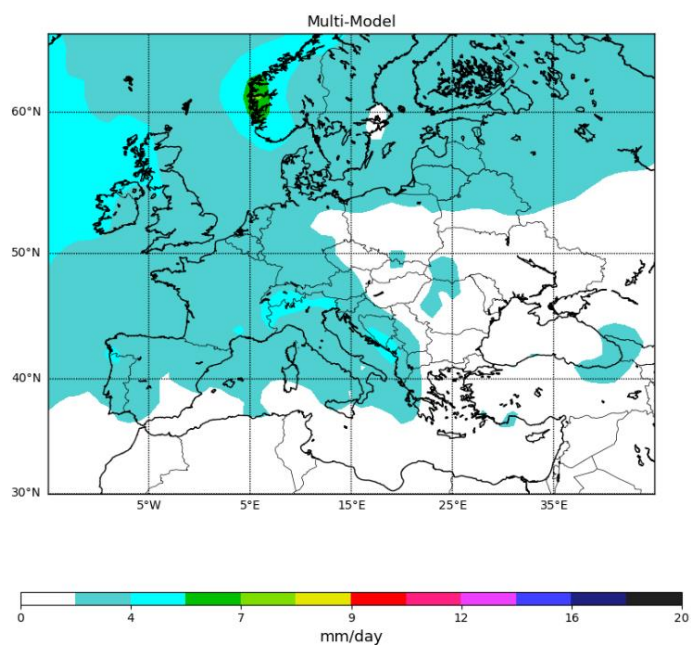
Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



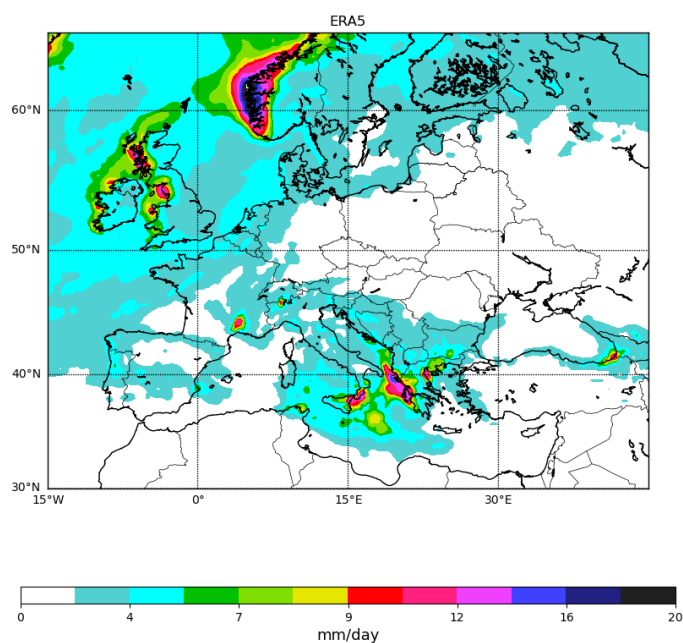
Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



Seasonal forecasts for 10/2021, Total Precipitation



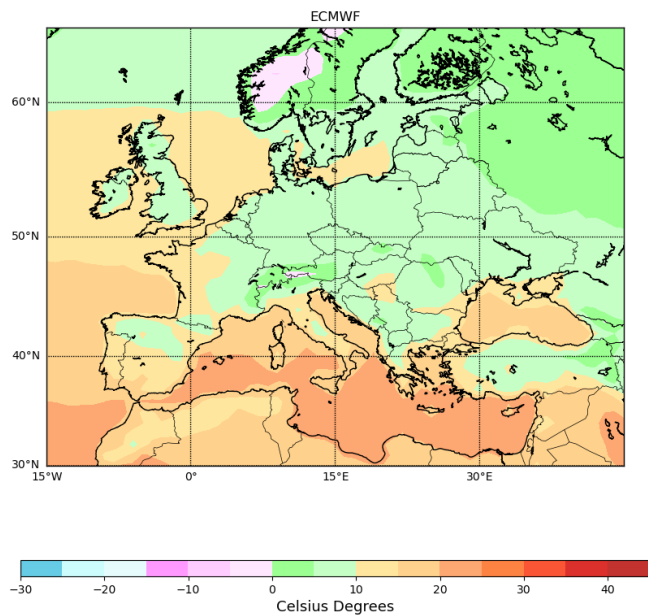
Reanalysis data for 10/2021, Total Precipitation



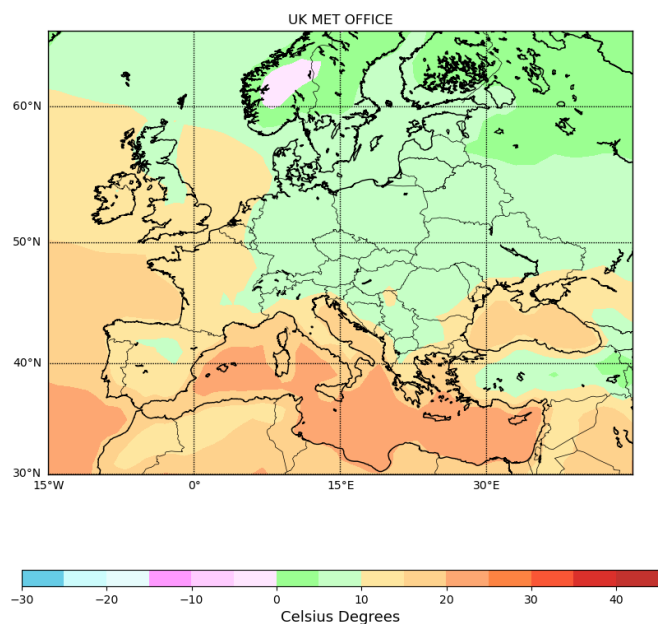
Σχήμα 3. 21 : Προγνωστικοί χάρτες του νετού για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Οκτώβριος του 2021)



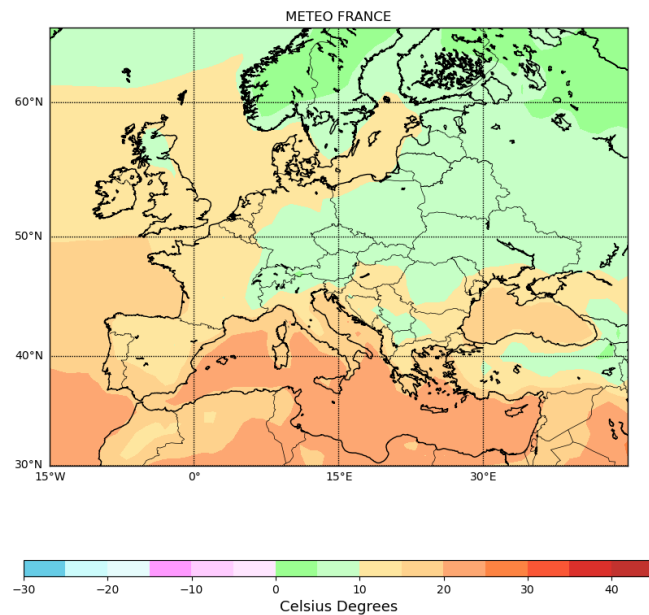
Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



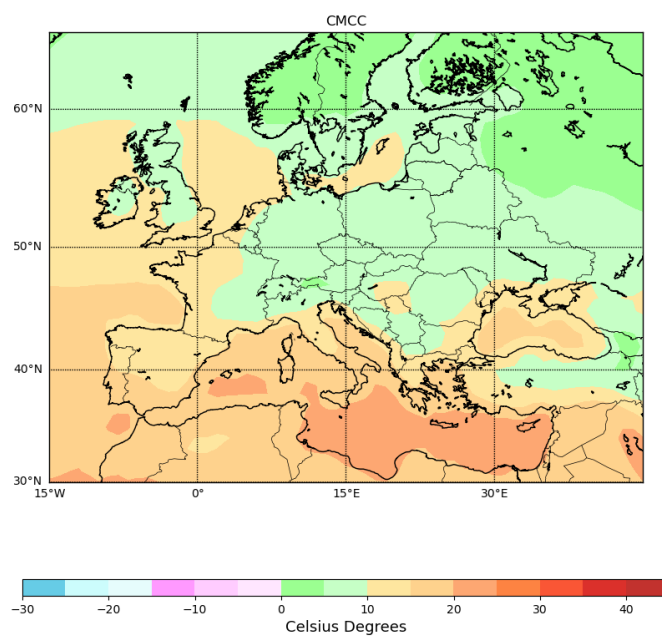
Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



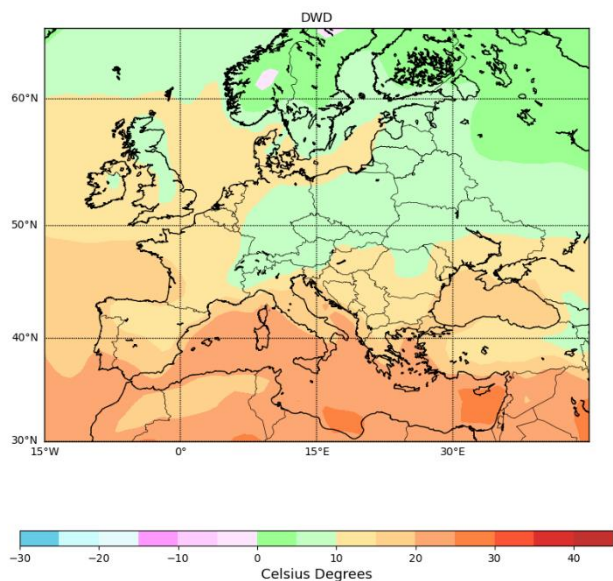
Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



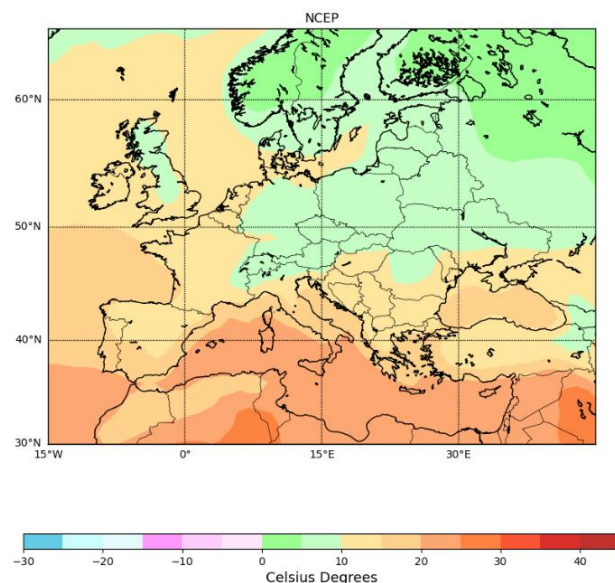
Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



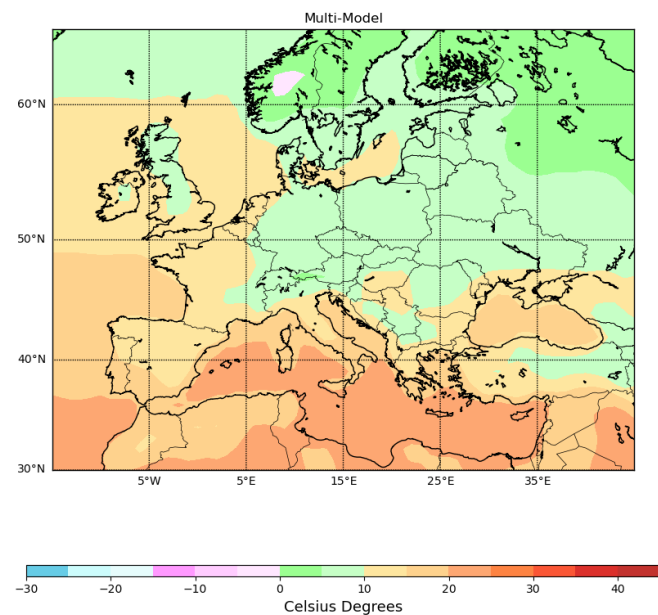
Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



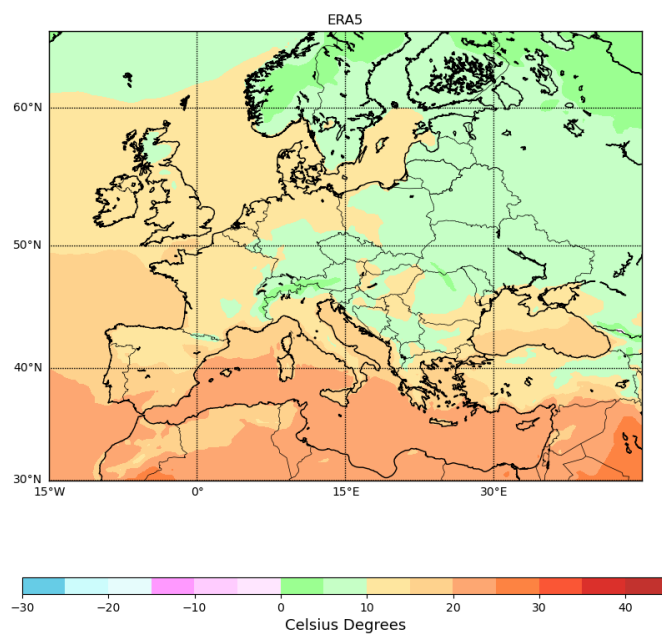
Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



Seasonal forecasts for 10/2021, 2m temperature



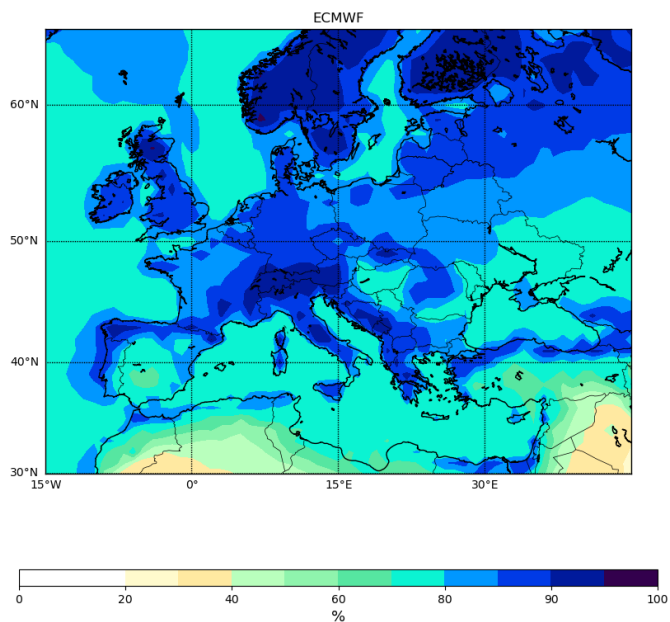
Reanalysis data for 10/2021, 2m temperature



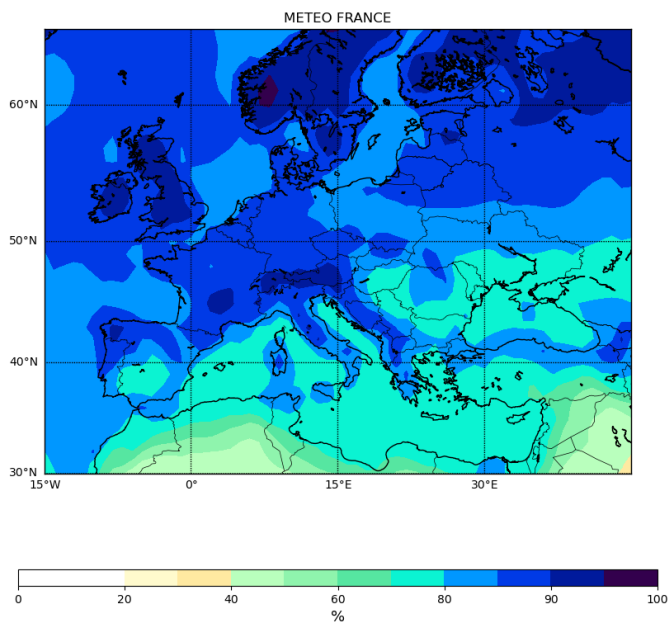
Σχήμα 3. 22 : Προγνωστικοί χάρτες της θερμοκρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Οκτώβριος του 2021)



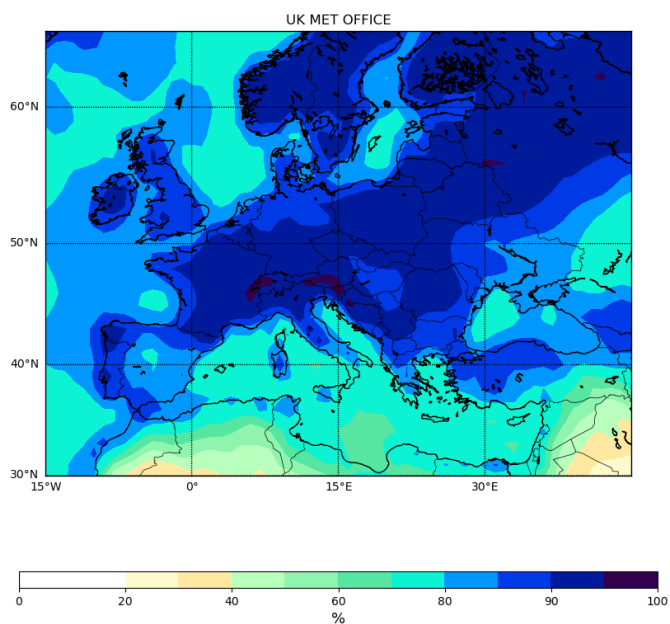
Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



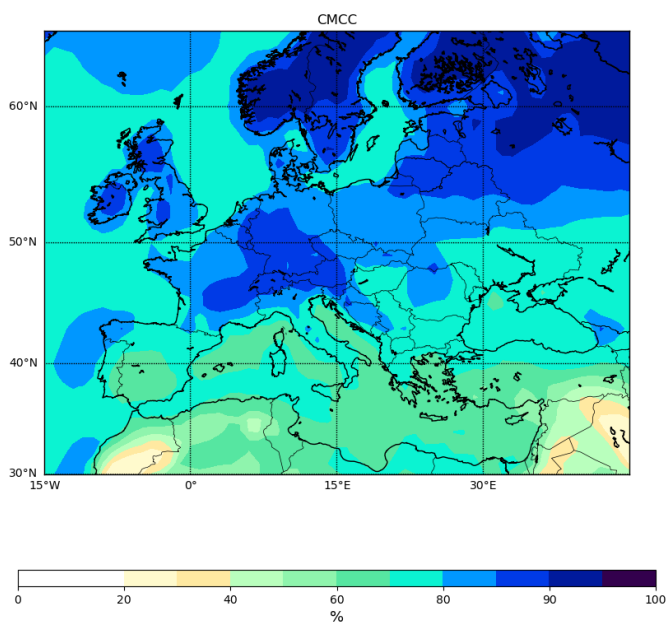
Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



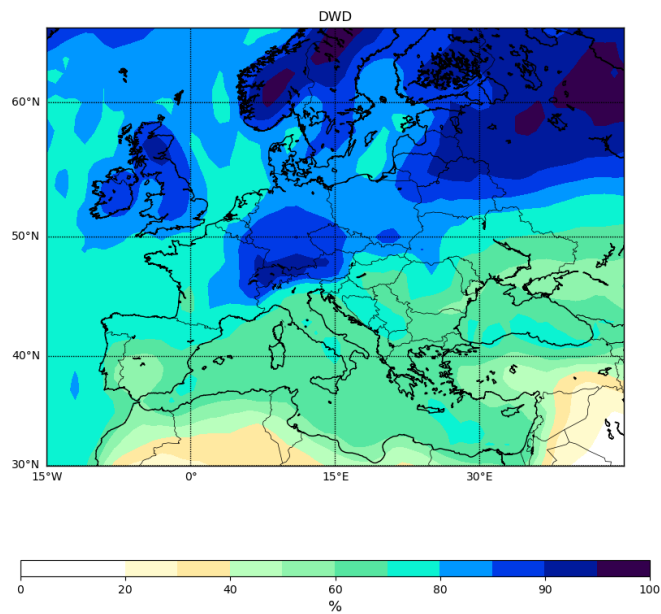
Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



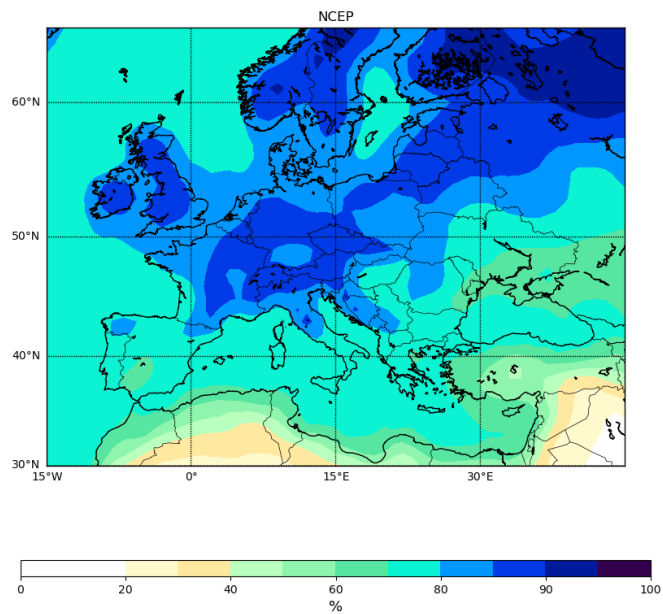
Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



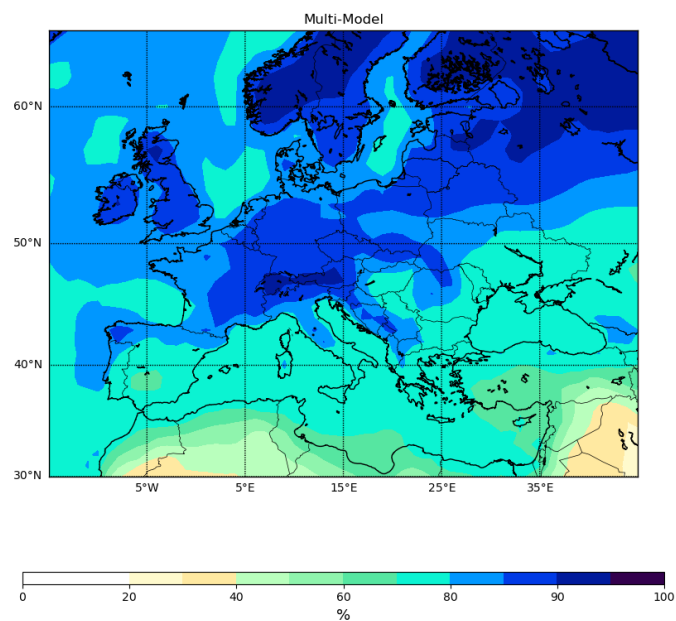
Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



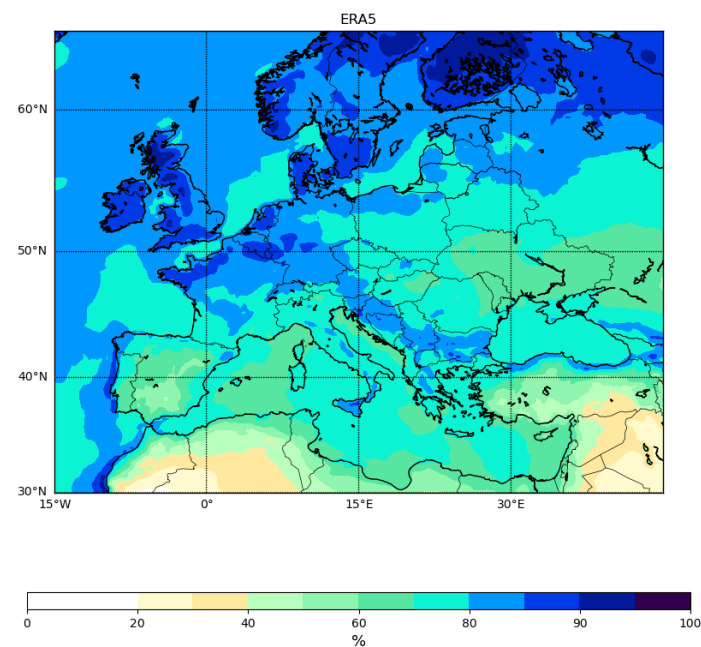
Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



Seasonal forecasts for 10/2021, Relative Humidity



Reanalysis data for 10/2021, Relative Humidity

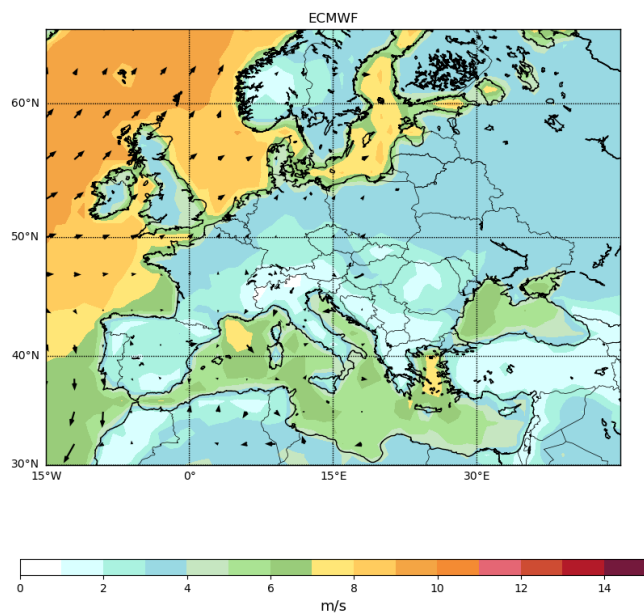


Σχήμα 3. 23 : Προγνωστικοί χάρτες της σχετικής υγρασίας για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Οκτώβριος του 2021)

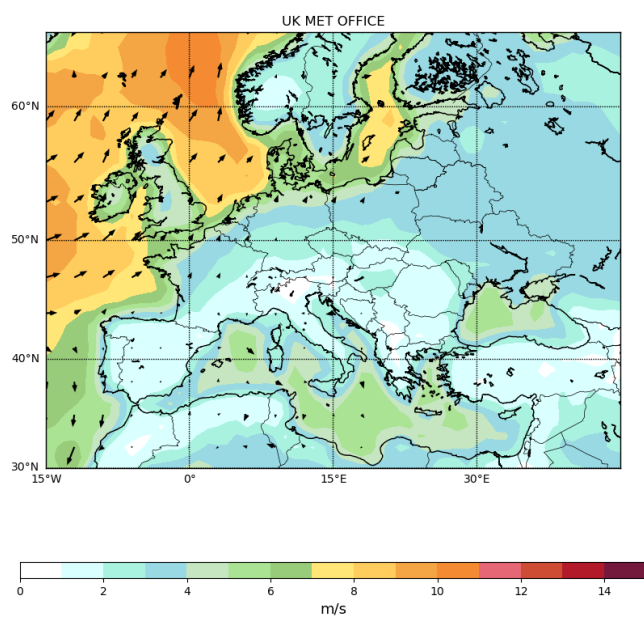


Ταχύτητα ανέμων στα 10m (m/s)

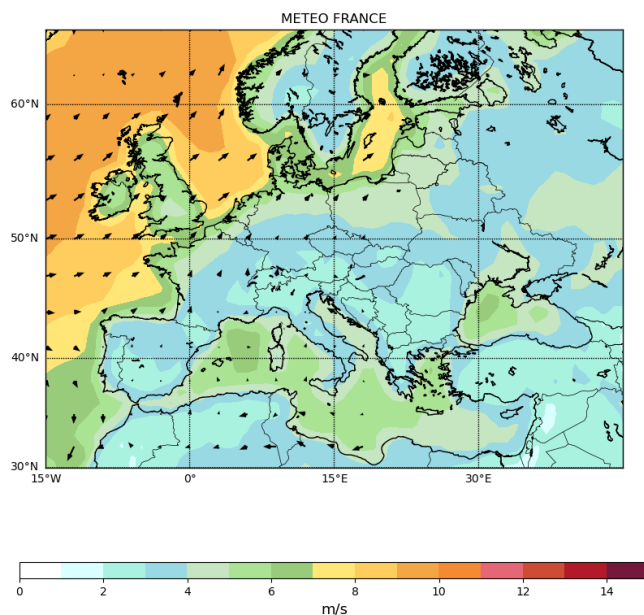
Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



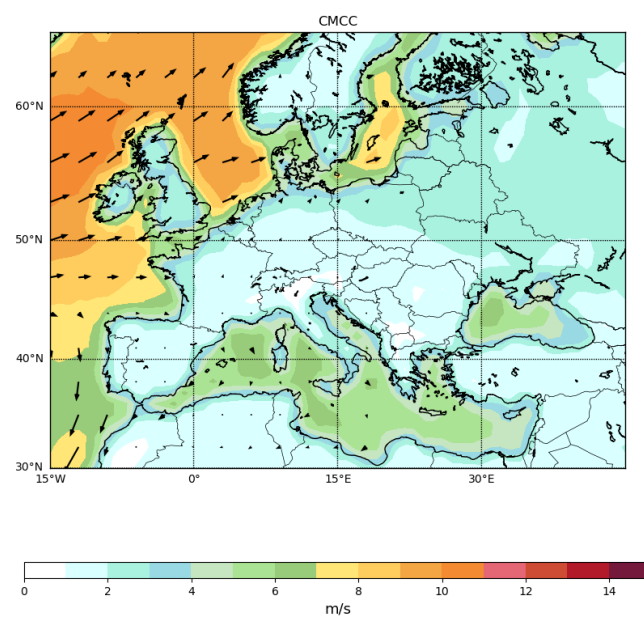
Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



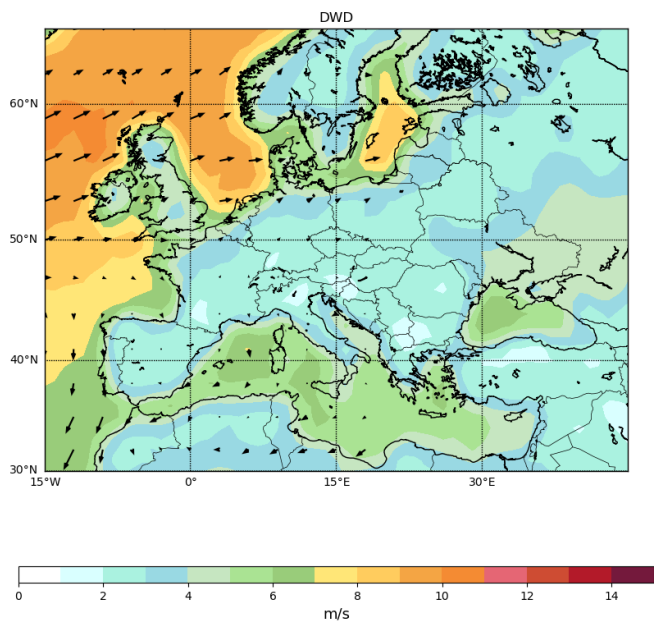
Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



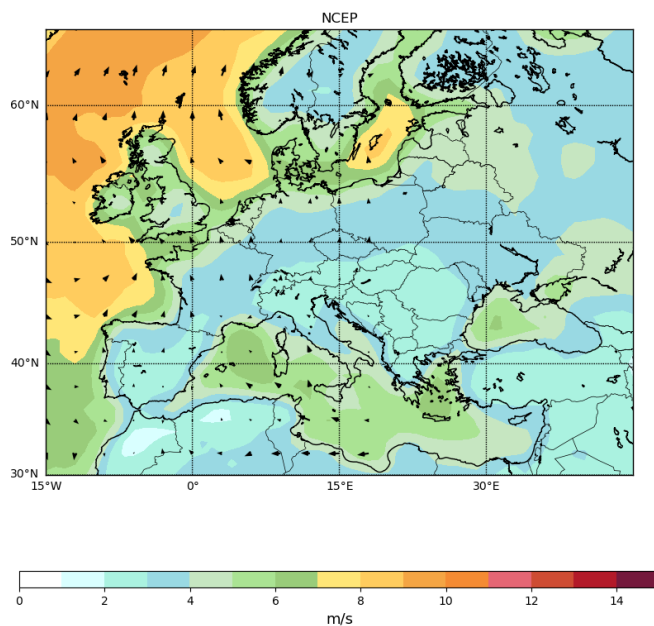
Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



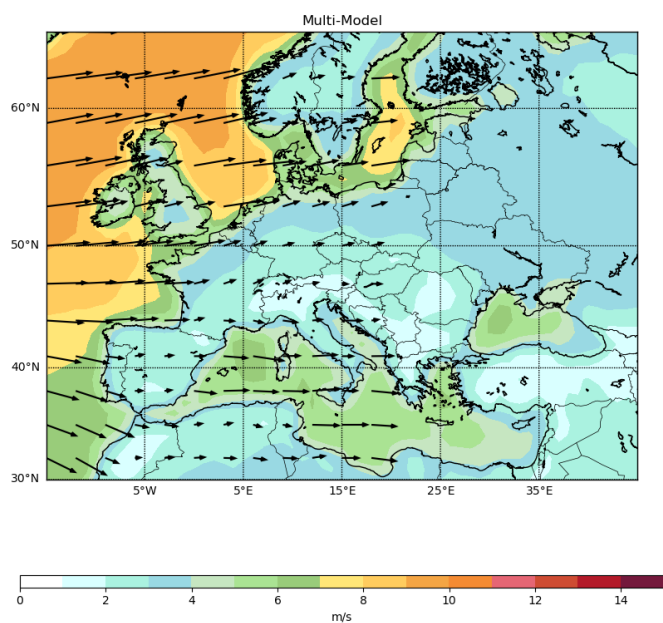
Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



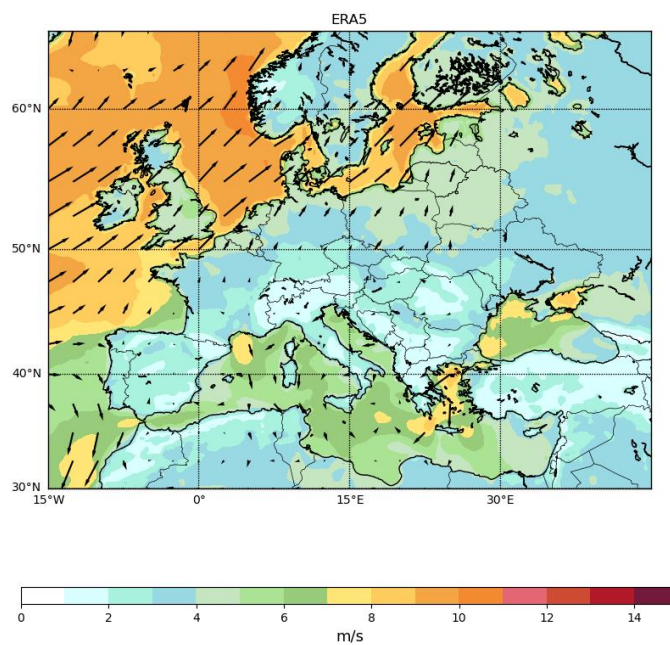
Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



Seasonal forecasts for 10/2021, 10m wind speed and direction



Reanalysis data for 10/2021, 10m wind speed and direction



Σχήμα 3. 24 : Προγνωστικοί χάρτες της ταχύτητας ανέμου για τα 6 προγνωστικά κέντρα, το συνδυαστικό μοντέλο και τα δεδομένα reanalysis (Οκτώβριος του 2021)

3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

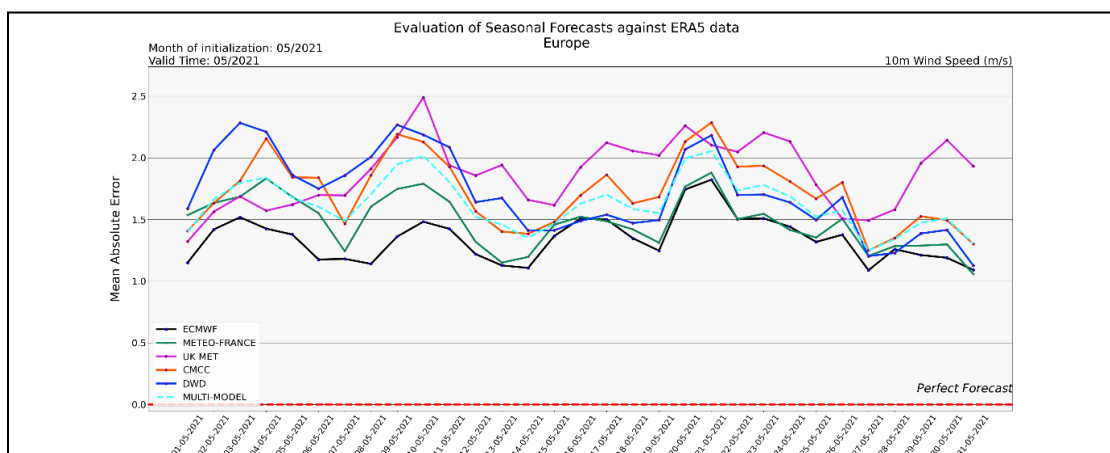
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 (Δεδομένα – Μεθοδολογία), δόθηκε έμφαση σε δύο βασικά σκορ (MAE και FSS), τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια όπως υπολογίστηκαν για την περιοχή μελέτης.

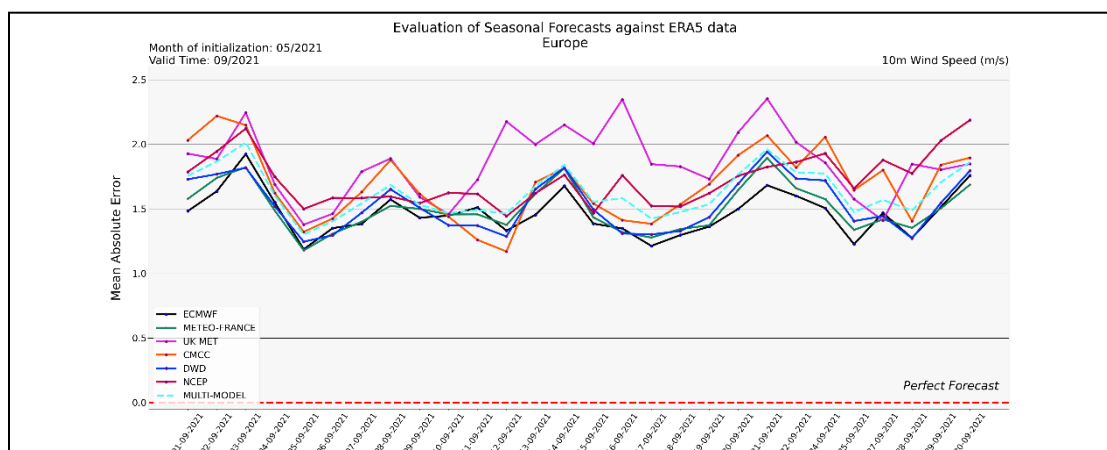
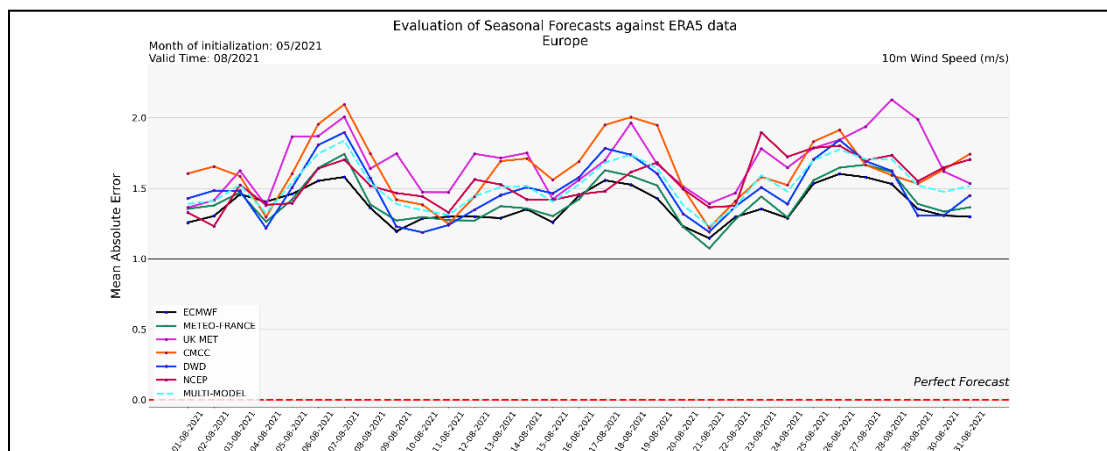
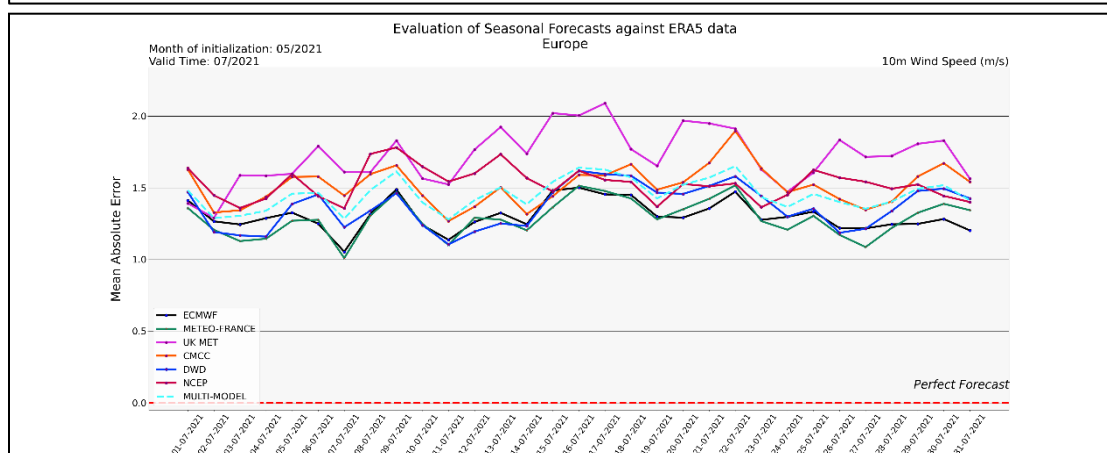
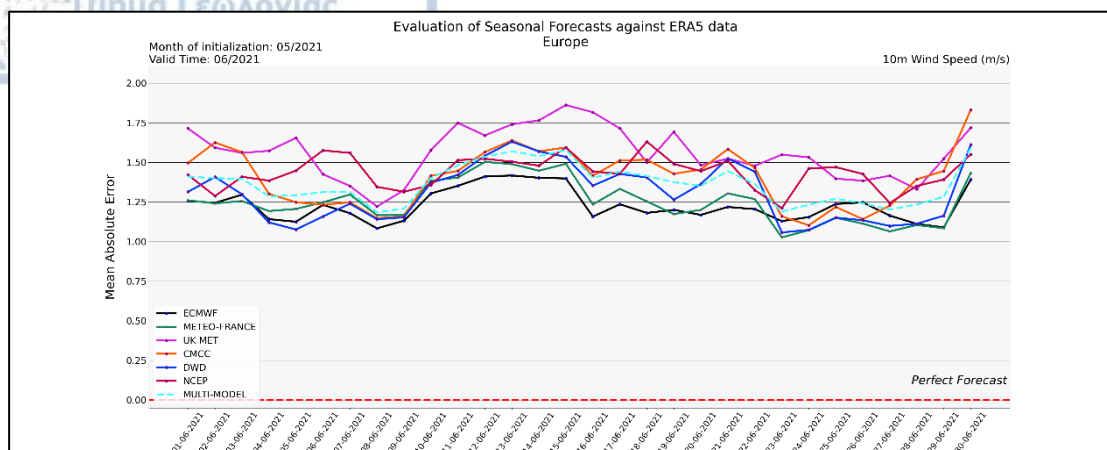
3.2.1 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ 10m

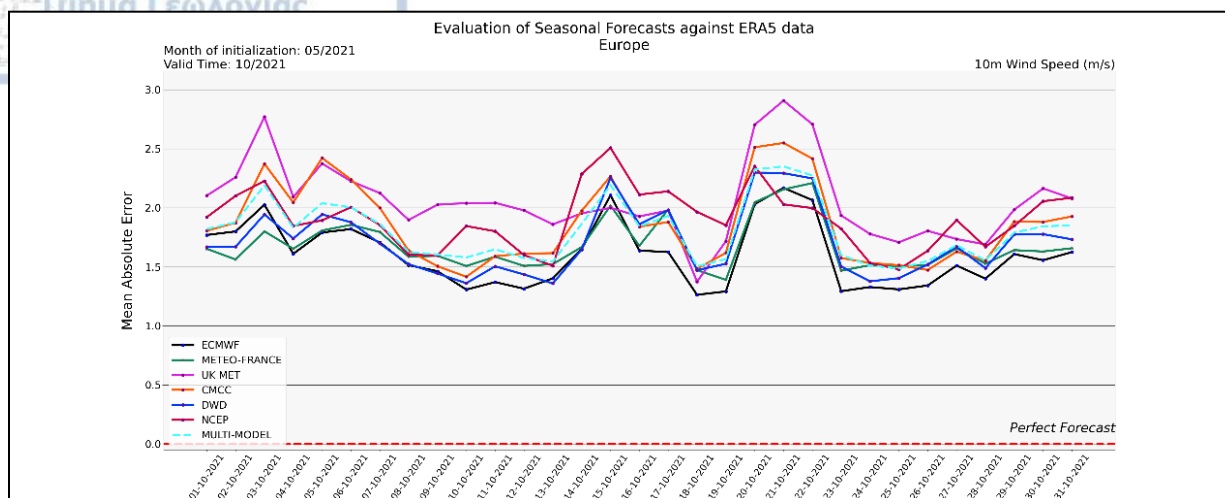
Όσον αφορά την ταχύτητα ανέμου εξετάστηκαν τα παρακάτω κατώφλια, με βάση την κλίμακα μποφόρ, τόσο πάνω από τη θάλασσα όσο και πάνω από τη ξηρά [34]. Πρέπει να διευκρινιστεί πως τα αποτελέσματα χρειάζεται να αξιολογηθούν λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ίδια όρια ταχύτητας χρησιμοποιήθηκαν για τις ηπείρους και τις θαλάσσιες περιοχές:

- Τιμές ταχύτητας ανέμου μεγαλύτερες από 8.5 m/s (>fresh breeze, >5 μποφόρ)
- Τιμές ταχύτητας ανέμου μεγαλύτερες από 14 m/s (>moderate gale, >7 μποφόρ)
- Τιμές ταχύτητας ανέμου μεγαλύτερες από 24.5 m/s (>whole gale, >10 μποφόρ)

Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής (15° W, 45° E, 30° N, 65° N), με ανάλυση 1°x1° παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. 25 το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των προγνώσεων σε ημερήσιο βήμα για κάθε ένα από τους 6 μήνες πρόγνωσης και για καθένα από τα 6 συστήματα και το συνδυαστικό μοντέλο (ECMWF, METEO-FRANCE, UK MET-OFFICE, CMCC, DWD, NCEP, MULTI-MODEL). Σε γενικές γραμμές και για όλους τους μήνες το MAE κυμαίνεται από 1 μέχρι 3 m/s, με το μικρότερο εύρος τιμών (1-2 m/s) να σημειώνεται τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο. Το σφάλμα επίσης παρουσιάζει μια αύξηση στο βάθος του προγνωστικού ορίζοντα. Ο Πίνακας 3. 1 παρουσιάζει επίσης και τις μέσες μηνιαίες τιμές του MAE για κάθε μήνα και κέντρο ξεχωριστά, με τις χαμηλότερες τιμές, που αντιστοιχούν σε καλύτερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με πράσινο χρώμα και με τις υψηλότερες, που αντιστοιχούν σε χειρότερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με κόκκινο χρώμα. Είναι εμφανές, πως το κέντρο με τις περισσότερο αξιόπιστες προβλέψεις για το υπό εξέταση εξάμηνο είναι το ECMWF, ενώ το κέντρο που παρείχε τις λιγότερο αξιόπιστες προβλέψεις είναι το UK MET-OFFICE.







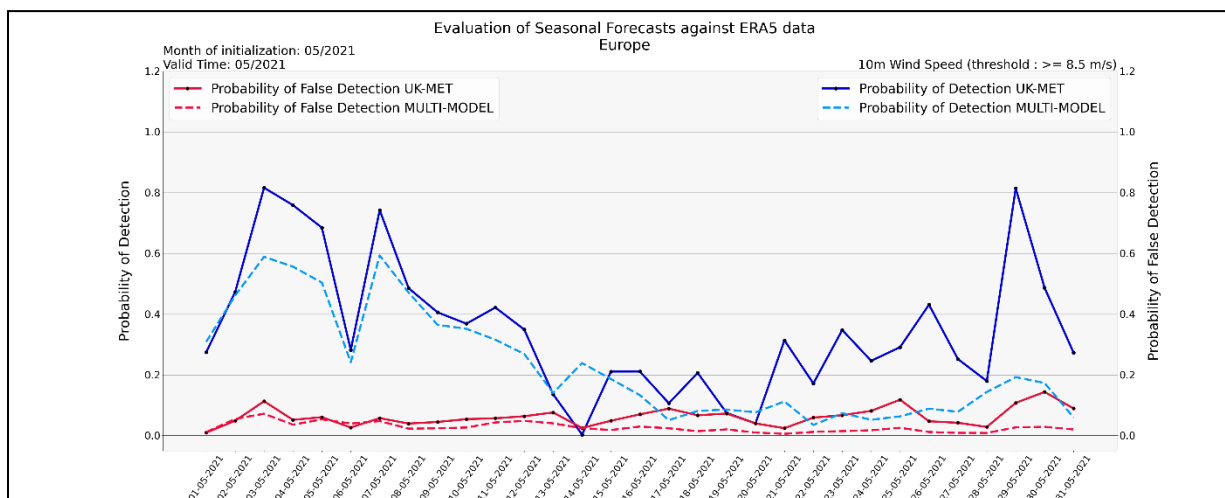
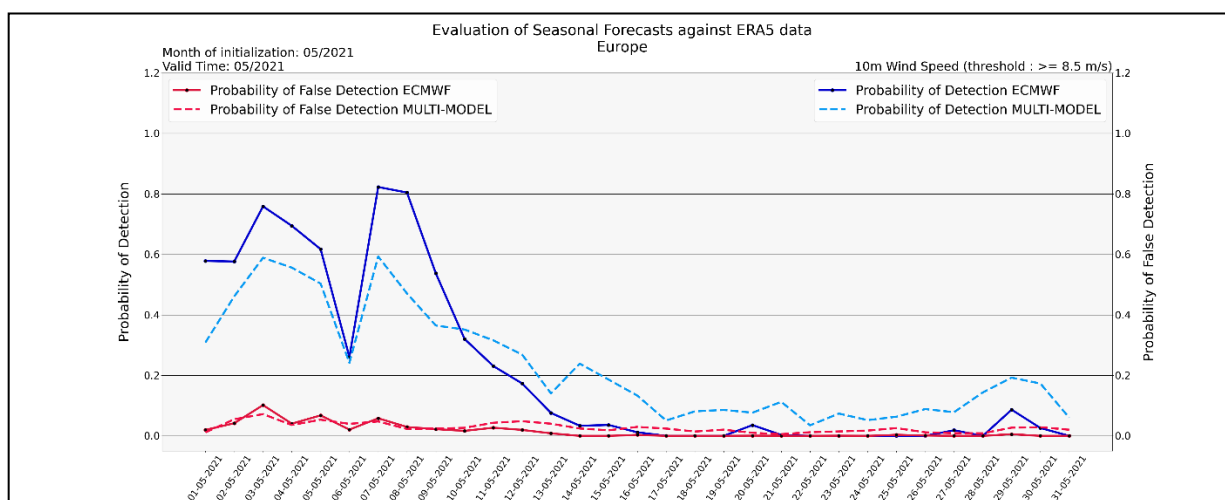
Σχήμα 3. 25 : Διακύμανση του σκορ MAE για την ταχύτητα ανέμου (m/s) για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο με τη σειρά (εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021). Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται οι ημερήσιες τιμές για το MAE με διαφορετικό χρώμα γραμμών για κάθε προγνωστικό κέντρο και με διακεκομμένη κυανή γραμμή για το συνδυαστικό μοντέλο. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στη θέση $y=0$, αντιπροσωπεύει την τέλεια πρόγνωση.

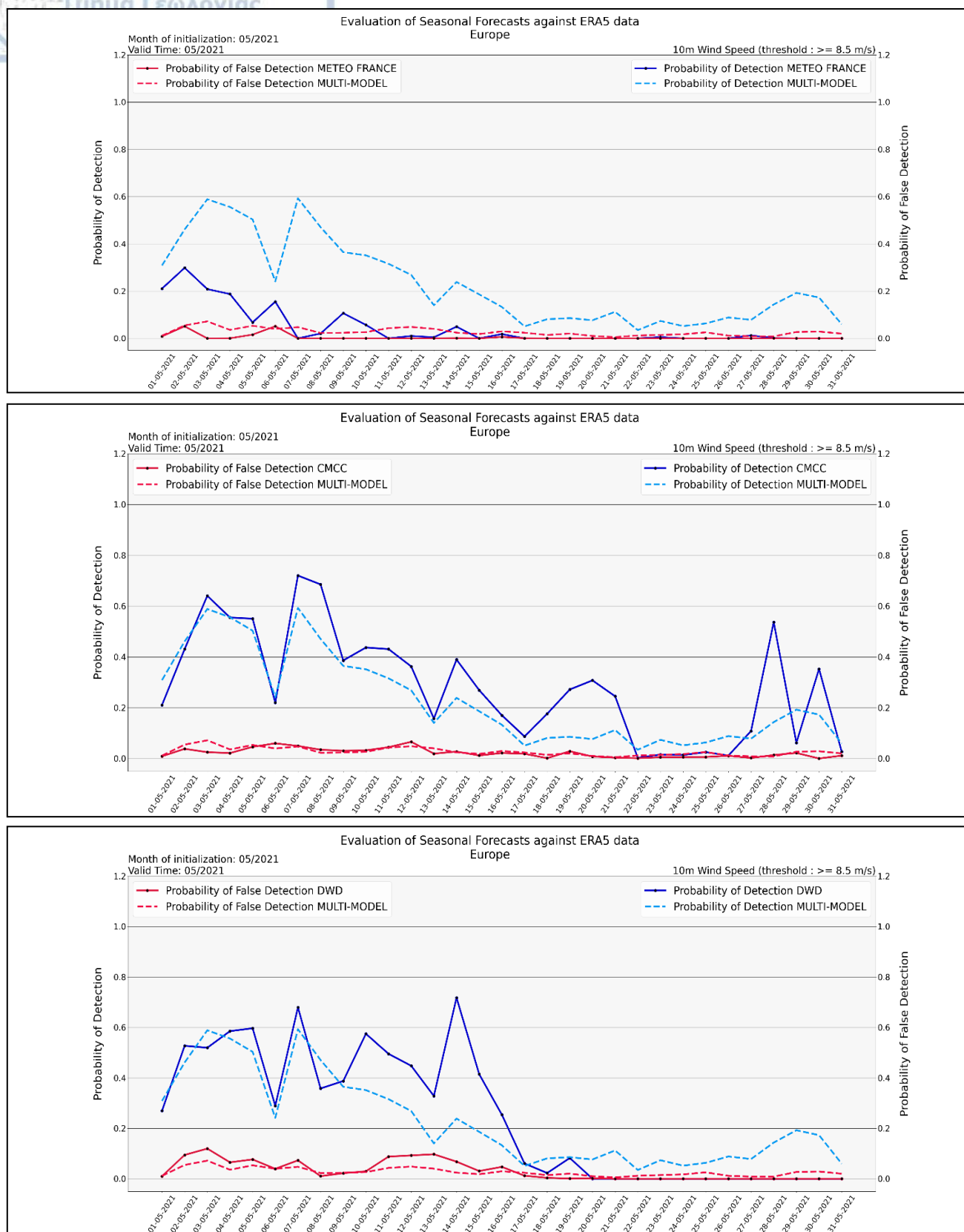
Πίνακας 3. 1 : Μέσες μηνιαίες τιμές του σκορ MAE για τη ταχύτητα ανέμου (m/s) για τα 6 προγνωστικά κέντρα και το συνδυαστικό μοντέλο.

	ECMWF	METEO-FRANCE	UK-MET OFFICE	CMCC	DWD	NCEP	MULTI-MODEL
ΜΑΪΟΣ	1.344	1.482	1.872	1.725	1.714		1.627
ΙΟΥΝΙΟΣ	1.229	1.253	1.562	1.405	1.306	1.437	1.365
ΙΟΥΛΙΟΣ	1.306	1.289	1.721	1.515	1.367	1.529	1.454
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1.382	1.415	1.678	1.637	1.491	1.545	1.525
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1.467	1.503	1.855	1.689	1.533	1.724	1.629
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1.604	1.683	2.063	1.860	1.710	1.906	1.804

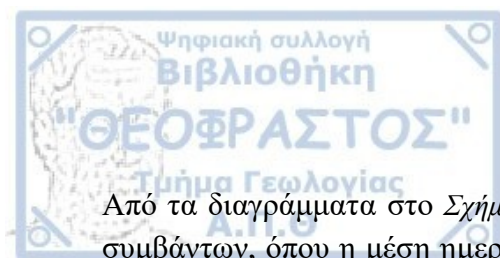
Στα σχήματα Σχήμα 3. 26 - Σχήμα 3. 28, παρουσιάζονται τα POD και POFD για κάθε κέντρο (με συμπαγή γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (με διακεκομμένη γραμμή) για το κατώφλι των 8.5 m/s. Το POFD, που δείχνει το ποσοστό λανθασμένου συναγερμού, κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές καθ' όλη την διάρκεια των ημερών πρόγνωσης.

Επιπλέον, από τα διαγράμματα για τα κατώφλια των 14 m/s και 24.5 m/s, φάνηκε πως κανένα κέντρο δεν μπόρεσε να ανιχνεύσει γεγονότα με τέτοιες ταχύτητες ανέμου, που είναι λογικό εφόσον και στα δεδομένα reanalysis δεν εμφανίζονται τιμές που να εμπίπτουν σε αυτά τα όρια, όπως διακρίνεται από τους χάρτες επανάλυσης (reanalysis) στο κεφάλαιο 3.1. Για αυτόν το λόγο, στα διαγράμματα Σχήμα 3. 26- Σχήμα 3. 28 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για το κατώφλι των 8.5 m/s.

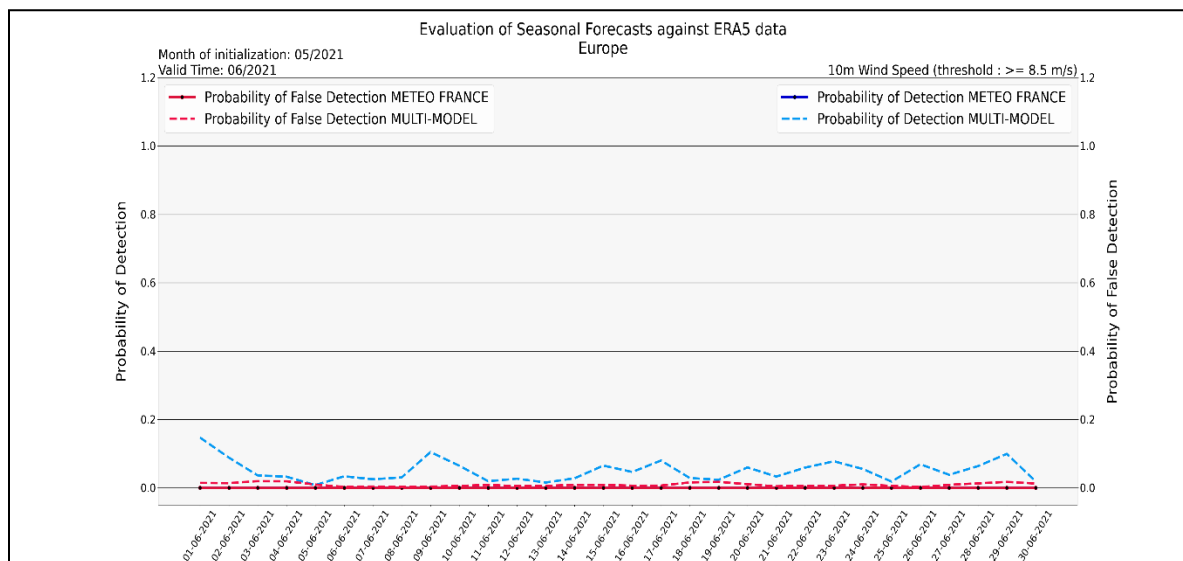
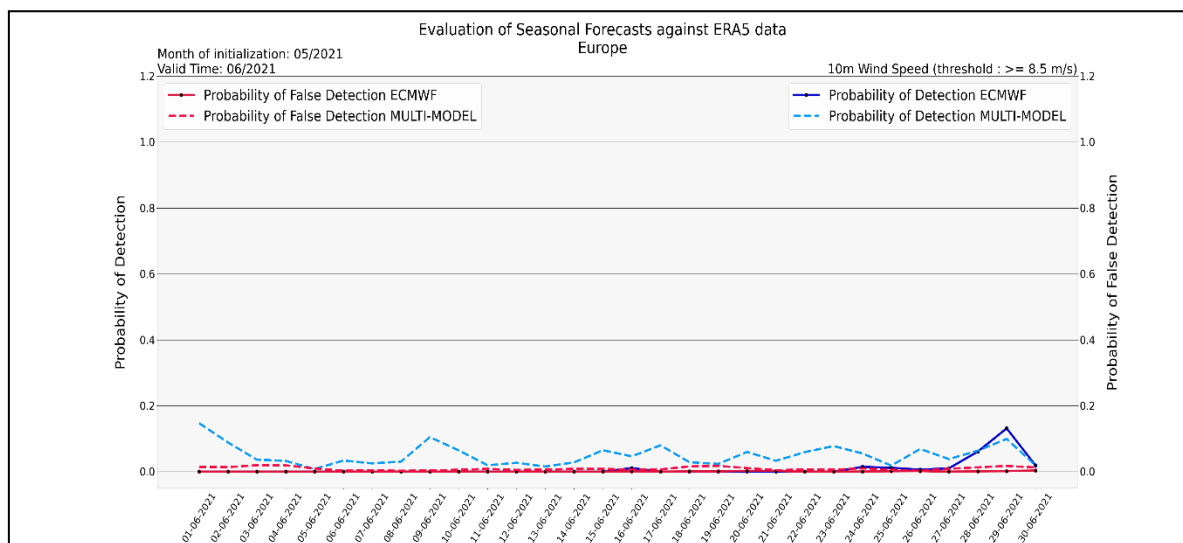


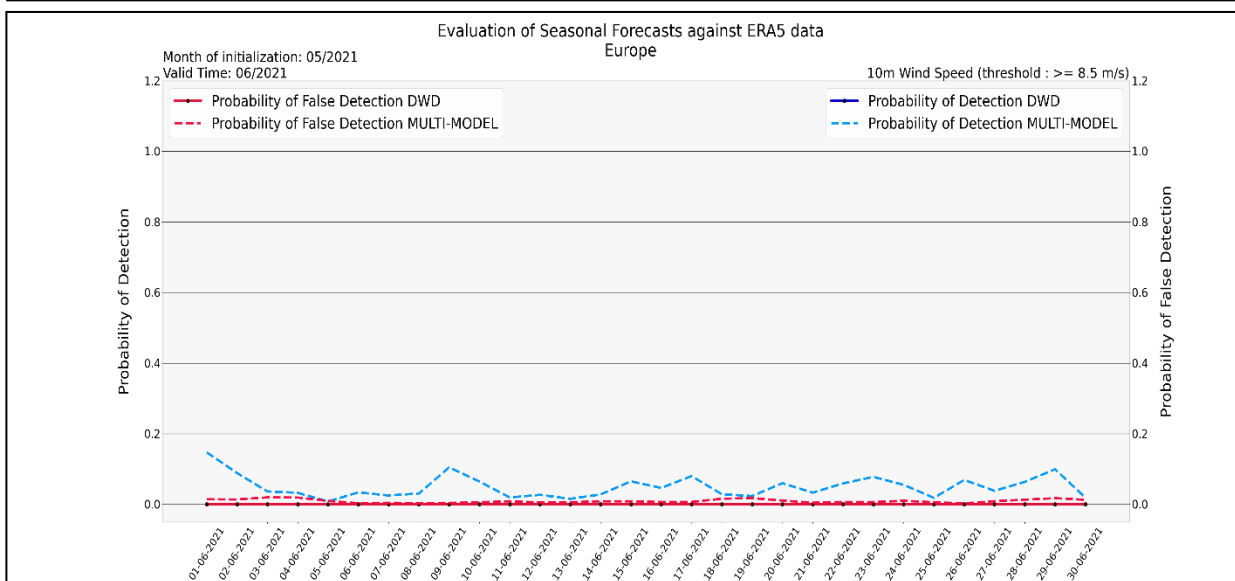
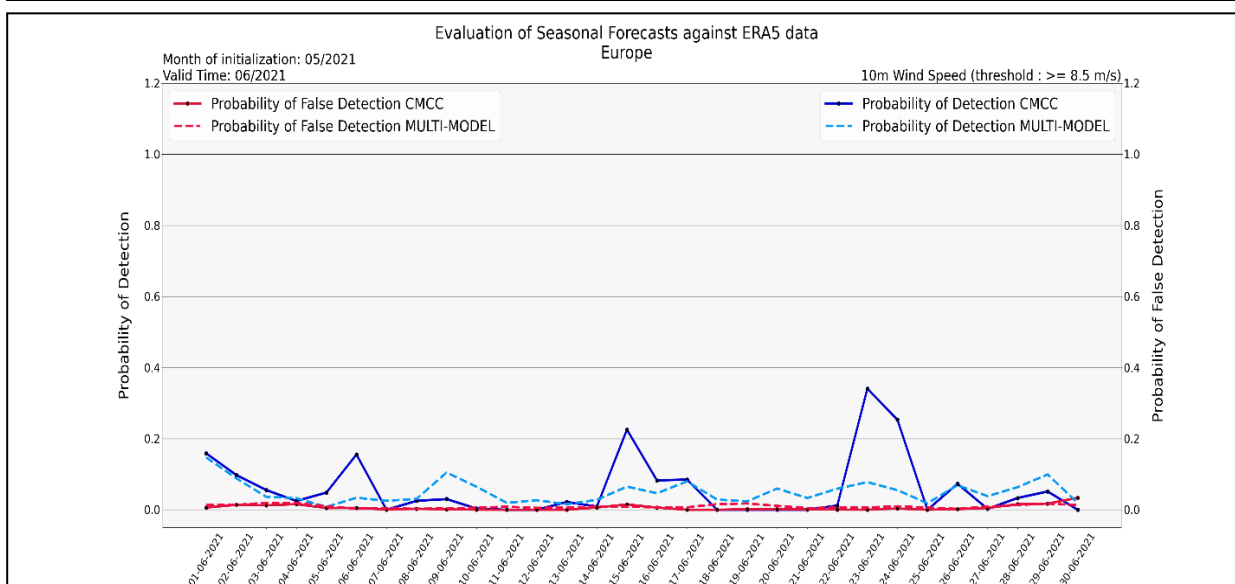
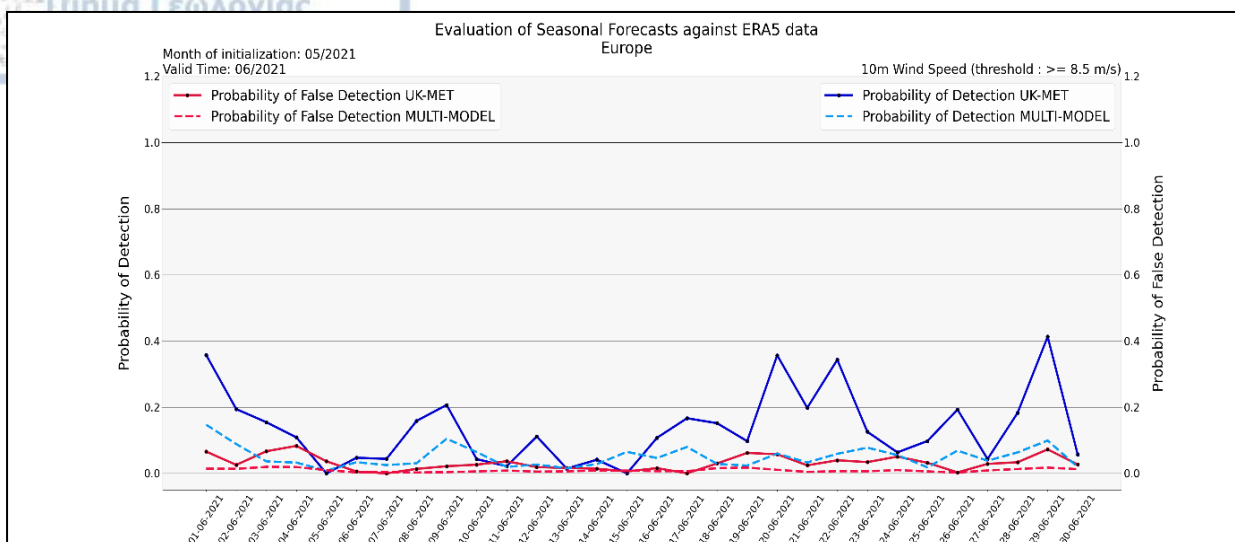


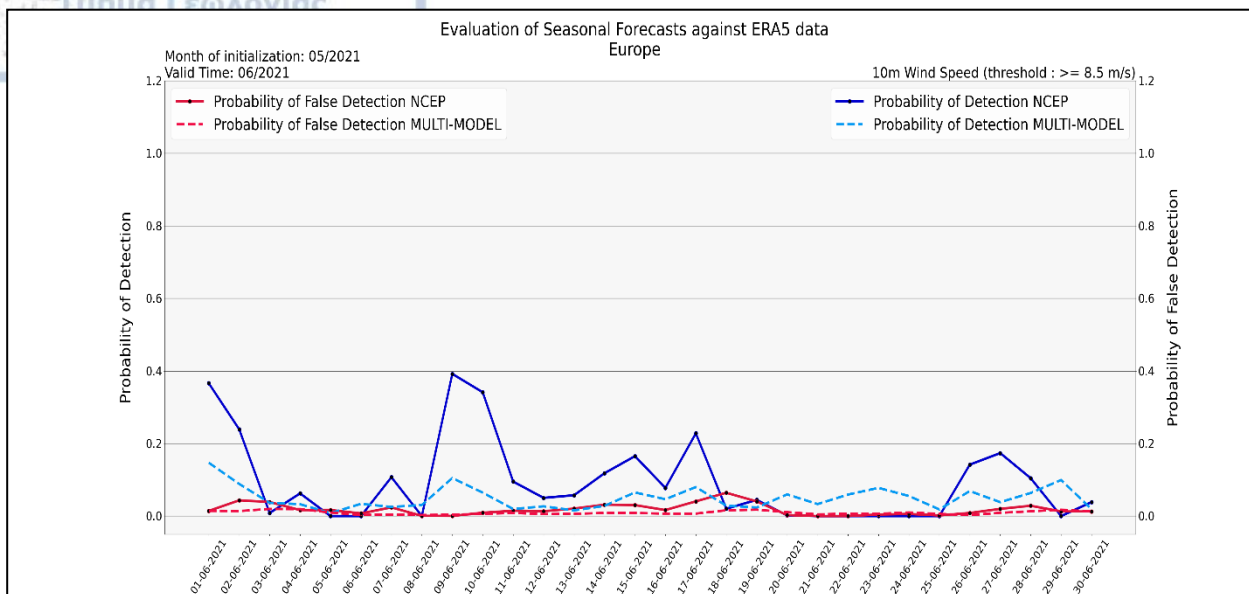
Σχήμα 3. 26 : Διαγράμματα POD (μπλε χρώμα), POFD (κόκκινο) για το κατώφλι των 8.5 m/s για τον Μάιο 2021 για κάθε προγνωστικό κέντρο (συμπαγής γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (διακεκομμένη γραμμή). Εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC.



Από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3. 26 προκύπτει πως επιτυχία στην ανίχνευση καιρικών συμβάντων, όπου η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ξεπέρασε τα 8.5 m/s, είχαν όλα τα απεικονιζόμενα κέντρα, με εξαίρεση το METEO-FRANCE, ιδιαίτερα για το πρώτο δεκαπενθήμερο του Μαΐου. Το συνδυαστικό μοντέλο φαίνεται να είχε συστηματικά μέσα στον μήνα μεγαλύτερη επιτυχία ανίχνευσης μόνο σε σχέση με το κέντρο METEO-FRANCE.

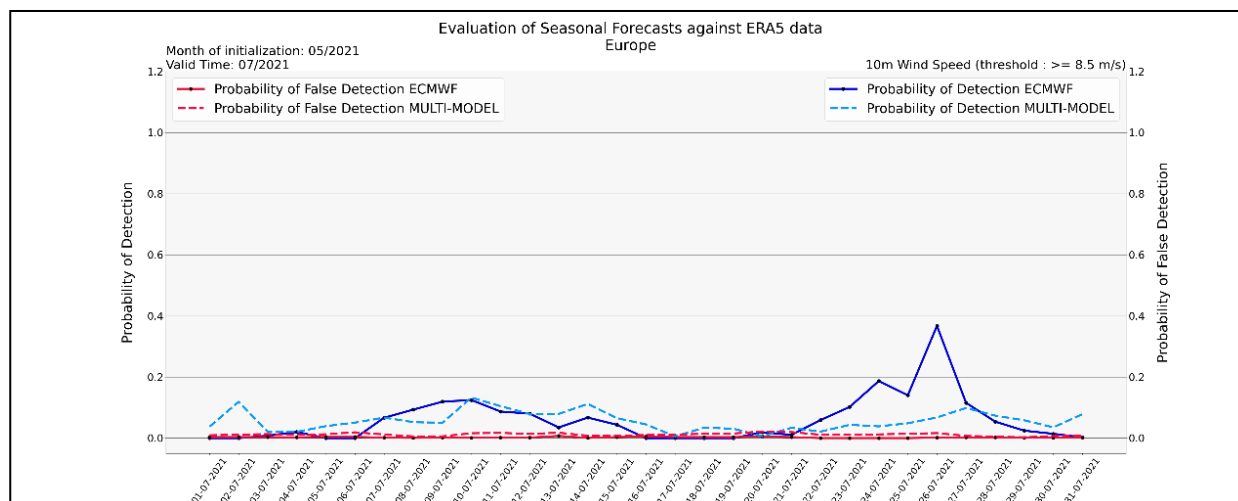


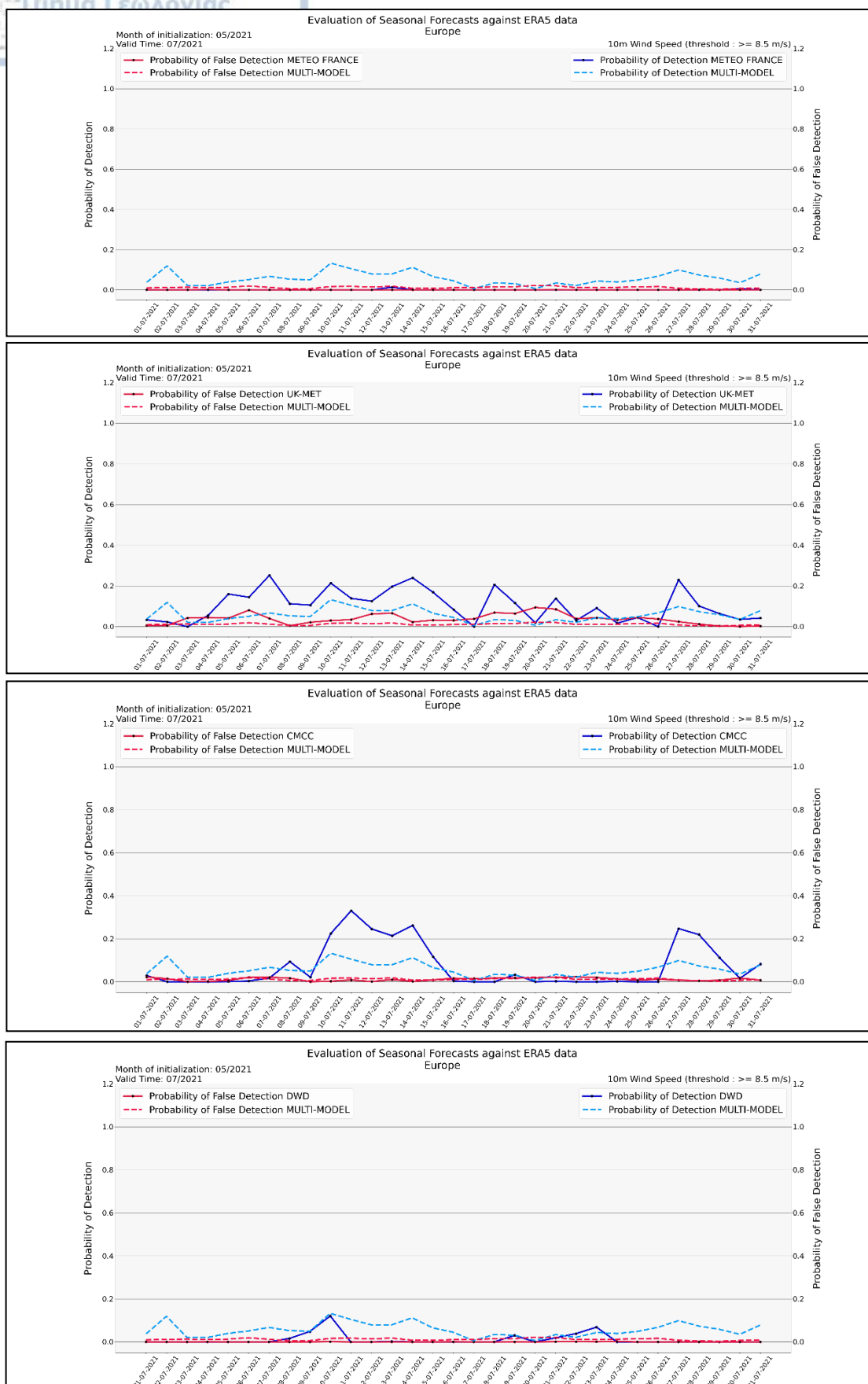


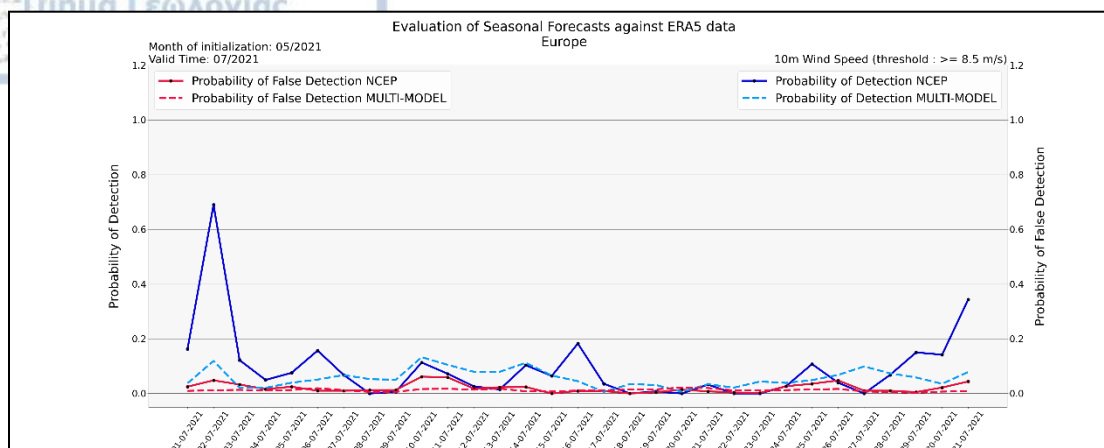


Σχήμα 3. 27 : Διαγράμματα POD (μπλε χρώμα) ,POFD (κόκκινο) για το κατώφλι των 8.5 m/s για τον Ιούνιο 2021 για κάθε προγνωστικό κέντρο (συμπαγής γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (διακεκομμένη γραμμή). Εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP.

Από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3. 27 προκύπτει πως τον Ιούνιο 2021 μεγαλύτερη επιτυχία στην ανίχνευση καιρικών συμβάντων, όπου η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ξεπέρασε τα 8.5 m/s, είχαν τα κέντρα UK MET-OFFICE, CMCC και NCEP. Το συνδυαστικό μοντέλο φαίνεται να είχε συστηματικά μέσα στον Ιούνιο του 2021 μεγαλύτερη επιτυχία ανίχνευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα 3 κέντρα.







Σχήμα 3. 28 : Διαγράμματα POD (μπλε χρώμα) ,POFD (κόκκινο) για το κατώφλι των 8.5 m/s για τον Ιούλιο 2021 για κάθε προγνωστικό κέντρο (συμπαγής γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (διακεκομμένη γραμμή). Εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP.

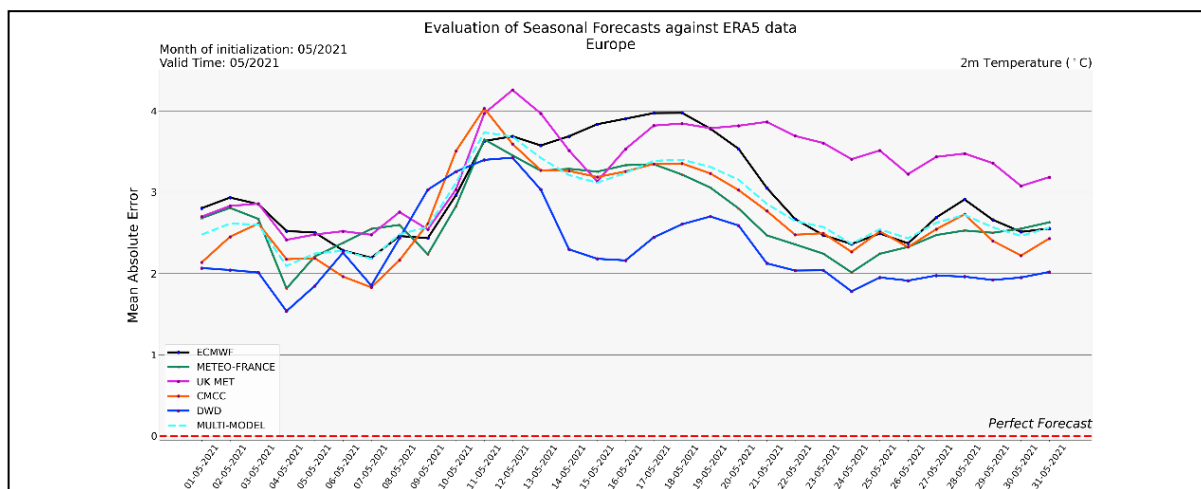
Από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3. 28 προκύπτει πως τον Ιούλιο 2021 μεγαλύτερη επιτυχία στην ανίχνευση καιρικών συμβάντων, όπου η μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου ξεπέρασε τα 8.5 m/s, είχαν τα κέντρα UK MET-OFFICE, CMCC, NCEP και ECMWF. Το συνδυαστικό μοντέλο φαίνεται να είχε συστηματικά μέσα στον μήνα μεγαλύτερη επιτυχία ανίχνευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα 2 κέντρα. Η ίδια κατάσταση από άποψη ανίχνευσης των συγκεκριμένων καιρικών φαινομένων με τον Ιούλιο επικρατεί και για τους υπόλοιπους μήνες (Αύγουστο-Σεπτέμβριο-Οκτώβριο, οι οποίοι δεν δείχνονται).

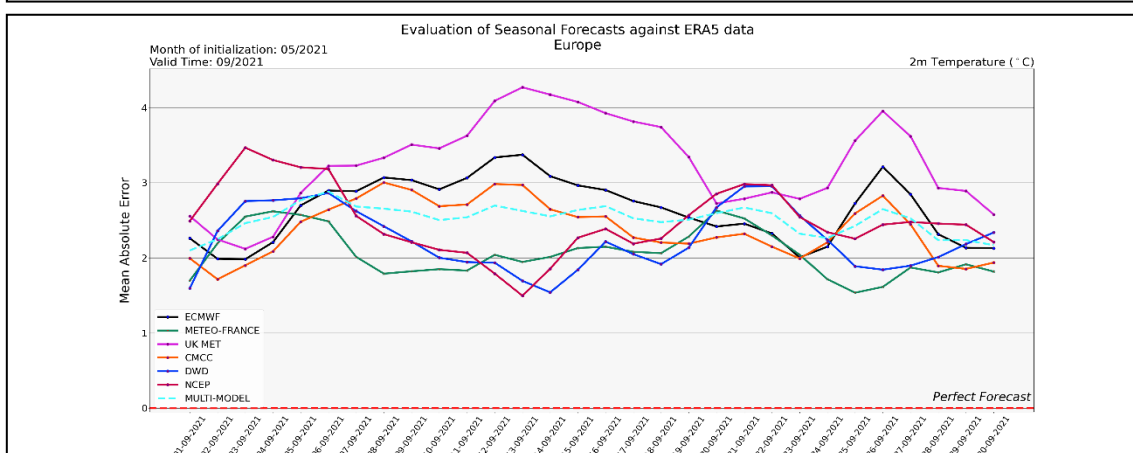
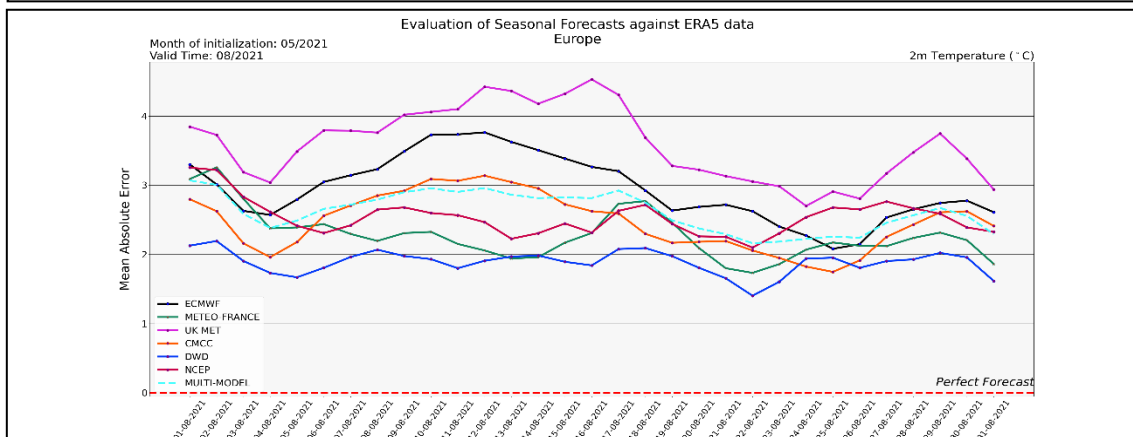
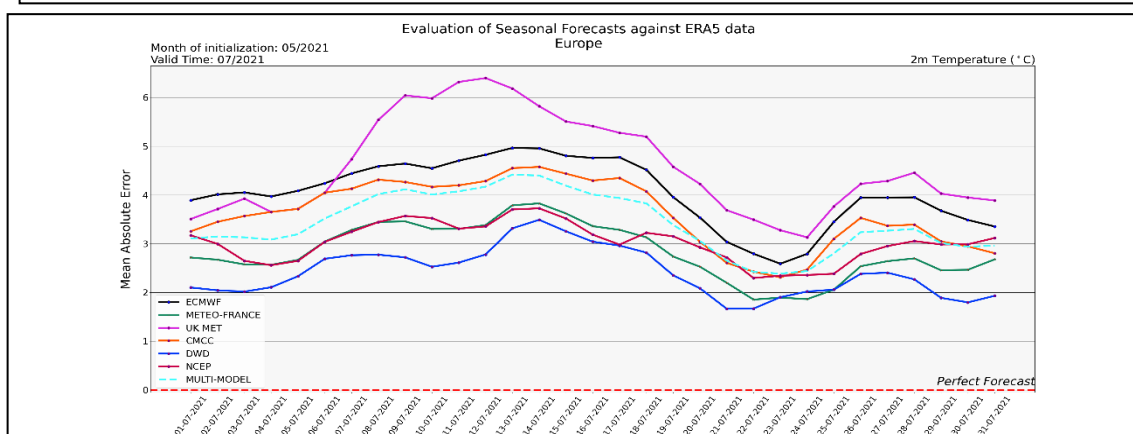
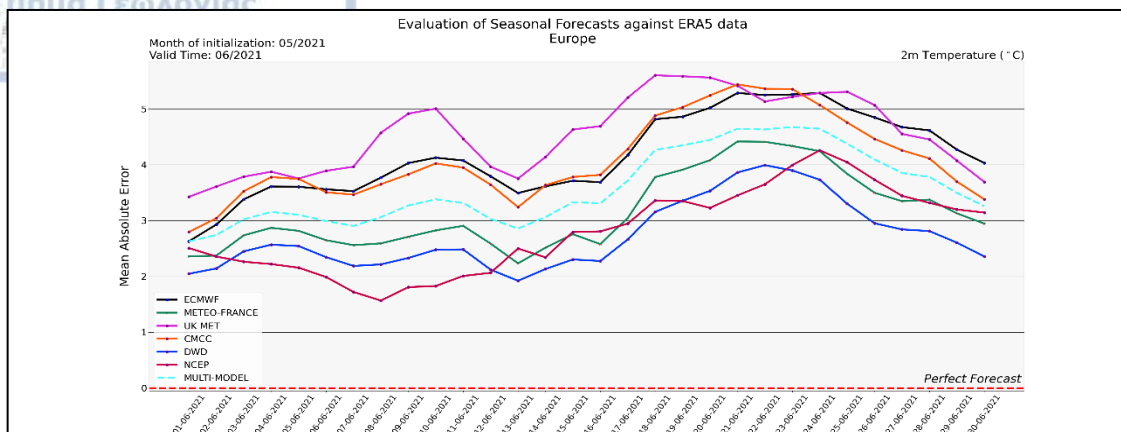
3.2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΤΑ 2m

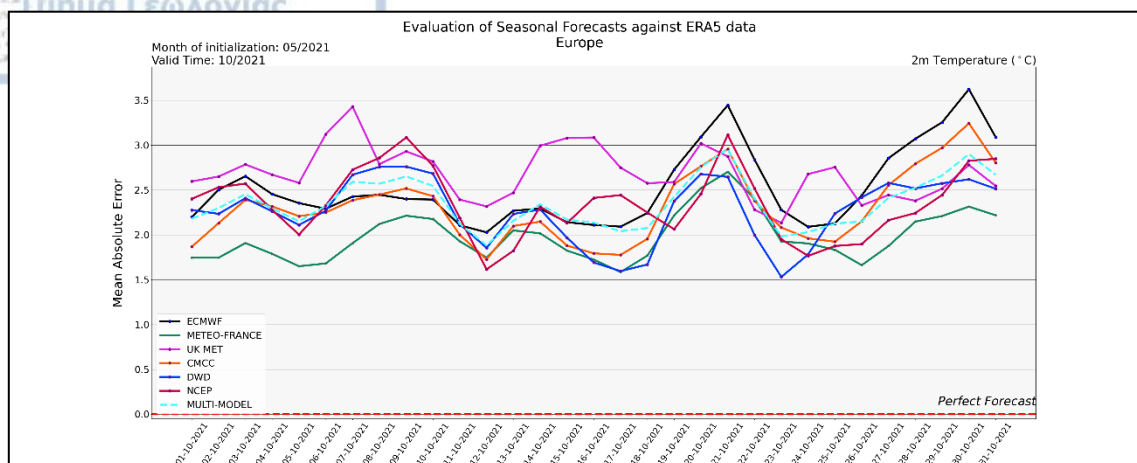
Όσον αφορά την εξέταση της θερμοκρασίας εξετάστηκαν τα παρακάτω κατώφλια:

- Τιμές θερμοκρασίας μικρότερες από 0°C για τον Οκτώβριο του 2021 (ημέρες παγετού)
- Τιμές θερμοκρασίας μεγαλύτερες από 30°C για τον Αύγουστο του 2021 (ημέρες υψηλών θερμοκρασιών)

Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής, με ανάλυση $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. 29 το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των προγνώσεων της θερμοκρασίας 2m σε ημερήσιο βήμα για κάθε ένα από τους 6 μήνες πρόγνωσης και για καθένα από τα 6 συστήματα και το συνδυαστικό μοντέλο (ECMWF, METEO-FRANCE, UK MET-OFFICE, CMCC, DWD, NCEP, MULTI-MODEL). Σε γενικές γραμμές και για όλους του μήνες το MAE κυμαίνεται από περίπου 2 μέχρι 4 $^{\circ}\text{C}$, με το μικρότερο εύρος τιμών (1.5-3.5 $^{\circ}\text{C}$) να σημειώνεται τον Οκτώβριο και το μεγαλύτερο (2-6 $^{\circ}\text{C}$) τον Ιούλιο. Ο Πίνακας 3. 2 παρουσιάζει επίσης και τις μέσες μηνιαίες τιμές του MAE για κάθε μήνα και κέντρο ξεχωριστά, με τις χαμηλότερες τιμές, που αντιστοιχούν σε καλύτερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με πράσινο χρώμα και με τις υψηλότερες, που αντιστοιχούν σε χειρότερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με κόκκινο χρώμα. Είναι εμφανές, πως το κέντρο με τις περισσότερες αξιόπιστες προβλέψεις για το υπό εξέταση εξάμηνο είναι κατά πλειοψηφία μηνών το DWD, ενώ το κέντρο που παρείχε τις λιγότερο αξιόπιστες προβλέψεις είναι πάλι το UK MET-OFFICE.



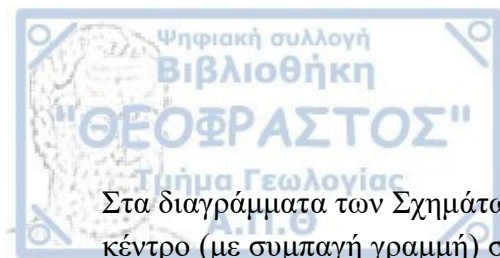




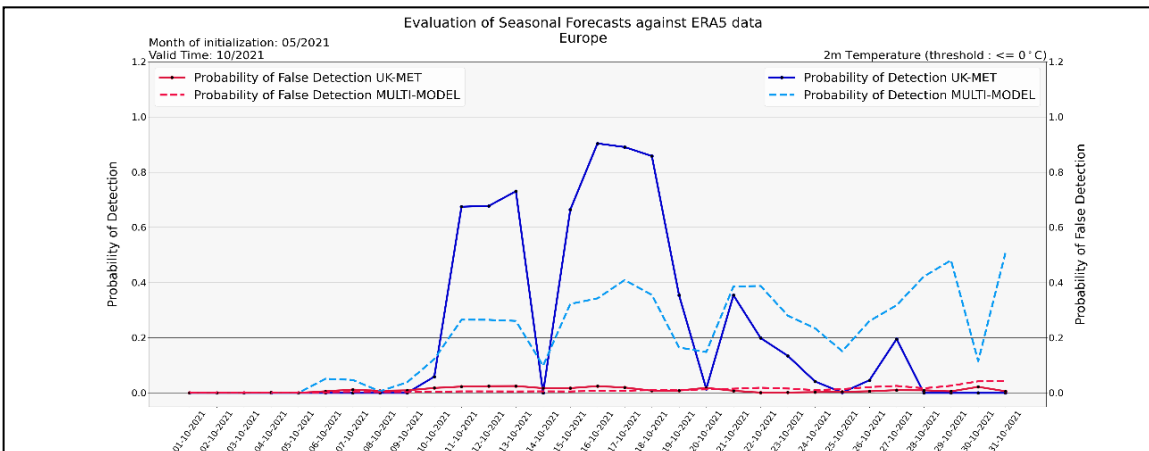
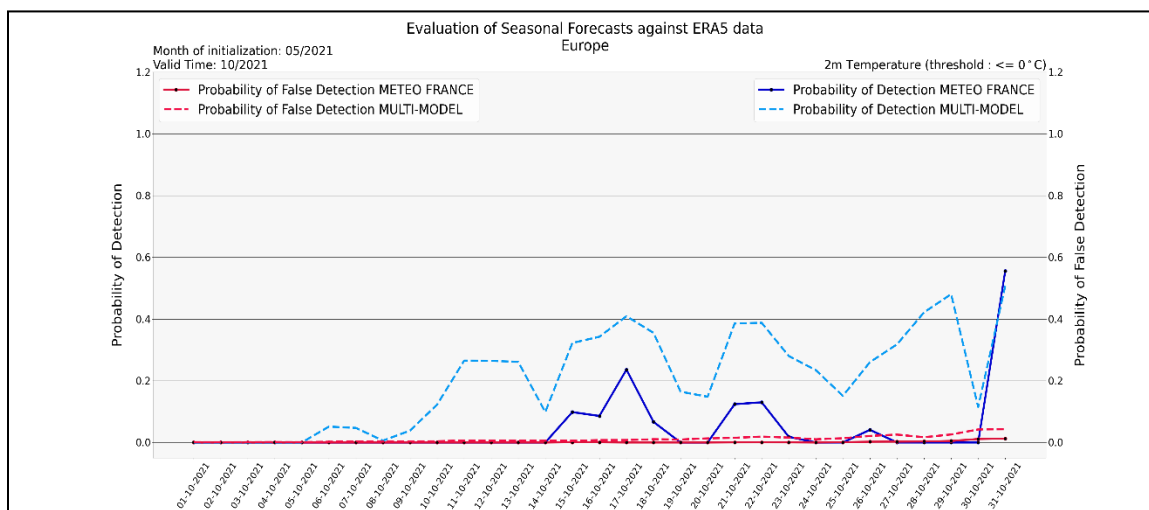
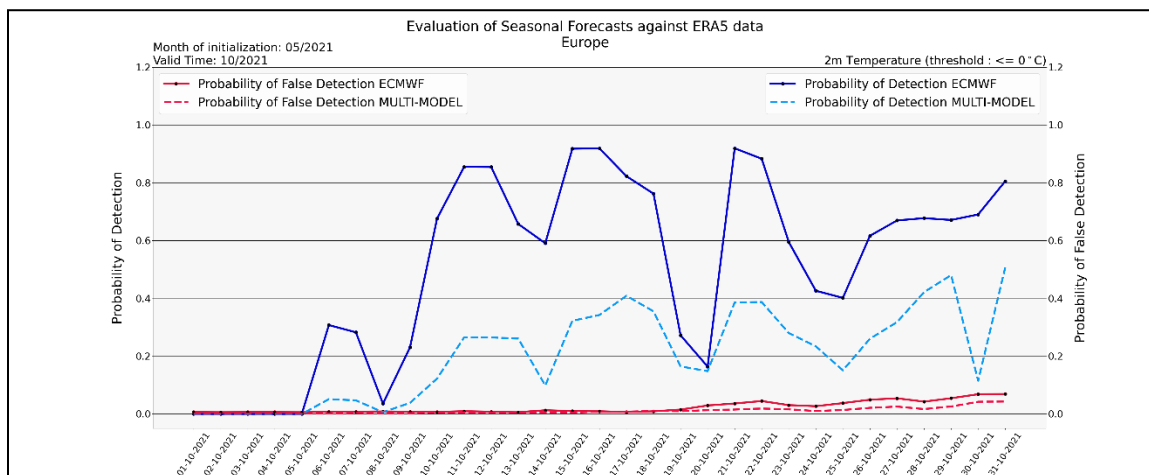
Σχήμα 3. 29 : Διακύμανση του σκορ MAE για τη θερμοκρασία για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο με τη σειρά (εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP). Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται οι ημερήσιες τιμές για το MAE με διαφορετικό χρώμα γραμμών για κάθε προγνωστικό κέντρο και με διακεκομμένη κυανή γραμμή για το συνδυαστικό μοντέλο. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στη θέση $y=0$, αντιπροσωπεύει την τέλεια πρόγνωση.

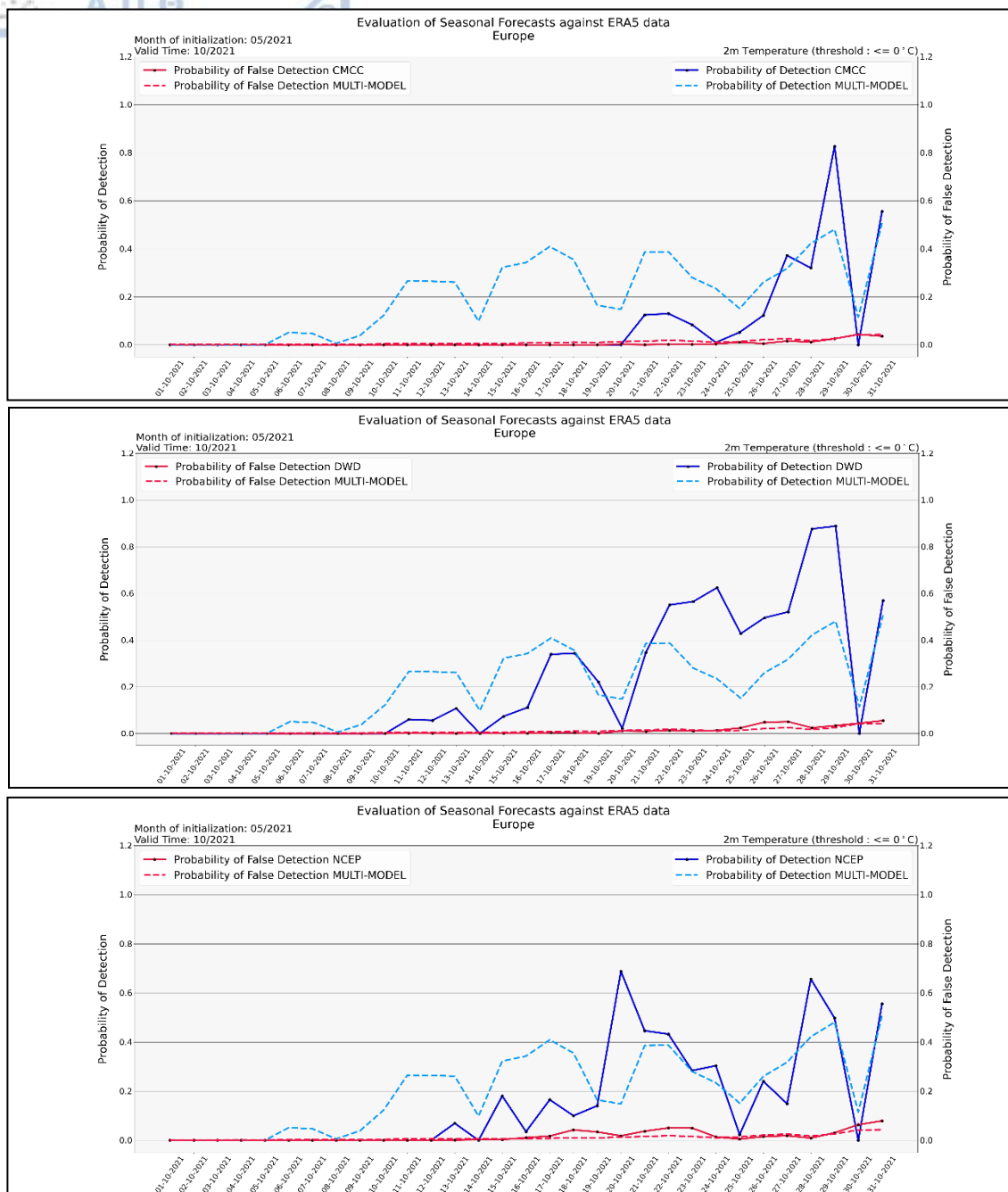
Πίνακας 3. 2 : Μέσες μηνιαίες τιμές του σκορ MAE για τη θερμοκρασία για τα 6 προγνωστικά κέντρα και το συνδυαστικό μοντέλο.

	ECMWF	METEO-FRANCE	UK-MET OFFICE	CMCC	DWD	NCEP	MULTI-MODEL
ΜΑΪΟΣ	2.977	2.702	3.293	2.722	2.285		2.796
ΙΟΥΝΙΟΣ	4.162	3.146	4.551	4.090	2.719	2.800	3.578
ΙΟΥΛΙΟΣ	4.043	2.841	4.581	3.610	2.413	3.030	3.419
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2.943	2.278	3.594	2.473	1.887	2.536	2.619
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2.645	2.064	3.250	2.392	2.240	2.489	2.513
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	2.526	1.984	2.689	2.305	2.268	2.351	2.354



Στα διαγράμματα των Σχημάτων 3.30, 3.31, παρουσιάζονται τα POD και POFD για κάθε κέντρο (με συμπαγή γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (με διακεκομμένη γραμμή) για 2 κατώφλια που εξετάστηκαν.



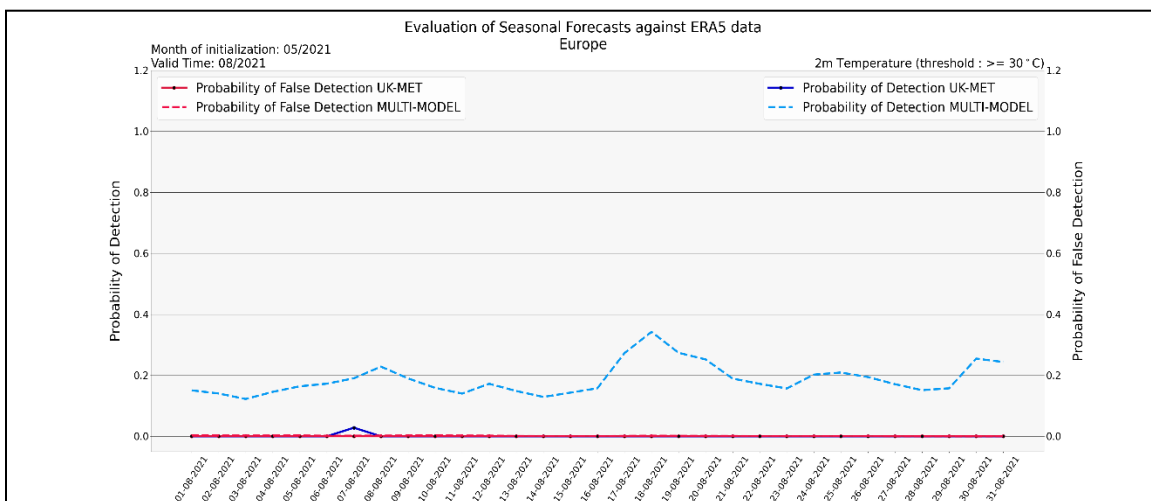
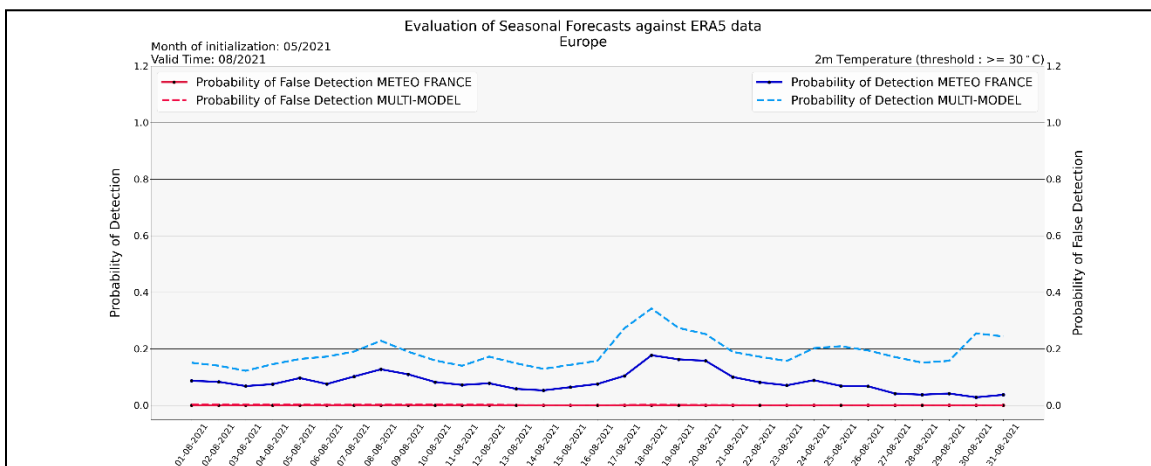
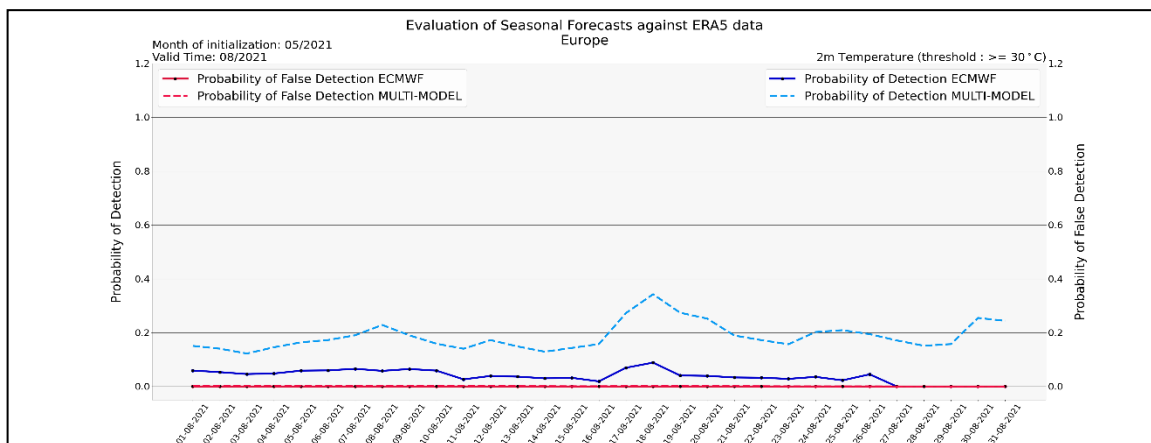


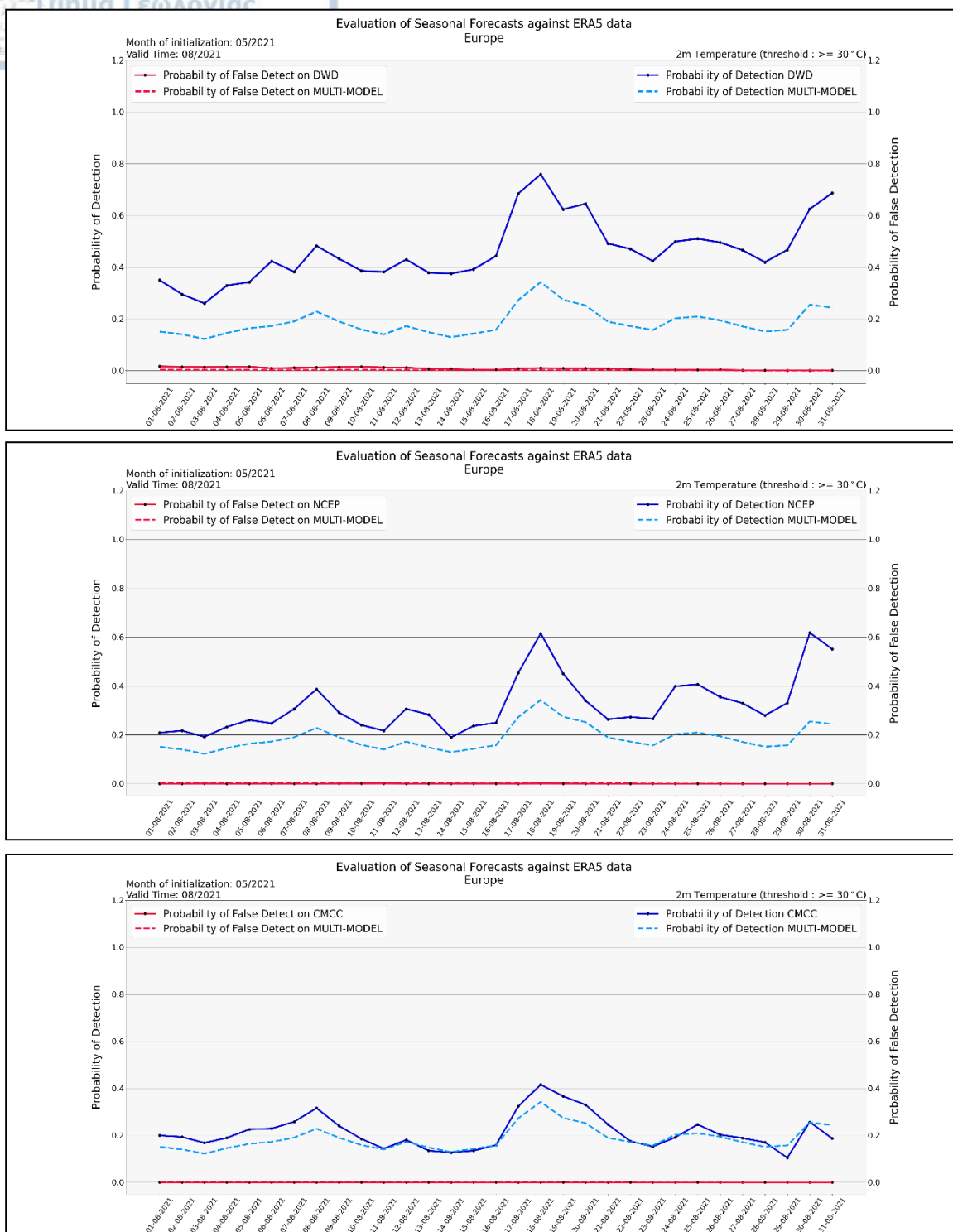
Σχήμα 3. 30 : Διαγράμματα POD (μπλε χρώμα) ,POFD (κόκκινο)για το κατώφλι των 0°C για τον Οκτώβριο 2021 για κάθε προγνωστικό κέντρο (συμπαγής γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (διακεκομμένη γραμμή). Εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP.

Από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3. 30 προκύπτει πως μεγαλύτερη επιτυχία στην ανίχνευση ημερών παγετού για τον Οκτώβριο του 2021, όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν μικρότερη των 0°C , είχαν τα κέντρα ECMWF, NCEP, CMCC και DWD, ιδιαίτερα για το δεύτερο δεκαπενθήμερο του μήνα. Το συνδυαστικό μοντέλο φαίνεται να είχε συστηματικά



μέσα στον μήνα μεγαλύτερη επιτυχία ανίχνευσης μόνο σε σχέση με το κέντρο METEO-FRANCE.





Σχήμα 3. 31 : Διαγράμματα POD (μπλε χρώμα), POFD (κόκκινο) για το κατώφλι των 30°C για τον Αύγουστο 2021 για κάθε προγνωστικό κέντρο (συμπαγής γραμμή) σε σύγκριση με το συνδυαστικό μοντέλο (διακεκομμένη γραμμή). Εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP.

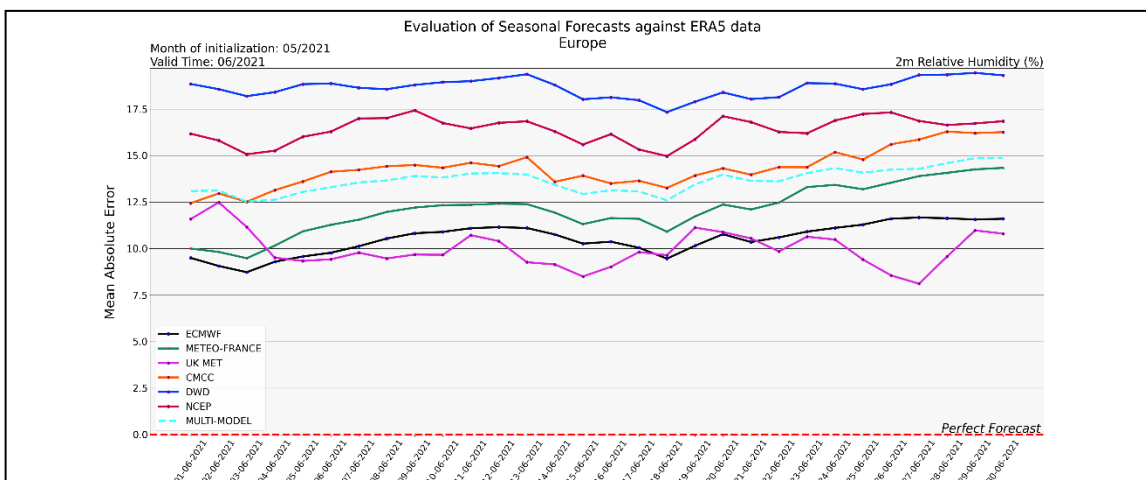
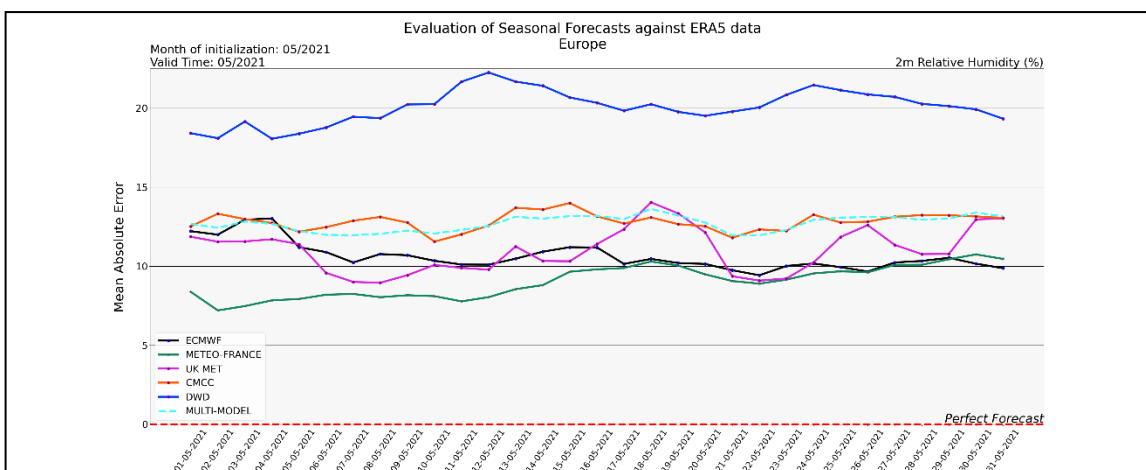
Από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3. 31 προκύπτει πως μεγαλύτερη επιτυχία στην ανίχνευση ημερών υψηλών θερμοκρασιών για τον Αύγουστο του 2021, όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη των 30°C , είχαν κέντρα NCEP, CMCC και DWD. Το

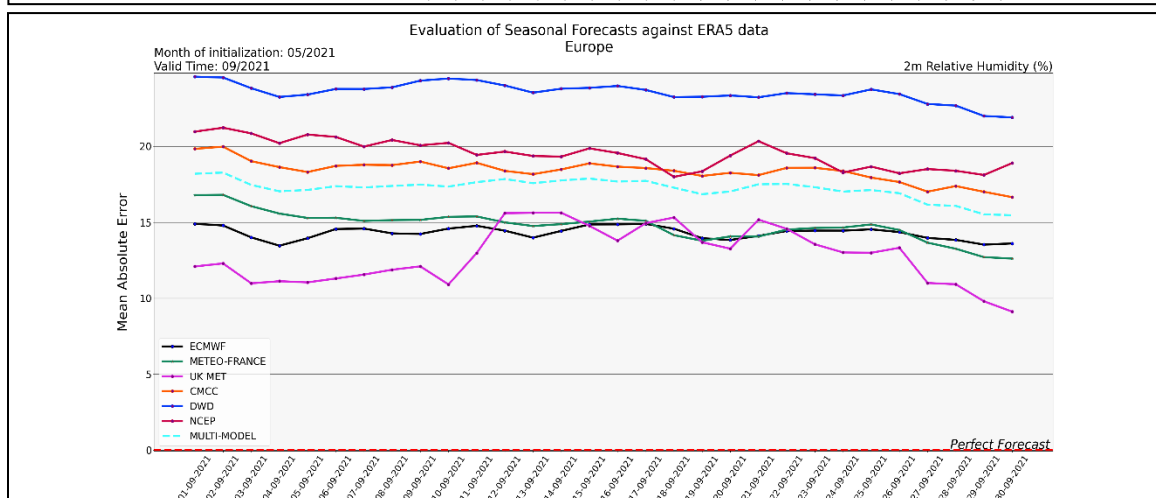
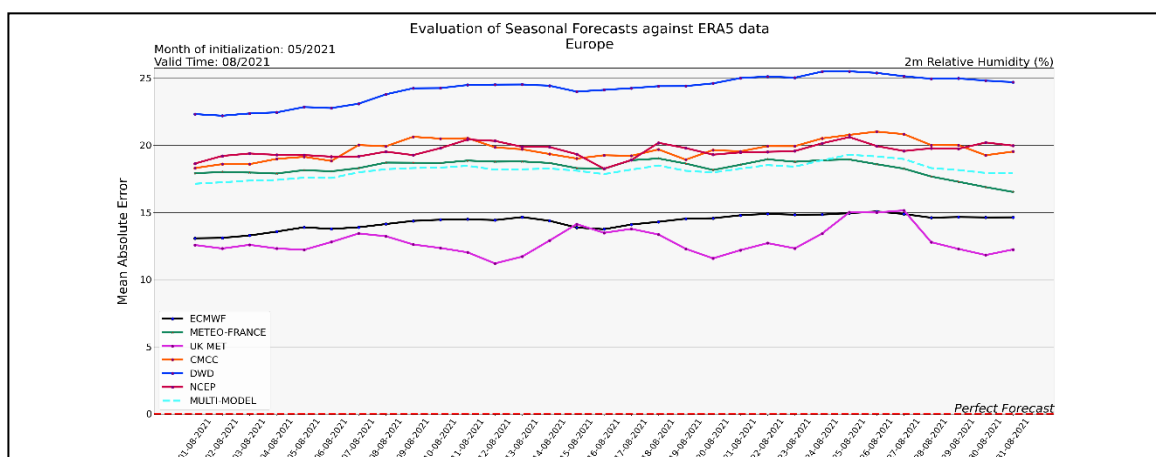
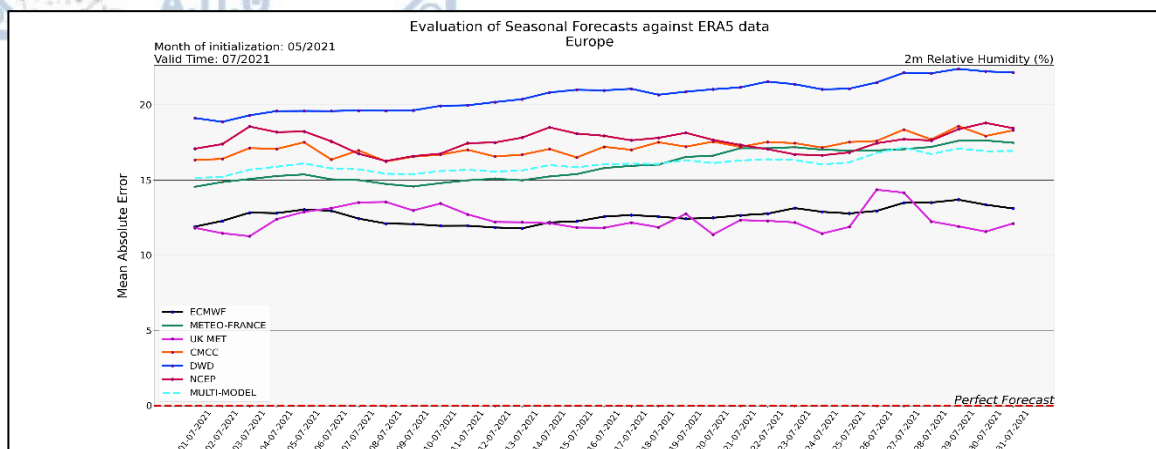


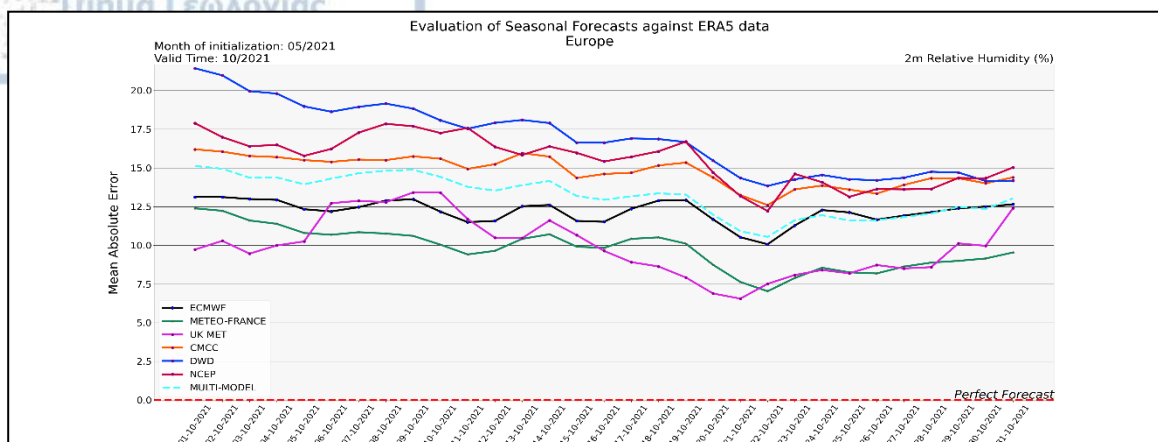
συνδυαστικό μοντέλο φαίνεται να είχε συστηματικά μέσα στον μήνα μεγαλύτερη επιτυχία ανίχνευσης μόνο σε σχέση με τα τρία υπόλοιπα κέντρα (METEO-FRANCE, UK MET-OFFICE, ECMWF).

3.2.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑ 2m

Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής, με ανάλυση $1^\circ \times 1^\circ$ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. 32 το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE) των προγνώσεων της σχετικής υγρασίας 2μ σε ημερήσιο βήμα για κάθε ένα από τους 6 μήνες πρόγνωσης και για καθένα από τα 6 συστήματα και το συνδυαστικό μοντέλο (ECMWF, METEO-FRANCE, UK MET-OFFICE, CMCC, DWD, NCEP, MULTI-MODEL). Ο Πίνακας 3. 3 συνοψίζει τις μέσες μηνιαίες τιμές του MAE για κάθε μήνα και κέντρο ξεχωριστά, με τις χαμηλότερες τιμές, που αντιστοιχούν σε καλύτερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με πράσινο χρώμα και με τις υψηλότερες, που αντιστοιχούν σε χειρότερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με κόκκινο χρώμα. Είναι εμφανές, πως το κέντρο με τις περισσότερες αξιόπιστες προβλέψεις για το υπό εξέταση εξάμηνο είναι κατά πλειοψηφία μηνών το UK MET-OFFICE, ενώ το κέντρο που παρείχε τις λιγότερες αξιόπιστες προβλέψεις είναι το DWD.







Σχήμα 3. 32 : Διακύμανση του σκορ MAE για τη σχετική υγρασία για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο με τη σειρά (εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP). Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται οι ημερήσιες τιμές για το MAE με διαφορετικό χρώμα γραμμών για κάθε προγνωστικό κέντρο και με διακεκομμένη κυανή γραμμή για το συνδυαστικό μοντέλο. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στη θέση $y=0$, αντιπροσωπεύει την τέλεια πρόγνωση.

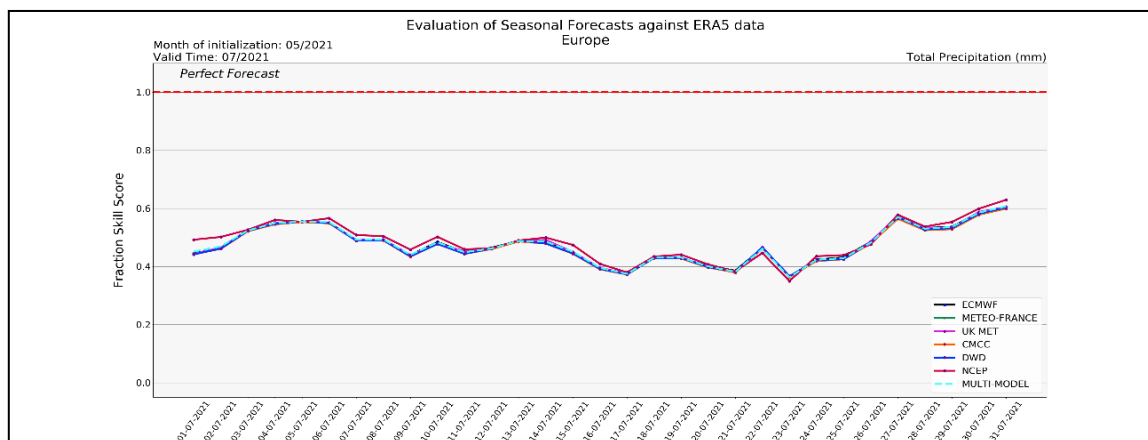
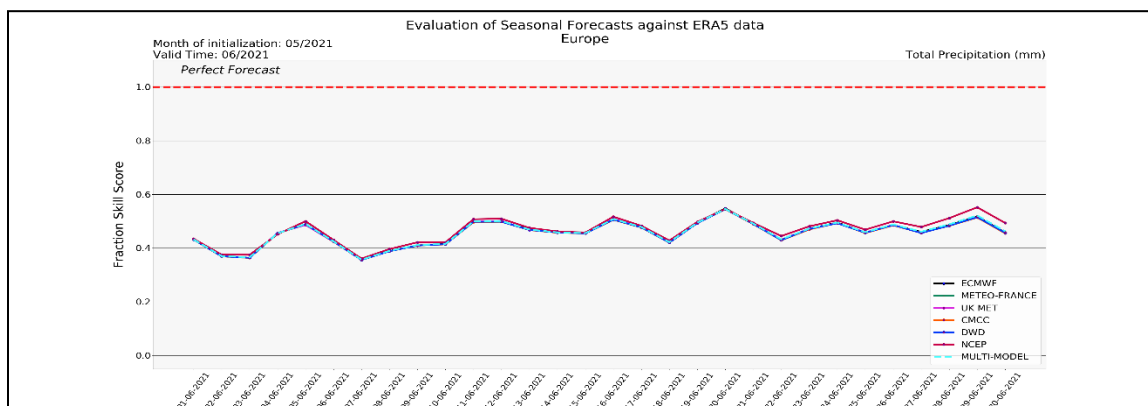
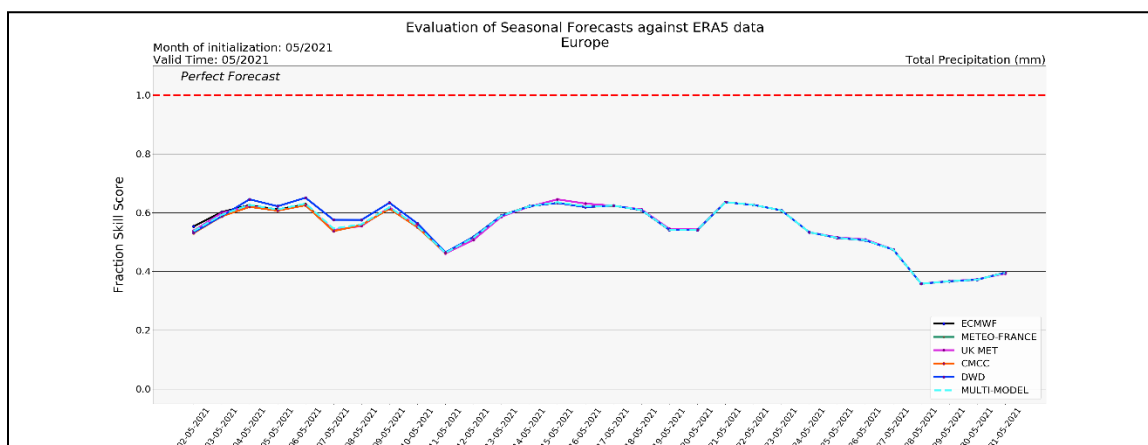
Πίνακας 3. 3 : Μέσες μηνιαίες τιμές του σκορ MAE για τη σχετική υγρασία για τα 6 προγνωστικά κέντρα και το συνδυαστικό μοντέλο.

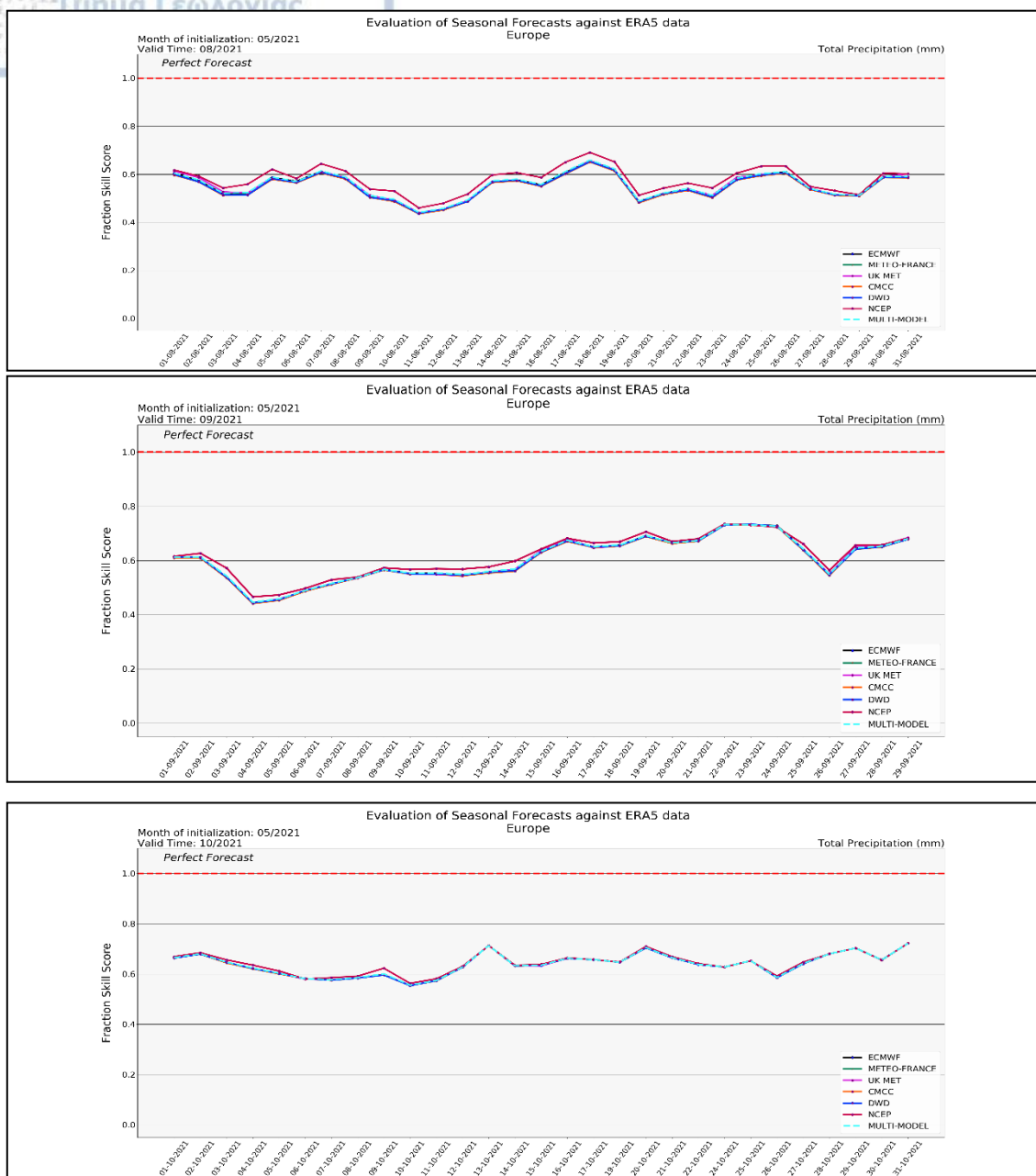
	ECMWF	METEO-FRANCE	UK-MET OFFICE	CMCC	DWD	NCEP	MULTI-MODEL
ΜΑΪΟΣ	10.622	9.021	11.003	12.819	20.062		12.705
ΙΟΥΝΙΟΣ	10.527	12.098	9.984	14.311	18.651	16.398	13.662
ΙΟΥΛΙΟΣ	12.625	15.974	12.385	17.191	20.662	17.578	16.069
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	14.299	18.319	12.828	19.674	24.195	19.591	18.151
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	14.312	14.784	12.815	18.392	23.569	19.524	17.233
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	12.189	9.801	9.964	14.794	16.871	15.560	13.196

3.2.4 ΥΕΤΟΣ

Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής, με ανάλυση $1^\circ \times 1^\circ$ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. 33 το σκορ FSS (Fraction Skill Score) των προγνώσεων του υετού σε ημερήσιο βήμα για κάθε ένα από τους 6 μήνες πρόγνωσης και για καθένα από τα 6 συστήματα και το συνδυαστικό μοντέλο (ECMWF, METEO-FRANCE, UK MET-OFFICE, CMCC, DWD, NCEP, MULTI-MODEL). Σε γενικές γραμμές το FSS κυμαίνεται περίπου από 0.4 μέχρι 0.6, τους μήνες Μάιο-Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο, ενώ

τους 2 τελευταίους μήνες της υπό εξέταση περιόδου (Σεπτέμβριος-Οκτώβριος), οι ανώτατες τιμές πλησίασαν την τιμή 0.7. Στον Πίνακα 3.4, παρουσιάζονται επίσης και οι μέσες μηνιαίες τιμές του FSS για κάθε μήνα και κέντρο ξεχωριστά, με τις υψηλότερες τιμές, που αντιστοιχούν σε καλύτερες προγνώσεις, να έχουν υπογραμμιστεί με πράσινο χρώμα. Το κέντρο με τις περισσότερο αξιόπιστες προβλέψεις κατά πλειοψηφία μηνών είναι το NCEP, με μικρή βέβαια διαφορά από τα υπόλοιπα κέντρα.





Σχήμα 3. 33 : Διακύμανση του σκορ FSS για τον νετό για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο με τη σειρά (εκκίνηση προγνώσεων : 01/05/2021, 00UTC, με εξαίρεση το NCEP). Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται οι ημερήσιες τιμές για το FSS με διαφορετικό χρώμα γραμμών για κάθε προγνωστικό κέντρο και με διακεκομμένη κυανή γραμμή για το συνδυαστικό μοντέλο. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στη θέση $y=1$, αντιπροσωπεύει την τέλεια πρόγνωση.



Πίνακας 3. 4 : Μέσες μηνιαίες τιμές του σκορ FSS για τον νετό για τα 6 προγνωστικά κέντρα και το συνδυαστικό μοντέλο.

	ECMWF	METEO- FRANCE	UK- MET OFFICE	CMCC	DWD	NCEP	MULTI- MODEL
ΜΑΪΟΣ	0.548	0.546	0.548	0.546	0.551		0.548
ΙΟΥΝΙΟΣ	0.456	0.455	0.456	0.455	0.455	0.466	0.457
ΙΟΥΛΙΟΣ	0.476	0.473	0.476	0.471	0.473	0.486	0.476
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0.552	0.548	0.554	0.548	0.550	0.578	0.555
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0.605	0.603	0.605	0.603	0.604	0.617	0.606
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0.639	0.639	0.639	0.639	0.639	0.644	0.640

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.2, μια αρχική παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι πως με βάση τις τέσσερις μετεωρολογικές παραμέτρους που εξετάστηκαν, δεν είναι εμφανές πως ένα συγκεκριμένο προγνωστικό κέντρο υπερέχει έναντι όλων των υπολοίπων (τουλάχιστον στην περιοχή μελέτης αυτής της εργασίας). Αντίθετα, οι διαφορετικές φυσικές παραμετροποιήσεις των διάφορων αριθμητικών μοντέλων ευνοούν την υπεροχή του ενός έναντι του άλλου όταν εξετάζεται μία συγκεκριμένη παράμετρος. Για παράδειγμα, για τις μακροπρόθεσμες προβλέψεις της ταχύτητας του ανέμου, το κέντρο ECMWF εμφάνισε τα καλύτερα σκορ προγνωστικής ικανότητας, για τη σχετική υγρασία ξεχώρισε το UK-MET OFFICE, για τη θερμοκρασία το DWD και για τον νετό το NCEP.

Επίσης, το γενικό εύρος του σφάλματος όσον αφορά την ταχύτητα ανέμου είναι 1-3 m/s, τη σχετική υγρασία 9-24 %, τη θερμοκρασία 2-4 °C και τον νετό 0.4-0.6 (στην κλίμακα 0-1 του FSS). Αποτελέσματα από τη γενικότερη βιβλιογραφία δίνουν αντίστοιχα περίπου 1-2 m/s για την ταχύτητα ανέμου [35], 5-20 % για τη σχετική υγρασία [36], 1-2.5 °C για τη θερμοκρασία [37] και 0.2-0.8 για τον νετό [38]. Προκύπτει, λοιπόν, πως με εξαίρεση τη θερμοκρασία όπου σημειώθηκαν ιδιαίτερα υψηλά σφάλματα, οι προγνώσεις για τις υπόλοιπες μεταβλητές κινήθηκαν μέσα σε ένα σχετικά αναμενόμενο εύρος σφαλμάτων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, στα πλαίσια αυτής της εργασίας, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση εποχικών (μακροπρόθεσμων) προβλέψεων σε βάθος έξι μηνών από την ημέρα εκκίνησης (01/05/2021, 00UTC με εξαίρεση το NCEP) από έξι προγνωστικά κέντρα και ένα συνδυαστικό μοντέλο που προέκυψε από αυτά. Έμφαση δόθηκε στη δυνατότητα έγκυρης πρόγνωσης τεσσάρων βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η ταχύτητα ανέμου, η θερμοκρασία, ο υετός και η σχετική υγρασία. Η αξιολόγηση των προγνώσεων έγινε για την περιοχή της Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής (15° W, 45° E, 30° N, 65° N), χωρικής ανάλυσης 1° x 1°. Πραγματοποιήθηκε συγκρίνοντας για την περιοχή ενδιαφέροντος τις ημερήσιες προγνώσεις με πλεγματικά δεδομένα επανάλυσης ERA5 (reanalysis).

Η αξιολόγηση έδειξε σχετικά μικρά σφάλματα στις προγνώσεις ταχύτητας ανέμου, με καλύτερα αποτελέσματα από το κέντρο ECMWF. Από τα τρία εξεταζόμενα κατώφλια ανέμου, ποσοστά επιτυχίας σημειώθηκαν μόνο για τα 8.5 m/s (fresh breeze), με τις πιθανότητες μη ανίχνευσης να παραμένουν χαμηλές σε όλα τα κέντρα και τους μήνες προγνώσεων.

Για την θερμοκρασία, ωστόσο, σημειώθηκαν μέτρια έως υψηλά σφάλματα, με καλύτερα αποτελέσματα για τους περισσότερους μήνες να ανήκουν στο κέντρο DWD, ενώ για τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο στο METEO-FRANCE. Από τα δύο εξεταζόμενα κατώφλια θερμοκρασίας, ποσοστά επιτυχίας σημειώθηκαν και στα δύο. Ωστόσο, για τις ημέρες παγετού τον Οκτώβριο του 2021, υψηλότερες πιθανότητες ανίχνευσης είχαν τα εξής τέσσερα κέντρα: ECMWF, CMCC, DWD και NCEP, όπως και για τις ημέρες υψηλών θερμοκρασιών τον Αύγουστο του 2021 (με εξαίρεση το ECMWF). Παρόλα αυτά, οι πιθανότητες μη ανίχνευσης παρέμειναν χαμηλές σε όλα τα κέντρα και τους μήνες προγνώσεων.

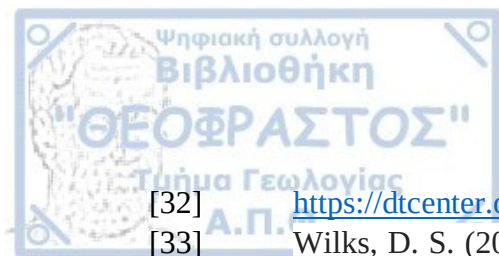
Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, σημειώθηκαν επίσης μέτρια έως υψηλά σφάλματα, με καλύτερα αποτελέσματα για τους περισσότερους μήνες να ανήκουν στο κέντρο UK MET-OFFICE, ενώ για τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο στο METEO-FRANCE.

Τέλος, για τον υετό, σημειώθηκαν οι μέσες τιμές του σκορ FSS δεν ξεπέρασαν πουθενά την τιμή 0.64, κάτι που δείχνει μικρή επικάλυψη πρόγνωσης-παρατήρησης, και δεν παρουσίασαν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των διάφορων κέντρων. Εντούτοις, ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα σημειώθηκαν στο κέντρο NCEP.



- [1] Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Liu, Z., Berner, J., . . . Huang, X.-Y. (2019). A Description of the Advanced Research WRF Version 4. NCAR Tech. Note NCAR/TN-556+STR,. doi:10.5065/1dfh-6p97
- [2] Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074.
- [3] Johnson, S. J., Stockdale, T. N., Ferranti, L., Balmaseda, M. A., Molteni, F., Magnusson, L., ... & Monge-Sanz, B. M. (2019). SEAS5: the new ECMWF seasonal forecast system. *Geoscientific Model Development*, 12(3), 1087-1117.
- [4] MacLeod, D. (2019). Seasonal forecasts of the East African long rains: insight from atmospheric relaxation experiments. *Climate Dynamics*, 53(7), 4505-4520.
- [5] Kilavi, M., MacLeod, D., Ambani, M., Robbins, J., Dankers, R., Graham, R., ... & Todd, M. C. (2018). Extreme rainfall and flooding over central Kenya including Nairobi city during the long-rains season 2018: causes, predictability, and potential for early warning and actions. *Atmosphere*, 9(12), 472.
- [6] MacLeod, D. (2018). "Seasonal predictability of onset and cessation of the east African rains." *Weather and climate extremes* 21, 27-35.
- [7] Chen, S. C., Wu, M. C., & Roads, J. O. (2001). Seasonal forecasts for Asia: Global model experiments. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 12(2), 377-400.
- [8] Weisheimer, A., & Palmer, T. N. (2014). On the reliability of seasonal climate forecasts. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(96), 20131162.
- [9] Wang, W., Chen, M., & Kumar, A. (2010). An assessment of the CFS real-time seasonal forecasts. *Weather and forecasting*, 25(3), 950-969.
- [10] Scoccimarro, E., Athanasiadis, P., Gualdi, S., Scaife, A. A., Bellucci, A., Hermanson, L., ... & MacLachlan, C. (2015). A Multi-System View of Wintertime NAO Seasonal Predictions. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2015, pp. A33M-0399).
- [11] Thorncroft, C., & Pytharoulis, I. (2001). A dynamical approach to seasonal prediction of Atlantic tropical cyclone activity. *Weather and forecasting*, 16(6), 725-734.
- [12] Landsea, C. W., Bell, G. D., Gray, W. M., & Goldenberg, S. B. (1998). The extremely active 1995 Atlantic hurricane season: Environmental conditions and verification of seasonal forecasts. *Monthly Weather Review*, 126(5), 1174-1193.
- [13] Jones, C. G., & Thorncroft, C. D. (1998). The role of El Niño in Atlantic tropical cyclone activity. *Weather*, 53(9), 324-336.
- [14] Branković, Č., & Palmer, T. N. (2000). Seasonal skill and predictability of ECMWF PROVOST ensembles. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126(567), 2035-2067.

- [15] Stockdale, T. N., Anderson, D. L., Alves, J. O. S., & Balmaseda, M. A. (1998). Global seasonal rainfall forecasts using a coupled ocean-atmosphere model. *Nature*, 392(6674), 370-373.
- [16] Batté, L., & DeÉQueÉ, M. (2011). Seasonal predictions of precipitation over Africa using coupled ocean-atmosphere general circulation models: Skill of the ENSEMBLES project multimodel ensemble forecasts. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63(2), 283-299.
- [17] <http://www.emy.gr/emyl/climatology/seasonal>
- [18] Bowler, N. E., Arribas, A., & Mylne, K. R. (2008). The benefits of multianalysis and poor man's ensembles. *Monthly weather review*, 136(11), 4113-4129. Li, J., Swinbank, R., Grotjahn, R., & Volkert, H. (Eds.). (2016). Dynamics and predictability of large-scale, high-impact weather and climate events (Vol. 2). Cambridge University Press.
- [19] Arribas, A., Robertson, K. B., & Mylne, K. R. (2005). Test of a poor man's ensemble prediction system for short-range probability forecasting. *Monthly Weather Review*, 133(7), 1825-1839.
- [20] Hoffman, R. N., & Kalnay, E. (1984). Lagged average forecasting, some operational considerations. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 106, No. 1, pp. 141-147). American Institute of Physics.
- [21] Βάρλας Γ., Κατσαφάδος Π. (2015). ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ. Πρακτικά 28ου Πανελληνίου Συνεδρίου Στατιστικής.
- [22] Houtekamer, P. L., Lefaiivre, L., Derome, J., Ritchie, H., & Mitchell, H. L. (1996). A system simulation approach to ensemble prediction. *Monthly Weather Review*, 124(6), 1225-1242.
- [23] Li, J., Swinbank, R., Grotjahn, R., & Volkert, H. (Eds.). (2016). Dynamics and predictability of large-scale, high-impact weather and climate events (Vol. 2). Cambridge University Press.
- [24] <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/seasonal-original-single-levels?tab=overview>
- [25] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Description+of+the+C3S+seasonal+multi-system>
- [26] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Description+of+System8-v20210101+C3S+contribution>
- [27] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Description+of+HadGEM3-GC3.2-v20200929+C3S+contribution>
- [28] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Description+of+CMCC-CM2-v20191201+C3S+contribution>
- [29] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Description+of+GCFS2.1-v20200320+C3S+contribution>
- [30] <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Description+of+CFSv2-v20110310+C3S+contribution>
- [31] <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>



- [32] <https://dtcenter.org/community-code/model-evaluation-tools-met>
- [33] Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press. Ανακτήθηκε από εδώ : [source](#)
- [34] https://web.archive.org/web/20121002134429/http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/4/4/Fact_Sheet_No._6_-_Beaufort_Scale.pdf
- [35] Thyness, V., Homleid, M., Køltzow, M., & Lien, T. (2017). Application and Verification of ECMWF Products 2017. Ανακτήθηκε από εδώ : [source](#)
- [36] Haiden, T., Janousek, M., Bidlot, J., Buizza, R., Ferranti, L., Prates, F., & Vitart, F. (2018). Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2018 upgrade. Reading, UK: European Centre for Medium Range Weather Forecasts. Ανακτήθηκε από εδώ: [source](#)
- [37] Sangelantoni L, Ferretti R, Redaelli G. Toward a Regional-Scale Seasonal Climate Prediction System over Central Italy Based on Dynamical Downscaling. *Climate*. 2019; 7(10):120. <https://doi.org/10.3390/cli7100120>
- [38] Qiao, X., Wang, S., Schwartz, C. S., Liu, Z., & Min, J. (2020). A Method for Probability Matching Based on the Ensemble Maximum for Quantitative Precipitation Forecasts. *Monthly Weather Review*, 148(8), 3379-3396.