



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ
ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ ΛΕΜΕΣΟΥ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Αλέξανδρος Μανούσος

ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Μιχάλης Χονδρός

Αθήνα, Ιούλιος 2023

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ
ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΕΝΟΛΕΚΑΝΗΣ ΛΕΜΕΣΟΥ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

Αλέξανδρος Μανούσος

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Μιχάλης Χονδρός

Αθήνα, Ιούλιος 2023

Το περιεχόμενο της ανά χείρας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένο ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Πρόλογος

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διεπιστημονικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών (ΔΠΜΣ) Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023. Το αντικείμενο που διερευνάται είναι τι επιπτώσεις είναι ικανή η κλιματική αλλαγή να επιφέρει στην ανεμογενή και παλιρροιογενή υδροδυναμική κυκλοφορία καθώς και στους χρόνους ανανέωσης της λιμενολεκάνης Λεμεσού στη Κύπρο. Πραγματοποιούνται μαθηματικές προσομοιώσεις με τη βοήθεια σύγχρονου υδροδυναμικού μοντέλου και διερευνάται εάν η κλιματική αλλαγή συνεισφέρει θετικά ή αρνητικά στους χρόνους ανανέωσης της λιμενολεκάνης. Τέλος, γίνεται μια συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων των χρόνων ανανέωσης ανάμεσα σε διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας αυτής εύφημη μνεία γίνεται στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Μιχάλη Χονδρό ο οποίος τέλεσε επιβλέποντας της εργασίας. Οι οδηγίες του και οι συμβουλές του αποδείχθηκαν πολύτιμες για την ολοκλήρωση της συγγραφής του τεύχους.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες εκφράζονται για την εταιρεία «ΤΡΙΤΩΝ Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.» οι οποίοι με ενέταξαν στο προσωπικό τους κατά το πέρας του πρώτου ακαδημαϊκού έτους και μου δόθηκε η ευκαιρία να ενταχθώ στις μελέτες λιμενικών έργων. Εγκαρδίως ευχαριστώ τους κ. Λευτέρη Ρουχωτά, κ. Ιωάννη Μπούνδρη και κ. Άγγελο Ανδριανόπουλο.

Επιπλέον, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην κα. Βασιλική Τσουκαλά, Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων, η οποία με παρέπεμψε κατά την εύρεση θέματος και επιβλέποντα καθηγητή στον κ. Μιχάλη Χονδρό και η επιλογή της αποδείχθηκε εξάισια.

Κλείνοντας, σημαντικές προσωπικότητες αποτελούν για εμένα ο οικογενειακός και φιλικός κύκλος μου, οι οποίοι μου παρείχαν συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών και συνέβαλλαν στην πρόοδο μου. Από καρδιάς ευχαριστώ τη Λιάνα και τον Αλέξανδρο που συνοδεύουν τα βήματα μου.

Τέλος, η ακαδημαϊκή πορεία μου τα τελευταία χρόνια κύλησε με πολλές όμορφες στιγμές και δυσκολίες οι οποίες αντιμετωπίστηκαν, αφήνοντας ανοικτό το ενδεχόμενο για την μετέπειτα διεύρυνση του εκπαιδευτικού μου φάσματος.

Αλέξανδρος Μανούσος
Ιούλιος 2023

Περιεχόμενα

Περίληψη	xi
Extended Abstract	xiii
Λίστα Σχημάτων.....	xxvi
Λίστα Πινάκων.....	xxvii
Λίστα Χαρτών.....	xxviii
Λίστα Διαγραμμάτων	xxix
Σύμβολα.....	xxxι
Συντομογραφίες	xxxiii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο	1
1.2 Διάρθρωση.....	1
2. Υδροδυναμική Κυκλοφορία και Χρόνοι Ανανέωσης Λιμενολεκάνης.....	5
2.1 Γενικά.....	5
2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	6
3. Κλιματική Αλλαγή.....	13
3.1 Γενικά.....	13
3.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	13
3.3 Προβλέψεις για τη Μεσόγειο Θάλασσα.....	15
3.4 Προβολές κλιματικής αλλαγής	16
4. Μεθοδολογία Έρευνας και Επιστημονικό Υπόβαθρο Μαθηματικού Μοντέλου	19
4.1 Μεθοδολογία Έρευνας	19
4.2 Επιστημονικό υπόβαθρο μαθηματικού μοντέλου Maris HYD	21
5. Εφαρμογή Μεθοδολογίας στον Λιμένα Λεμεσού	24
5.1 Περιοχή εφαρμογής.....	24
5.1.1 Θέση και λιμενικές εγκαταστάσεις	24
5.1.2 Βυθομετρία.....	28
5.1.3 Υποδιαίρεση λιμενολεκάνης.....	29
5.2 Ανεμολογικά δεδομένα λιμένα Λεμεσού	31
5.2.1 Ιστορικά (1976-2005).....	32
5.2.2 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP4.5 (2041-2070).....	34
5.2.3 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP4.5 (2071-2100).....	36
5.2.4 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP8.5 (2041-2070).....	38

5.2.5	Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP8.5 (2071-2100)	40
5.3	Κατασκευή βυθομετρικού καννάβου	41
5.4	Προκαταρκτική διερεύνηση – προκαταρκτικές προσομοιώσεις	43
5.5	Μαθηματική προσομοίωση ανεμογενούς και παλιρροιογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας.....	54
5.5.1	Ανεμογενής υδροδυναμική κυκλοφορία.....	54
5.5.2	Παλιρροιογενής υδροδυναμική κυκλοφορία.....	55
5.6	Υπολογισμός χρόνων ανανέωσης.....	57
5.6.1	Προσδιορισμός ορίων.....	58
5.6.2	Προσδιορισμός όγκων.....	59
5.7	Συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	63
5.7.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	83
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	87
6.1	Συμπεράσματα για την κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του λιμένα Λεμεσού	87
6.2	Συμπεράσματα για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του λιμένα Λεμεσού.....	88
6.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	88
	Αναφορές.....	91
	Παραρτήματα	I

Περίληψη

Η υδροδυναμική κυκλοφορία των λιμενολεκανών και συνεπακόλουθα οι χρόνοι ανανέωσης αποτελούν αντικείμενα διερεύνησης τόσο για τους επιστήμονες όσο και για τους μηχανικούς που ασχολούνται με λιμενικά και παράκτια έργα καθώς και με κλειστούς φυσικούς κόλπους. Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (ΜΔΕ) διερευνώνται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδροδυναμική κυκλοφορία και στους χρόνους ανανέωσης των υδάτων μέσω μαθηματικής προσομοίωσης. Η ανανέωση των υδάτων σε λιμενολεκάνες και κλειστούς κόλπους συντελείται κυρίως λόγω δυο φυσικών μηχανισμών, της δράσης του ανέμου και της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης εξαιτίας της παλίρροιας. Η παρούσα ΜΔΕ εστιάζει κυρίως στον πρώτο μηχανισμό όπου και αναμένονται αλλαγές της ανεμολογικής διαίτας τα επόμενα χρόνια λόγω κλιματικής αλλαγής. Από την βιβλιογραφική αναδίφηση διεθνών ερευνών, προκύπτει ότι το συγκεκριμένο αντικείμενο δεν έχει διερευνηθεί έως σήμερα και αυτό αποτέλεσε και το κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας ΜΔΕ. Η διερεύνηση γίνεται στην λιμενολεκάνη Λεμεσού της Κύπρου. Η μεθοδολογία εκπόνησης της παρούσας έρευνας βασίστηκε στα ακόλουθα διακριτά βήματα:

- i. Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων στην περιοχή της Λεμεσού, τόσο για την ιστορική περίοδο αναφοράς (1976-2005) όσο και για δυο διαφορετικά σενάρια παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου (Representative Concentration Pathway, στο εξής RCP) σύμφωνα με το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), το μετριοπαθές RCP4.5 και το απαισιόδοξο RCP8.5 για τις περιόδους 2041-2070 και 2071-2100.
- ii. Κατασκευή του βαθυμετρικού καννάβου συμπεριλαμβανομένων των υποδομών του λιμένα Λεμεσού που δίνεται ως δεδομένο εισόδου στις μαθηματικές προσομοιώσεις στο επόμενο βήμα.
- iii. Εκπόνηση μαθηματικών προσομοιώσεων με το μοντέλο Maris HYD (Scientia Maris, 2022) της ανεμογενούς και παλιρροιγενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας για μια πληθώρα εντάσεων ανέμου και διευθύνσεων, για την ιστορική περίοδο και για τις μελλοντικές περιόδους για τα δυο σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.
- iv. Επεξεργασία αποτελεσμάτων, υπολογισμός χρόνων ανανέωσης και συγκριτική ανάλυση αυτών για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την βελτίωση ή την επιδείνωση της ανανέωσης των υδάτων στις επόμενες δεκαετίες.

Συνοψίζοντας, βάσει των αποτελεσμάτων και της συγκριτικής αξιολόγησης τους, συμπεραίνεται η κλιματική αλλαγή επηρεάζει διαφορετικά τους χρόνους ανανέωσης των υπολιμενολεκανών. Από τα αποτελέσματα που προκύψαν από διαγράμματα συμπεραίνεται για την βόρεια αλλά και την νότια υπολιμενολεκάνη ότι δεν παρατηρείται ξεκάθαρη τάση αύξησης ή μείωσης των χρόνων ανανέωσης τους. Ωστόσο, για την κεντρική αλλά και τη συνολική υπολιμενολεκάνη εμφανίζεται ξεκάθαρη αύξηση των χρόνων ανανέωσης τους με την επιρροή της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερος για τη δυσμενέστερη προβολή αυτής.

Λέξεις - κλειδιά: Μαθηματική προσομοίωση, υδροδυναμική κυκλοφορία, ανεμογενής κυκλοφορία, παλιρροιογενής κυκλοφορία, λιμάνι Λεμεσού, χρόνοι ανανέωσης, επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής.

Extended Abstract

1. Introduction

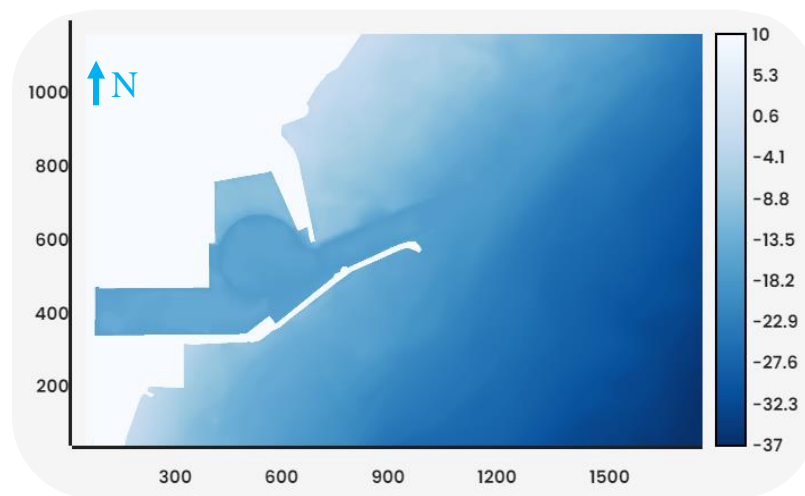
In the present thesis the impacts of climate change on water renewal times of the Limassol port basin, Cyprus is investigated. According to the relevant literature review, no research efforts have been made so far to investigate how climate change will affect the wind-driven hydrodynamic circulation in port basins and consequently the renewal times. The current investigation is carried out by means of numerical modelling by utilizing the mathematical simulation model called Maris HYD (Scientia Maris, 2022). This model can simulate the wind- and tide-driven hydrodynamic circulation within ports with accuracy and minimum processing times. The effects of climate change on the hydrodynamic circulation of the Limassol port basin are investigated for various scenarios of wind intensities and directions, for the 30-year historical period of reference, 1976-2005, and for the climate change projections of Representative Concentration Pathways RCP4.5 and RCP8.5, for the 30-year periods 2041-2070 and 2071-2100. The subject under scrutiny is whether climate change will contribute positively or negatively to the outflow of the port basin and consequently to its renewal times.

2. Methodology

The methodology of the present research is based on the following steps. Initially, wind data were extracted from the European Copernicus Climate Data Store database and specifically from the product "CORDEX regional climate model data on single levels". After processing, those data were used to construct the tables of the mean annual wind climate per each 30-year period for the past and the future. Subsequently, the construction of the bathymetric grid of the Limassol port area is carried out and given as input to the mathematical simulations. Given the wind climate and the bathymetric grid the next step is to perform numerous simulations of the hydrodynamic circulation with the mathematical model Maris HYD. The simulations cover a variety of wind intensities and directions, for the historical period and for the future periods regarding the two scenarios RCP4.5 and RCP8.5. Afterwards, the results were processed to estimate the renewal times by calculating the outflow discharge per each chosen transect. A comparative analysis was finally performed to elucidate the changes in water renewal times that climate change may impose. Furthermore, the elevation of mean water level due to tide is investigated in order to determine the dominant driver of the water renewal of the Limassol port basin.

3. Application to the Port of Limassol

In this part of the thesis, the mathematical simulation of the hydrodynamic circulation inside the port basin takes place. As well as, the various investigations on wind intensities and directions. Also, the simulation time required by the model for field stabilization and the port basin renewal times for historical wind data and climate change projections. First off, the bathymetric grid of the study area is presented below (Map 1) as it was made by the numeric tool Maris BTG.



Map 1. Bathymetric grid of the Limassol port

It appears that from east side there are greater depths and towards to west side they decrease, result that agrees with the bathymetry map from the Navionics database. Also, the depths within the port basin are shown as well as the maneuvering circle for further accuracy. Thus, the correct modelling of the bathymetry has been made. So, it becomes input data to the hydrodynamic model which describes the currents velocities and directions inside the port basin according to the defined current factors.

Furthermore, it was investigated how much simulation time did the model need to stabilize the hydrodynamic field in order to plot correct results. It was found out that the total simulation time required for field stabilization is 1200 s, which means it needed double the time according to default. Moreover, it was investigated which is the lowest wind intensity that has important effect on the port basin. It occurred that 5 BF (fresh breeze) have a noticeable hydrodynamic circulation. For that intensity and above the direction of the wind will be investigated in order to stand out the worst-case projection. The performed simulations are being shown below

(Table 1) and incorporate both historical and climate change wind data. It is being noted that some simulations for certain wind directions and wind intensities (mainly the higher ones) are absented. That occurred because no wind or outflow data occurred for the specific intensity - direction combinations.

Table 1. Mathematical simulated scenarios (☞ = simulation performed)

BF/DEG	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
5	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞
6	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞		
7	☞	☞	☞	☞		☞	☞	☞	☞	☞		
8							☞	☞	☞			
9						☞						

Based on the results of the model simulations which are included in the Appendix “A”, the following conclusions about worst-case scenario in each occasion simulated are as follows. (Table 2).

Table 2. Worst-case simulated scenario (♣ = more unfavorable)

BF/DEG	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
5			♣									
6				♣								
7				♣								
8									♣			
9						♣						

The justification accompanying the above results lies in the fact that for these scenarios the hydrodynamic picture of the specific scenario compared to their peers in terms of the same intensity was more intense, therefore it was chosen as more unfavorable. For 5, 6 and 7 BF where there was a large number of wind angles, it was observed that for 60° and 90° there is a

stronger circulation of currents. From this direction the port basin is more "vulnerable" to current circulation since the approach channel is placed there and no detached breakwater has been placed in front of the port. The breakwater would moderate the currents, possibly due to the high depths and therefore the high construction costs, but also for practicality reasons about the vessel's navigation. Another reason that these wind angles cause strong circulation could be due to the partial reflection of the waves as they enter the windward jetty and head into the central and northern parts of the port basin. For the intensities 8 and 9 BF the options for comparison were noticeably smaller than those of the other intensities. So, similarly the stronger traffic within the port basin led to the selection of the correspondingly more unfavorable scenario. Therefore, for the 8 BF the angle 240° and for the 9 BF the only choice of 150° .

Also, the astronomical tide was examined which occurs daily on a half-day basis in Cyprus in a period of about 12 hours a high and a low tide appear. As is well known, the astronomical tide in Greece and Cyprus does not have large ranges. Based on level data from the Hydrographic Service for Greece, the assumption is made for a tidal period $T_{tide} = 12 \text{ hrs}$ and an average range $A_{tide} = 10 \text{ cm}$. With these values a simulation of the tidal hydrodynamic circulation that develops within the port basin is modelled.

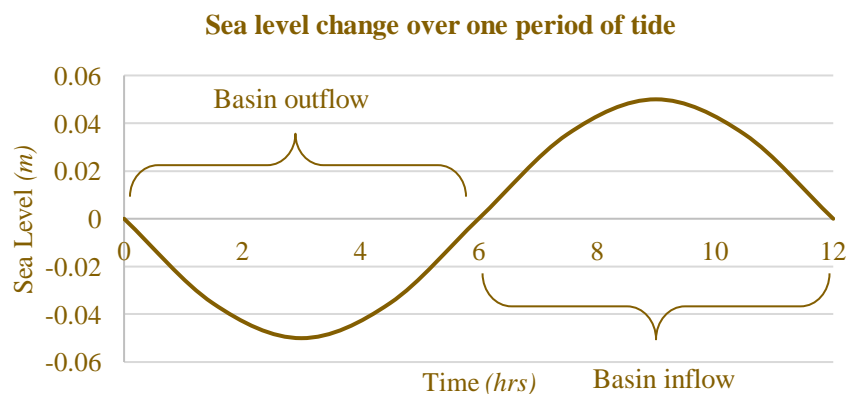


Chart 1. Sinusoidal rate of sea level change in a 12-hour period tide

It is observed that during the high tide there is an inflow into the port basin while during the low tide there is an outflow. The velocities developed in the control sections remain much smaller than the wind-driven circulation scenarios examined in this thesis. In conclusion, the tidal component contributes less intensively to the water renewal. The results are plotted below every 1.5 hrs in Figure 1.

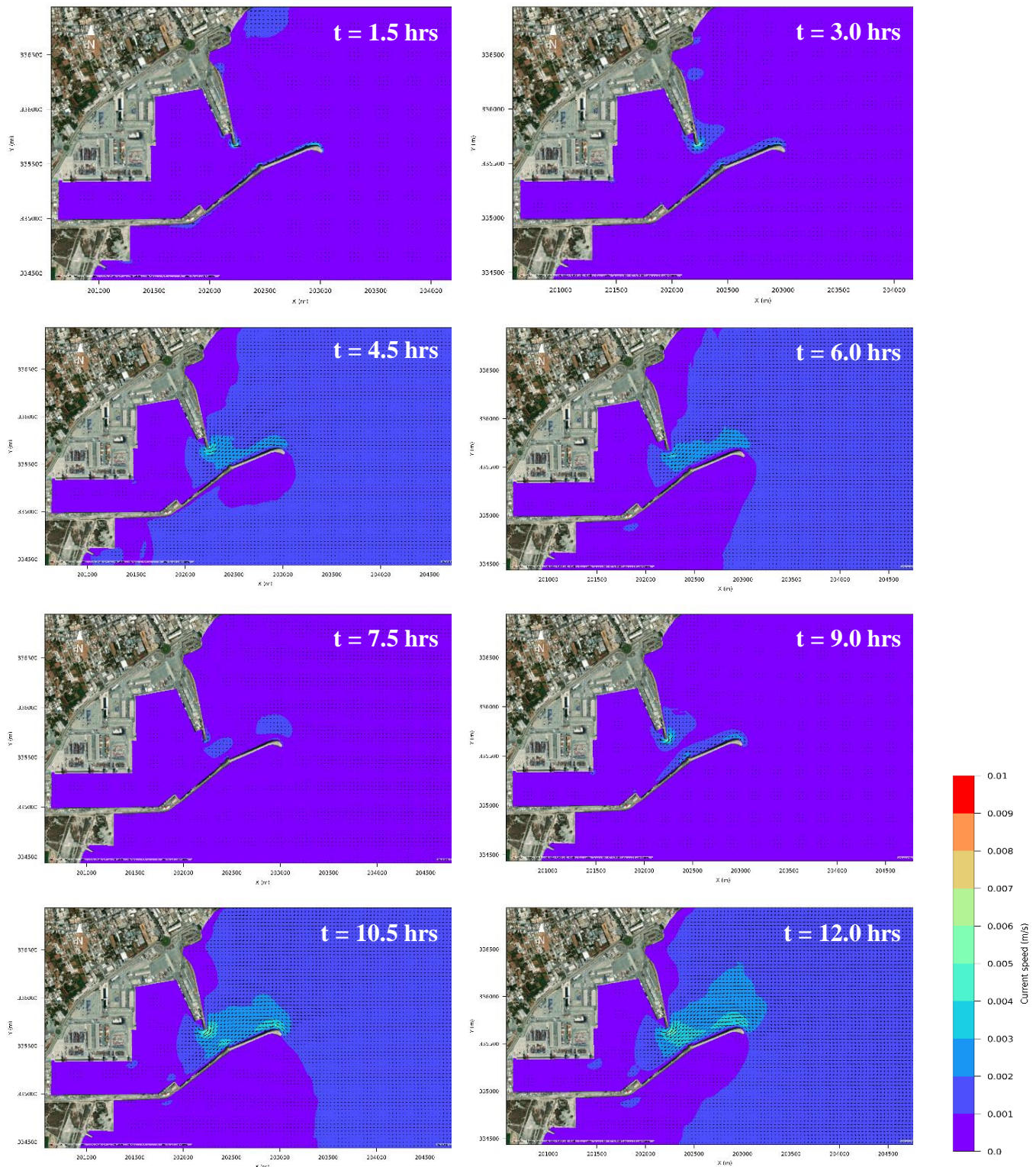
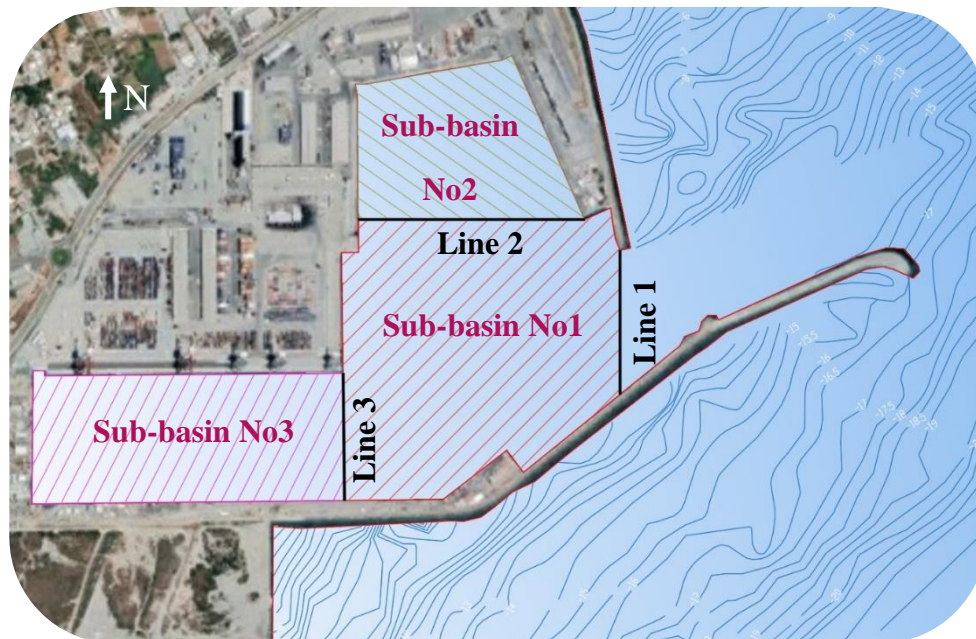


Figure 1: Time evolution of hydrodynamic circulation due to tides with period $T_{tide}= 12$ hrs and range $A_{tide}= 10$ cm.

Since it was described how the wind direction affects the disturbance of the port basin, the next step is the calculation of its renewal times and the investigation for each climate change

projection, as well as in comparison with the historical wind data. To achieve this, it will be divided into three smaller sub-basins (Map 2), based on the solid boundaries that surround them. So, there will be created imaginary straight lines for each sub-basin and it is possible to calculate the outflows from each line.

Map 2. Subdivision of main basin into three secondary basins



Since the volumes of the sub-port basins were calculated, in order to calculate the renewal times, it remains to determine the outflows that leave the sub-port basins in the three imaginary lines mentioned above. The exported data (current speeds and directions) were collected for the three lines by the mathematical simulations about each intensity-direction scenario that was modelled. The simulations were harmonized with the historical wind data but also for the climate change projections. The data were processed in order to calculate the outflow which represent each line. After completing this process, the methodology followed to implement the calculation of the renewal times is described subsequently (Table 3). Incorporated are the results for the average sums of the outflows from the three lines and the wind data for the historical data. And also, for the RCP4.5 and RCP8.5 climate change projections of the time years 2041-2070 and 2071-2100.

Table 3. Calculation of first line renewal time for historical wind data

- = Unavailable data

Line 1	History Direction															
BF	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	} Q _{weighted average BF} = 3.9402 m ³ /s T _{weighted average BF} = 22.7089 d		
	Percentage	0.098%	1.832%	0.538%	0.167%	0.032%	0.014%	0.091%	1.551%	3.687%	-	-	-			
	Q x P	0.0008	0.1347	0.0832	0.0364	0.0074	0.0025	0.0086	0.0356	0.0064	-	-	-			
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	-	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	} Q _{weighted average BF} = 3.9320 m ³ /s T _{weighted average BF} = 22.7560 d		
	Percentage	0.009%	0.242%	0.048%	0.007%	-	0.007%	0.048%	0.267%	0.976%	-	-	-			
	Q x P	0.0001	0.0278	0.0117	0.0024	-	0.0021	0.0074	0.0094	0.0022	-	-	-			
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.6744	16.4855	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	-	} Q _{weighted average BF} = 4.0364 m ³ /s T _{weighted average BF} = 22.1677 d		
	Percentage	0.002%	0.011%	-	-	-	0.005%	0.055%	0.075%	-	-	-	-			
	Q x P	0.0000	0.0018	-	-	-	0.0012	0.0028	0.0002	0.0002	-	-	-			
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	-	} Q _{weighted average BF} = 4.8710 m ³ /s T _{weighted average BF} = 18.3696 d		
	Percentage	-	-	-	-	-	-	0.011%	0.005%	-	-	-	-			
	Q x P	-	-	-	-	-	-	0.0008	0.0000	-	-	-	-			
Sum(Q x P) =	0.0009	0.1643	0.0949	0.0389	0.0074	0.0046	0.0171	0.0485	0.0088	-	-	-	Sum =	0.3854	m ³ /s	
Q _{weighted average} (m ³ /s) =	0.8474	7.8822	16.1939	22.3540	23.0146	22.0234	11.8853	2.5745	0.1848	-	-	-	η	-	-	
T _{weighted average Direction} (d) =	105.5944	11.3518	5.5254	4.0027	3.8878	4.0628	7.5284	34.7549	484.0811	-	-	-		33301.6814	m ³ /d	
														V _{sub basin} =	7730849.0719	m ³
														T _{renewal} =	232.1459	d

Exactly the same calculation methodology was applied to calculate the renewal times for the RCP4.5 and RCP8.5 climate change projections for both periods 2041-2070 and 2070-2100. The results for all sub-basins and for the entire basin are as following (Charts 2, 3, 4 and 5).

Central Sub Basin Renewal Time Comparison (d)

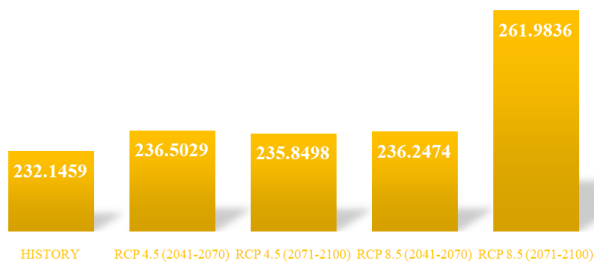


Chart 2 Comparative results between renewal times for the central sub-basin

North Sub Basin Renewal Time Comparison (d)

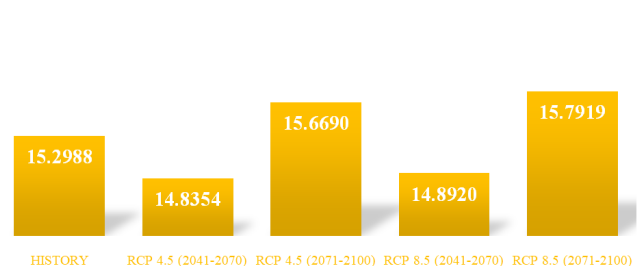


Chart 3. Comparative results between renewal times for the northern sub-basin

South Sub Basin Renewal Time Comparison (d)

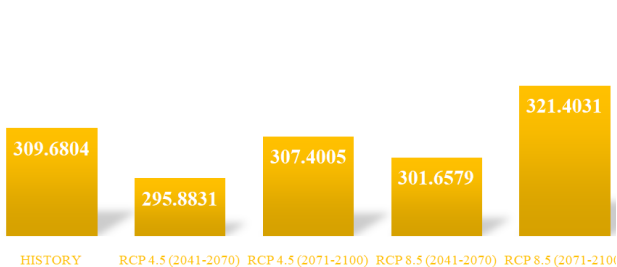


Chart 4. Comparative results between renewal times for the southern sub-basin

Entire Basin Renewal Time Comparison (d)

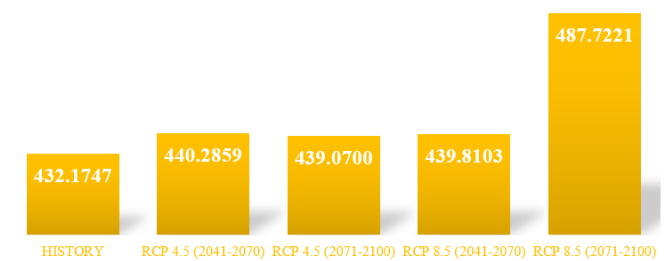


Chart 5. Comparative results between renewal times for the entire basin

4. Results and comparative analysis

Since the calculations of the renewal times for the three sub-basins and for the entire basin were finished, based on Table 3 and with a similar methodology, all weighted average outflows and weighted average renewal times per angle were calculated. These represent each line and scenario (history and climate change projection, see Appendix B). Below are the comparative results obtained.

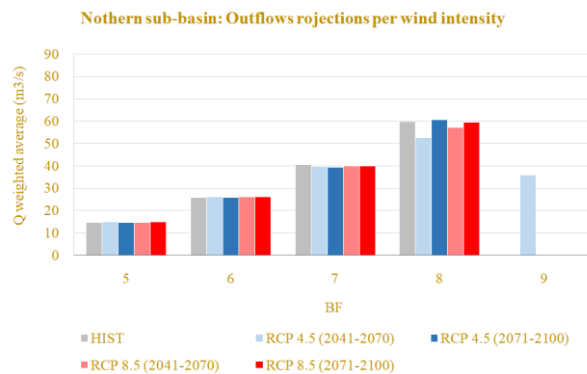
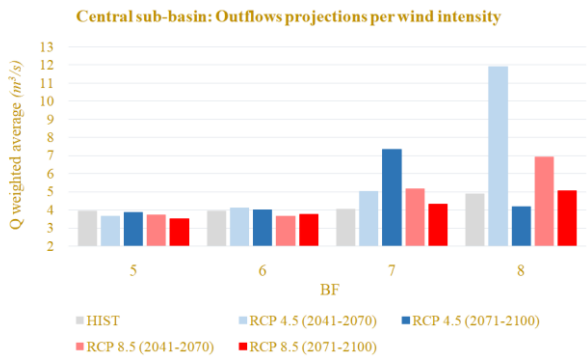


Chart 6. Changes in mean weighted outflows for the central sub-basin per wind intensity for historical data and climate change projections

Chart 7. Changes in mean weighted outflows for the northern sub-basin per wind intensity for historical data and climate change projections

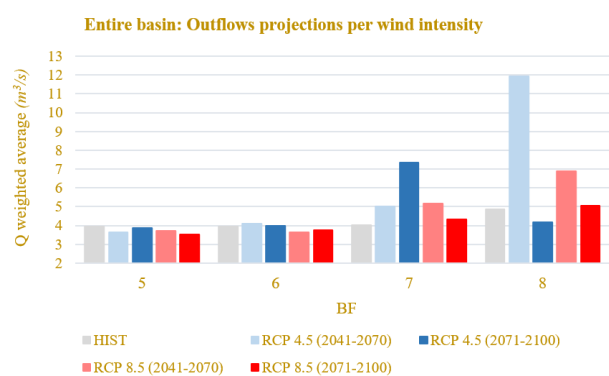
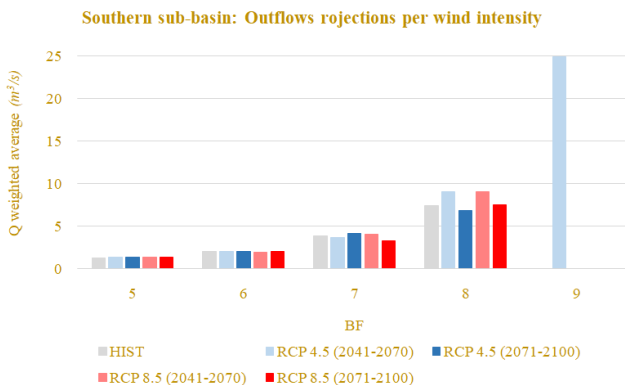


Chart 8. Changes in mean weighted outflows for the southern sub-basin per wind intensity for historical data and climate change projections

Chart 9. Changes in mean weighted outflows for the entire basin per wind intensity for historical data and climate change projections

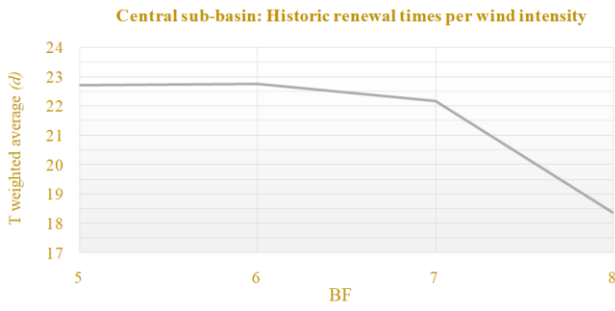


Chart 10. Change in mean weighted renewal times for the central sub-basin per wind intensity for historical data

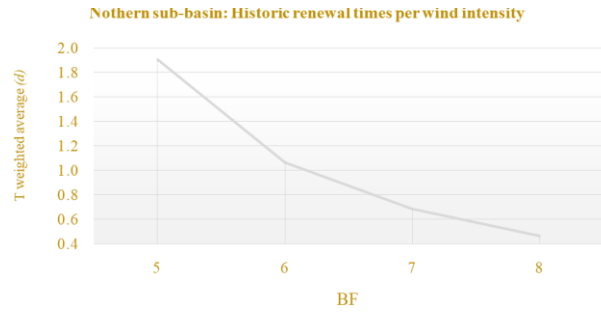


Chart 11. Change in mean weighted renewal times for the northern sub-basin per wind intensity for historical data

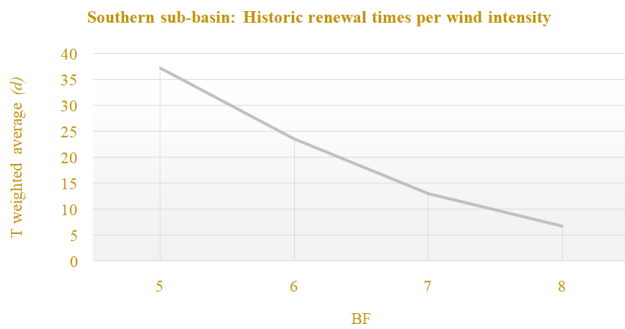


Chart 12. Change in mean weighted renewal times for the southern sub-basin per wind intensity for historical data

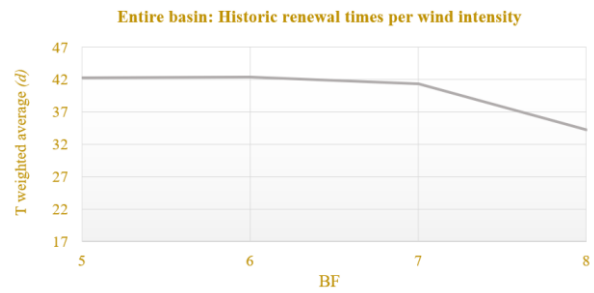


Chart 13. Change in mean weighted renewal times for the entire basin per wind intensity for historical data

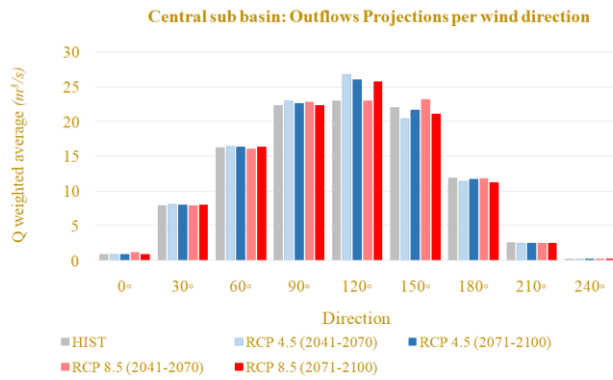


Chart 14. Changes in mean weighted outflows for the central sub-basin per wind direction for historical data and climate change projections

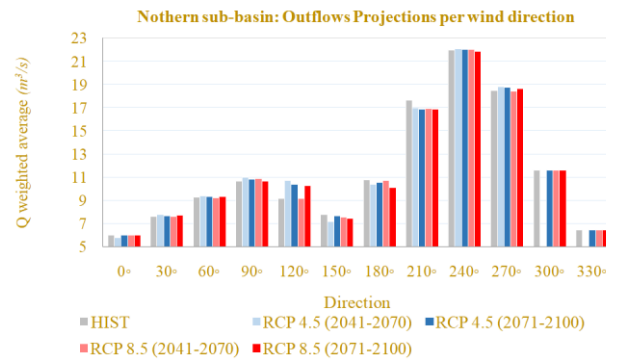


Chart 15. Changes in mean weighted outflows for the northern sub-basin per wind direction for historical data and climate change projections

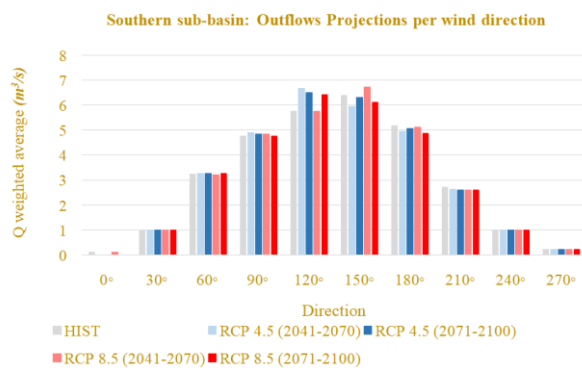


Chart 16. Changes in mean weighted outflows for the southern sub-basin per wind direction for historical data and climate change projections

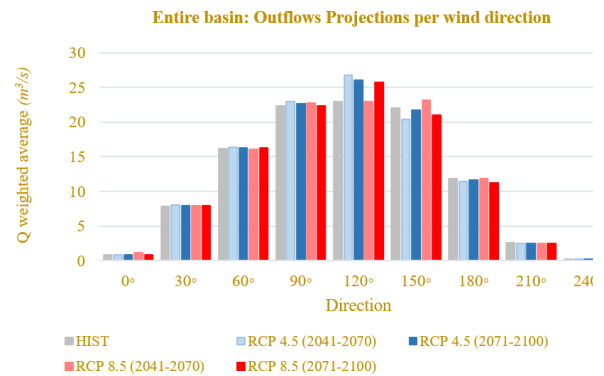


Chart 17. Changes in mean weighted outflows for the entire basin per wind direction for historical data and climate change projections

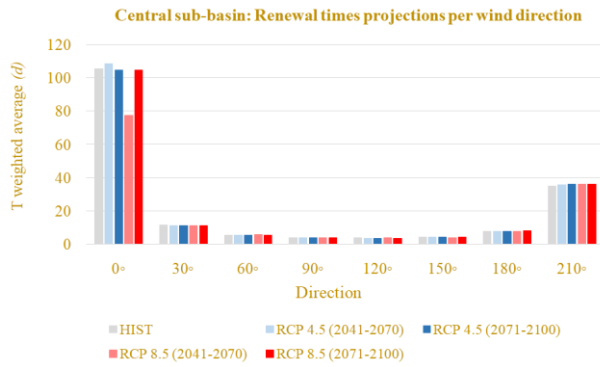


Chart 18. Changes in mean weighted renewal times for the central sub-basin per wind direction for historical data and climate change projections

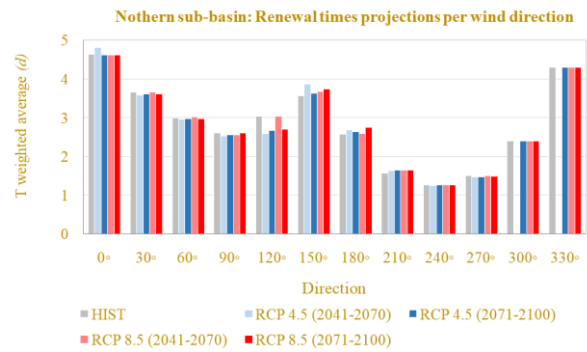


Chart 19. Changes in mean weighted renewal times for the northern sub-basin per wind direction for historical data and climate change projections

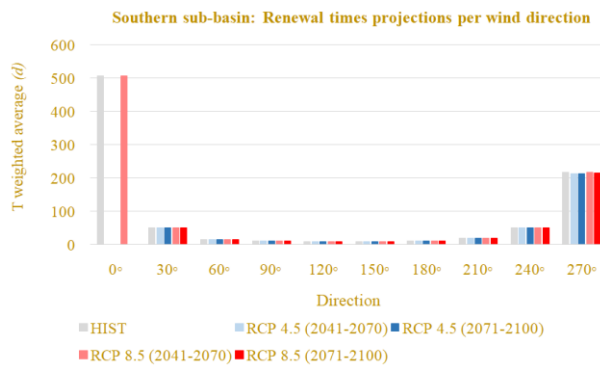


Chart 20. Changes in mean weighted renewal time for the southern sub-basin per wind direction for historical data and climate change projections

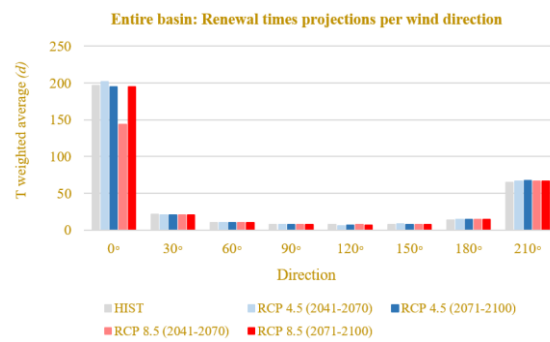


Chart 21. Changes in mean weighted renewal times for the entire basin per wind direction for historical data and climate change projections

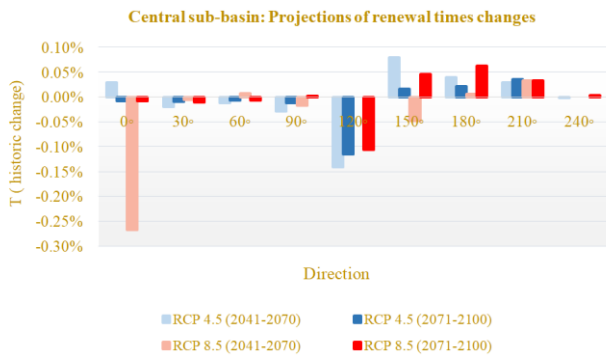


Chart 22. Percental changes in mean weighted renewal times for the central sub-basin per wind direction between historical data and climate change projections

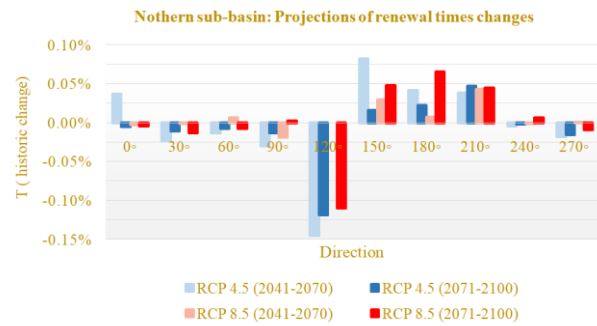


Chart 23. Percental changes in mean weighted renewal times for the northern sub-basin per wind direction between historical data and climate change projections

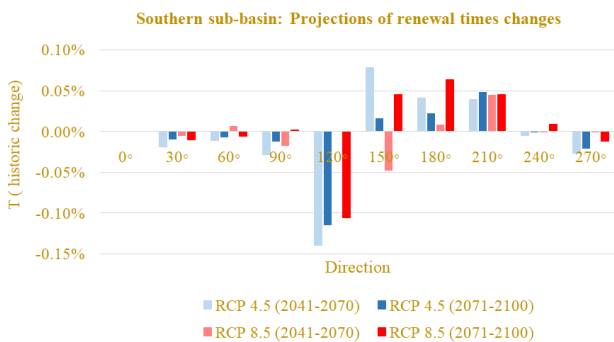


Chart 24 Percental changes in mean weighted renewal times for the southern sub-basin per wind direction between historical data and climate change projections

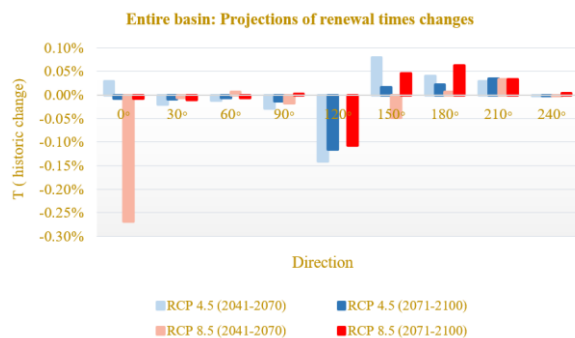


Chart 25 Percental changes in mean weighted renewal times for the entire basin per wind direction between historical data and climate change projections

5. Conclusions

In summary, climate change will have a slightly negative impact on the entire Limassol port basin and the central sub-basin, where an increase of renewal times was observed. Regarding the other two remaining sub-basins there is no clear tendency for increase or decrease of their renewal times.

Keywords: *Mathematical simulation, hydrodynamic circulation, wind-driven circulation, tidal circulation, port of Limassol, renewal times, effects of climate change.*

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 3.1: Εξεταζόμενα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Πηγή: IPCC, 2022)	18
Σχήμα 4.1: Μεθοδολογία διερεύνησης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής	20
Σχήμα 5.1: Γενική φωτογραφική τεκμηρίωση λιμένα Λεμεσού.....	28
Σχήμα 5.2: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων Λεμεσού περιόδου 1976-2005	33
Σχήμα 5.3: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP4.5 (2041-2070).....	35
Σχήμα 5.4: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP4.5 (2071-2100).....	37
Σχήμα 5.5: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP8.5 (2041-2070).....	39
Σχήμα 5.6: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP8.5 (2071-2100).....	41
Σχήμα 5.7: Κλειστό πολύγωνο (κόκκινο), ισοβαθείς (μπλε), εύρος (χρυσό) και σημείο αφετηρίας (χρυσό) περιοχής μελέτης λιμένα Λεμεσού.....	42
Σχήμα 5.8: Βυθομετρικός κάρναβος μοντέλου.....	43
Σχήμα 5.9: Συνοπτική σύνθεση μοντέλου Maris HYD.....	44
Σχήμα 5.10: Ταχύτητα ρευμάτων τελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim1} = 600 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF.....	45
Σχήμα 5.11: Ταχύτητα ρευμάτων προτελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim1} = 600 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF.....	46
Σχήμα 5.12: Ταχύτητα ρευμάτων τελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim2} = 1000 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF.....	47
Σχήμα 5.13: Ταχύτητα ρευμάτων προτελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim2} = 1000 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF.....	48
Σχήμα 5.14: Ταχύτητα ρευμάτων τελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim3} = 1200 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF.....	49
Σχήμα 5.15: Ταχύτητα ρευμάτων προτελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim3} = 1200 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF.....	50
Σχήμα 5.16: Πορεία διερεύνησης χρόνου προσομοίωσης.....	50
Σχήμα 5.17: Πορεία διερεύνησης έντασης ανέμου.....	51
Σχήμα 5.18: Ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 3 BF.....	52
Σχήμα 5.19: Ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 4 BF.....	52
Σχήμα 5.20: Ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 5 BF.....	53
Σχήμα 5.21: Χρονική εξέλιξη υδροδυναμικής κυκλοφορίας λόγω παλίρροιας	57
Σχήμα 5.22: Απόσπασμα δεδομένων τροποποιημένης βαθυμετρίας λιμενολεκάνης	60

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3.1: Προβαλλομένη θερμοκρασιακή μεταβολή παγκόσμιας επιφάνειας από τα 1850-1900 για δυο μελλοντικά χρονικά εύρη ετών και τέσσερα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Πηγή: IPCC, 2019)	15
Πίνακας 5.1: Ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα λιμένα Λεμεσού περιόδου 1976-2005	32
Πίνακας 5.2: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5 (2041-2070)	34
Πίνακας 5.3: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5 (2071-2100)	36
Πίνακας 5.4: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5 (2041-2070)	38
Πίνακας 5.5: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5 (2071-2100)	40
Πίνακας 5.6: Σενάρια μαθηματικής προσομοίωσης.....	54
Πίνακας 5.7: Δυσμενέστερα σενάρια προσομοίωσης	55
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα όγκων υπολιμενολεκανών μέσω επεξεργασίας δεδομένων	61
Πίνακας 5.9: Υπολογισμός χρόνου ανανέωσης πρώτης γραμμής για ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα	62
Πίνακας 5.10: Συγκριτική ποιοτική παρουσίαση αλλαγής των χρόνων ανανέωσης της λιμενολεκάνης Λεμεσού (↑ = αύξηση, ↓ = μείωση)	84

Λίστα Χαρτών

Χάρτης 5.1: Γεωγραφική θέση λιμενολεκάνης Λεμεσού.....	24
Χάρτης 5.2: Γενική άποψη υφιστάμενων λιμενικών εγκαταστάσεων λιμένα Λεμεσού.....	25
Χάρτης 5.3: Κρηπιδώματα Λεμεσού (κόκκινο χρώμα) και χρήσεις νότιου λιμένα	26
Χάρτης 5.4: Άποψη σταθερών ναυδέτων πρόσδεσης/παραβολής	26
Χάρτης 5.5: Θέσεις παραβολής και κατηγορίες πλοίων στα κρηπιδώματα και ναύδετα	27
Χάρτης 5.6: Βυθομετρική αποτύπωση παράκτιας περιοχής Λεμεσού.....	29
Χάρτης 5.7: Ναυτικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Λεμεσού	29
Χάρτης 5.8: Υποδιαίρεση κύριας λιμενολεκάνης σε τρεις δευτερεύουσες λιμενολεκάνες	30
Χάρτης 5.9: Σημείο εξαγωγής ανεμολογικών δεδομένων από Copernicus Climate Data Store	31
Χάρτης 5.10: Υποδιαίρεση κύριας λιμενολεκάνης σε τρεις δευτερεύουσες λιμενολεκάνες ...	59
Χάρτης 5.11: Τροποποιημένη βαθυμετρία με πρόσθετη ενσωμάτωση κλειστών πολυγώνων	60

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Θερμοκρασιακή μεταβολή στη παγκόσμια επιφάνεια (μέσος όρος δεκαετίας) όπως ανακατασκευάστηκε (1–2000) και παρατηρήθηκε (1850–2020) (Πηγή: IPCC, 2019)	13
Διάγραμμα 3.2: Μεταβολή παγκόσμιας μέσης στάθμης θάλασσας.....	14
Διάγραμμα 3.3: Μεταβολή μέσης στάθμης θάλασσας Μεσογείου (Πηγή: Marcos <i>et al.</i> , 2016). 16	
Διάγραμμα 3.4: Μονοπάτια σεναρίων συγκέντρωσης βλαβερών αερίων θερμοκηπίου: πράσινο = RCP2.5, μπλε = RCP4.5, καφέ = RCP6.0, μωβ = RCP8.5 (Πηγή: Siebentritt, M., 2016).....	18
Διάγραμμα 5.1: Ημιτονοειδής ρυθμός μεταβολής θαλάσσιας στάθμης σε παλίρροια περιόδου 12 ωρών	56
Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την κεντρική υπολιμενολεκάνη	63
Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την βόρεια υπολιμενολεκάνη	64
Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την νότια υπολιμενολεκάνη	64
Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την συνολική υπολιμενολεκάνη	65
Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής.....	66
Διάγραμμα 5.7: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής.....	67
Διάγραμμα 5.8: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα	68
Διάγραμμα 5.9 : Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής.....	68
Διάγραμμα 5.10: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής	69
Διάγραμμα 5.11: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	70
Διάγραμμα 5.12 : Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	71
Διάγραμμα 5.13: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα	72
Διάγραμμα 5.14: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	73
Διάγραμμα 5.15: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής	74
Διάγραμμα 5.16: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	75
Διάγραμμα 5.17: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	76
Διάγραμμα 5.18: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα	77

Διάγραμμα 5.19: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	78
Διάγραμμα 5.20: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής	79
Διάγραμμα 5.21: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	80
Διάγραμμα 5.22: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	80
Διάγραμμα 5.23: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα	81
Διάγραμμα 5.24: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής	82
Διάγραμμα 5.25: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής	83

Σύμβολα

Κεφάλαιο 2

Q_{ex} : Εξερχόμενη παροχή εκ της λιμενολεκάνης

Q_i : Εξερχόμενη παροχή εκ του τμήματος

V : Όγκος υδάτων της λιμενολεκάνης

V_i : Όγκος υδάτων του τμήματος

θ : Μέσος χρόνος ανανέωσης

θ_i : Μέσος χρόνος ανανέωσης (d) τμήματος

Κεφάλαιο 4

$\bar{\eta}$: Ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας

h : Συνολικό βάθος

S : Εξωτερικές εκκενώσεις που προστίθενται ή αφαιρούνται σε περίπτωση σημειακής πηγής ή βύθισης αντίστοιχα

S_x : Εξωτερικές εκκενώσεις που προστίθενται σε περίπτωση εξωτερικής σημειακής πηγής

U, V : Μέσες ως προς το βάθος νερού οριζόντιες ταχύτητες ρεύματος κατά τη διεύθυνση x και y αντίστοιχα

f : Συντελεστής Coriolis

v_h : Οριζόντιος συντελεστής τυρβώδους ιξώδους

ρ : Πυκνότητα του θαλασσινού νερού

τ_{sx}, τ_{sy} : Συνιστώσες της διατμητικής τάσης ανέμου στον άξονα x και y αντίστοιχα

Κεφάλαιο 5

c_d : Συντελεστής τριβής ανέμου

dx, dy : Οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση κελιού πεδίου

P : Ποσοστό συχνότητας εμφάνισης ανεμολογικού δεδομένου

$Q_{outflow}$: Εξερχόμενη παροχή εκ της υπολιμενολεκάνης

$Q_{weighted\ average}$: Μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή

$T_{historic\ change}$: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης υδάτων για σενάριο κλιματικής αλλαγής σε σχέση με ιστορικά δεδομένα

t_{sim1} : Χρόνος προσομοίωσης ίσος με 600 s

t_{sim2} : Χρόνος προσομοίωσης ίσος με 1000 s

t_{sim3} : Χρόνος προσομοίωσης ίσος με 1200 s

T_{tide} : Περίοδος αστρονομικής παλίρροιας

u_{wind} : Ταχύτητα ανέμου

A_{tide} : Πλάτος αστρονομικής παλίρροιας

$T_{weighted\ average}$: Μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης υδάτων

Συνομογραφίες

CCKP: Climate Change Knowledge Portal

CO₂: Carbon dioxide

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

FM: Flow Model

GCM: General Circulation Models

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

LES: Large Eddy Simulation

Maris BTG: Maris Bathymetry Grid

Maris HYD: Maris Hydrodynamic

RCP: Representative Concentration Pathway

TR: Transport Module

WINDCIR: Wind Circulation

Βλ.: Βλέπε

ΔΝΔ: Δυτικά Νοτιοδυτικά

Ε/Κ: Εμπορευματοκιβώτια

ΜΣΘ: Μέση Στάθμη Θάλασσας

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία διερευνώνται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδροδυναμική κυκλοφορία της λιμενολεκάνης Λεμεσού για διάφορες περιπτώσεις εντάσεων και κατευθύνσεων ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, αντικείμενο της Διπλωματικής αποτελεί η εκπόνηση μαθηματικών προσομοιώσεων των ανεμογενών ρευμάτων στον λιμένα για διάφορες περιπτώσεις εντάσεων και διευθύνσεων ανέμου στην εν λόγω περιοχή τόσο για τις προηγούμενες δεκαετίες όσο και για τις επόμενες. Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός των χρόνων ανανέωσης της λιμενολεκάνης για να προσδιοριστεί εάν η κλιματική αλλαγή συνεισφέρει θετικά ή αρνητικά στην εξερχόμενη παροχή εκ της λιμενολεκάνης και κατά συνέπεια στους χρόνους ανανέωσης αυτής.

Η υδροδυναμική κυκλοφορία των λιμενολεκανών και συνεπακόλουθα οι χρόνοι ανανέωσης αποτελούν αντικείμενα διερεύνησης τόσο για τους επιστήμονες όσο και για τους μηχανικούς που ασχολούνται με λιμενικά και παράκτια έργα καθώς και με κλειστούς φυσικούς κόλπους. Η ανανέωση των υδάτων σε λιμενολεκάνες και κλειστούς κόλπους συντελείται κυρίως λόγω δυο φυσικών μηχανισμών, της δράσης του ανέμου και της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης εξαιτίας της παλίρροιας. Η παρούσα ΜΔΕ εστιάζει κυρίως στον πρώτο μηχανισμό όπου και αναμένονται αλλαγές της ανεμολογικής διαίτας τα επόμενα χρόνια λόγω κλιματικής αλλαγής. Από την βιβλιογραφική αναδίφηση διεθνών ερευνών, προκύπτει ότι το συγκεκριμένο αντικείμενο δεν έχει διερευνηθεί έως σήμερα και αυτό αποτέλεσε και το κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας ΜΔΕ. Με τα έως τώρα δεδομένα στα βιβλιογραφικά συγγράμματα που έχουν εκδοθεί αλλά και στις σχετικές έρευνες που έχουν δημοσιευθεί δεν έχει γίνει ακριβής αναφορά στο πως είναι ικανή η κλιματική αλλαγή να αποφέρει επιπτώσεις στην ανεμογενή υδροδυναμική κυκλοφορία των ρευμάτων στη λιμενολεκάνη Λεμεσού. Επίσης, δεν έχει διερευνηθεί το τι μεταβολή θα υποστούν οι χρόνοι ανανέωσης της λιμενολεκάνης υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής.

1.2 Διάρθρωση

Αρχικά, κατά το δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο θέμα προς διερεύνηση με παράθεση σχετικών ερευνών. Σημειώνονται οι τρόποι με τους οποίους οι ερευνητές μέχρι σήμερα έχουν προσεγγίσει τη μελέτη της υδροδυναμικής κυκλοφορίας και τις διάφορες μεθόδους με τις οποίες τη προσομοίωσαν. Επίσης, αναγράφονται και οι μεθοδολογίες που ακολούθησαν προκειμένου να υπολογίσουν τους χρόνους ανανέωσης των λιμενολεκανών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνυφασμένα πληροφοριακά στοιχεία με τη κλιματική αλλαγή αλλά και η κλιματική εικόνα που έχει δημιουργηθεί έως τώρα στη Κύπρο. Αναγράφονται πληροφοριακά στοιχεία για τις προβολές κλιματικής αλλαγής. Ακόμη, αναγράφονται τα σενάρια προβολών κλιματικής αλλαγής που θα εξεταστούν εν προκειμένω και είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις επιπτώσεις που ενδέχεται να προκαλέσουν στην υδροδυναμική κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης της λιμενολεκάνης Λεμεσού.

Προχωρώντας στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την διαδικασία εκτίμησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υδροδυναμική κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του εξεταζόμενου λιμένα. Επίσης, ενσωματώνεται το επιστημονικό υπόβαθρο που περιγράφει το μοντέλο μαθηματικής προσομοίωσης Maris HYD. Αυτό, προσδίδει τις βάσεις για να στηριχτούν οι υπολογισμοί των χρόνων ανανέωσης της λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα αλλά και για τις προβολές κλιματικής αλλαγής. Έτσι, μετά την εξαγωγή των δεδομένων αυτών είναι δυνατή η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων άρα και η ανάδειξη των μεταβολών που ίσως επιφέρει η κλιματική αλλαγή.

Έπειτα, κατά το πέμπτο κεφάλαιο ενσωματώνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η περιοχή εφαρμογής αναγράφοντας τη θέση της, τις γενικές λιμενικές εγκαταστάσεις με τις οποίες αυτή εξοπλίζεται αλλά και τη βυθομετρία της. Επίσης, γίνεται ο καταμερισμός της σε μικρότερα υποτιμήματα προκειμένου να υπολογιστούν οι χρόνοι ανανέωσης για το κάθε ένα. Στη συνέχεια, αναγράφονται τα ανεμολογικά δεδομένα του λιμένα μελέτης τα οποία διακρίνονται σε ιστορικά αλλά και μελλοντικά. Τα τελευταία βρίσκουν εφαρμογή στις προβολές κλιματικής αλλαγής. Έπειτα, κατασκευάζεται ο βυθομετρικός κάρναβος που αποτελεί έρεισμα για τις μαθηματικές προσομοιώσεις. Έτσι, εκτελέστηκαν προκαταρκτικές διερευνήσεις / προσομοιώσεις για να ευρεθεί το έγκυρο φάσμα συνθηκών προσομοίωσης. Επομένως, διεξήχθη η μαθηματική προσομοίωση της ανεμογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας του λιμένα για ιστορικές αλλά και αντιπροσωπευτικές κλιματικής αλλαγής συνθήκες ανεμοπνοής. Εφόσον περατώθηκαν οι προσομοιώσεις στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός των όγκων κάθε υπολιμενολεκάνης για να είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι χρόνοι ανανέωσης. Ύστερα, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αλλά και σχολιασμός επί αυτών.

Τελικά, κατά το έκτο κεφάλαιο γίνεται εξαγωγή των συμπερασμάτων για την κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του λιμένα Λεμεσού σχετικά με τη κλιματική αλλαγή και τις μεταβολές που ενδέχεται να επιφέρει μελλοντικά. Εν κατακλείδι, αναφέρονται οι προτάσεις περαιτέρω έρευνας όπου θα μπορούσαν να εξελίξουν το εξεταζόμενο μελετητικό αντικείμενο.

2. Υδροδυναμική Κυκλοφορία και Χρόνοι Ανανέωσης Λιμενολεκάνης

2.1 Γενικά

Προκειμένου να περιγράψουμε το θαλάσσιο ρεύμα αρκεί να προσδιορίσουμε την οριζόντια ή κατακόρυφη μεταφορά θαλάσσιου νερού (Κρεστενίτης *et al.*, 2015). Συνολικά, τα ρεύματα (currents) συντελούν την υδροδυναμική κυκλοφορία (hydrodynamic circulation) μίας λιμενολεκάνης ή ενός κλειστού κόλπου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον μηχανισμό αυτό είναι οι εξής (Κρεστενίτης *et al.*, 2015):

- η θραύση των κυμάτων στην παράκτια ζώνη (κυματογενής κυκλοφορία),
- η επιρροή της κεντρομόλου δύναμης και της δύναμης Coriolis (γεωστροφική κυκλοφορία),
- οι οριζόντιες και κατακόρυφες διαφορές πυκνότητας (θερμοαλατική κυκλοφορία),
- η αστρονομική παλίρροια (παλιρροιακή κυκλοφορία),
- οι οριζόντιες βαθμίδες της ατμοσφαιρικής πίεσης (μετεωρολογική παλίρροια) και
- η επίδραση των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας (ανεμογενής κυκλοφορία)

Σχετικά με τον έλεγχο της ποιότητας υδάτων σε μια λιμενολεκάνη εξετάζεται η ικανότητα του να ανανεώνεται, προσδιορίζοντας δηλαδή τους χρόνους ανανέωσης της λιμενολεκάνης (Fountoulis, G. & Memos, C., 2004). Σαν χρόνος ανανέωσης υδάτων καλείται το χρονικό διάστημα που απαιτείται για μία λιμενολεκάνη ή έναν φυσικό κόλπο να ανταλλάξει εσωτερικό υδάτινο όγκο που με το υδάτινο σώμα που το περιβάλλει (Tsoukala *et al.* 2009). Η ανανέωση των υδάτων σε λιμενολεκάνες και κλειστούς κόλπους συντελείται κυρίως λόγω δυο φυσικών μηχανισμών, της δράσης του ανέμου και της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης εξαιτίας της παλίρροιας. Πέραν αυτών μπορούν να κατασκευαστούν τεχνικά έργα και να τοποθετηθεί μηχανολογικός εξοπλισμός. Συχνά επιλέγονται μέθοδοι όπως οι μηχανικοί δονητές, υπερχειλιστές, αντλίες, διαπερατοί κυματοθραύστες και αγωγοί ανανέωσης (Tsoukala *et al.* 2009). Οι λύσεις αυτές ενισχύουν την κυκλοφορία των υδάτων ενισχύοντας το πεδίο ταχύτητας εντός της λιμενολεκάνης έτσι ώστε είναι ικανές να συμβάλλουν στη μείωση των χρόνων ανανέωσης και στη βελτίωση της ποιότητας του υδάτων (Tsoukala *et al.* 2014).

Η μαθηματική προσομοίωση της υδροδυναμικής κυκλοφορίας και διείδυσης ρευμάτων εντός λιμενολεκανών αλλά και παράκτιων περιοχών είναι μεγάλης σημασίας για τους επιστήμονες και τους μηχανικούς που επιθυμούν να αποκτήσουν μια εικόνα του υδροδυναμικού πεδίου.

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αναφορά στις μέχρι σήμερα έρευνες υπολογισμού χρόνων ανανέωσης λιμενολεκανών ή κλειστών κόλπων. Αναγράφονται συνοπτικά οι μεθοδολογίες που

χρησιμοποίησαν προκειμένου να τους υπολογίσουν και τι συμπεράσματα προκύψαν από τις έρευνες που διεξήγαγαν.

2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι Stamou *et al.* (2007) εκτίμησαν τους χρόνους ανανέωσης σε ημίκλειστες παράκτιες περιοχές με χρήση υδροδυναμικού μοντέλου για ανεμογενή ρεύματα και παλίρροια. Το μοντέλο που έκαναν χρήση βασίζεται στις θεμελιώδεις υδροδυναμικές εξισώσεις συνέχειας και ορμής. Σχετικά με τον υπολογισμό του μέσου χρόνου ανανέωσης εφάρμοσαν την σχέση των Yin *et al.* (1998):

$$\theta = \frac{V}{Q_{ex}} \quad (2.1)$$

Όπου:

V (m^3), ο όγκος νερού εντός της λιμενολεκάνης

Q_{ex} , (m^3/s) ο ρυθμός ροής που εξέρχεται της λιμενολεκάνης

Επίσης, πραγματοποίησαν υποδιαίρεση της μελετώμενης περιοχής σε υποπεριοχές και εφάρμοσαν την ίδια σχέση για την κάθε μία, ήτοι:

$$\theta_i = \frac{V_i}{Q_i} \quad (2.2)$$

Όπου:

V_i , (m^3) ο όγκος νερού εντός του τμήματος

Q_i , (m^3/s) ο ρυθμός ροής που εξέρχεται από το τμήμα

Συμπέραναν ότι οι χρόνοι ανανέωσης ποικίλλαν μεταξύ των τμημάτων και ότι κυμαίνονταν μεταξύ των 2.3 με 10.1 ημερών.

Οι Galea *et al.* (2014) πραγματοποίησαν αριθμητική προσομοίωση κυκλοφορίας ρευμάτων και ανανέωσης υδάτων στο λιμάνι της Barcelona για την χειμέρια εποχή. Εξέτασαν τη συμπεριφορά των ρευμάτων και των χρόνων ανανέωσης υπό τυπικές συνθήκες ανέμου. Προσομοίωσαν την υδροδυναμική κυκλοφορία του λιμένα με χρήση ενός παράκτιου μοντέλου τύπου LES (Large Eddy Simulation) το οποίο είναι ικανό να επιλύσει άμεσα τις ανισότροπες

και ενεργητικά μεγάλες κλίμακες κυκλοφορίας και παραμετροποιεί τις μικρότερες. Επίσης, έκαναν υποδιαίρεση της μελετώμενης περιοχής σε μικρότερες προκειμένου να υπολογίσουν τους χρόνους ανανέωσης. Προκειμένου να περιγράψουν αυτούς έκαναν χρήση της εξίσωσης των Yin et al (1998) για κάθε υποπεριοχή μελέτης. Από τη μελέτη τους προέκυψε ότι οι χρόνοι ανανέωσης διαφέρουν ανάλογα τη μελετώμενη υποπεριοχή.

Οι Malcangio *et al.* (2017) μελέτησαν αριθμητικά την βελτίωση της ποιότητας νερού σε λιμάνι μέσω ενός συστήματος που επιφέρει ανάμειξη. Πιο συγκεκριμένα εφάρμοσαν ένα τρισδιάστατο αριθμητικό μοντέλο το οποίο προσομοιώνει την υδροδυναμική κυκλοφορία αλλά και τους χρόνους ανανέωσης ενός λιμένα στη νότια Ιταλία. Χρησιμοποίησαν το μοντέλο MIKE 3 Flow Model (FM) το οποίο εφαρμόζει τις κλασικές υδροστατικές εξισώσεις συνέχειας και ορμής για να προσομοιώσει τις μεταβολές στη μέση στάθμη θάλασσας αλλά και τη κυκλοφορία των ρευμάτων όπως και τη στερεομεταφορά. Επίσης, χρησιμοποίησαν τον μοντέλο Transport Module (TR) προκειμένου να προσδιορίσουν τους χρόνους μερικής ή ολικής ανανέωσης υδάτων για την λιμενολεκάνη της Monopoli. Το τελευταίο, είναι ικανό να προσομοιώνει την διάχυση διαλυμένων ουσιών που τέθηκαν ως ιχνηθέτες. Με βάση την τιμή συγκεντρώσεων αυτών για τις αρχικές συνθήκες προσδιόρισαν τους χρόνους ανανέωσης κάθε φορά που οι τιμές τους επέστρεφαν στις αρχικές συνθήκες. Εφόσον αξιολόγησαν τις φυσικές συνθήκες ανανέωσης υδάτων του λιμανιού από την έρευνά τους κρίθηκε σκόπιμο να προγραμματιστεί βελτίωση μέσω συστήματος άντλησης υδάτων.

Η Χριστοδούλου (2010) μελέτησε τον υπολογισμό του χρόνου ανανέωσης υδάτων σε αλιευτικό καταφύγιο με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων. Χρησιμοποίησε για να προσομοιώσει την υδροδυναμική κυκλοφορία το κυκλοφοριακό μοντέλο WINDCIR το οποίο αξιοποιεί τις εξισώσεις Navier-Stokes. Για τον υπολογισμό του χρόνου ανανέωσης στο αλιευτικό καταφύγιο της μελέτης της χρησιμοποίησε ψευδοτριδιάστατο μοντέλο κυκλοφορίας με τη βοήθεια της σχέσης των Yin *et al.* (1998). Συμπέρανε ότι η εξαναγκασμένη ανανέωση υδάτων με τη χρήση συστήματος άντλησης θα επέφερε αποδοτικότερους χρόνους ανανέωσης.

Ο Στεφανίδης (2015) εξέτασε την ανανέωση υδάτων λιμενολεκάνης για τουριστικούς λιμένες μέσω αριθμητικής προσομοίωσης για παλιρροιακά και ανεμογενή ρεύματα. Αξιοποίησε μοντέλο υδροδυναμικής φύσεως (MIKE FM) και μοντέλο ιχνηθέτη (PT module).

Προσομοίωσε την υδροδυναμική κυκλοφορία κάνοντας χρήση του μοντέλου MIKE 21 HD για ανεμογενή ρεύματα. Σχετικά με τον υπολογισμό του χρόνου ανανέωσης εφόσον είχε εκτιμήσει τις εξερχόμενες παροχές εκ των λιμενολεκάνων του εφάρμοσε τη σχέση των Yin *et al.* (1998) και επέλεξε τη βέλτιστη ανανέωση για κάθε σενάριό του.

Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ έχει διεξάγει πολυάριθμες και σημαντικές έρευνες για την ανανέωση των υδάτων σε λιμενολεκάνες με ιδιαίτερη έμφαση στους αγωγούς ανανέωσης, τόσο με φυσικές προσομοιώσεις όσο και με μαθηματικές. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά κάποιες από αυτές.

Οι Stamou *et al.* (2004) εφάρμοσαν ένα μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό της κυκλοφορίας του νερού στη μαρίνα Λατσίου στην Κύπρο. Σύμφωνα με αυτή την έρευνα το πεδίο ροής στη μαρίνα δείχνει τη γενική συμπεριφορά των παράκτιων, αιολικών ροών, επηρεαζόμενη έντονα από τα χαρακτηριστικά της εισόδου της μαρίνας. Η μικρή διάσταση και η θέση της εισόδου δεν επιτρέπουν την εισροή ή εκροή σημαντικών ρυθμών ροής, με αποτέλεσμα μεγάλους χρόνους ανανέωσης. Η χρήση δύο ανοιγμάτων διερευνήθηκε στην εν λόγω έρευνα. Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι το πρώτο άνοιγμα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, ενώ το αποτέλεσμα του δεύτερου ανοίγματος είναι μόνο τοπικής και δευτερεύουσας σημασίας. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στον προσανατολισμό και τη θέση αυτών των ανοιγμάτων ως προς την είσοδο. Η χρήση του πρώτου ανοίγματος οδηγεί σε σημαντική αύξηση του ρυθμού ροής που διέρχεται από το εσωτερικό τμήμα της μαρίνας, γεγονός που αυξάνει το μέγεθος των ταχυτήτων και μειώνει τους χρόνους ανανέωσης.

Οι Tsoukala and Moutzouris (2004) στην έρευνα τους με τίτλο «Μετρήσεις Συγκέντρωσης Διαλυμένου Οξυγόνου στον Κεντρικό Λιμένα Πειραιά» παρουσίασαν τη χωρική και χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου (Δ.Ο.), της θερμοκρασίας και της αλατότητας του νερού και διερεύνησαν τη μεταβολή της συγκέντρωσης του Δ.Ο. ως συνάρτηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου στον Κεντρικό Λιμένα του Πειραιά. Γενικά παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του Δ.Ο. με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Στην ίδια έρευνα πρότειναν μια εμπειρική εξίσωση, με βάση τις μετρηθείσες τιμές η οποία περιγράφει τη διαφορά της συγκέντρωσης του Δ.Ο. εντός και εκτός λιμενολεκάνης ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Παρατηρήθηκε επίσης μείωση της συγκέντρωσης του Δ.Ο. με την εισροή ομβρίων υδάτων εντός της λιμενολεκάνης.

Σύμφωνα με τους Tsoukala and Moutzouris (2008, 2009), μια σημαντική πτυχή που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός λιμένα είναι η ποιότητα των υδάτων εντός της λεκάνης, η οποία εξαρτάται από την ανταλλαγή νερού μεταξύ του λιμένα και του περιβάλλοντος υδατικού συστήματος. Οι πιο διακεκριμένες διεθνώς μέθοδοι για την αντιμετώπιση της ανεπαρκούς ανανέωσης που εμφανίζεται υπήνεμα των παράκτιων κατασκευών περιλαμβάνουν μηχανικούς δονητές, υπερχειλίσσεις, αντλίες, διαπερατούς κυματοθραύστες και αγωγούς ανανέωσης. Μεταξύ αυτών των μεθόδων, η κατασκευή αγωγών ανανέωσης είναι πιο ευνοϊκή λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας. Στην εν λόγω εργασία, η μετάδοση κυμάτων μέσω των αγωγών ανανέωσης διερευνήθηκε πειραματικά σε δύο φυσικά μοντέλα. Τα ύψη προσπίπτοντος κύματος και μεταδιδόμενων κυμάτων προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας κυματομετρητές για διάφορους συνδυασμούς χαρακτηριστικών κυμάτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αγωγών ανανέωσης. Ο μετασχηματισμός ύψους κύματος μέσω του αγωγού ανανέωσης αναλύθηκε για όλες τις πειραματικές συνθήκες. Η ευαισθησία του συντελεστή μετάδοσης κυμάτων σε σχέση με άλλες παραμέτρους διερευνήθηκε διεξοδικά προκειμένου να καθοριστεί ποιες παράμετροι θα μπορούσαν να προβλέψουν πιο αποτελεσματικά τον συντελεστή μετάδοσης κύματος. Παρατηρήθηκε ότι ο συντελεστής μετάδοσης κύματος αυξήθηκε όταν η περίοδος προσπίπτοντος κύματος, το πλάτος και το ύψος του αγωγού ανανέωσης αυξήθηκαν, το προσπίπτον κύμα έγινε πιο απότομο, το μήκος του αγωγού ανανέωσης μειώθηκε και η γωνία προσπίπτοντος κύματος πλησίασε τις 90° . Στην ίδια έρευνα πρότειναν μια εμπειρική εξίσωση που συσχετίζει τον συντελεστή μετάδοσης κύματος με τα κυματικά χαρακτηριστικά και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού ανανέωσης η οποία προέκυψε μέσω μη γραμμικής παλινδρόμησης.

Στην εργασία των Tsoukala *et al.*, (2010), παρουσιάζονται και αναλύονται αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε διδιάστατη πειραματική εγκατάσταση προκειμένου να διερευνηθεί η μετάδοση κυμάτων και διαλυμένου οξυγόνου στις λιμενολεκάνες μέσω αγωγών ανανέωσης. Τα ύψη προσπίπτοντος κύματος και μεταδιδόμενων κυμάτων προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας κυματομετρητές για διάφορους συνδυασμούς χαρακτηριστικών κυμάτων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αγωγών ανανέωσης. Προέκυψε μια εμπειρική εξίσωση χρησιμοποιώντας ανάλυση παλινδρόμησης, η οποία συσχετίζει τον συντελεστή μετάδοσης κύματος με τα χαρακτηριστικά των κυμάτων και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού. Περαιτέρω, ο συντελεστής μετάδοσης οξυγόνου

μέσω των αγωγών ανανέωσης, εκφράστηκε ως συνάρτηση των χαρακτηριστικών των κυμάτων και των διαστάσεων του αγωγού. Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων και των πειραματικών μετρήσεων αποδείχθηκε πολύ ενθαρρυντική. Ωστόσο, όπως αναφέρουν απαιτείται η επαλήθευση της προτεινόμενης εξίσωσης με ακόμη περισσότερα πειραματικά δεδομένα και μετρήσεις πεδίου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία σχεδιασμού.

Πιο πρόσφατα, στην έρευνα των Tsoukala *et al.* (2014) παρουσιάστηκε μια σειρά από 63 πειράματα, τα οποία διεξήχθησαν σε ένα φυσικό μοντέλο ενός κυματοθραύστη σε ένα κανάλι, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της επίδρασης των κυματικών χαρακτηριστικών καθώς και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αγωγού ανανέωσης στο προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας, στη γένεση αρμονικών καθώς και στο συντελεστή μετάδοσης. Αποδείχθηκε ότι:

- (i) η γένεση αρμονικών κατάντη της κατασκευής είναι πιο έντονη όταν αυξάνεται η μη γραμμικότητα των κυμάτων
- (ii) η γένεση αρμονικών και ο συντελεστής μετάδοσης επηρεάζονται κυρίως από τις διαστάσεις του αγωγού, ιδιαίτερα από το πλάτος του, καθώς σχετίζεται με την ενέργεια που μεταδίδεται στην υπήνεμη μεριά της κατασκευής και με την περίθλαση.

Επιπλέον εφαρμόστηκε ένα διδιάστατο μαθηματικό μοντέλο συζευγμένου συστήματος λειτουργίας (CMS) για την αριθμητική προσομοίωση κυμάτων που διαδίδονται μέσω των αγωγών. Στην εν λόγω έρευνα παρουσιάστηκαν συγκρίσεις με τα πειραματικά δεδομένα με καλά αποτελέσματα για γραμμικά και ελαφρώς μη γραμμικά κύματα, αποδεικνύοντας τη χρησιμότητα του μοντέλου στον υπολογισμό της αποδοτικότητας ενός αγωγού ανανέωσης σε μια καθημερινή βάση λειτουργίας του λιμένα.

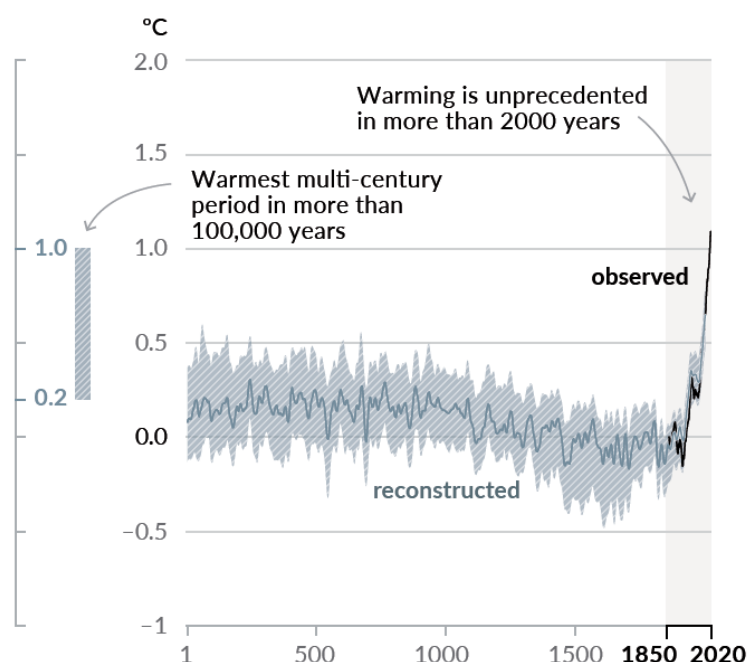
3. Κλιματική Αλλαγή

3.1 Γενικά

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει οδηγήσει σε εκτεταμένη συρρίκνωση της κρυόσφαιρας με αποτέλεσμα να χαθεί μάζα από στρώματα πάγου και παγετώνες όπως και να μειωθεί η χιονοκάλυψη, η έκταση και το πάχος του πάγου της Αρκτικής θάλασσας εφόσον αυξήθηκε θερμοκρασία μόνιμου παγετού (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2019). Αυτό οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες όπως η τρύπα του όζοντος, οι μηχανές εσωτερικής καύσης, η βιομηχανία κ.α. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων αυξάνεται η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα το οποίο ευθύνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας της.

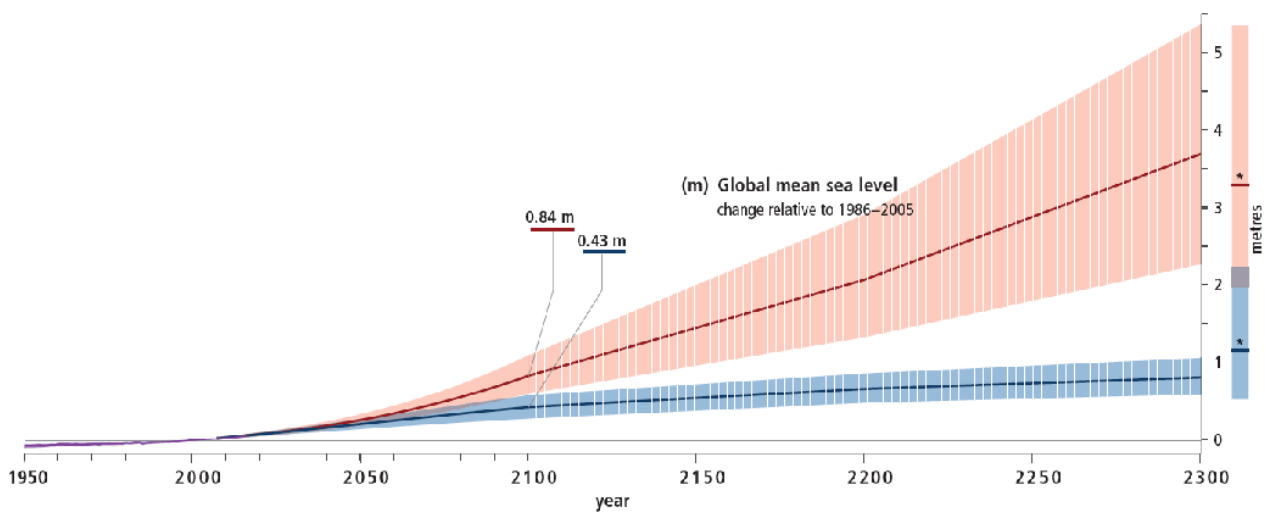
3.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Βάσει ερευνών (IPCC 2019, 2021, 2022) έχει αποδειχθεί ότι η δραστηριότητα του ανθρωπίνου παράγοντα έχει θερμάνει το κλίμα με ρυθμό που δεν έχει παρατηρηθεί ξανά τουλάχιστον τα τελευταία 2000 χρόνια. Παρακάτω (Διάγραμμα 3.1) παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές μεταβολές στην παγκόσμια επιφάνεια για το χρονικό διάστημα αυτό.



Διάγραμμα 3.1: Θερμοκρασιακή μεταβολή στη παγκόσμια επιφάνεια (μέσος όρος δεκαετίας) όπως ανακατασκευάστηκε (1–2000) και παρατηρήθηκε (1850–2020) (Πηγή: IPCC, 2019)

Γίνεται διακριτό ότι από τη λήξη της βιομηχανικής επανάστασης και νεότερα παρατηρείται έντονη αυξητική τάση της θερμοκρασίας της παγκόσμιας επιφάνειας. Συγκεκριμένα 170 έτη μετά τη λήξη της υπέστη μεταβολή κατά 0.8°C . Αυτή η τάξη μεγέθους μεταβολής ήταν αρκετή για να προκαλέσει έντονες επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως η τήξη μεγάλων όγκων θαλάσσιων μαζών, η διεύρυνση της τρύπας του όζοντος, η υπερθέρμανση του πλανήτη. Για αποτροπή της επιδείνωσης του παγκοσμίου αυτού φαινομένου – κίνδυνου οι έρευνες και οι οργανισμοί που διαχειρίζονται την κλιματική αλλαγή προβλέπουν μελλοντικά σενάρια για τις διάφορες διακλαδώσεις που είναι πιθανόν να ακολουθήσει.



Διάγραμμα 3.2: Μεταβολή παγκόσμιας μέσης στάθμης θάλασσας

(μωβ: ιστορικές παρατηρήσεις, μπλε: προβολή RCP 2.6, κόκκινο: προβολή RCP8.5, Πηγή: IPCC, 2019)

Σύμφωνα με το παραπάνω (Διάγραμμα 3.2) απεικονίζεται η αυξανόμενη τάση της μεταβολής της παγκόσμιας μέσης στάθμης θάλασσας. Οι χρονικές περίοδοι αφορούν παρατηρηθείσες ιστορικές μεταβολές αλλά και μεταβολές μελλοντικών ετών. Το εν λόγω διάγραμμα αποτελεί σύνολο από επί μέρους διαγράμματα που ενσωματώνονται στην έκθεση της IPCC (2019) για την κλιματική αλλαγή, τα οποία σχετίζονται με την ωκεάνια θέρμανση, τον όγκο πάγου που χάνεται στη Γροιλανδία και τη Ανταρκτική αλλά και την μάζα παγετώνων που τήκεται.

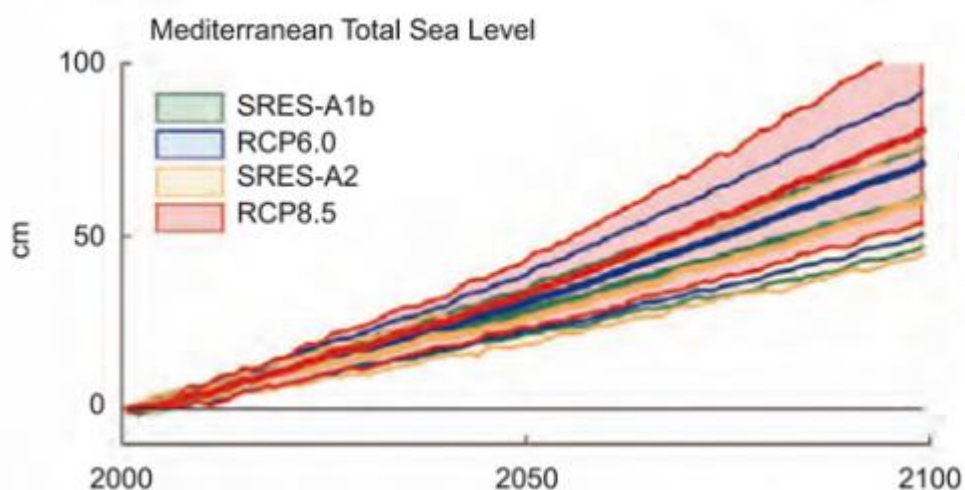
Πίνακας 3.1: Προβαλλομένη θερμοκρασιακή μεταβολή παγκόσμιας επιφάνειας από τα 1850-1900 για δυο μελλοντικά χρονικά εύρη ετών και τέσσερα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Πηγή: IPCC, 2019)

Scenario	Near-term: 2031–2050		End-of-century: 2081–2100	
	Mean (°C)	Likely range (°C)	Mean (°C)	Likely range (°C)
RCP2.6	1.6	1.1 to 2.0	1.6	0.9 to 2.4
RCP4.5	1.7	1.3 to 2.2	2.5	1.7 to 3.3
RCP6.0	1.6	1.2 to 2.0	2.9	2.0 to 3.8
RCP8.5	2.0	1.5 to 2.4	4.3	3.2 to 5.4

Τα παραπάνω δεδομένα (Πίνακας 3.1) περιγράφουν την αύξηση της θερμοκρασίας που ενδέχεται να επηρεάσει την παγκόσμια επιφάνεια. Τα σενάρια που παρουσιάζονται αφορούν πιθανές μελλοντικές διακλαδώσεις πορείας κλιματικής αλλαγής και θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενη παράγραφο.

3.3 Προβλέψεις για τη Μεσόγειο Θάλασσα

Η αύξηση της παγκόσμιας μέσης στάθμης θάλασσας θα επηρεάσει αυξάνοντας τη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου σε αρκετά τοπικά επίπεδα. Ενώ από τη μια πλευρά ιστορικά εμφανίζονταν μία φορά ανά αιώνα βάσει ιστορικών γεγονότων εκατονταετίας, από την άλλη πλευρά μελλοντικά προβλέπεται να συμβαίνει τουλάχιστον ετησίως στις περισσότερες τοποθεσίες έως το 2100 σύμφωνα με όλα τα σενάρια RCP (IPCC, 2019). Για τη Μεσόγειο Θάλασσα το σημαντικό ύψος κύματος (δηλαδή το μέσο ύψος από το κατώτατο σημείο έως την κορυφή του υψηλότερου ενός τρίτου των παρατηρηθέντων κυμάτων) προβλέπεται να μειωθεί υπό το σενάριο RCP8.5. Επιπρόσθετα, τα παράκτια παλιρροιακά πλάτη και μοτίβα αναμένεται να μεταβληθούν εξ αίτιας της ανόδου της στάθμης θάλασσας και των μέτρων της παράκτιας προσαρμογής. Συνεπώς, οι αλλαγές που προβλέπονται στα κύματα προκύπτουν από αλλαγές στα καιρικά μοτίβα και αλλαγές στην παλίρροια λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ενδέχεται τοπικά να επιδεινώσουν ή να μετριάσουν τους κίνδυνους σε παράκτιες περιοχές η σε λιμένες. Οι Marcos *et al.* (2016) μελέτησαν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο και αποφάνθηκαν ότι η μελλοντική προσαρμογή θα είναι ιδιαίτερα δύσκολη εφόσον η άνοδος της στάθμης της θάλασσας φτάσει ή υπερβεί το 1 cm/yr , όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπών βλαβερών αερίων.



Διάγραμμα 3.3: Μεταβολή μέσης στάθμης θάλασσας Μεσογείου (Πηγή: Marcos *et al.*, 2016)

Από το παραπάνω (Διάγραμμα 3.3) διακρίνεται η αύξησης μέσης στάθμης θάλασσας για την περίπτωση της Μεσογείου. Προκύπτει ότι για διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής έχει αυξητική τάση η οποία συνάδει με το κατά πόσο δυσμενές είναι το συναφές σενάριο. Κατά τη χειρότερη περίπτωση (σενάριο RCP8.5) η μέση στάθμη προβλέπεται να αυξηθεί κατά 1 m τον 21^ο αιώνα.

Οι Ulbrich *et al.* (2013) μελέτησαν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο Θάλασσα και προσδιόρισαν ότι η θερμότητα στον άνεμο που κερδίζεται μέσω του στενού του Γιβραλτάρ χάνεται σε τμήματα τα οποία επηρεάζονται από τους μεγάλους βόρειους ηπειρωτικούς ανέμους κατά τη χειμερινή περίοδο. Ωστόσο, ο μεγαλύτερος αριθμός των αιολικών φαινομένων συμβαίνουν πάνω από τη Σαρδηνία, τη Σικελία και τη νότια Ιταλία καθιστώντας τη περιοχή με την υψηλότερη δραστηριότητα κυκλώνων στη λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης, το ανατολικό τμήμα της Μεσογείου τοποθετείται δεύτερο σε σειρά εμφάνισης περιπτώσεων ακραίου ανέμου και λαμβάνουν χώρα νότια της Κύπρου.

3.4 Προβολές κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να αναπαρασταθεί με μορφή προβολών (climate change projections). Αυτές, έχουν ως βάση σενάρια για μελλοντικά κοινωνικά, οικονομικά και τεχνολογικά κριτήρια που ενδέχεται να προκύψουν. Επομένως, παρουσιάζεται ένα διαφορετικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα κάθε φορά το οποίο επηρεάζει τη μελλοντική κυκλοφορία των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και αερολυμάτων στο ατμόσφαιρα (IPCC 2019). Τα μοντέλα

αυτά αντλούν κοινά στοιχεία όπως τα μοντέλα πρόβλεψης καιρού και είναι ευρέως διαδεδομένα ως παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Global Climate Models - GCM). Ακόμη, τα πιο διαδεδομένα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα διαφοροποιούνται από τα μοντέλα πρόγνωσης καιρού καθώς τα πρώτα συνδέονται με ένα πλήρως υδροδυναμικό μοντέλο για την διερεύνηση της θαλάσσιας διαταραχής, το οποίο εξετάζεται επί του παρόντος.

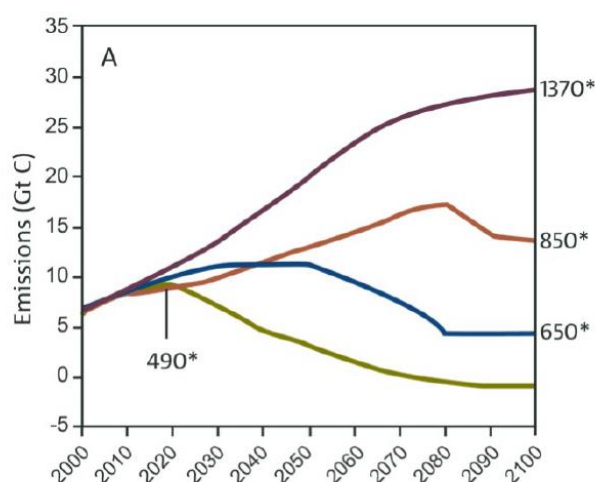
Επιπρόσθετα, η IPCC δημοσιεύει ενημερωμένες κλιματικές προβολές κάθε λίγα έτη αξιοποιώντας ένα συμφωνημένο σύνολο κλιματικών μοντέλων, τα οποία ενσωματώνουν ενημερώσεις που βασίζονται σε πρόσθετα δεδομένα για τον καιρό και το κλίμα τα οποία συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των ετών, καθώς και βελτιστοποιήσεις για ενδεχόμενα μελλοντικά σενάρια που προέκυψαν από ενέργειες που λήφθηκαν παγκοσμίως για την μείωση της κλιματικής αλλαγής. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μελλοντικές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας προβλέπονται συνδυάζοντας τα αποτελέσματα κλιματικών μοντέλων με στοχευόμενα μοντέλα τα οποία σχεδιάστηκαν για να εκτιμούν πρόσθετους παράγοντες που επίσης την επηρεάζουν. Ενοποιημένα, τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως τη πυκνότητα των ωκεανών, τα παγκόσμια κυκλοφοριακά μοτίβα, το μεταβαλλόμενο μέγεθος των παγετώνων και την απόκριση των παγωμένων μαζών στις πλέον νότιες και βόρειες χώρες στις μεταβολές θερμοκρασίας.

Για την διερεύνηση της υδροδυναμικής κυκλοφορίας εντός της λιμενολεκάνης Λεμεσού σχετικά με την κλιματική διακύμανση και την επίδρασή της στην μελλοντική αύξηση της Μέσης Στάθμης Θάλασσας (ΜΣΘ) αντλήθηκαν δεδομένα από την CCKP (Climate Change Knowledge Portal) της Παγκόσμιας Τράπεζας, η οποία ιστορικά δεδομένα και παρουσιάζει μελλοντικές προβλέψεις για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής και την τρωτότητα των παράκτιων περιοχών, τόσο σε παγκόσμια όσο και σε τοπική κλίμακα. Μάλιστα, οι προβλέψεις της για την μελλοντική αύξηση της ΜΣΘ εξαιτίας της κλιματικής διακύμανσης προέρχονται από την 5^η έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC, 2022) και είναι προϊόντα εφαρμογής ατμοσφαιρικών και υδροδυναμικών μοντέλων που εκτιμούν σε παγκόσμια κλίμακα τις μεταβολές της στάθμης θάλασσας για κάθε σενάριο συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂.

Αυτές οι προβλέψεις παρέχονται σύμφωνα με τα ακόλουθα σενάρια συγκέντρωσης των εκπομπών του CO₂ (RCP - Representative Concentration Pathway) όπου θα μελετηθούν:



Σχήμα 3.1: Εξεταζόμενα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Πηγή: IPCC, 2022)



Διάγραμμα 3.4: Μονοπάτια σεναρίων συγκέντρωσης βλαβερών αερίων θερμοκηπίου: πράσινο = RCP2.5, μπλε = RCP4.5, καφέ = RCP6.0, μωβ = RCP8.5 (Πηγή: Siebentritt, M., 2016)

Σύμφωνα με τα παραπάνω (Σχήμα 3.1 και Διάγραμμα 3.4), από τα τέσσερα σενάρια κλιματικής αλλαγής που προτείνει η CCKP: RCP2.5, RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5 θα εξεταστούν δύο από αυτά, το RCP4.5 και RCP8.5. Το πρώτο αποτελεί σενάριο ενδιάμεσης σταθεροποίησης για το μονοπάτι εκπομπών πριν το έτος 2100. Ο τρόπος που επετεύχθη αυτή η σταθεροποίηση οφείλεται στο ότι έγινε χρήση σειράς τεχνολογιών και στρατηγικών για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα η ακτινοβολία να σταθεροποιείται σε περίπου 4.5 W m^{-2} μετά το 2100. Το δεύτερο είναι σενάριο υψηλών εκπομπών και το δυσμενέστερο εκ όλων, όπου το μονοπάτι χαρακτηρίζεται από συνεχή αύξηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με την πάροδο του χρόνου και αφανή μείωση τους, μάλιστα οι ακτινοβολίες αγγίζουν τα 8.5 W m^{-2} έως το 2100, αλλά συνεχίζονται και αυξάνονται μεταγενέστερα.

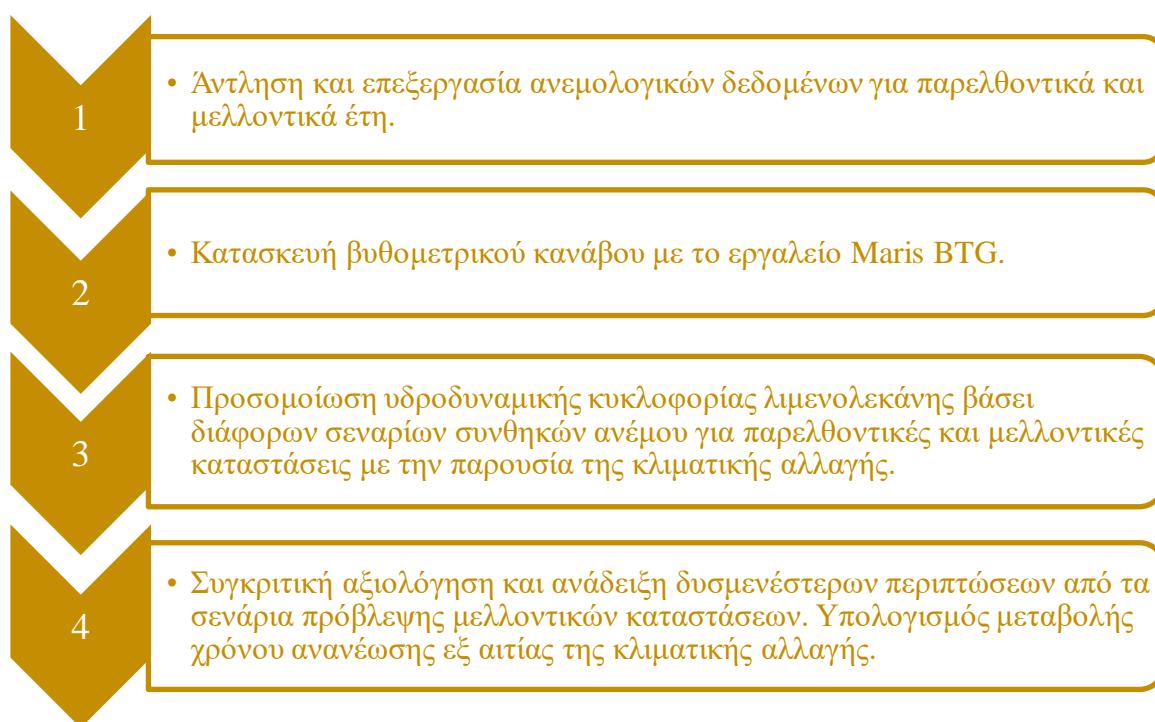
4. Μεθοδολογία Έρευνας και Επιστημονικό Υπόβαθρο Μαθηματικού Μοντέλου

4.1 Μεθοδολογία Έρευνας

Η μεθοδολογία εκπόνησης της παρούσας έρευνας βασίστηκε στα ακόλουθα διακριτά βήματα:

1. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε άντληση ανεμολογικών δεδομένων από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων Copernicus Climate Data Store και συγκεκριμένα από το προϊόν «CORDEX regional climate model data on single levels», τα οποία έπειτα από επεξεργασία αξιοποιήθηκαν για να κατασκευαστούν οι πίνακες του ανεμολογικού κλίματος. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που προέκυψαν περιγράφουν τη μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανά τριακονταετία για το παρελθόν και το μέλλον. Για τα ιστορικά δεδομένα επιλέχθηκε το εύρος ετών 1975-2005 και για το μέλλον επιλέχθηκαν τα εύρη ετών 2041-2070 και 2071-2100 για τα δυο διαφορετικά σενάρια παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, το μετριοπαθές RCP4.5 και το απαισιόδοξο RCP8.5 για τις περιόδους 2041-2070 και 2071-2100.
2. Κατασκευή του βαθυμετρικού καννάβου συμπεριλαμβανομένων των υποδομών του λιμένα Λεμεσού που δίνεται ως δεδομένο εισόδου στις μαθηματικές προσομοιώσεις στο επόμενο βήμα. Με βάση τη βαθυμετρία της περιοχής μελέτης και χρήση του εργαλείου Maris BTG κατασκευάστηκε ο βυθομετρικός κανάβος που αφορά τη περιοχή μελέτης.
3. Εκπόνηση μαθηματικών προσομοιώσεων με το μοντέλο Maris HYD (Scientia Maris, 2022) της υδροδυναμικής κυκλοφορίας για μια πληθώρα εντάσεων ανέμου και διευθύνσεων, για την ιστορική περίοδο και για τις μελλοντικές περιόδους για τα δυο σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.
4. Επεξεργασία αποτελεσμάτων, υπολογισμός χρόνων ανανέωσης και συγκριτική ανάλυση αυτών για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την βελτίωση ή επιδείνωση της ανανέωσης των υδάτων στις επόμενες δεκαετίες. Εφόσον διερευνήθηκε το πώς επηρεάζεται η υδροδυναμική κυκλοφορία ανάλογα το σενάριο κλιματικής αλλαγής και παράλληλα υπολογίστηκαν οι παροχές που εξέρχονται από υποτμήματα της κύριας λιμενολεκάνης εξετάστηκε το πόσο μεταβάλλεται ο χρόνος ανανέωσης για κάθε υποτμήμα εξ αιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Συνοπτικά, τα βήματα της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε περιγράφονται παρακάτω από το Σχήμα 4.1:



Σχήμα 4.1: Μεθοδολογία διερεύνησης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2 οι φυσικοί μηχανισμοί γένεσης υδροδυναμικής κυκλοφορίας είναι οι εξής:

- η θραύση των κυμάτων στην παράκτια ζώνη (κυματογενής κυκλοφορία),
- η επιρροή της κεντρομόλου δύναμης και της δύναμης Coriolis (γεωστροφική κυκλοφορία),
- οι οριζόντιες και κατακόρυφες διαφορές πυκνότητας (θερμοαλατική κυκλοφορία),
- η αστρονομική παλίρροια (παλιρροιακή κυκλοφορία),
- οι οριζόντιες βαθμίδες της ατμοσφαιρική πίεσης (μετεωρολογική παλίρροια) και
- η επίδραση των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας (ανεμογενής κυκλοφορία)

Από τους παραπάνω μηχανισμούς, αυτοί που δημιουργούν σημαντική κυκλοφορία εντός των λιμενολεκανών είναι ο άνεμος και η αστρονομική παλίρροια. Καθώς οι κυματισμοί δημιουργούν ισχυρά ρεύματα με μεγάλες ταχύτητες αλλά κοντά στην ακτογραμμή κατά το φαινόμενο της θραύσης λόγω ρήχωσης που δεν απαντάται εντός των λιμένων. Τα ρεύματα που

αναπτύσσονται λόγω διαφοράς πυκνότητας (διαφορές στη θερμοκρασία ή στην αλατότητα) σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις λιμένων οδηγούν στην κυκλοφορία εντός αυτών και συγκεκριμένα στη Λεμεσό δεν αναμένεται να επηρεάσουν τους χρόνους ανανέωσης. Η γεωστροφική κυκλοφορία αναπτύσσεται σε σημαντικά μεγαλύτερης έκτασης περιοχές και οι ταχύτητες που αναμένονται λόγω αυτής εντός του λιμένα είναι εξαιρετικά μικρές. Τέλος η μετεωρολογική παλίρροια που είναι συνδυασμός δράσης του ανέμου και της διαφορικής ατμοσφαιρικής πίεσης προσφέρει σημαντική ανύψωση/ ταπείνωση της θαλάσσιας στάθμης κυρίως κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας και όχι σε καθημερινή βάση όπως η αστρονομική. Για τους παραπάνω λόγους εξετάζεται μόνο η ανεμογενής κυκλοφορία και η κυκλοφορία λόγω αστρονομικής παλίρροιας.

4.2 Επιστημονικό υπόβαθρο μαθηματικού μοντέλου Maris HYD

Το μοντέλο Maris HYD παρέχει την βάση για τους υπολογισμούς που εκτελούνται. Συγκεκριμένα, προσομοιώνει την υδροδυναμική κυκλοφορία και τις ροές που προκύπτουν από μια πλειάδα μηχανισμών γένεσης σε λιμενολεκάνες και παράκτιες περιοχές. Τα ρεύματα διαδίδονται σε ένα πλέγμα ορθογωνικών στοιχείων που καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος. Παραδίδει ακριβή αποτελέσματα και απαιτεί μικρούς χρόνους επεξεργασίας προσομοίωσης, καθιστώντας το ένα πολύτιμο αριθμητικό μοντέλο για τη διεξαγωγή μελετών ακτομηχανικών επιπτώσεων και ανανέωσης υδάτων σε παράκτιες και λιμενικές περιοχές. Δεδομένα εισόδου είναι η βαθυμετρία, οι συντελεστές τριβής πυθμένα και το πεδίο ανέμου. Δεδομένα εξόδου είναι οι ταχύτητες και οι κατευθύνσεις των ρευμάτων στη περιοχή μελέτης.

Κατά την επίλυση περιλαμβάνονται τα εξής φαινόμενα:

- ✓ Τάσεις τριβής πυθμένα
- ✓ Διατμητικές τάσεις ανέμου στην επιφάνεια
- ✓ Μεταβολές του βαρομετρικού πεδίου
- ✓ Δυνάμεις Coriolis
- ✓ Διασπορά της ορμής
- ✓ Πηγές και απώλειες (sources and sinks)

Οι εξισώσεις συνέχειας και ορμής που βασίζεται το υδροδυναμικό μοντέλο είναι:

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{t_{sx}}{\rho h} - \frac{t_{bx}}{\rho h} \right) \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h h \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{t_{sy}}{\rho h} - \frac{y}{\rho h} \right) \quad (4.3)$$

Όπου:

$\bar{\eta}$, η ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας

U και V , οι μέσες ως προς το βάθος νερού οριζόντιες ταχύτητες ρεύματος κατά τη διεύθυνση x και y αντίστοιχα.

ρ , η πυκνότητα του θαλασσινού νερού,

h , το συνολικό βάθος,

f , ο συντελεστής Coriolis,

v_h , ο οριζόντιος συντελεστής τυρβώδους ιξώδους,

τ_{sx}, τ_{sy} , συνιστώσες της διατμητικής τάσης ανέμου στον άξονα x και y αντίστοιχα

S είναι εξωτερικές εκκενώσεις που προστίθενται ή αφαιρούνται σε περίπτωση σημειακής πηγής ή βύθισης αντίστοιχα,

S_x , είναι εξωτερικές εκκενώσεις που προστίθενται σε περίπτωση εξωτερικής σημειακής πηγής

5. Εφαρμογή Μεθοδολογίας στον Λιμένα Λεμεσού

Σε αυτό το Κεφάλαιο, γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας σε μια πραγματική περίπτωση υδροδυναμικής κυκλοφορίας.

5.1 Περιοχή εφαρμογής

5.1.1 Θέση και λιμενικές εγκαταστάσεις

Το λιμάνι που επιλέχθηκε να διερευνηθεί είναι της Λεμεσού στην Κύπρο. Ως προς τη γεωγραφική του θέση το νέο λιμάνι της Λεμεσού τοποθετείται ευρύτερα στο δυτικό όριο του κόλπου Ακρωτηρίου και πιο τοπικά στο δυτικό τμήμα του κόλπου Λεμεσού (Χάρτης 5.1). Η εν λόγω περιοχή υπάγεται διοικητικά στον Δήμο Λεμεσού, επαρχία Λεμεσού.



Χάρτης 5.1: Γεωγραφική θέση λιμενολεκάνης Λεμεσού
(Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία)

Ο εν λόγω λιμένας αποτελεί τον κύριο λιμένα της Κύπρου. Κατέχει στρατηγική θέση στη ναυτιλία καθώς αποτελεί κέντρο για αρκετές ναυτιλιακές εταιρίες. Επίσης, αποτελεί το μεγαλύτερο κέντρο μεταφόρτωσης φορτίου στην Κύπρο. Διαχειριστές του λιμένα είναι οι Eurogate Container Terminal Limassol Ltd. η οποία διαχειρίζεται το τερματικό εμπορευματοκιβωτίων και η DP World Limassol Ltd. όπου διαχειρίζεται το τερματικού γενικού εμπορίου αλλά και το τμήμα θαλάσσιων υπηρεσιών με τη συμμετοχή της P&O Maritime Cyprus Ltd.

Ο προσανατολισμός του προσήνεμου μάλου του λιμένα φανερώνει τους νότιους και νοτιοανατολικούς ανέμους ως τους συχνότερους και εντονότερους. Λόγω τοπογραφίας και ύπαρξης στερεών ορίων ο

λιμένας δεν προσβάλλεται τόσο από ανατολικές και βορειοανατολικές διευθύνσεις ανέμων. Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι ύστερα θα ακολουθήσει αναλυτικότερη προσέγγιση στην ανάλυση ανεμολογικών στοιχείων.

Γενικώς οι υφιστάμενες λιμενικές εγκαταστάσεις που λαμβάνουν χώρα στο λιμένα εκ ανατολής και αντιωρολογιακά είναι ο υπήνεμος μώλος, οι χερσαίοι χώροι και ο προσήνεμος μώλος (Χάρτης 5.2).



Χάρτης 5.2: Γενική άποψη υφιστάμενων λιμενικών εγκαταστάσεων λιμένα Λεμεσού
(Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία)

Με αφετηρία εξ ανατολής, ο υπήνεμος μώλος φιλοξενεί από τα νότια τα επιβατηγά κρηπιδώματα, ενώ βορειότερα του υπήνεμου μώλου τοποθετείται το κρηπιδώμα κρουαζιέρας. Στον υπήνεμο μώλο επίσης υπάρχει και δημόσιος χώρος στάθμευσης οχημάτων. Έπειτα, στο βόρειο τμήμα του λιμένα εδράζονται οι εγκαταστάσεις γενικού φορτίου των εταιριών DP World Limassol Ltd. και P&O Maritime Cyprus Ltd. Προχωρώντας προς το κεντρικό και δυτικό τμήμα παρατηρείται κρηπιδώμα εξυπηρέτησης πολεμικών ναυτικών σκαφών. Ύστερα, στο νοτιοδυτικό τμήμα του λιμένα λαμβάνουν χώρα οι εγκαταστάσεις του τερματικού εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ) της εταιρίας Eurogate Container Terminal Limassol Ltd. Νότια στον προσήνεμο μώλο, παρατηρούνται κρηπιδώματα για ναυπηγοεπισκευαστική χρήση και σταθερά ναύδετα ενώ προς τα ανατολικά του υφίστανται κρηπιδώματα που εξυπηρετούν αλιείς.



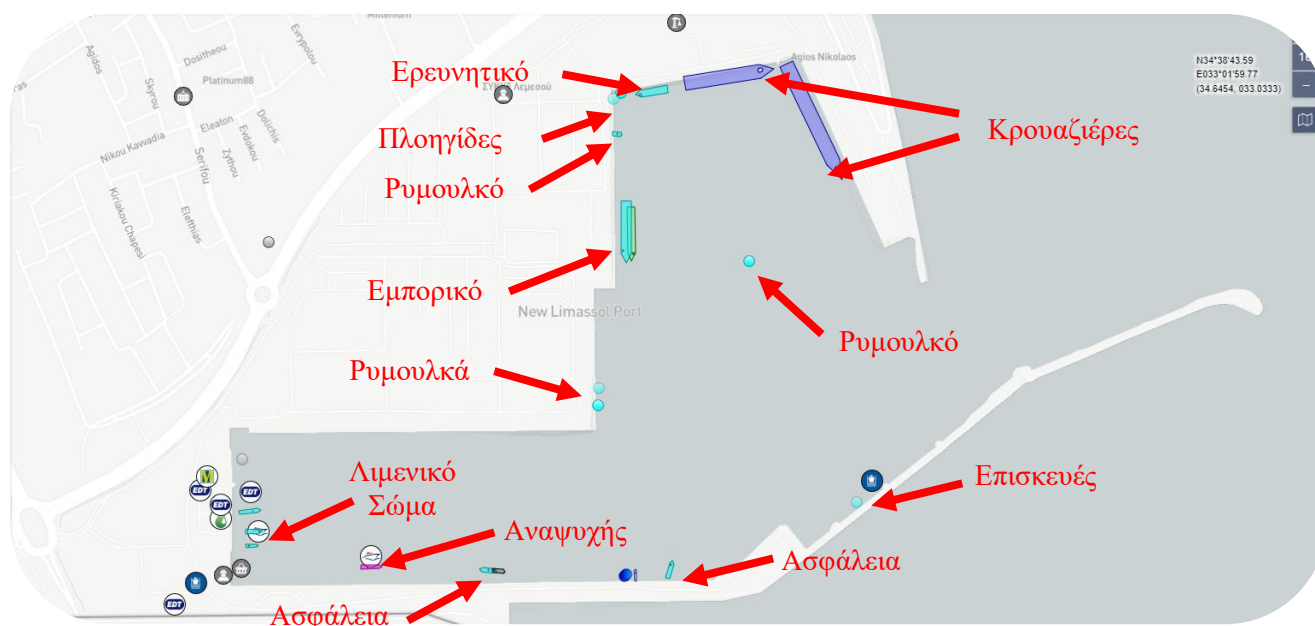
Χάρτης 5.3: Κρηπιδώματα Λεμεσού (κόκκινο χρώμα) και χρήσεις νότιου λιμένα
(Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία)

Όπως φαίνεται και παραπάνω (Χάρτης 5.3) το αξιοποιούμενο κρηπιδώμα για παραβολή εμπορικών ή επιβατηγών πλοίων έχει μήκος περί τα 2.65 χλμ, εκτιμώμενο από την πλέον νοτιοανατολική εσωτερική πλευρά του υπήνεμου μώλου έως και το πλέον δυτικό πέρας του κρηπιδώματος του τερματικού εμπορευματοκιβωτίων. Στο υπόλοιπο τμήμα του λιμένα όπως παρουσιάζεται έπειτα (Χάρτης 5.4) δεν υφίστανται τόσο κρηπιδότοιχοι αλλά τοπική προστασία με θωράκιση εκ φυσικών ογκολίθων όπως και σταθερά ναύδετα παραβολής (breasting dolphins) και πρόσδεσης (mooring dolphins).



Χάρτης 5.4: Άποψη σταθερών ναυδέτων πρόσδεσης/παραβολής
(Πηγή: Google Earth, ίδια επεξεργασία)

Ακόμη, στα νοτιοανατολικά της υπήνεμης πλευράς του προσήνεμου μώλου παρατηρείται εγκατάσταση ναυπηγοεπισκευαστικής χρήσης. Οι θέσεις παραβολής των πλοίων στα κρηπιδώματα διαφαίνονται αφενός από τις δορυφορικές εικόνες παραπάνω αλλά και από τη βάση δεδομένων Marine Traffic όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Χάρτης 5.5):



Χάρτης 5.5: Θέσεις παραβολής και κατηγορίες πλοίων στα κρηπιδώματα και ναύδετα
(Πηγή: Marine Traffic 05-05-2023)

Οι θέσεις παραβολής που καταλαμβάνονται από εμπορικά κυρίως πλοία είναι τα βόρεια κρηπιδώματα που εξυπηρετούν γενικό φορτίο ή ερευνητικά σκάφη, το ανατολικό που εξυπηρετεί επιβάτες και κρουαζιέρα, το βόρειο δυτικό που εξυπηρετεί εμπορική χρήση. Ακόμη, στο κεντρικό και δυτικό κρηπιδώμα τη χρονική στιγμή της βάσης δεδομένων απεδείχθη ότι δένουν σκάφη ρυμούλκησης (tug boats) καθώς στην αεροφωτογραφία αποφαίνονταν σκάφη πολεμικού ναυτικού, ενώ στο νότιο τμήμα της λιμενολεκάνης καταλαμβάνεται από εμπορικά και αλιευτικά σκάφη τα οποία δένουν ή επισκευάζονται καθώς και παρατηρήθηκε σκάφος αναψυχής (yacht), ενώ λαμβάνουν χώρα και λοιπά σκάφη διάφορων χρήσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται γενική φωτογραφική τεκμηρίωση της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 5.1: Γενική φωτογραφική τεκμηρίωση λιμένα Λεμεσού

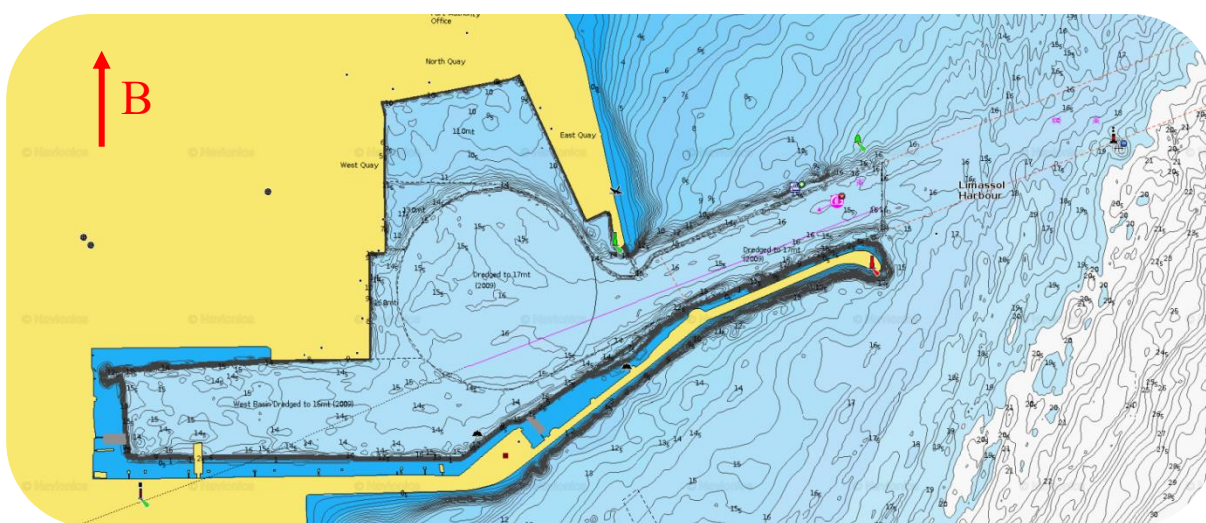
(Πηγές <https://www.financialmirror.com/2021/04/27/eurogate-marks-four-years-managing-limassol-container-terminal/>, <https://maritimes.gr/en/interviews/35276-port-pro-of-the-month-port-pro-of-the-month-panayiotis-agathocleous-cy>, <https://cyprus-mail.com/2023/02/09/limassol-port-closer-to-becoming-regional-hub-200-cruise-ships-expected/>, Google Earth, ίδια επεξεργασία)

5.1.2 Βυθομετρία

Σχετικά με τη βαθυμετρία της Λεμεσού, παρακάτω παρουσιάζεται βυθομετρική αποτύπωση παράκτιας περιοχής μελέτης (Χάρτης 5.6) όπως και ναυτικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης (Χάρτης 5.7). Ομοίως, η αποτύπωση έγινε έως την ισοβαθή των 22.5 m καλύπτοντας συνολική επιφάνεια περίπου 5.2 km² με ένα μέσο πλάτος περί τα 3.5 km από τα κρηπιδώματα. Γενικά παρατηρούνται πυκνές ισοβαθείς γύρω από το λιμένα, ενώ το εσωτερικό του είναι βυθοκορημένο στον κύκλο ελιγμών στα 17 m από την ΜΣΘ και στα κρηπιδώματα Ε/Κ είναι βυθοκορημένο στα -16 m. Ακόμη, το βόρειο τμήμα παραβολής του είναι βυθοκορημένο στα -11 m.



Χάρτης 5.6: Βυθομετρική αποτύπωση παράκτιας περιοχής Λεμεσού
(Πηγές Google Earth, Navionics, ίδια επεξεργασία)

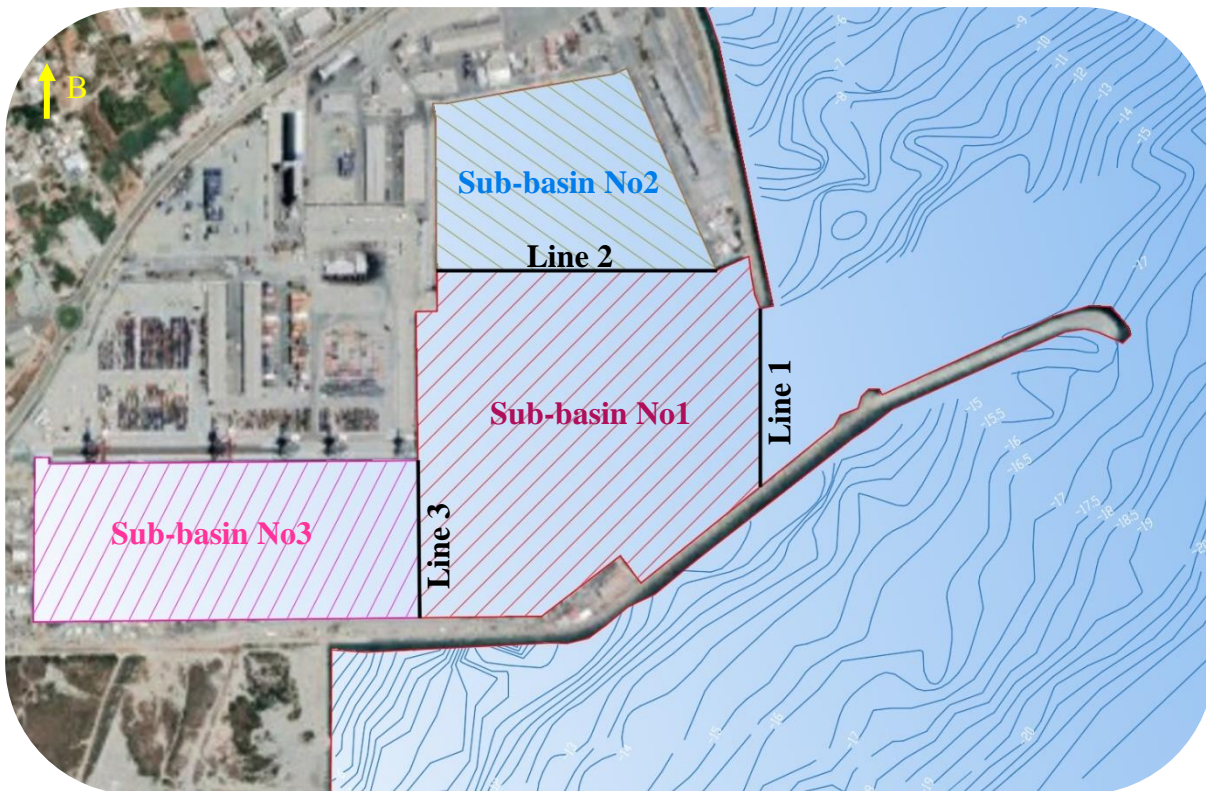


Χάρτης 5.7: Ναυτικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Λεμεσού
(Πηγή: <https://webapp.navionics.com/#boating@13&key=unnrEo~phE>)

5.1.3 Υποδιαίρεση λιμενολεκάνης

Όπως είναι φανερό από το παρακάτω (Χάρτης 5.8), ο καταμερισμός που υλοποιήθηκε αφορά κατά πρώτον το κεντρικό τμήμα της λιμενολεκάνης (Sub-basin No1) όπου συνδέεται με τη πρώτη νοητή γραμμή (Line 1) η οποία είναι κατακόρυφη και τέμνοντας τον διάυλο εισόδου λήγει όταν συναντά τον προσήνεμο μώλο. Κατά δεύτερον, το βόρειο τμήμα του λιμένα διαμορφώνει την δεύτερη

υπολιμενολεκάνη (Sub-basin No2) για την οποία μελετάται η παροχή που διέρχεται από τη δεύτερη νοητή γραμμή (Line 2) όπου έχει αφετηρία το εσωτερικό ανατολικό άκρο των χερσαίων χώρων του υπήνεμου μώλου και οριζοντίως συναντά κάθετα το άνω βορειοδυτικό κρηπίδωμα. Τρίτον, στο νότιο και δυτικό τμήμα του λιμένα Λεμεσού τοποθετείται η τρίτη υπολιμενολεκάνη (Sub-basin No3) η οποία συνάδει με την τρίτη νοητή γραμμή (Line 3) και έχει αφετηρία το άκρο των νοτιοκεντρικών χερσαίων χώρων και κατακορύφως ενώνεται κάθετα με το εσωτερικό νοτιοκεντρικό τμήμα του προσήνεμου μώλου. Η χρήση των γραμμών σκοπό έχει να χωρίσουν τις υπολιμενολεκάνες μεταξύ τους αφενός για να αποκτήσουν η κάθε μία τον δικό της όγκο όπως υπολογίζεται παρακάτω και αφετέρου διότι μέσω του υπολογισμού της εξερχόμενης παροχής με βάση την σχέση των Yin *et al.* (1998) προκύπτει ο μέσος χρόνος ανανέωσης της κάθε υπολιμενολεκάνης.



Χάρτης 5.8: Υποδιαίρεση κύριας λιμενολεκάνης σε τρεις δευτερεύουσες λιμενολεκάνες

5.2 Ανεμολογικά δεδομένα λιμένα Λεμεσού

Τα ανεμολογικά δεδομένα αποκτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων Copernicus Climate Data Store και συγκεκριμένα από το προϊόν «CORDEX regional climate model data on single levels» (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=form>). Το προϊόν παρέχει μέσες ημερήσιες τιμές ταχύτητας ανέμου για τρεις χρονικές περιόδους: μια ιστορική που καλύπτει τη χρονική περίοδο 1976-2005, το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5 και το δυσμενές RCP8.5. Τα δύο σενάρια RCP καλύπτουν συνολικά την περίοδο 2041-2100. Για τα ιστορικά δεδομένα οι οριακές συνθήκες προέρχονται από τις προσομοιώσεις του κλιματικού μοντέλου ERA-5 Interim του ινστιτούτου ECMWF, ενώ για τα σενάρια RCP οι οριακές συνθήκες προέρχονται από προβλέψεις παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων για την μελλοντική εξέλιξη μιας σειράς κλιματικών και σοσιοοικονομικών δεικτών. Τα δεδομένα ταχύτητας ανέμου για την περιοχή της Μεσογείου παρέχονται σε ορθογωνικό κάναβο με διακριτοποίηση $0.11^{\circ} \times 0.11^{\circ}$ στις δύο χωρικές διευθύνσεις. Το σημείο εξαγωγής των ανεμολογικών δεδομένων από τη βάση Copernicus Climate Data Store έχει συντεταγμένες $34^{\circ}38'18.65''\text{B}$, $33^{\circ}3'40.02''\text{A}$ και απεικονίζεται στο Χάρτη 5.9 σε σχέση με τη θέση του λιμένα.



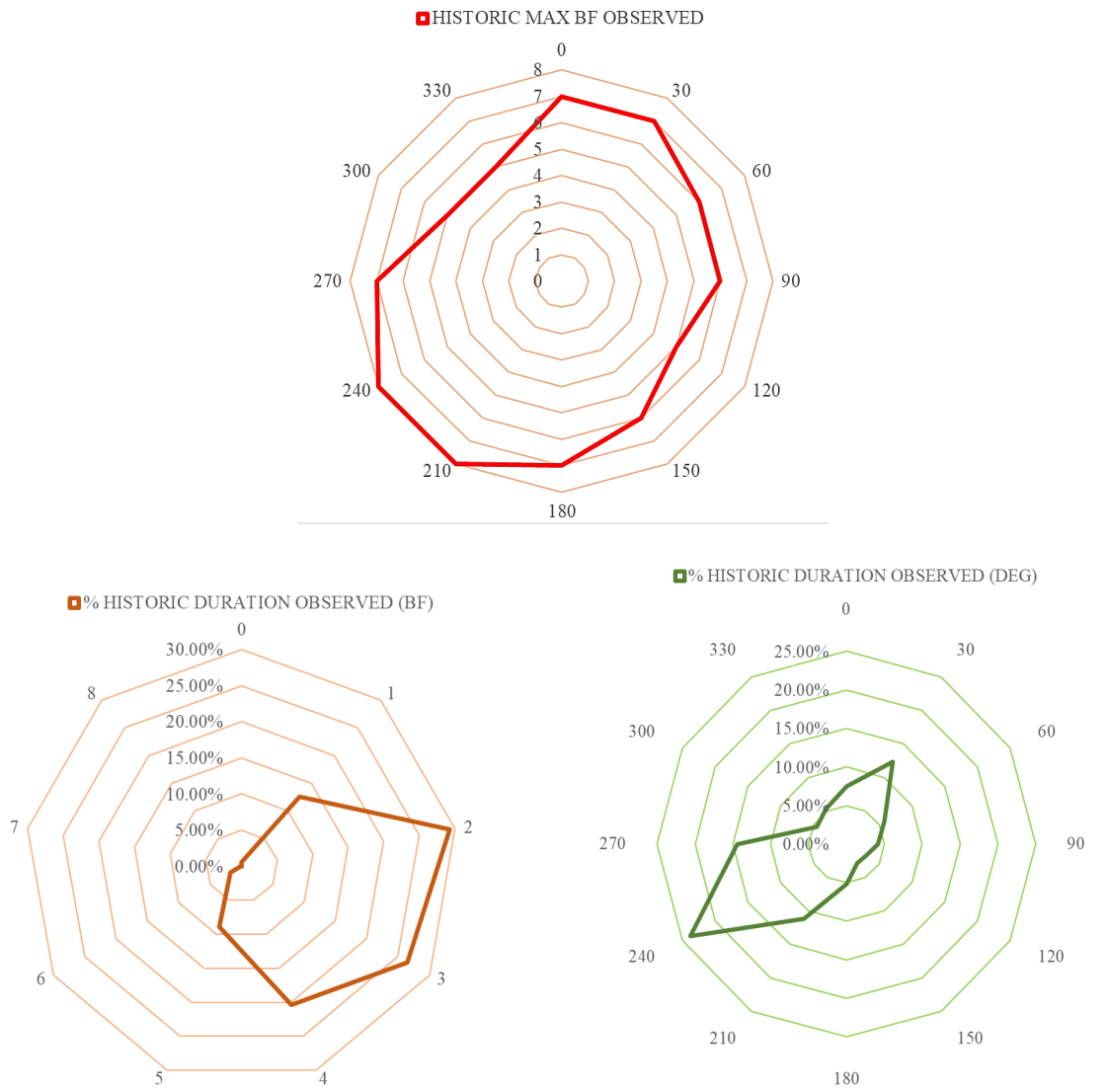
Χάρτης 5.9: Σημείο εξαγωγής ανεμολογικών δεδομένων από Copernicus Climate Data Store

5.2.1 Ιστορικά (1976-2005)

Πίνακας 5.1: Ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα λιμένα Λεμεσού περιόδου 1976-2005

Wind Speed (Bf)													
Bf	0.0°	30.0°	60.0°	90.0°	120.0°	150.0°	180.0°	210.0°	240.0°	270.0°	300.0°	330.0°	Percentage
0	0.043%	0.041%	0.052%	0.034%	0.062%	0.032%	0.037%	0.027%	0.066%	0.052%	0.055%	0.041%	0.543%
1	1.490%	1.234%	0.976%	0.819%	0.668%	0.621%	0.605%	0.764%	1.052%	1.289%	1.440%	1.624%	12.582%
2	3.794%	2.507%	1.695%	1.414%	1.237%	1.070%	1.255%	1.896%	3.977%	4.371%	2.722%	3.342%	29.280%
3	1.563%	2.891%	1.227%	1.027%	0.725%	0.947%	2.578%	3.002%	7.184%	4.843%	0.240%	0.258%	26.485%
4	0.484%	3.550%	1.211%	0.721%	0.251%	0.164%	0.586%	3.612%	6.831%	2.893%	0.021%	0.027%	20.350%
5	0.098%	1.832%	0.538%	0.167%	0.032%	0.014%	0.091%	1.551%	3.687%	0.856%	0.007%	0.005%	8.877%
6	0.009%	0.242%	0.048%	0.007%	-	0.007%	0.048%	0.267%	0.976%	0.105%	-	-	1.709%
7	0.002%	0.011%	-	-	-	-	0.005%	0.055%	0.075%	0.009%	-	-	0.157%
8	-	-	-	-	-	-	-	0.011%	0.005%	-	-	-	0.016%
	7.483%	12.308%	5.749%	4.189%	2.975%	2.854%	5.204%	11.186%	23.852%	14.419%	4.483%	5.297%	100.000%

Γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω δεδομένα (Πίνακας 5.1) ότι σύμφωνα με την ιστορία για το λιμάνι της Λεμεσού κυριότερες εντάσεις παρατηρήθηκαν πρώτα τα 2 BF, μετά τα 3 BF και ύστερα τα 4 BF. Όσον αφορά τις κατευθύνσεις κυματισμών κυρίως επικρατούσε η γωνία 240° από τον Βορρά, έπειτα οι 270° και στη συνέχεια οι 30°. Συνοπτικά, η ανεμολογική εικόνα που επικρατούσε στο λιμάνι ήταν ελαφρύς αέρας από δυτική-νοτιοδυτική (ΔΝΔ) κατεύθυνση. Επίσης, παρακάτω (Σχήμα 5.2) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα ανεμολογικά δεδομένα σε μορφή ιστογραμμάτων.



Σχήμα 5.2: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων Λεμεσού περιόδου 1976-2005

5.2.2 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP4.5 (2041-2070)

Πέρα από τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα, διερευνώνται όπως προαναφέρθηκε και δεδομένα για σενάρια κλιματικής αλλαγής. Παρακάτω διαφαίνεται ο πρώτος πίνακας που αφορά το πρώτο σενάριο κλιματικής αλλαγής και τη πρώτη χρονική περίοδο μελέτης.

Πίνακας 5.2: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5 (2041-2070)

Wind Speed (Bf)													
Bf	0.0°	30.0°	60.0°	90.0°	120.0°	150.0°	180.0°	210.0°	240.0°	270.0°	300.0°	330.0°	Percentage
0	0.057%	0.046%	0.053%	0.049%	0.042%	0.031%	0.049%	0.053%	0.046%	0.057%	0.033%	0.046%	0.563%
1	1.510%	1.261%	0.960%	0.729%	0.702%	0.654%	0.720%	0.799%	1.042%	1.236%	1.437%	1.563%	12.614%
2	3.778%	2.415%	1.751%	1.475%	1.338%	1.281%	1.384%	2.060%	3.977%	4.054%	2.687%	3.308%	29.507%
3	1.559%	2.859%	1.236%	1.018%	0.715%	0.987%	2.453%	3.065%	7.410%	4.537%	0.243%	0.210%	26.292%
4	0.428%	3.257%	1.181%	0.680%	0.261%	0.152%	0.654%	3.895%	7.037%	2.526%	0.031%	0.020%	20.121%
5	0.095%	1.559%	0.499%	0.150%	0.020%	0.029%	0.128%	1.868%	3.776%	0.740%	-	-	8.863%
6	0.007%	0.274%	0.053%	0.015%	0.007%	0.007%	0.042%	0.269%	1.104%	0.119%	-	-	1.897%
7	-	0.015%	0.002%	-	-	-	0.004%	0.038%	0.064%	0.009%	-	-	0.132%
8	-	-	-	-	-	-	0.002%	0.004%	0.002%	-	-	-	0.009%
9	-	-	-	-	-	0.002%	-	-	-	-	-	-	0.002%
	7.434%	11.687%	5.736%	4.116%	3.084%	3.142%	5.436%	12.051%	24.457%	13.279%	4.431%	5.147%	100.000%

Όπως παρουσιάζεται παραπάνω (Πίνακας 5.2) κατά το μετριοπαθές σενάριο μελέτης και την πρώτη χρονική περίοδο εφαρμογής του παρατηρούνται κυρίως άνεμοι 2 BF, 3 BF και 4 BF όπως και τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα. Πρόσθετα, οι άνεμοι έχουν κυρίως κατεύθυνση 240°, 270°, 210° σε αντίθεση με τα ιστορικά όπου τρίτη επικρατέστερη κατεύθυνση ήταν οι 30°. Γίνεται αντιληπτό ότι για ορισμένες περιπτώσεις έντασης και κατεύθυνσης δεν προέκυψε αποτέλεσμα ποσοστού εμφάνισης, κυρίως για τις μεγαλύτερες εντάσεις όπως και γωνίες. Παρακάτω (Σχήμα 5.3), ακολουθούν τα αποτελέσματα και σε μορφή ιστογραμμάτων.



Σχήμα 5.3: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP4.5 (2041-2070)

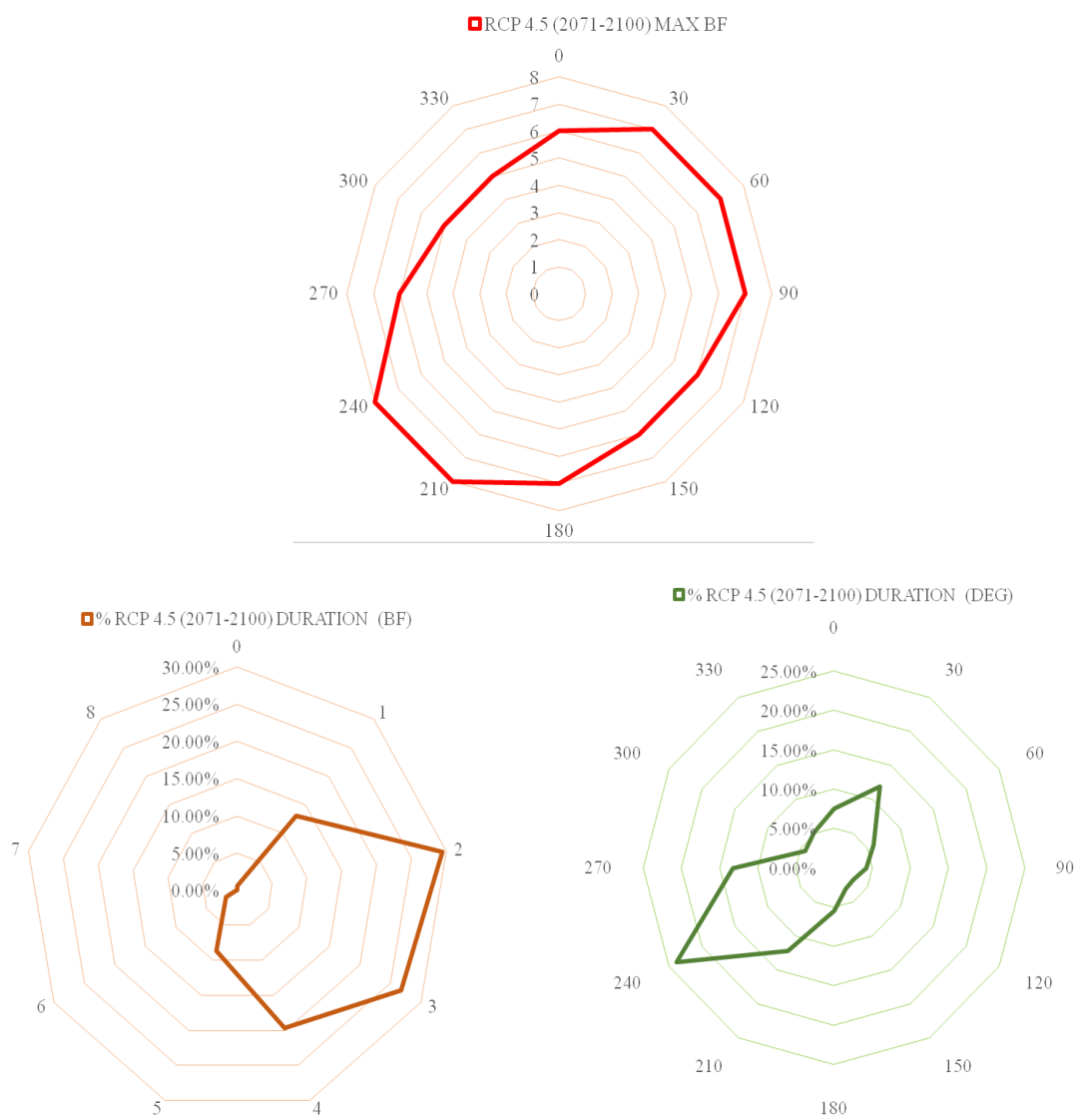
5.2.3 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP4.5 (2071-2100)

Έπειτα, σε συνέχεια του πρώτου σεναρίου κλιματικής αλλαγής παρατίθενται τα αποτελέσματα για την δεύτερη χρονική περίοδο μελέτης.

Πίνακας 5.3: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP4.5 (2071-2100)

Wind Speed (Bf)													
Bf	0.0°	30.0°	60.0°	90.0°	120.0°	150.0°	180.0°	210.0°	240.0°	270.0°	300.0°	330.0°	Percentage
0	0.071%	0.046%	0.037%	0.032%	0.032%	0.057%	0.046%	0.050%	0.052%	0.050%	0.041%	0.055%	0.568%
1	1.645%	1.339%	1.015%	0.833%	0.721%	0.705%	0.732%	0.776%	0.990%	1.294%	1.301%	1.634%	12.985%
2	3.808%	2.480%	1.734%	1.510%	1.225%	1.248%	1.250%	2.060%	3.899%	4.091%	2.827%	3.368%	29.501%
3	1.515%	3.037%	1.444%	1.040%	0.671%	0.872%	2.628%	3.139%	7.591%	4.488%	0.198%	0.169%	26.793%
4	0.454%	3.151%	1.139%	0.637%	0.221%	0.116%	0.637%	3.908%	6.801%	2.512%	0.016%	0.030%	19.622%
5	0.071%	1.663%	0.554%	0.146%	0.027%	0.016%	0.080%	1.889%	3.466%	0.710%	0.005%	0.005%	8.631%
6	0.011%	0.272%	0.046%	0.005%	0.007%	0.007%	0.041%	0.278%	1.022%	0.132%	-	-	1.821%
7	-	0.005%	0.005%	0.002%	-	-	0.002%	0.018%	0.037%	-	-	-	0.068%
8	-	-	-	-	-	-	-	0.007%	0.005%	-	-	-	0.011%
	7.575%	11.992%	5.973%	4.205%	2.904%	3.021%	5.417%	12.127%	23.863%	13.277%	4.388%	5.259%	100.000%

Όπως προέκυψε κατά τον Πίνακα 5.3 στη δεύτερη περίοδο του μετριοπαθούς σεναρίου επικρατέστεροι άνεμοι κατά κύριο λόγο παρατηρούνται πρώτα τα 2 BF, δεύτερα τα 3 BF και τρίτα τα 4 BF. Πρόσθετα, οι κατευθύνσεις ανέμου που λαμβάνουν χώρα ως επί το πλείστον είναι 240°, 270° και 210°. Επιπρόσθετα, διαφαίνονται και σε μορφή ιστογραμμάτων στο Σχήμα 5.4 που ακολουθεί.



Σχήμα 5.4: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP4.5 (2071-2100)

5.2.4 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP8.5 (2041-2070)

Σχετικά με το δεύτερο σενάριο κλιματικής αλλαγής το οποίο είναι και το δυσμενέστερο από άποψη συγκέντρωσης βλαβερών εκπομπών στο περιβάλλον, θα ακολουθήσουν πρώτα τα αποτελέσματα ανεμολογικών στοιχείων για τη πρώτη περίοδο μελέτης και στη συνέχεια για τη δεύτερη.

Πίνακας 5.4: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5 (2041-2070)

Wind Speed (Bf)													
Bf	0.0°	30.0°	60.0°	90.0°	120.0°	150.0°	180.0°	210.0°	240.0°	270.0°	300.0°	330.0°	Percentage
0	0.055%	0.046%	0.038%	0.044%	0.062%	0.049%	0.060%	0.068%	0.051%	0.051%	0.046%	0.029%	0.598%
1	1.614%	1.358%	0.971%	0.793%	0.722%	0.623%	0.726%	0.837%	1.086%	1.360%	1.422%	1.477%	12.989%
2	3.559%	2.329%	1.693%	1.393%	1.373%	1.208%	1.323%	2.084%	3.840%	4.180%	2.561%	3.155%	28.699%
3	1.592%	2.934%	1.219%	0.945%	0.669%	0.861%	2.844%	3.087%	7.030%	4.584%	0.241%	0.254%	26.259%
4	0.495%	3.248%	1.164%	0.684%	0.225%	0.159%	0.640%	4.010%	7.147%	2.594%	0.051%	0.049%	20.465%
5	0.073%	1.742%	0.556%	0.144%	0.018%	0.018%	0.079%	1.881%	3.833%	0.726%	0.002%	0.002%	9.075%
6	0.011%	0.258%	0.042%	0.011%	-	0.007%	0.024%	0.252%	1.064%	0.106%	-	-	1.775%
7	0.002%	0.009%	-	-	-	0.002%	0.009%	0.038%	0.073%	0.002%	-	-	0.135%
8	-	-	-	-	-	-	-	0.004%	-	-	-	-	0.004%
	7.401%	11.925%	5.683%	4.014%	3.069%	2.926%	5.705%	12.261%	24.124%	13.603%	4.323%	4.966%	100.000%

Σύμφωνα με το παραπάνω (Πίνακας 5.4) τα ανεμολογικά στοιχεία που προέκυψαν για το σενάριο αυτό δείχνουν ότι επικρατέστερη ένταση ανέμου είναι τα 2 BF, ενώ έπειτα ακολουθούν τα 3 BF και τρίτα πιο συχνά τα 4 BF. Επίσης, πιο συχνές κατευθύνσεις ανέμου είναι και σε αυτή τη περίπτωση οι 240°, 270° και 210°. Ομοίως, παρακάτω (Σχήμα 5.5) παρουσιάζονται και σε μορφή ιστογραμμάτων.



Σχήμα 5.5: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP8.5 (2041-2070)

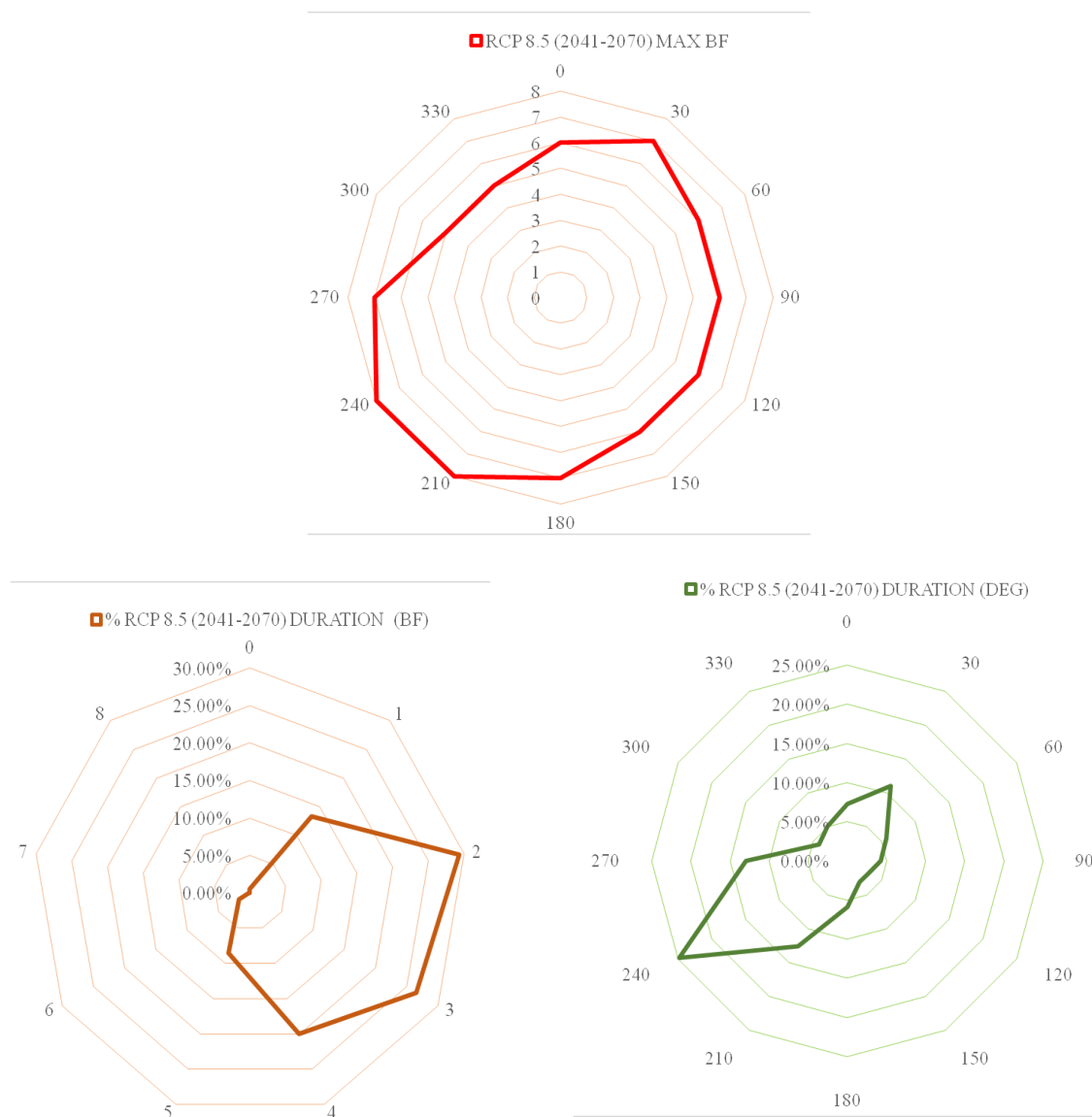
5.2.5 Προβολή κλιματικής αλλαγής: Σενάριο RCP8.5 (2071-2100)

Τελικά, για το τελευταίο εξεταζόμενο σενάριο το οποίο αφορά την δυσμενέστερη περίπτωση εκπομπών και τη δεύτερη χρονική περίοδο ακολουθούν παρακάτω τα δεδομένα που προέκυψαν.

Πίνακας 5.5: Ανεμολογικά δεδομένα για σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP8.5 (2071-2100)

Wind Speed (Bf)													
Bf	0.0°	30.0°	60.0°	90.0°	120.0°	150.0°	180.0°	210.0°	240.0°	270.0°	300.0°	330.0°	Percentage
0	0.046%	0.062%	0.041%	0.037%	0.039%	0.032%	0.037%	0.032%	0.062%	0.046%	0.050%	0.039%	0.520%
1	1.604%	1.339%	1.159%	0.860%	0.694%	0.675%	0.735%	0.888%	1.116%	1.301%	1.378%	1.558%	13.306%
2	3.596%	2.215%	1.798%	1.567%	1.481%	1.319%	1.435%	2.163%	4.025%	4.004%	2.555%	3.215%	29.373%
3	1.492%	2.679%	1.157%	1.059%	0.669%	0.904%	2.950%	3.336%	7.468%	4.435%	0.180%	0.226%	26.553%
4	0.427%	3.005%	1.070%	0.589%	0.214%	0.153%	0.650%	4.032%	7.342%	2.409%	0.018%	0.041%	19.950%
5	0.091%	1.506%	0.463%	0.132%	0.030%	0.021%	0.064%	1.839%	3.717%	0.634%	0.005%	0.005%	8.506%
6	0.014%	0.230%	0.048%	0.005%	0.007%	0.007%	0.021%	0.278%	0.979%	0.103%	-	-	1.691%
7	-	0.014%	-	-	-	-	0.002%	0.021%	0.055%	0.002%	-	-	0.094%
8	-	-	-	-	-	-	-	0.005%	0.002%	-	-	-	0.007%
	7.269%	11.050%	5.736%	4.248%	3.133%	3.110%	5.893%	12.592%	24.764%	12.934%	4.187%	5.083%	100.000%

Σε εξήγηση του παραπάνω (Πίνακας 5.5) κατά κύριο λόγο και για αυτό το σενάριο οι συνηθέστεροι άνεμοι είναι έντασης 2 BF 3 BF και 4 BF. Επιπλέον, οι κατευθύνσεις ανέμου είναι και σε αυτή τη περίπτωση 240°, 270° και 210°. Ακόμη, στη συνέχεια (Σχήμα 5.6) εμφανίζονται και σε μορφή ιστογραμμάτων. Συνεπώς, τα δεδομένα αυτά για τις διάφορες περιπτώσεις κλιματικής αλλαγής αλλά και της ιστορίας θα αξιοποιηθούν στην συνέχεια κατά τη διάρθρωση της μελέτης για να διερευνηθεί η υδροδυναμική κυκλοφορία στη λιμενολεκάνη.

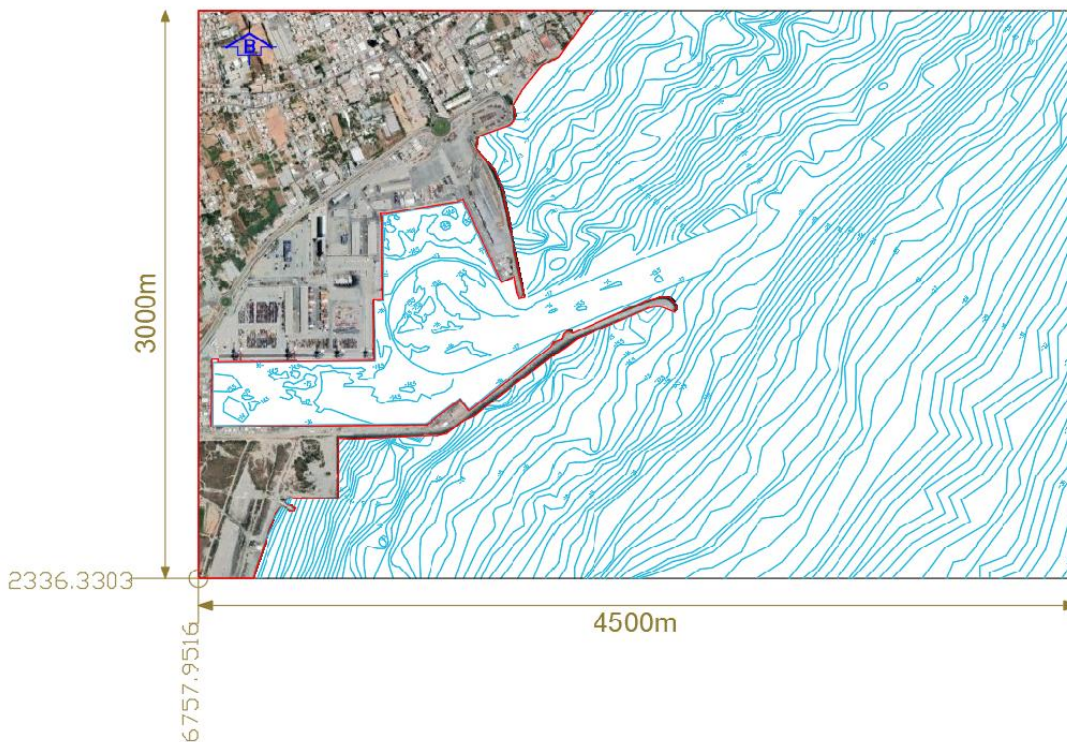


Σχήμα 5.6: Ιστογράμματα ανεμολογικών δεδομένων για σενάριο RCP8.5 (2071-2100)

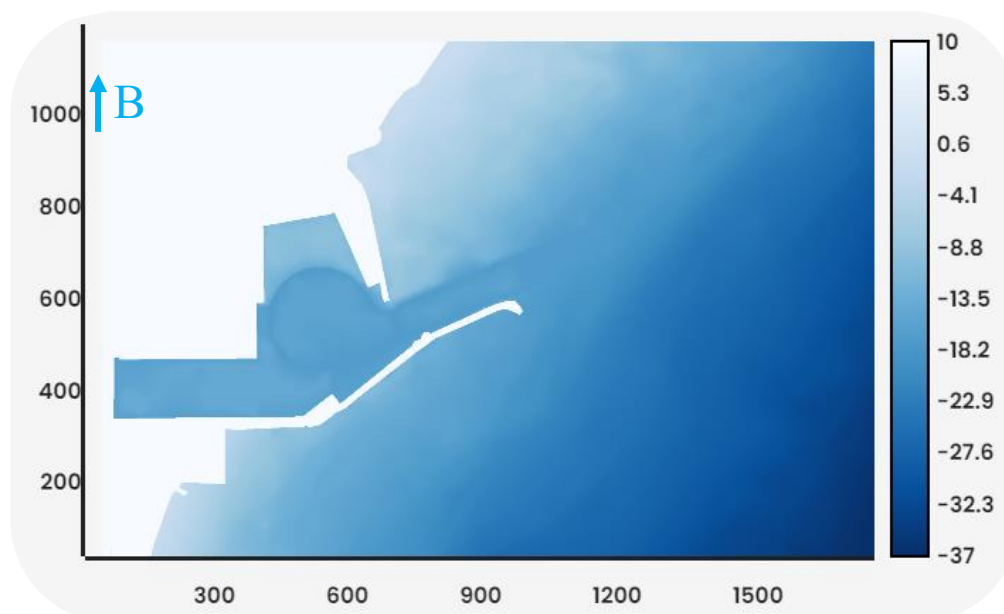
5.3 Κατασκευή βυθομετρικού καννάβου

Για τη κατασκευή του βυθομετρικού διαγράμματος της περιοχής μελέτης απαιτούνται δύο προϋποθέσεις. Κατά πρώτον οι συντεταγμένες των σημείων που αντιπροσωπεύουν την κρηπίδα του λιμένα και το περίγραμμα των λιμενικών έργων και κατά δεύτερον οι συντεταγμένες των σημείων που αποτελούν τις ισοβαθείς καμπύλες χωρίς απαραίτητα γεωαναφορά. Για τη μετατροπή των συντεταγμένων των σημείων από σχεδιαστικό πρόγραμμα σε αρχείο μορφής κειμένου γίνεται χρήση συγκεκριμένης εφαρμογής. Έπειτα, ορίζεται σημείο έναρξης πεδίου μελέτης ενώ έπειτα το εύρος αυτού για προσομοίωση της ρεαλιστικής απόστασης μεταξύ των σημείων (Σχήμα 5.7). Από το σημείο κατά την οριζόντια διεύθυνση επιλέγεται απόσταση 4500 m και ως προς την κατακόρυφη διεύθυνση 3000 m. Το

πλήθος των κλειστών πολυγώνων είναι ένα καθώς αυτό είναι το στερεό όριο της περιοχής μελέτης. Για τη μέθοδο παρεμβολής μεταξύ των ισοβαθών επιλέγεται η γραμμική. Το εμβαδόν των κελιών πλέγματος dx και dy ισούται με 2.5 και 2.5 αντίστοιχα. Το πλήθος των κόμβων κατά την οριζόντια διεύθυνση προκύπτει από τον λόγο της οριζόντιας έκτασης πεδίου προς το οριζόντιο μήκος ενός κελιού, ήτοι $4500/2.5=1800$. Ομοίως, για την κατακόρυφη διεύθυνση προκύπτει $3000/2.5=1200$. Η προσομοίωση της βυθομετρίας που προέκυψε από το Maris BTG παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8.



Σχήμα 5.7: Κλειστό πολύγωνο (κόκκινο), ισοβαθείς (μπλε), εύρος (χρυσό) και σημείο αφετηρίας (χρυσό) περιοχής μελέτης λιμένα Λεμεσού



Σχήμα 5.8: Βυθομετρικός κάρταβος μοντέλου

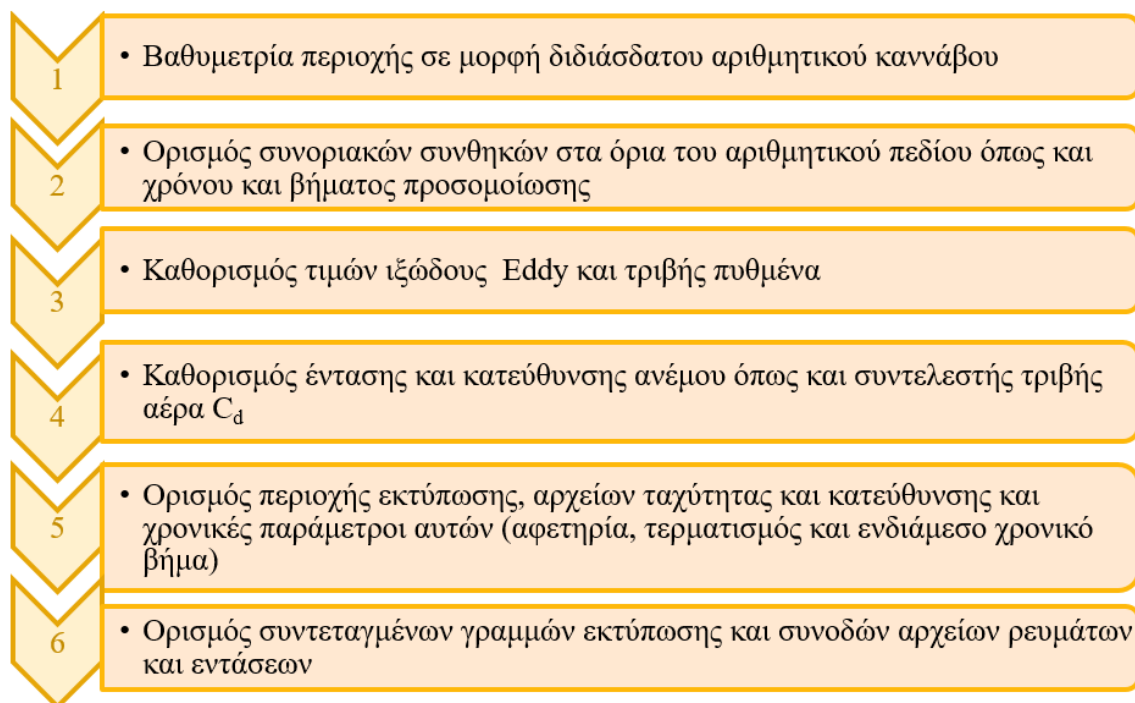
Από το παραπάνω (Σχήμα 5.8) προκύπτει ότι στα ανατολικά επικρατούν μεγαλύτερα βάθη και κατά την κατεύθυνση προς τα δυτικά τα μειώνονται, στοιχεία που συμφωνούν με τον χάρτη από τη βάση δεδομένων Navionics (Χάρτης 5.7). Επίσης, απεικονίζονται και τα βάθη κατά τόπους εντός της λιμενολεκάνης όπως και το βάθος του κύκλου ελιγμού για περαιτέρω ακρίβεια.

5.4 Προκαταρκτική διερεύνηση – προκαταρκτικές προσομοιώσεις

Εφόσον πραγματοποιήθηκε η ορθή κατασκευή της βυθομετρίας, είναι έτοιμη να αποτελέσει δεδομένο εισαγωγής για τη κατάστρωση του υδροδυναμικού μοντέλου που περιγράφει τις ταχύτητες και κατευθύνσεις των κυματισμών εντός της λιμενολεκάνης αναλόγως τους παράγοντες που ορίζονται και το επηρεάζουν στα αποτελέσματα. Αρχικά, κατά τον ορισμό του μοντέλου εφόσον έχει επιλεγεί το έργο μελέτης από τη λίστα έργων και συμπληρώνονται αυτόματα τα βυθομετρικά δεδομένα, ορίζεται ο χρόνος προσομοίωσης (π.χ. 600 s) και το χρονικό βήμα (π.χ. 0.05 s).

Στη συνέχεια, εφόσον επιλέγεται κρύα εκκίνηση (cold start), γίνεται επεξεργασία των χαρακτηριστικών του μοντέλου. Ο συντελεστής ιξώδους Eddy και ο επίσης συντελεστής τριβής πυθμένα που είναι υπεύθυνοι για να αποδώσουν μικρότερες ταχύτητες κυμάτων όσο μεγαλύτεροι είναι επιλέγονται 0.1 και 0.2 αντίστοιχα. Ύστερα, κατά τις ιδιότητες ανέμου επιλέγεται η ταχύτητα ανέμου (π.χ. 17.1 m/s που αναλογούν σε 7 BF) και η κατεύθυνση του κυματισμού (π.χ. 90°). Επιπλέον, ο συντελεστής τριβής λόγω ανέμου C_d επιλέγεται με την προκαθορισμένη τιμή 0.0026. Έπειτα, ακολουθεί το πεδίο δεδομένων εξόδου (output) του μοντέλου. Στη συνέχεια ακολουθεί το πεδίο εκτύπωσης περιοχών μελέτης (plot

areas) στο οποίο εφόσον αυτοσυμπληρώνονται τα πεδία συντεταγμένων πλέον νοτιοδυτικού σημείου και πλέον βορειανατολικού σημείου περιοχής προσομοίωσης επιλέγονται τα πεδία εμφάνισης ταχύτητας και κατεύθυνσης ρευμάτων (current speed and direction). Ακόμη, γίνεται ορισμός των χρονικών παραμέτρων προσομοίωσης με πρώτα το αρχικό χρονικό βήμα (start time step), έπειτα το τελευταίο χρονικό βήμα (end time step) και τελικά το χρονικό διάστημα μεταξύ των βημάτων (time step interval). Τελικώς, ακολουθεί η υποβολή της προσομοίωσης όπου καθορίζονται το όνομα του αρχείου προσομοίωσης που θα προκύψει (simulation file) και το πλήθος επεξεργαστών (vCPUs) που θα εργαστούν (π.χ. οκτώ). Συνοπτικά, η πορεία σύνθεσης του μοντέλου υδροδυναμικής κυκλοφορίας Maris HYD παρουσιάζεται παρακάτω στο Σχήμα 5.9.



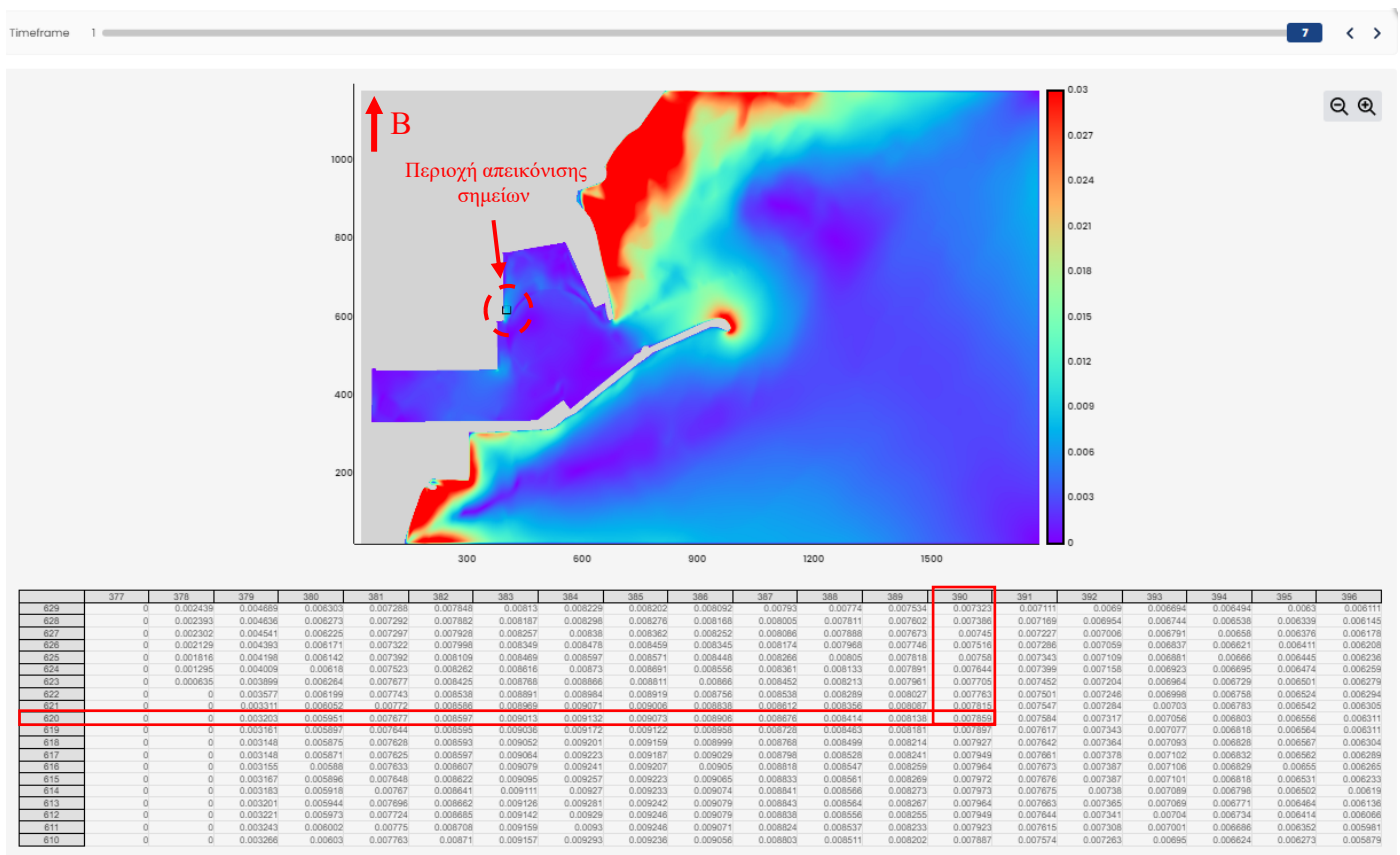
Σχήμα 5.9: Συνοπτική σύνθεση μοντέλου Maris HYD

Πραγματοποιήθηκαν με την ανωτέρω μεθοδολογία προκαταρκτικά τρεξίματα σεναρίων για τις τέσσερις κύριες διευθύνσεις ανέμου (B, A, N και Δ) και για εντάσεις ανέμου από 3 έως 7 BF ούτως ώστε να διαπιστωθεί η συμπεριφορά του μοντέλου. Για να ελεγχθούν οι μεταβολές ανάλογα τις παραμέτρους έγινε αρχή των διερευνήσεων με πρώτη αυτή του χρόνου προσομοίωσης. Σκοπός αυτής ήταν να βρεθεί ο χρόνος προσομοίωσης του μοντέλου που απαιτείται για μονιμοποίηση (σταθεροποίηση) του πεδίου. Έτσι, με μονιμοποιημένο πεδίο θα προκύπτουν τα επιθυμητά και αληθοφανή αποτελέσματα υδροδυναμικής κυκλοφορίας. Αρχικά, τα 600 s του χρόνου προσομοίωσης (t_{sim_1}) απέδειξαν ότι δεν

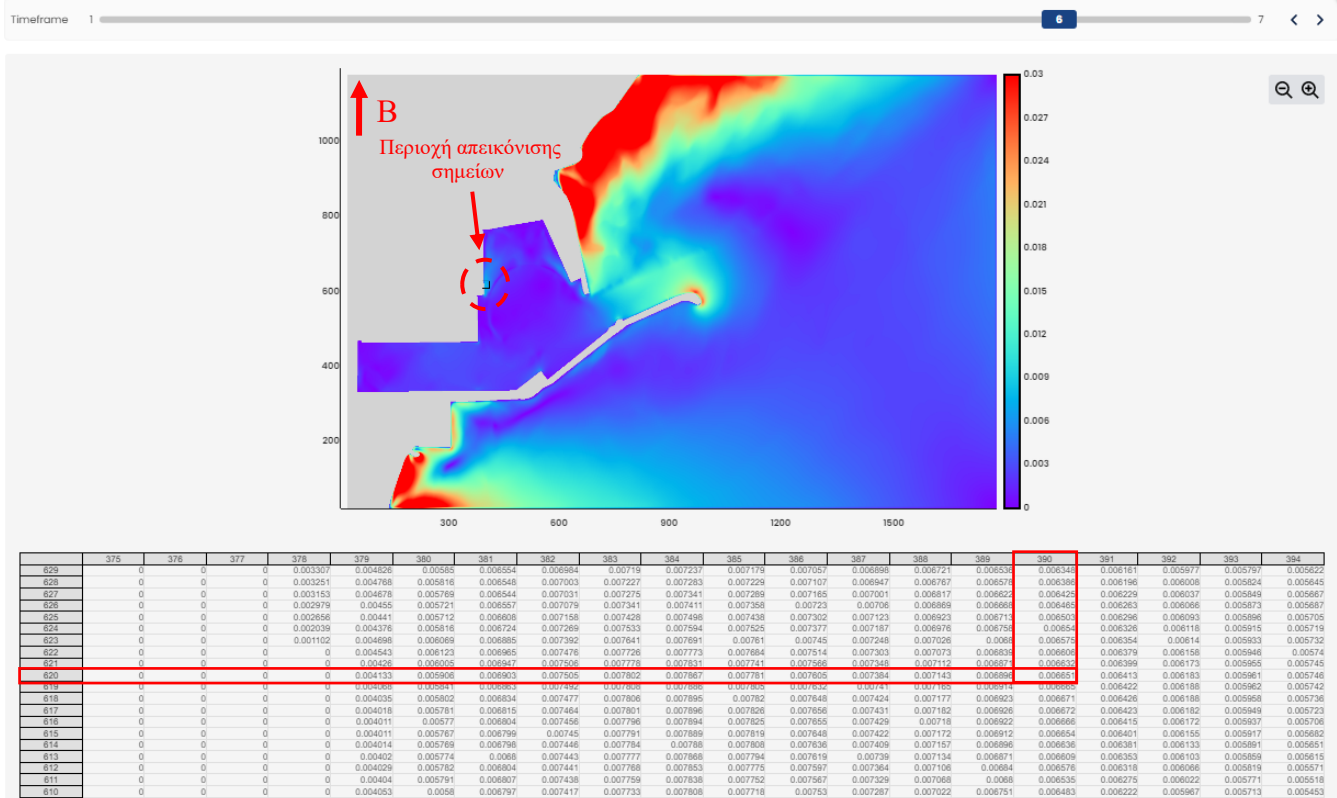
αποφέρουν μονιμοποιημένο πεδίο και ότι το μοντέλο χρειαζόταν αύξηση του χρόνου προσομοίωσης. Αυτό προέκυψε από τη σύγκριση των δύο τελευταίων χρονικών στιγμιότυπων αφενός οφθαλμοφανώς και αφετέρου για την τιμή ενός συγκεκριμένου κελιού καθώς υπήρξε έντονα αισθητή μεταβολή. Πιο συγκεκριμένα, για τελευταίο χρονικό βήμα $600\text{ s} / 0.05\text{ s} = 12000$ και χρονικό διάστημα βημάτων 2000 με βάση το πηλίκο τους προκύπτουν $12000/2000 = 6$ χρονικά στιγμιότυπα. Έτσι, για σενάριο ανέμου βόρειας κατεύθυνσης και εντάσεως 7 BF, το Σχήμα 5.10 που αναπαριστά το τελευταίο χρονικό στιγμιότυπο και την τιμή του κελιού $(x, y) = (390, 620)$, συγκριτικά με το προτελευταίο χρονικό στιγμιότυπο (Σχήμα 5.11) για το ίδιο κελί υπήρξε μεταβολή ανώτερη του ορίου 10% που θεωρείται σαν όριο για ένδειξη σταθεροποίησης πεδίου, ήτοι:

$$(\text{τελ.-αρχ.})/\text{αρχ.} = (0.007859 - 0.006651)/0.006651 = 0.1816 \times 100\% = 18.16\% > 10\%$$

Υστερα, παρουσιάζονται τα δύο τελευταία στιγμιότυπα ταχυτήτων ρευμάτων για βόρεια διεύθυνση ανέμου εντάσεως 7 BF και χρόνο προσομοίωσης 600 s.



Σχήμα 5.10: Ταχύτητα ρευμάτων τελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim} = 600\text{ s}$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF



Σχήμα 5.11: Ταχύτητα ρευμάτων προτελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim_1} = 600 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF

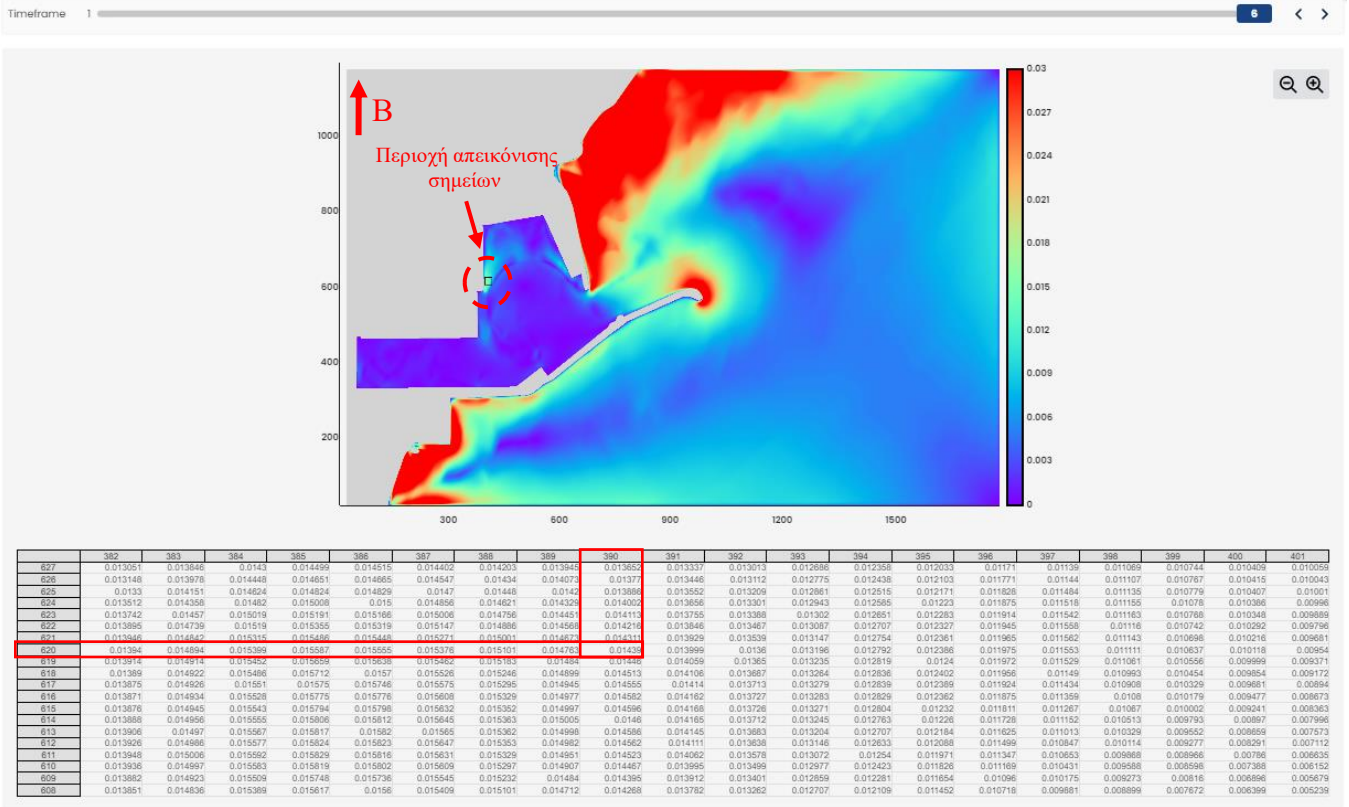
Εφόσον για αυτόν τον χρόνο προσομοίωσης ($t_{sim_1} = 600 s$) προέκυψε αυτή η τιμή μεταβολής ταχύτητας, κρίνεται λογική η αύξηση του χρόνου προσομοίωσης αρχικά σε $t_{sim_2} = 1000 s$.

Η αλλαγή που πραγματοποιήθηκε στο υδροδυναμικό μοντέλο για άνεμο βόρειας κατεύθυνσης και έντασης 7 BF βρίσκεται στο πεδίο «ορισμός μοντέλου» και ήταν μετατροπή του χρόνου προσομοίωσης από 600 σε 1000 s. Όπως είναι λογικό, για $t_{sim_2} = 1000 s$ προκύπτει περισσότερος συνολικός χρόνος επεξεργασίας μοντέλου: $1000 s / 0.05 = 20000 s$ και επιλέγεται ενδιάμεσο χρονικό βήμα 4000 s που αποδίδει $20000/4000 + 1 = 6$ χρονικά στιγμιότυπα (timeframes).

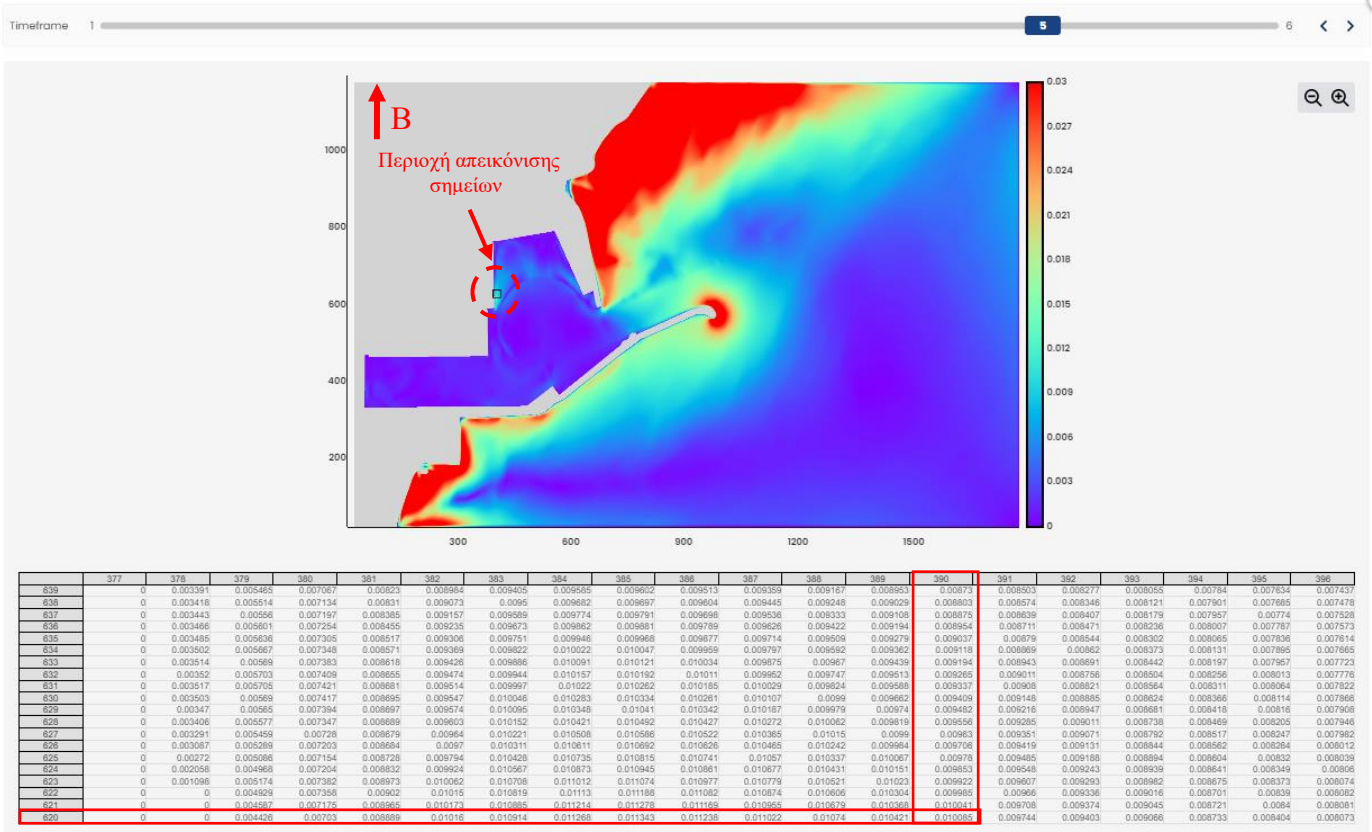
Ομοίως, για σενάριο ανέμου βόρειας κατεύθυνσης και εντάσεως 7 BF, το Σχήμα 5.12 που παρουσιάζει το τελευταίο χρονικό στιγμιότυπο και την τιμή του κελιού $(x, y) = (390, 620)$, συγκριτικά με το προτελευταίο χρονικό στιγμιότυπο (Σχήμα 5.13) για το ίδιο κελί απεδείχθη ότι υπέστη μεταβολή αρκετά ανώτερη του ορίου 10%, δηλαδή:

$$(τελ.-αρχ.)/αρχ. = (0.01439 - 0.010085)/0.010085 = 0.4268 \times 100\% = 42.68 \% > 10\%$$

Στη συνέχεια (Σχήμα 5.12 και Σχήμα 5.13), ακολουθούν τα δύο τελευταία στιγμιότυπα ταχυτήτων ρευμάτων για βόρεια διεύθυνση ανέμου εντάσεως 7 BF και χρόνο προσομοίωσης 1000 s.

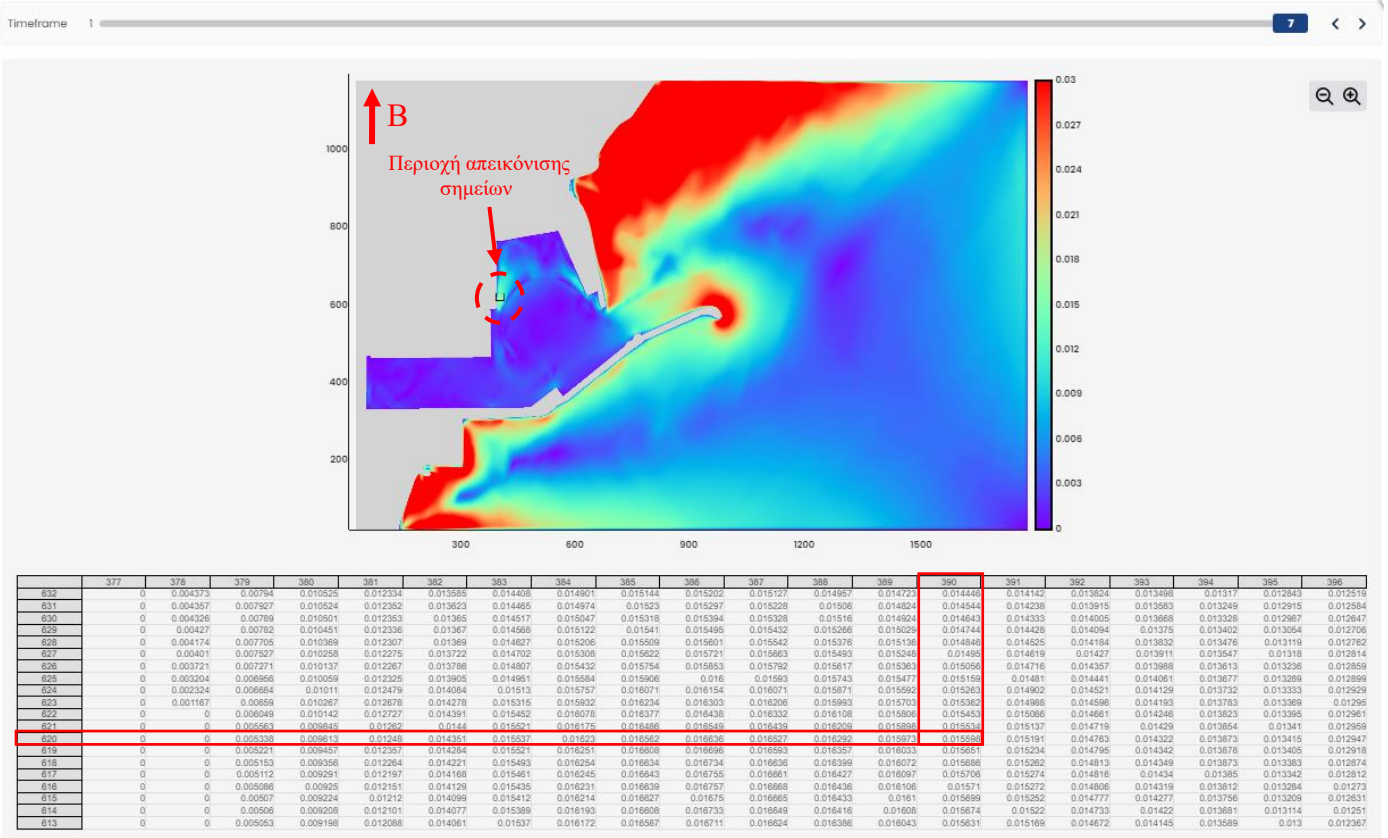


Σχήμα 5.12: Ταχύτητα ρευμάτων τελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim_2} = 1000$ s και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF

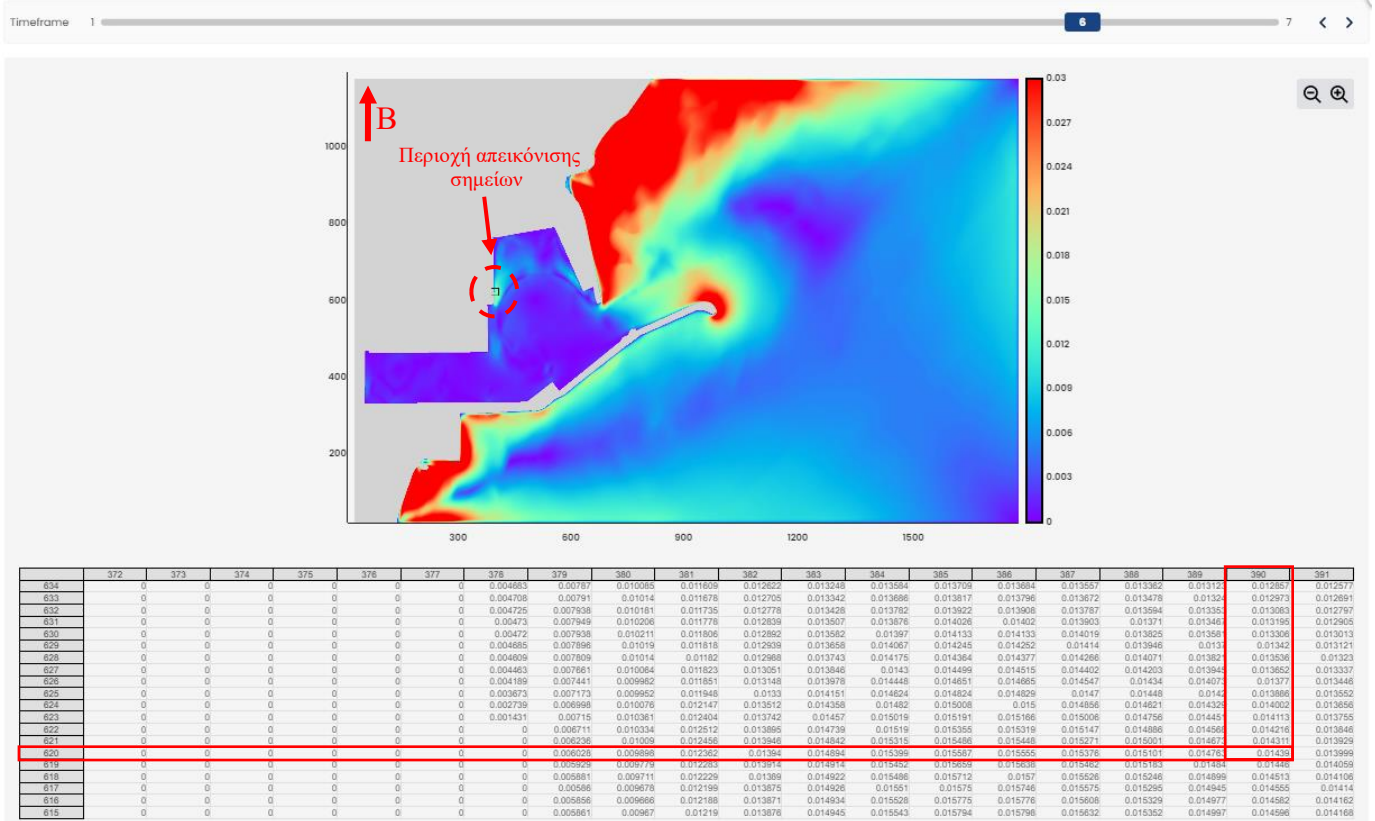


Σχήμα 5.13: Ταχύτητα ρευμάτων προτελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim_2} = 1000 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF

Με βάση αυτά κρίνεται ότι χρειάζεται κι άλλο χρόνο επεξεργασίας το μοντέλο, επομένως τέθηκε χρόνος προσομοίωσης $t_{sim_3} = 1200 s$. Άρα, δημιουργείται περισσότερος συνολικός χρόνος επεξεργασίας μοντέλου: $1200 s / 0.05 = 24000 s$ και επιλέγεται ομοίως ενδιάμεσο χρονικό βήμα $4000 s$ που αποδίδει $24000/4000 + 1 = 7$ χρονικά στιγμιότυπα (timeframes). Παρακάτω (Σχήμα 5.14 και Σχήμα 5.15) διαφαίνονται τα δύο τελευταία στιγμιότυπα ταχυτήτων ρευμάτων για βόρεια διεύθυνση ανέμου εντάσεως 7 BF και χρόνο προσομοίωσης $1200 s$.



Σχήμα 5.14: Ταχύτητα ρευμάτων τελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim_3} = 1200 s$ και βόρειο άνεμο εντάσεως 7 BF

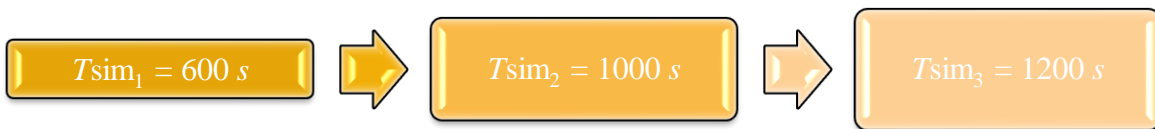


Σχήμα 5.15: Ταχύτητα ρευμάτων προτελευταίου χρονικού στιγμιότυπου για $t_{sim_3} = 1200 s$ και βόρειο άνεμο έντασης 7 BF

Άρα, για τον έλεγχο μονιμοποίησης του πεδίου αρκεί ο υπολογισμός:

$$(τελ.-αρχ.)/αρχ. = (0.015598 - 0.01439)/0.01439 = 0.0839 \times 100\% = 8.39 \% < 10\%$$

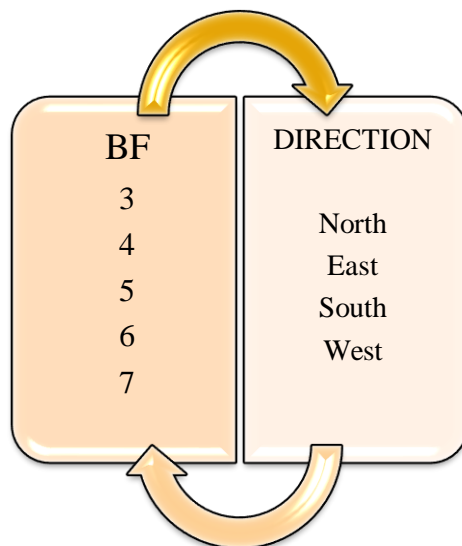
Ως εκ τούτου, κατά τη διερεύνηση αυτή διαπιστώθηκε ότι ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης που απαιτείται για σταθεροποίηση πεδίου είναι τα 1200 s. Συνοπτικά, η πορεία της διερεύνησης περιγράφεται από το παρακάτω (Σχήμα 5.16):



Σχήμα 5.16: Πορεία διερεύνησης χρόνου προσομοίωσης

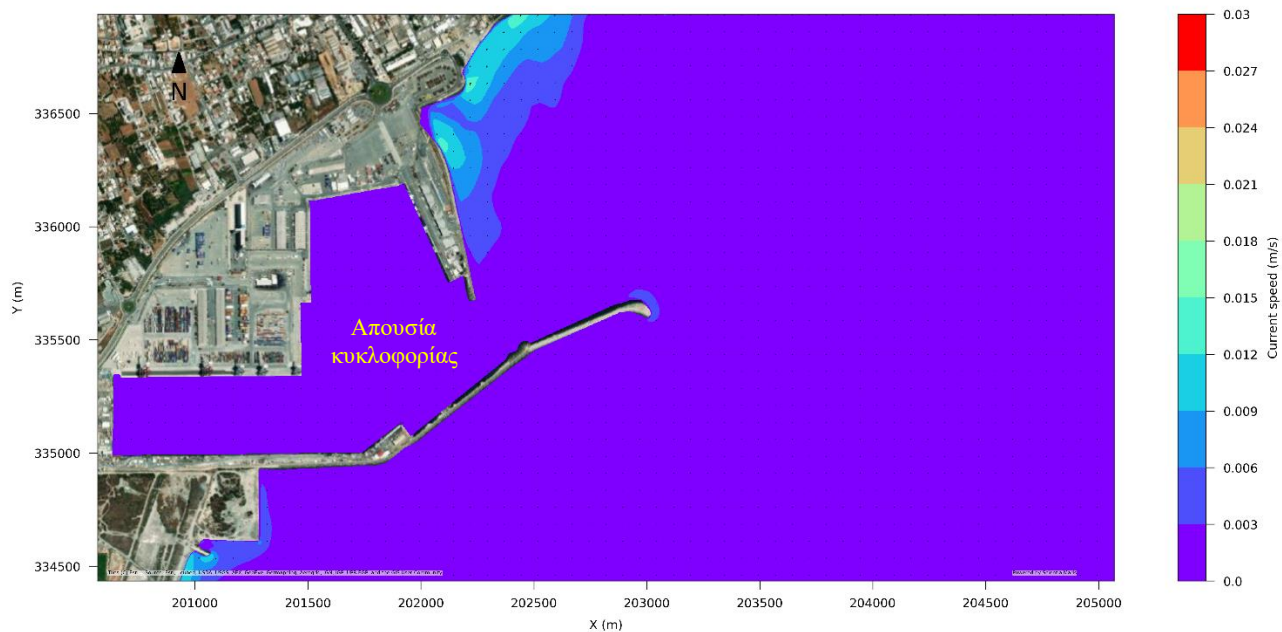
Εφόσον πραγματοποιήθηκε η πρώτη προϋπόθεση για αξιόπιστα αποτελέσματα υδροδυναμικής κυκλοφορίας εντός της λιμενολεκάνης Λεμεσού, επόμενο βήμα είναι η διερεύνηση της έντασης ανέμων που πνέουν, με στόχο να βρεθεί το κατώτατο όριο που παρατηρείται μηδενική ή σχεδόν μηδενική

κυκλοφορία, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται ουσιαστικά η ανανέωση των υδάτων. Τα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται ως εξής (Σχήμα 5.17):



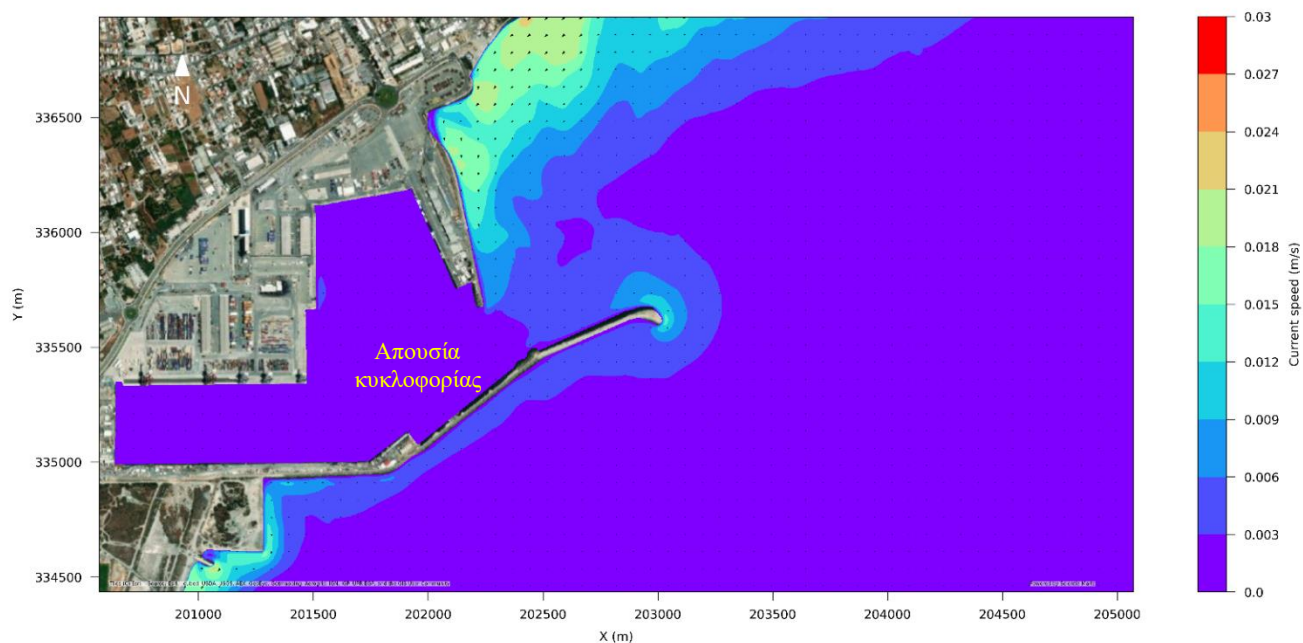
Σχήμα 5.17: Πορεία διερεύνησης έντασης ανέμου

Πιο συγκεκριμένα, αμελήθηκαν η νηνεμία, τα 1 και 2 BF, διότι δεν δημιουργούν αξιοσημείωτη διαταραχή της λιμενολεκάνης. Οι προσομοιώσεις που αρχικά έγιναν αφορούσαν εντάσεις από 3 έως 7 BF για κάθε κατεύθυνση τεταρτημόριου ανέμου (δηλαδή Βορράς - 3 BF, Βορράς - 4 BF, Βορράς - 5 BF, Βορράς - 6 BF, Βορράς - 7 BF, κ.ο.κ. για τις άλλες τρεις κατευθύνσεις). Παρακάτω (Σχήμα 5.18) ακολουθεί στιγμιότυπο υδροδυναμικής κυκλοφορίας για βόρειο άνεμο και ένταση 3 BF.



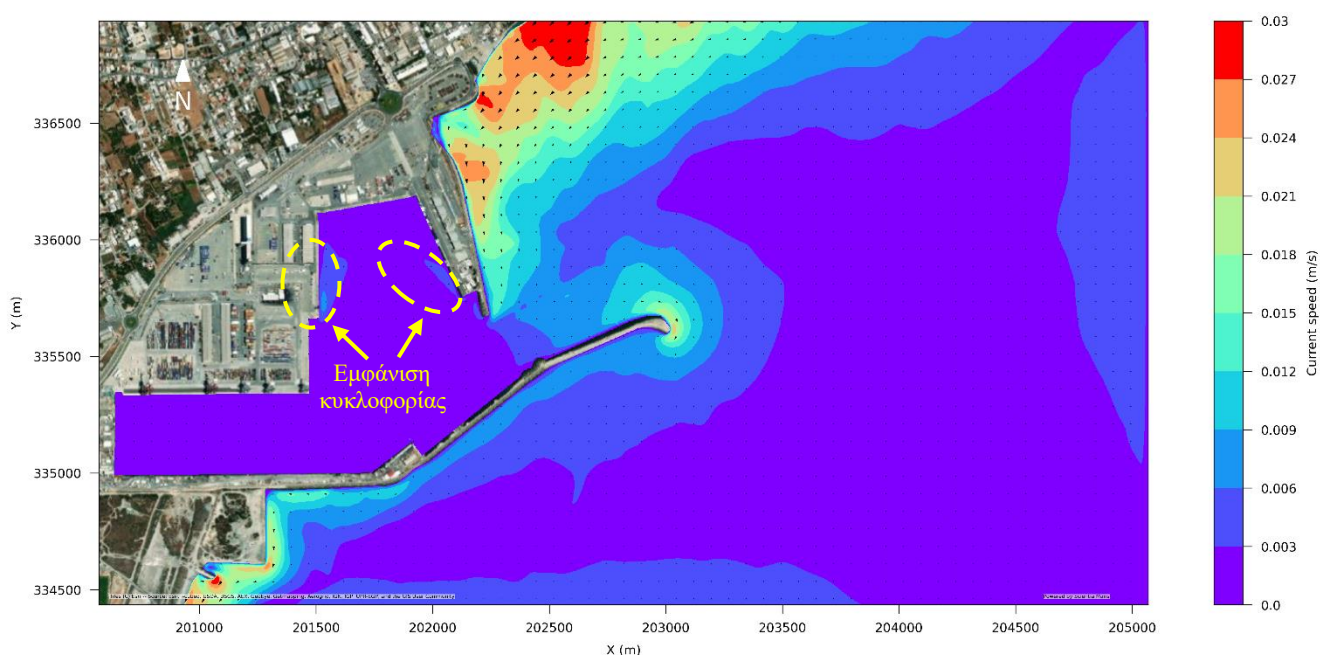
Σχήμα 5.18: Ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 3 BF

Από το παραπάνω (Σχήμα 5.18), προκύπτει ότι για άνεμο βόρειας κατεύθυνσης και έντασης 3 BF η λιμενολεκάνη δεν φαίνεται να έχει καθόλου υδροδυναμική κυκλοφορία. Όμοια εικόνα προκύπτει και για τις υπόλοιπες τρεις κύριες κατευθύνσεις για αυτήν την ένταση. Ύστερα (Σχήμα 5.19) ακολουθεί η προσομοίωση για βόρειο άνεμο εντάσεως 4 BF.



Σχήμα 5.19: Ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 4 BF

Όμοιο συμπέρασμα προκύπτει και εδώ, καθώς από το παραπάνω (Σχήμα 5.19), για άνεμο βόρειας κατεύθυνσης και έντασης 4 BF η λιμενολεκάνη φαίνεται να έχει γενικώς καθόλου υδροδυναμική κυκλοφορία, με εμφάνιση μικρής κυκλοφορίας στο κεντρικό και άνω δυτικό κρηπίδωμα (περίπου 0.6 cm/s). Ωστόσο, Εντονότερη δραστηριότητα παρατηρείται στην προσήνεμη πλευρά του υπήνεμου μώλου (περίπου 1.7 cm/s), γύρω από το ακρομώλιο του προσήνεμου μώλου (περίπου 1.6 cm/s) και στη προσήνεμη πλευρά στο νοτιότερο τμήμα της γένεσης του προσήνεμου μώλου (περίπου 1.8 cm/s). Όμοια εικόνα προκύπτει και για τις υπόλοιπες τρεις κύριες κατευθύνσεις. Στη συνέχεια, ακολουθεί το στιγμιότυπο για ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 5 BF.



Σχήμα 5.20: Ταχύτητα ρευμάτων για βόρειο άνεμο εντάσεως 5 BF

Όπως γίνεται αντιληπτό από το παραπάνω (Σχήμα 5.20), φαίνεται ότι από τα 5 BF και εντονότερα αρχίζει και εμφανίζεται αξιοσημείωτη υδροδυναμική κυκλοφορία στο εσωτερικό της λιμενολεκάνης, επηρεάζοντας αρχικά τις περιοχές κεντρικά και βόρεια στις άκρες του κύκλου ελιγμών με ταχύτητα ρευμάτων δυτικά περίπου 1.2 cm/s και ανατολικά περίπου 0.6 cm/s . Τα στιγμιότυπα για αυτήν την ένταση και τις υπόλοιπες κατευθύνσεις ανέμου παρουσιάζονται στο παράρτημα και παρουσιάζουν ακόμη εντονότερη κυκλοφορία για κατευθύνσεις που εισέρχονται ανεμπόδιστα από τον διάυλο εισόδου. Σαν αποτέλεσμα της διερεύνησης αυτής προέκυψε ότι τα 5 BF είναι εκείνα από τα οποία και ύστερα έχουμε αξιοσημείωτη υδροδυναμική κυκλοφορία και για αυτήν την ένταση και πάνω θα διερευνηθεί η κατεύθυνση του ανέμου ως προς την εντονότερη επίδρασή της.

5.5 Μαθηματική προσομοίωση ανεμογενούς και παλιρροιογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας

Η παρούσα εργασία όπως προαναφέρθηκε εστιάζει στην ανεμογενή και παλιρροιογενή υδροδυναμική κυκλοφορία.

5.5.1 Ανεμογενής υδροδυναμική κυκλοφορία

Με το πέρας της δεύτερης διερεύνησης για εύρεση της έντασης ανέμου που προκαλεί κυκλοφορία εντός της λιμενολεκάνης, ακολουθεί η διερεύνηση της κατεύθυνσης ανέμων που πνέουν, με στόχο να βρεθεί η κατεύθυνση εκείνη η οποία προκαλεί την εντονότερη κυκλοφορία για τη κάθε ένταση ανέμου. Τα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν περιγράφονται παρακάτω (Πίνακας 5.6) και αφορούν τα ανεμολογικά δεδομένα κατά την ιστορία και για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής όπως παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο λόγος που απουσιάζουν προσομοιώσεις για ορισμένες κατευθύνσεις και εντάσεις (κυρίως οι μεγαλύτερες) είναι ότι βάσει ανεμολογικών δεδομένων δεν υπήρχε ποσοστό εμφάνισης ή δεν προέκυψε εξερχομένη παροχή για τους συγκεκριμένους συνδυασμούς έντασης – κατεύθυνσης.

Πίνακας 5.6: Σενάρια μαθηματικής προσομοίωσης
(☞ = πραγματοποιήθηκε προσομοίωση)

BF/DEG	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
5	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞
6	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞	☞		
7	☞	☞	☞	☞		☞	☞	☞	☞	☞		
8							☞	☞	☞			
9						☞						

Με βάσει τα αποτελέσματα των στιγμιότυπων που παρατίθενται στο Παράρτημα Α', προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα (Πίνακας 5.7).

Πίνακας 5.7: Δυσμενέστερα σενάρια προσομοίωσης
(● = δυσμενέστερο)

BF/DEG	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
5			●									
6				●								
7				●								
8									●			
9						●						

Η αιτιολόγηση που συνοδεύει τα παραπάνω αποτελέσματα έγκειται στο ότι για τα σενάρια αυτά η υδροδυναμική εικόνα του συγκεκριμένου σεναρίου συγκριτικά με τα όμοια τους ως προς την ίδια ένταση ήταν εντονότερη, επομένως επιλέχθηκε ως δυσμενέστερο. Για τα 5, 6 και 7 BF όπου υπήρξε μεγάλο πλήθος γωνιών ανέμου παρατηρήθηκε ότι για τις 60° και τις 90° επικρατεί εντονότερη κυκλοφορία ρευμάτων. Για της εντάσεις 8 και 9 BF οι επιλογές για σύγκριση ήταν αισθητά μικρότερες από εκείνες των άλλων εντάσεων, επομένως παρομοίως η εντονότερη κυκλοφορία εντός της λιμενολεκάνης επέφερε και την επιλογή του αντιστοίχως δυσμενέστερου σεναρίου, επί τούτου για τα 8 BF οι 240° και για τα 9 BF η μοναδική επιλογή των 150°.

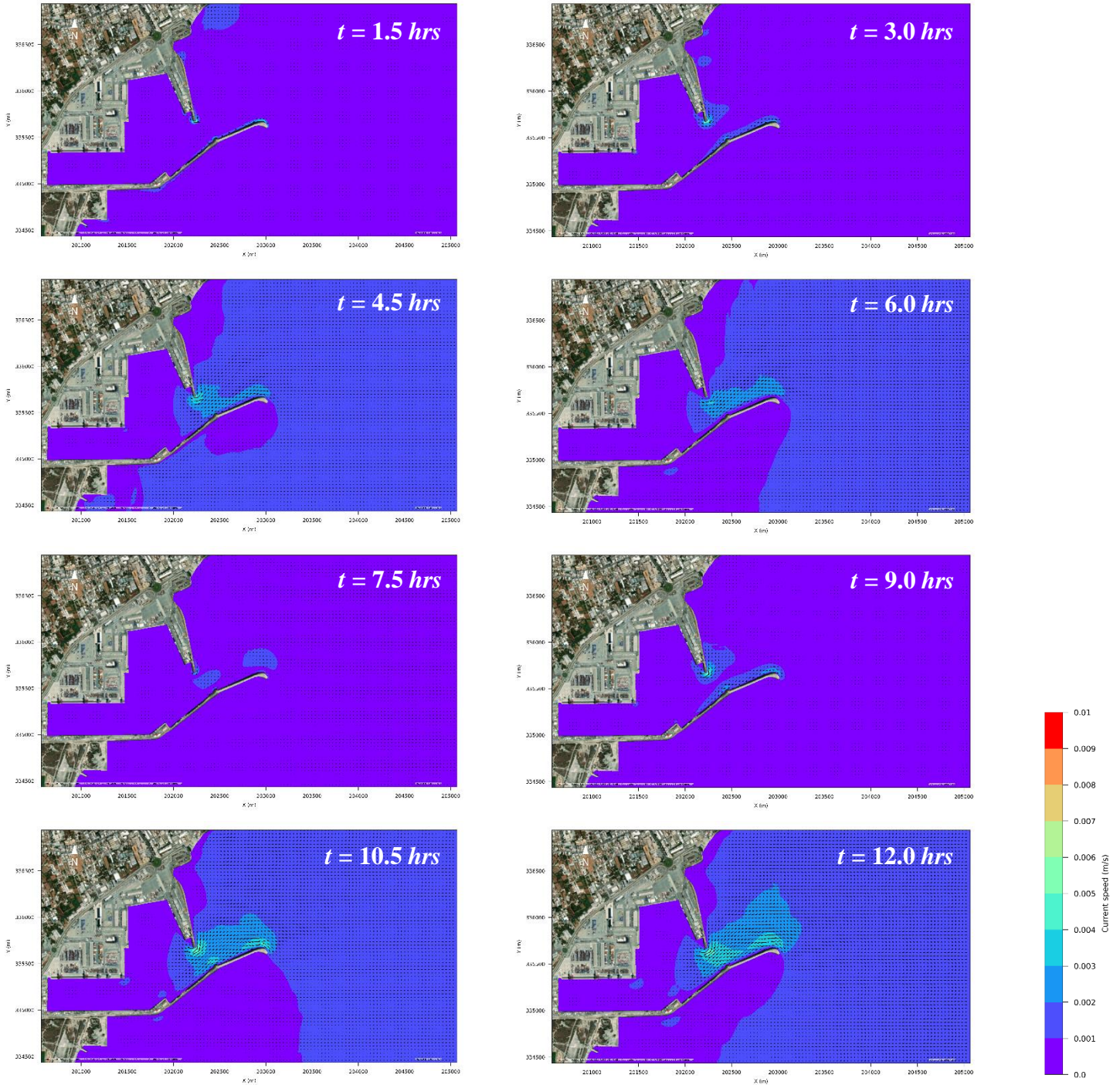
5.5.2 Παλιρροιογενής υδροδυναμική κυκλοφορία

Ο δεύτερος φυσικός μηχανισμός που δημιουργεί υδροδυναμική κυκλοφορία εντός λιμενολεκανών και κλειστών κόλπων είναι η παλίρροια. Η παλίρροια διακρίνεται στην αστρονομική (astronomical tide), η οποία συντελείται λόγω της έλξης σελήνης και γης, και στην μετεωρολογική (storm surge), η οποία συντελείται λόγω της δράσης του ανέμου και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η πρώτη, δηλαδή η αστρονομική παλίρροια, η οποία συντελείται καθημερινά κατά βάση με ημήμερησια περίοδο στην Ελλάδα και στην Κύπρο, δηλαδή σε μία περίοδο περίπου 12 ωρών εμφανίζεται μια πλήμμη και μια ρηχία. Όπως είναι γνωστό η αστρονομική παλίρροια στην Ελλάδα και στην Κύπρο δεν έχει μεγάλα εύρη. Βάσει δεδομένων στάθμης από την Υδρογραφική Υπηρεσία για την Ελλάδα γίνεται η παραδοχή για περίοδο παλίρροιας $T_{tide} = 12 \text{ hrs}$ και μέσο εύρος $A_{tide} = 10 \text{ cm}$ και με αυτές τις τιμές εκπονείται προσομοίωση της παλιρροιογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας που αναπτύσσεται εντός της λιμενολεκάνης.



Διάγραμμα 5.1: Ημιτονοειδής ρυθμός μεταβολής θαλάσσιας στάθμης σε παλίρροια περιόδου 12 ωρών

Παρατηρείται σύμφωνα με το Διάγραμμα 5.1 ότι κατά τη διάρκεια της πλήμμης υπάρχει εισροή στην λιμενολεκάνη ενώ κατά τη διάρκεια της ρηχίας υπάρχει εκροή. Οι ταχύτητες που αναπτύσσονται στις διατομές ελέγχου παραμένουν αρκετά μικρότερες των σεναρίων ανεμογενούς κυκλοφορίας που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική και συμπερασματικά η συνιστώσα της παλίρροιας συντελεί με μικρότερη ένταση στην ανανέωση των υδάτων. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται παρακάτω ανά 1.5 hrs στο Σχήμα 5.21.



Σχήμα 5.21: Χρονική εξέλιξη υδροδυναμικής κυκλοφορίας λόγω παλίρροιας με περίοδο $T_{tide} = 12 \text{ hrs}$ και εύρος $A_{tide} = 10 \text{ cm}$.

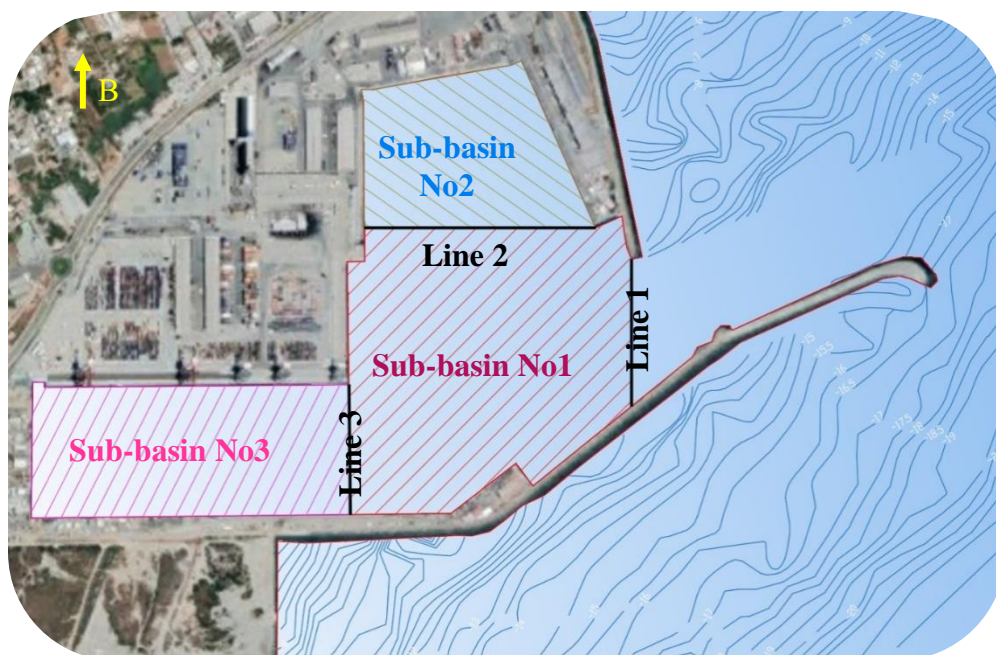
5.6 Υπολογισμός χρόνων ανανέωσης

Εφόσον περιγράφηκε το πως επηρεάζει η κατεύθυνση ανέμου την υδροδυναμική κυκλοφορία της λιμενολεκάνης και εξετάστηκε και η περίπτωση της παλίρροιας σειρά έχει ο υπολογισμός των χρόνων ανανέωσης της και η διερεύνηση για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής αλλά και η σύγκριση με τα ιστορικά δεδομένα. Για να επιτευχθεί αυτό, θα διασπαστεί σε τρεις μικρότερες λιμενολεκάνες, με βάση

τα στερεά όρια που τις περιβάλλουν προκειμένου να δημιουργηθούν νοητές γραμμές για τις οποίες θα υπολογιστούν οι εξερχόμενες από αυτές παροχές. Αρχικά θα εκτιμηθούν οι όγκοι των υπολιμενολεκανών και στη συνέχεια θα υπολογιστούν οι χρόνοι ανανέωσης τους. Παρακάτω περιγράφεται η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε.

5.6.1 Προσδιορισμός ορίων

Όπως είναι φανερό από το παρακάτω (Χάρτης 5.8), ο καταμερισμός που υλοποιήθηκε αφορά κατά πρώτον το κεντρικό τμήμα της λιμενολεκάνης (Sub-basin No1) όπου συνδέεται με τη πρώτη νοητή γραμμή (Line 1) η οποία είναι κατακόρυφη και τέμνοντας τον διάυλο εισόδου λήγει όταν συναντά τον προσήνεμο μώλο. Κατά δεύτερον, το βόρειο τμήμα του λιμένα διαμορφώνει την δεύτερη υπολιμενολεκάνη (Sub-basin No2) για την οποία μελετάται η παροχή που διέρχεται από τη δεύτερη νοητή γραμμή (Line 2) όπου έχει αφετηρία το εσωτερικό ανατολικό άκρο των χερσαίων χώρων του υπήνεμου μώλου και οριζοντίως συναντά κάθετα το άνω βορειοδυτικό κρηπίδωμα. Τρίτον, στο νότιο και δυτικό τμήμα του λιμένα Λεμεσού τοποθετείται η τρίτη υπολιμενολεκάνη (Sub-basin No3) η οποία συνάδει με την τρίτη νοητή γραμμή (Line 3) και έχει αφετηρία το άκρο των νοτιοκεντρικών χερσαίων χώρων και κατακορύφως ενώνεται κάθετα με το εσωτερικό νοτιοκεντρικό τμήμα του προσήνεμου μώλου. Η χρήση των γραμμών σκοπό έχει να χωρίσουν τις υπολιμενολεκάνες μεταξύ τους αφενός για να αποκτήσουν η κάθε μία τον δικό της όγκο όπως υπολογίζεται παρακάτω και αφετέρου διότι μέσω του υπολογισμού της εξερχόμενης παροχής με βάση την σχέση των Yin *et al.* (1998) προκύπτει ο μέσος χρόνος ανανέωσης της κάθε υπολιμενολεκάνης.



Χάρτης 5.10: Υποδιαίρεση κύριας λιμενολεκάνης σε τρεις δευτερεύουσες λιμενολεκάνες

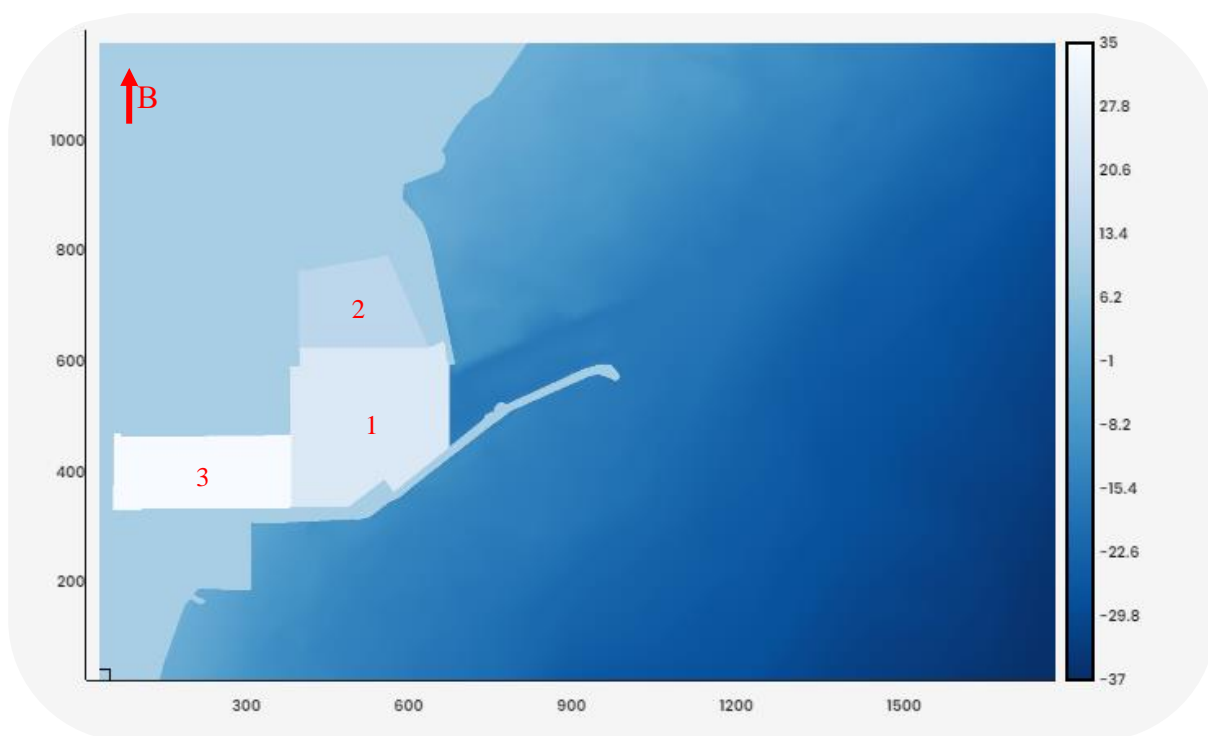
5.6.2 Προσδιορισμός όγκων

Για ακριβή και λεπτομερή υπολογισμό όγκων υπολιμενολεκανών εφαρμόστηκε υπολογιστική διαδικασία βάσει της βαθυμετρίας που κατασκευάστηκε στο εργαλείο Maris BTG. Όπως παρουσιάζεται και παρακάτω (Σχήμα 5.22), ορίστηκαν τέσσερα κλειστά πολύγωνα: το περίγραμμα κρηπίδας – ακτογραμμής (mainland) και οι τρεις υπολιμενολεκάνες (sub basin north, center and south). Έτσι, είναι εφικτό για κάθε κλειστό πολύγωνο να οριστεί δικός του κωδικός – τιμή που ενσωματώνεται στο μοντέλο, εν προκειμένω για τη κεντρική ορίστηκε ο κωδικός 25, για τη βόρεια ο κωδικός 15 και για τη νότια ο κωδικός 35. Με αυτόν τον τρόπο απομονώθηκαν τα αντιπροσωπευτικά βάθη για την κάθε υπολιμενολεκάνη και στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε το άθροισμά τους με τις υπόλοιπες δύο διαστάσεις κελιού (dx, dy) = (2.50 x 2.50) ούτως ώστε να προκύψει ο ακριβέστερος όγκος των τριών υπολιμενολεκανών.



Σχήμα 5.22: Απόσπασμα δεδομένων τροποποιημένης βαθυμετρίας λιμενολεκάνης

Το μόνο δεδομένο εισαγωγής που τροποποιήθηκε στη σύνταξη της νέας βαθυμετρίας είναι το αρχείο κλειστών πολυγώνων και το πεδίο που αναφέρει το πλήθος αυτών. Στη συνέχεια (Χάρτης 5.11), παρατίθεται η τροποποιημένη εικόνα βαθυμετρίας που προέκυψε, αναδεικνύοντας τις υπολιμενολεκάνες με αποχρώσεις του λευκού.



Χάρτης 5.11: Τροποποιημένη βαθυμετρία με πρόσθετη ενσωμάτωση κλειστών πολυγώνων

Έπειτα από επεξεργασία των νέων δεδομένων βαθυμετρίας που προέκυψαν, προκειμένου να γίνει υπολογισμός των τριών όγκων βάση της παραπάνω μεθοδολογίας αναδείχθηκαν τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 5.8):

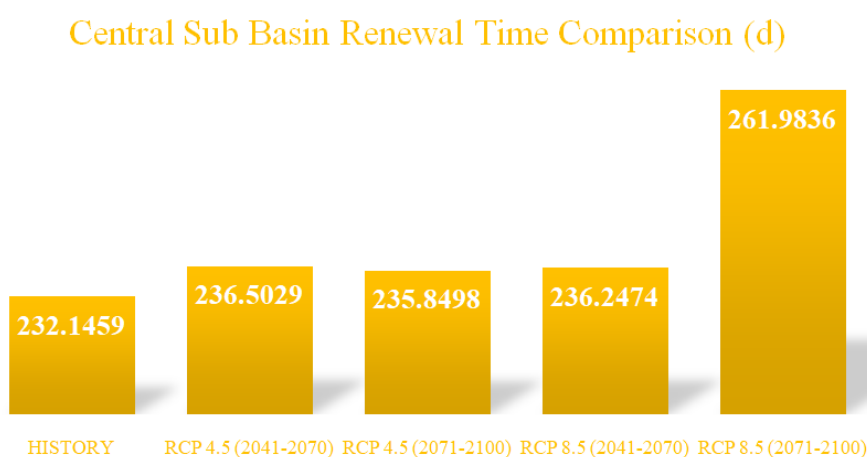
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα όγκων υπολιμενολεκανών μέσω επεξεργασίας δεδομένων

Sub - Basin	V (m ³)
South	4 265 807.82
Central	7 730 849.07
North	2 395 485.77
Sum	14 392 142.66

Εφόσον είναι γνωστοί οι όγκοι των υπολιμενολεκανών, προκειμένου να υπολογιστούν οι χρόνοι ανανέωσης υπολείπεται να προσδιοριστούν οι παροχές οι οποίες εξέρχονται των υπολιμενολεκανών στις τρεις νοητές γραμμές που προαναφέρθηκαν. Εφόσον συλλέχθηκαν τα δεδομένα εξαγωγής (ταχύτητα και κατεύθυνση ρευμάτων) για τις τρεις γραμμές από τις μαθηματικές προσομοιώσεις για κάθε σενάριο έντασης – γωνίας που υλοποιήθηκε - τα οποία εναρμονίστηκαν με τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα αλλά και για τις προβολές κλιματικής αλλαγής - έγινε επεξεργασία των δεδομένων αυτών προκειμένου να υπολογιστεί η αθροιστική εξερχόμενη παροχή που αφορά την κάθε γραμμή. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας, η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την υλοποίηση του υπολογισμού των χρόνων ανανέωσης περιγράφεται εν συνεχεία και ενσωματώνει τα αποτελέσματα για τα αθροίσματα των εξερχόμενων παροχών εκ των τριών γραμμών και τα ανεμολογικά δεδομένα από τη μία πλευρά για τα ιστορικά δεδομένα και από την άλλη πλευρά για τις προβολές κλιματικής αλλαγής RCP4.5 και RCP8.5 των χρονικών ετών 2041-2070 και 2071-2100.

5.7 Συγκριτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων

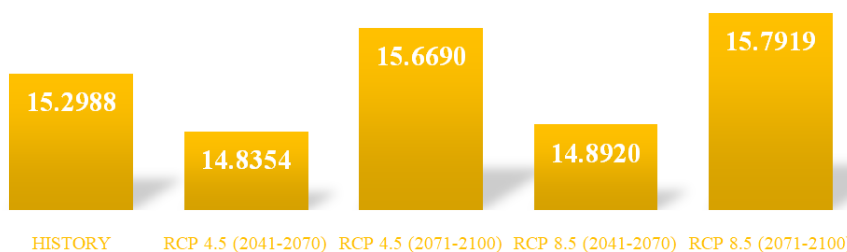
Ακριβώς η ίδια μεθοδολογία υπολογισμού που προαναφέρθηκε εφαρμόστηκε και για τον υπολογισμό των χρόνων ανανέωσης για τις προβολές κλιματικής αλλαγής RCP4.5 και RCP8.5 με χρονικές περιόδους τα έτη 2041-2070, 2070-2100. Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν (Διάγραμμα 5.2).



Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την κεντρική υπολιμενολεκάνη

Με βάση το παραπάνω (Διάγραμμα 5.2), παρουσιάζεται ότι καθώς για ιστορικά δεδομένα ο χρόνος ανανέωσης για τη κεντρική υπολιμενολεκάνη υπολογίστηκε 232.2 ημέρες, για τις προβολές κλιματικής αλλαγής ελαφρώς αυξήθηκε κατά περίπου 4.4 ημέρες μέγιστα, εκτός του δυσμενέστερου σεναρίου εξ αυτών όπου παρατηρήθηκε αύξηση περίπου κατά 30 ημέρες. Σύμφωνα με τους Yin *et al.* (1998), ο χρόνος ανανέωσης είναι αντιστρόφως ανάλογο μέγεθος με την εξερχόμενη παροχή και ο όγκος δεν μεταβλήθηκε. Το ότι αυξήθηκε ο χρόνος ανανέωσης υποδηλώνει ότι μειώθηκε η εξερχόμενη παροχή. Σε επόμενη σειρά θα παρατεθούν και οι μεταβολές στις εξερχόμενες παροχές προκειμένου να σχηματιστεί πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το τι επιπτώσεις έχει η κλιματική αλλαγή στις υπολιμενολεκάνες. Στη συνέχεια (Διάγραμμα 5.3) παρατίθενται τα αποτελέσματα για τους χρόνους ανανέωσης που αφορούν τη βόρεια υπολιμενολεκάνη.

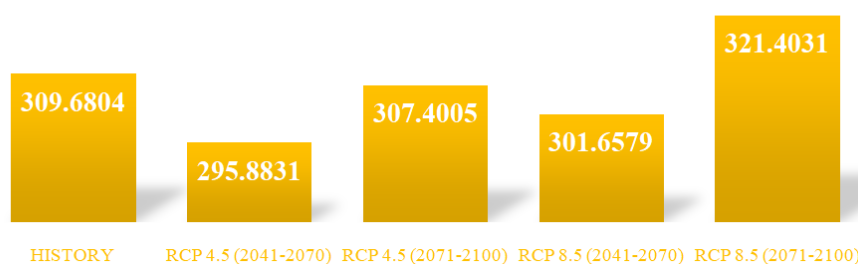
North Sub Basin Renewal Time Comparison (d)



Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την βόρεια υπολιμενολεκάνη

Προέκυψε από το Διάγραμμα 5.3 ότι για τα ιστορικά δεδομένα ο χρόνος ανανέωσης για τη βόρεια υπολιμενολεκάνη υπολογίστηκε 15.3 ημέρες, για τις πρώτες περιόδους σεναρίων κλιματικής αλλαγής – δηλαδή για χρονικές περιόδους των ετών 2041-2070 – ο χρόνος ανανέωσης μειώθηκε κατά περίπου μισή μέρα μέγιστα, ενώ για τις δεύτερες περιόδους ετών – δηλαδή για τα έτη 2041-2100 – παρατηρήθηκε αύξηση κατά μισή μέρα μέγιστα. Οι χρόνοι συνολικά είναι αρκετά μικρότεροι σε τάξη μεγέθους συγκριτικά με την κεντρική υπολιμενολεκάνη διότι η περίπτωση αφορά αρκετά μικρότερο όγκο.

South Sub Basin Renewal Time Comparison (d)

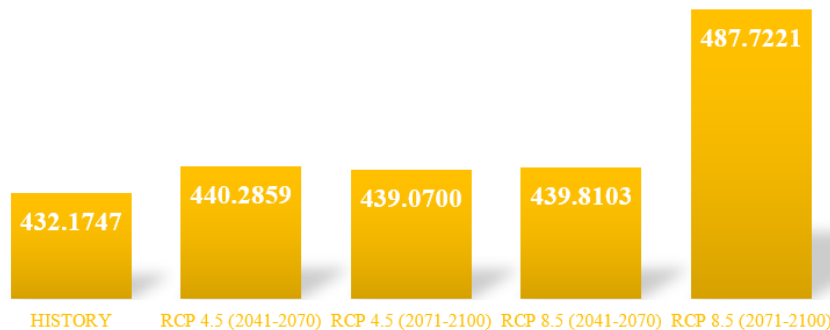


Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την νότια υπολιμενολεκάνη

Όσον αφορά τη νότια υπολιμενολεκάνη (Διάγραμμα 5.4), ο χρόνος ανανέωσης της για τα ιστορικά δεδομένα υπολογίστηκε 309.7 ημέρες. Συγκριτικά με τις προβολές κλιματική αλλαγής για τις πρώτες

χρονικές περιόδους προέκυψε ότι μειώνεται κατά 13.8 ημέρες μέγιστα. Πρόσθετα, για τις δεύτερες χρονικές περιόδους αφενός για το σενάριο RCP4.5 (2071-2100) παρατηρήθηκε μείωση κατά περίπου 2.3 ημέρες ενώ για το δυσμενέστερο σενάριο RCP8.5 (2071-2100) αποτελεί το μόνο για αυτή την υπολιμενολεκάνη που παρατηρήθηκε αύξηση κατά περίπου 11.7 ημέρες. Το αποτέλεσμα αυτό δηλώνει ότι για το δυσμενέστερο σενάριο εφόσον αυξήθηκε ο χρόνος ανανέωσης μειώθηκε η εξερχόμενη παροχή εκ του υποτιμήματος.

Entire Basin Renewal Time Comparison (d)

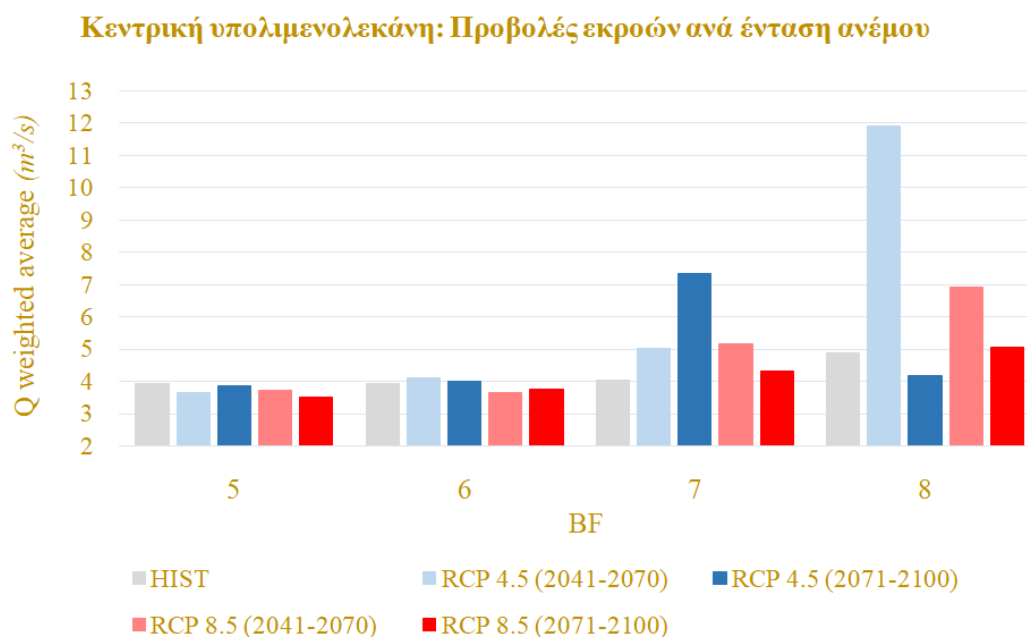


Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση αποτελεσμάτων χρόνων ανανέωσης για την συνολική υπολιμενολεκάνη

Με βάση το παραπάνω (Διάγραμμα 5.5), παρουσιάζεται ότι καθώς για ιστορικά δεδομένα ο χρόνος ανανέωσης για τη συνολική υπολιμενολεκάνη υπολογίστηκε 432.17 ημέρες, για τις προβολές κλιματικής αλλαγής ελαφρώς αυξήθηκε κατά περίπου 7.6 ημέρες μέγιστα, εκτός του δυσμενέστερου σεναρίου εξ αυτών όπου παρατηρήθηκε αύξηση περίπου κατά 56 ημέρες.

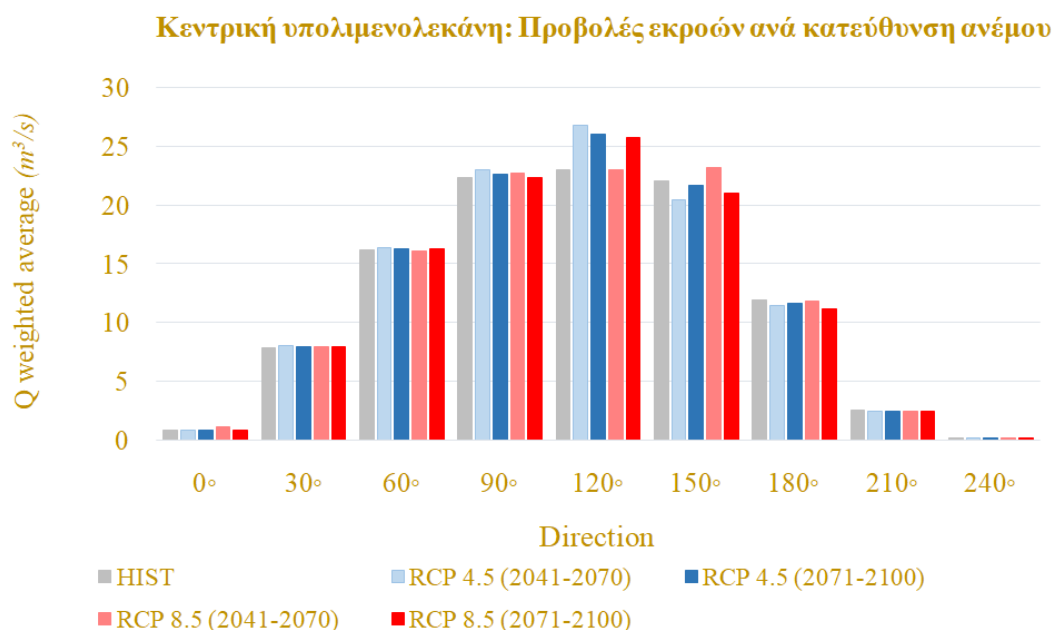
Εφόσον περατώθηκε ο υπολογισμός των χρόνων ανανέωσης για τις τρεις υπολιμενολεκάνες αλλά και για τη συνολική, με βάση τον Πίνακα 5.9 και με ίδια μεθοδολογία υπολογίστηκαν όλες οι μέσες σταθμισμένες εξερχόμενες παροχές και μέσοι σταθμισμένοι χρόνοι ανανέωσης ανά κατεύθυνση για κάθε υποτιμήμα και σενάριο (ιστορικό και προβολή κλιματικής αλλαγής, βλ. Παράρτημα Β), παρακάτω ακολουθούν τα συγκριτικά αποτελέσματα που προέκυψαν.

❖ Κεντρική υπολιμενολεκάνη (Central sub-basin)



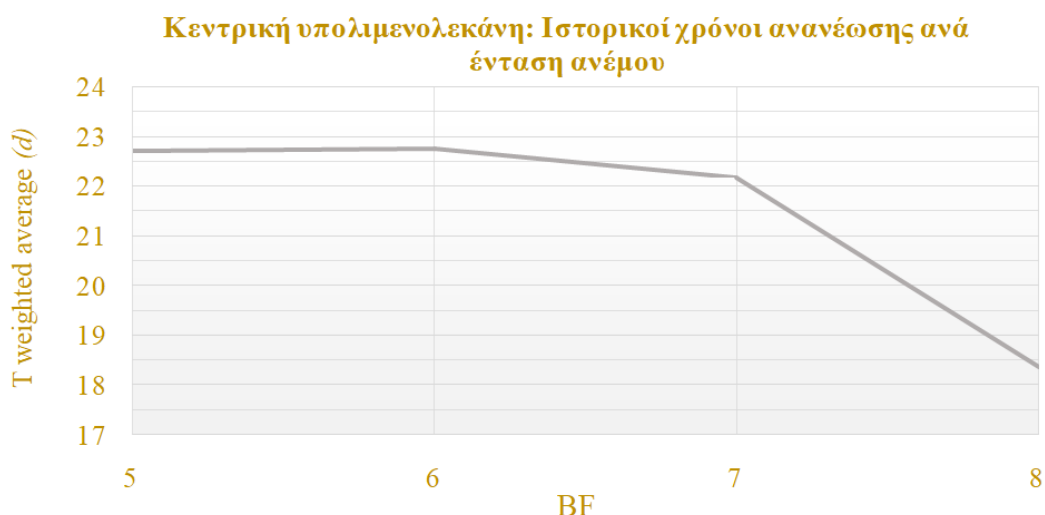
Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 5.6 τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα (γκρι χρώμα) εμφάνισαν τιμή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής εκ της πρώτης γραμμής $4 \text{ m}^3/\text{s}$ για το εύρος 5 έως 7 BF και σχεδόν $5 \text{ m}^3/\text{s}$ για τα 8 BF. Οι προβολές κλιματικής αλλαγής έχουν μεγαλύτερα εύρη μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα. Το σενάριο RCP8.5 (2071-2100) (κόκκινο χρώμα) είναι το μόνο κατά το οποίο τα αποτελέσματά του είναι πιο κοντά στα ιστορικά δεδομένα. Επίσης, το σενάριο RCP4.5 (2041-2070) (γαλάζιο χρώμα) παρουσίασε τη μεγαλύτερη μεταβολή από τα 7 στα 8 BF με τιμές $11.92 - 5.03 = 6.89 \text{ m}^3/\text{s}$ για τον λόγο ότι προέκυψε εξερχόμενη αθροιστική παροχή εκ της γραμμής $33.46 \text{ m}^3/\text{s}$ για ένταση 8 BF και κατεύθυνση 180° .



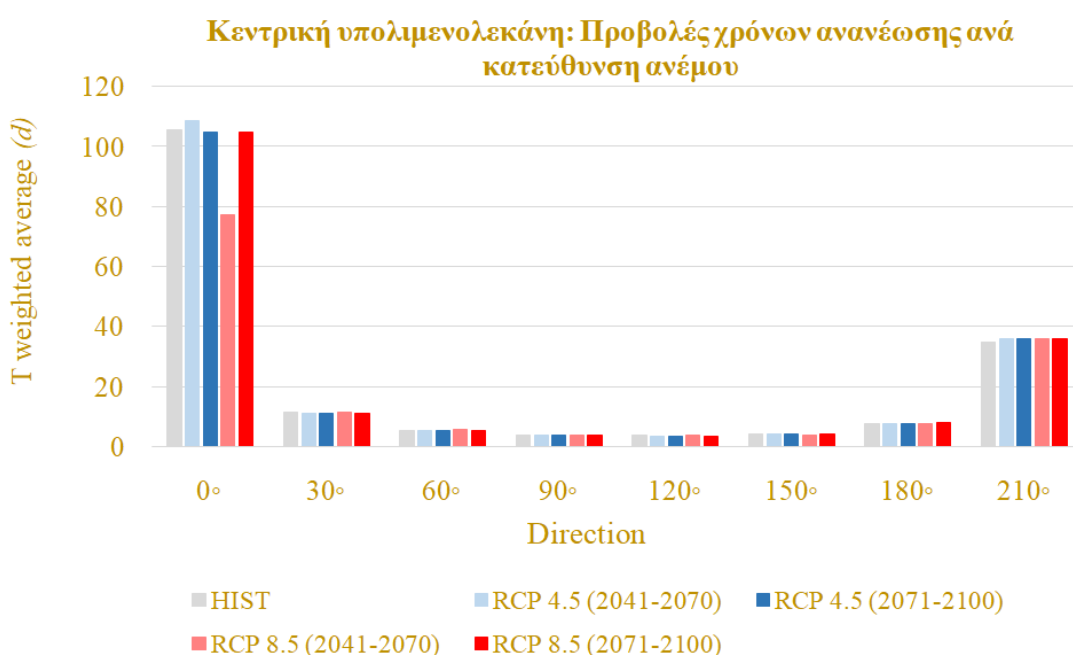
Διάγραμμα 5.7: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Έπειτα, στο Διάγραμμα 5.7 για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα η μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή εκ του πρώτου υποτιμήματος έχει μεταβαλλόμενη τιμή για κάθε ένταση ανέμου. Έως τις 90° παρατηρήθηκε αύξουσα πορεία και έπειτα σχεδόν σταθερή με τιμή περίπου 22.3 m³/s έως τις 150° καθώς ύστερα ακολούθησε φθίνουσα πορεία. Το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) παρουσιάζει αρκετά όμοια μεταβολή με αυτή των ιστορικών δεδομένων. Τα υπόλοιπα σενάρια κλιματικής αλλαγής είχαν παρόμοια μεταβολή με τα προαναφερθέντα με τη διαφορά ότι μετά τις 90° παρατηρήθηκε περαιτέρω αύξηση και μέγιστη τιμή περίπου 26.8 m³/s για τις 120°, ενώ ύστερα ακολούθησαν φθίνουσα πορεία.



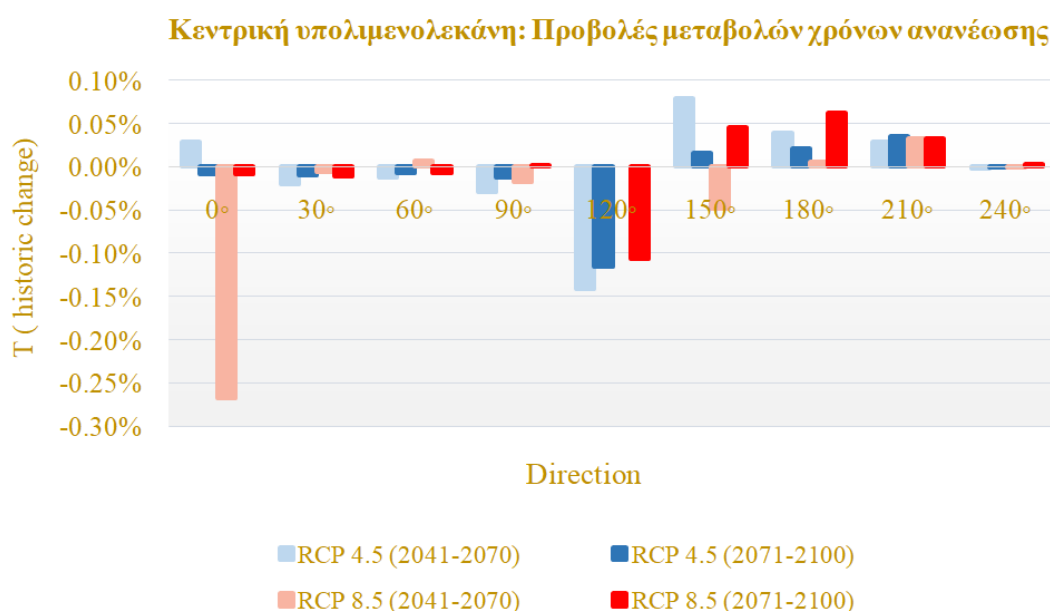
Διάγραμμα 5.8: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα

Παραπάνω (Διάγραμμα 5.8), απεικονίζεται για τα ιστορικά δεδομένα ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της κεντρικής υπολιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου. Προέκυψε ότι από τα 5 έως τα 6 BF είχε σταθερή τιμή περίπου 22.7 ημέρες ενώ από τα 6 BF και έπειτα παρατηρείται μείωση του χρόνου ανανέωσης. Μεγάλη μεταβολή προέκυψε μεταξύ των δύο μεγαλύτερων εντάσεων με διαφορά 22.17 ημέρες -18.36 ημέρες = 3.81 ημέρες.



Διάγραμμα 5.9 : Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Σύμφωνα με το παραπάνω (Διάγραμμα 5.9) όπου απεικονίζεται ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της κεντρικής υπολιμενολεκάνης ανά κατεύθυνση ανέμου για τα εξεταζόμενα σενάρια, προέκυψε ότι για τα ιστορικά δεδομένα από $0^\circ - 30^\circ$ υπήρξε πτώση κατά $105.60 - 11.35 = 94.25$ ημέρες. Έπειτα για το εύρος $60^\circ - 180^\circ$ υπήρξαν τιμές από $5.50 - 7.50$ ημέρες ενώ για τις 210° παρατηρήθηκε αύξηση του μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης περίπου στις 36 ημέρες για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια. Το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) είναι το μόνο σε σχέση με όλα τα άλλα όπου για τις 0° είχε τιμή 77.27 ημέρες καθώς τα υπόλοιπα είχαν αρκετά κοντινές τιμές. Οι 0° έχουν αρκετά μεγαλύτερους μέσους σταθμισμένους χρόνους ανανέωσης διότι σε σχέση με τις άλλες κατευθύνσεις έχουν αρκετά μικρότερες μέσες σταθμισμένες εξερχόμενες παροχές.

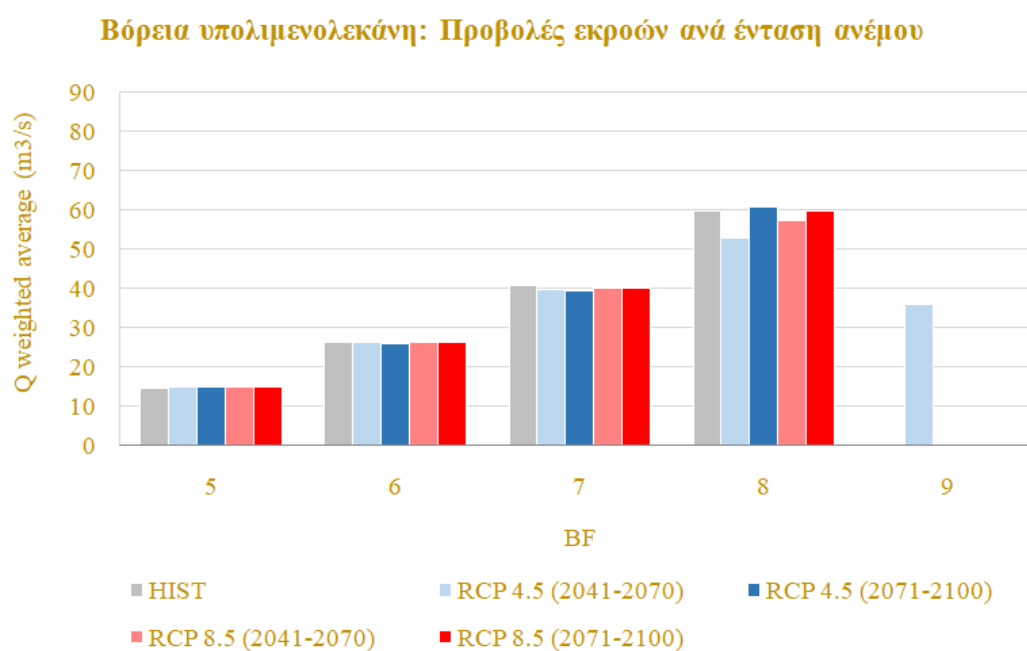


Διάγραμμα 5.10: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου κεντρικής υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής

Παραπάνω (Διάγραμμα 5.10), απεικονίζεται η μεταβολή του μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης της κεντρικής υπολιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια κλιματικής αλλαγής συγκριτικά με τα ιστορικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, για το εύρος $0 - 30^\circ$ μόνο το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) έχει αρνητικά ποσοστά με τιμές από 0.026% για τις 0° σε -0.01% για τις 30° . Σε όσα σενάρια παρατηρήθηκε θετικό ποσοστό σημαίνει ότι ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης αυξήθηκε σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα. Ακόμη, αρνητικό ποσοστό δηλώνει ότι ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης μειώθηκε συγκριτικά με τα ιστορικά δεδομένα. Επιπλέον από το διάγραμμα διαφαίνεται ότι η γωνία που φτάνουν τα μέγιστα αρνητικά ποσοστά είναι η 0° αμέσως μετά

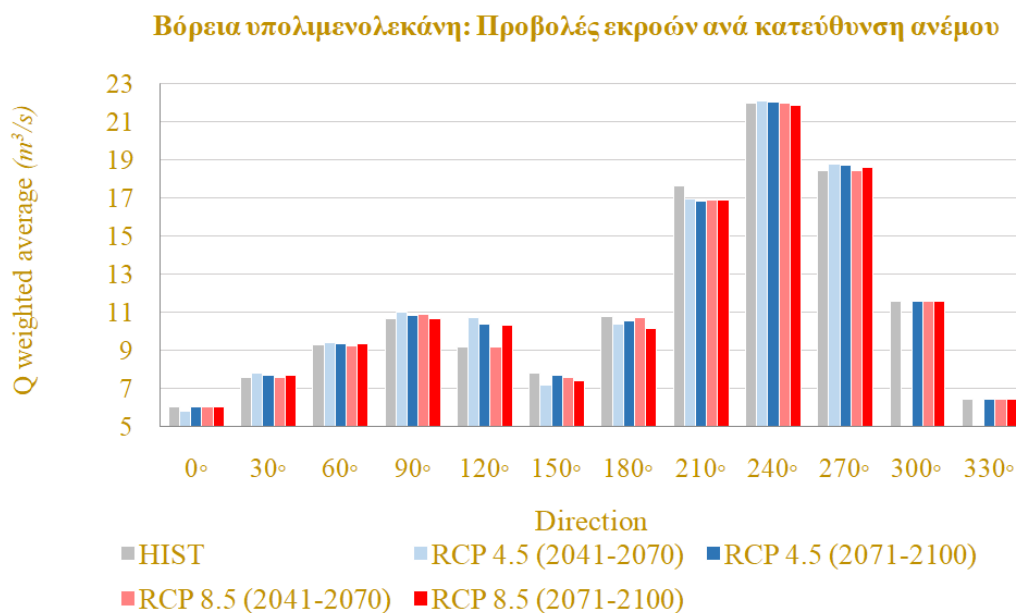
ακολουθεί η γωνία των 120° . Τα μέγιστα θετικά ποσοστά παρατηρήθηκαν κυρίως στις 150° και ακολούθως στις 180° . Το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) εμφάνισε εντονότερη μεταβολή διότι σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα παρουσίασε τη μεγαλύτερη απόκλιση μέσω σταθμισμένων χρόνων ανανέωσης.

❖ Βόρεια υπολιμενολεκάνη (Northern sub-basin)



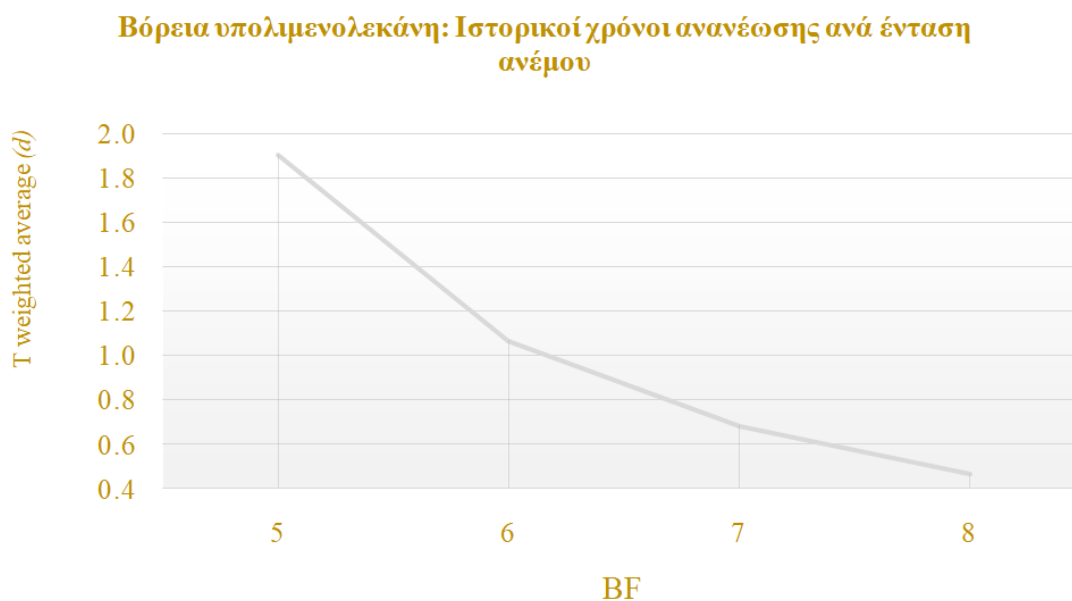
Διάγραμμα 5.11: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Σύμφωνα με το παραπάνω (Διάγραμμα 5.11), για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα η μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή εκ του βόρειου υποτιμήματος έχει ανοδική πορεία από τα 5 έως τα 8 BF με ακραίες τιμές εύρους από περίπου $15 \text{ m}^3/\text{s}$ έως περίπου $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Ακόμη, όλες οι προβολές κλιματικής αλλαγής ακολουθούν παρόμοια πορεία με εξαίρεση το σενάριο RCP4.5 (2041-2070) το οποίο για τα 8 BF είχε μικρότερη τιμή παροχής στα $52.7 \text{ m}^3/\text{s}$ και αποτελεί το μόνο όπου παρατηρήθηκε ένταση 9 BF. Για αυτό το σενάριο σημειώθηκε μεγάλη μεταβολή από τα 8 BF στα 9 BF με τιμή $(52.7 - 36) \text{ m}^3/\text{s} = 16.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Επομένως εν προκειμένω η αύξηση της έντασης ανέμου κατά 1 BF επέβαλε μείωση της μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής και αυτό διότι το ποσοστό εμφάνισης για την ένταση των 9 BF ήταν αισθητά μικρότερο σε σχέση με μικρότερες εντάσεις.



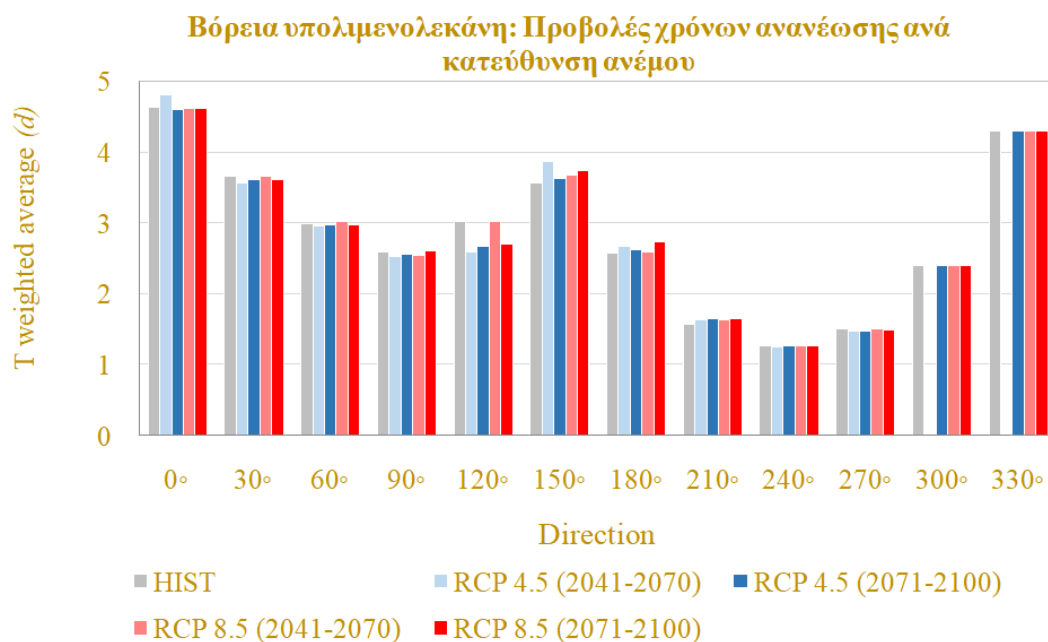
Διάγραμμα 5.12 : Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Όπως διακρίνεται από το Διάγραμμα 5.12 για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα η μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή εκ της βόρειας γραμμής έχει μεταβαλλόμενη τιμή για κάθε ένταση ανέμου. Από τις 0° έως τις 90° παρατηρήθηκε αύξουσα πορεία, έπειτα φθίνουσα έως τις 150°. Στη συνέχεια, εμφανίστηκε πάλι αύξουσα πορεία έως τις 240° και ύστερα πάλι φθίνουσα πορεία έως τις 330°. Επίσης, για τις προβολές κλιματικής αλλαγής παρουσιάζεται παρόμοια εικόνα με τη διαφορά ότι ενώ για ιστορικά δεδομένα και το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) η μεταβολή από τις 90° στις 150° υπήρξε πιο απότομη ενώ για όλα τα υπόλοιπα σενάρια παρατηρήθηκε ομαλότερη. Για το σενάριο RCP4.5 (2041-2070) δεν προέκυψαν δεδομένα για γωνίες άνω των 270° και για αυτό δεν εμφανίζεται.



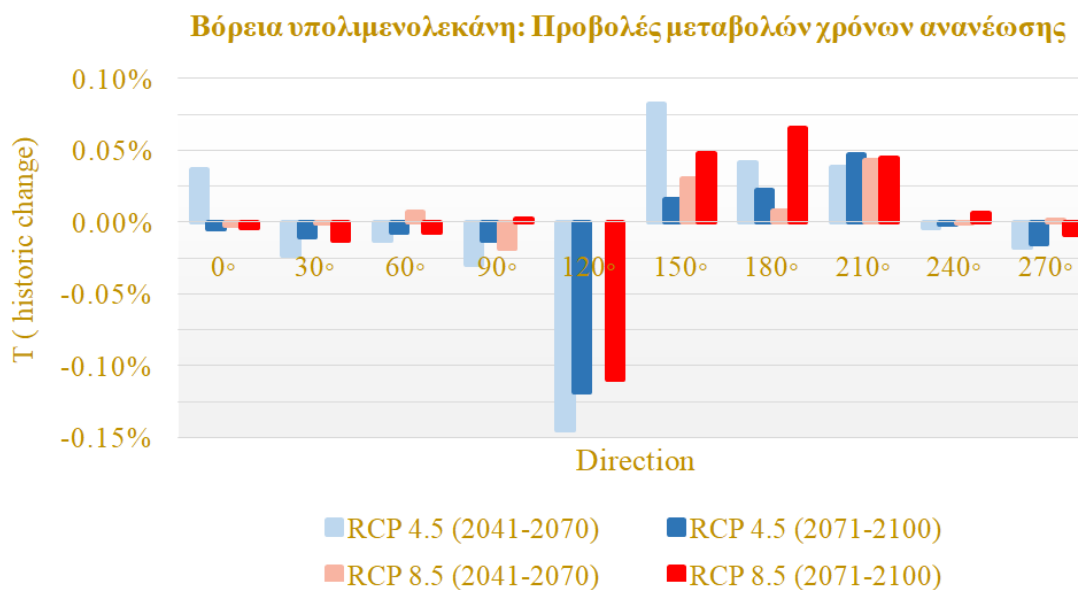
Διάγραμμα 5.13: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα

Σύμφωνα με το παραπάνω (Διάγραμμα 5.13) προβάλλεται για τα ιστορικά δεδομένα ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της βόρειας υπολιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου. Προέκυψε ότι για όλο το εύρος των εξεταζόμενων εντάσεων παρατηρείται μείωση του χρόνου ανανέωσης όσο εντονότερη η ένταση ανέμου. Η μεγαλύτερη μεταβολή προέκυψε μεταξύ των εντάσεων 5 και 6 BF με διαφορά 1.9 ημέρες - 1.1 ημέρες = 0.8 ημέρες. Γενικά προέκυψαν μικρότεροι χρόνοι ανανέωσης συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση της κεντρικής λιμενολεκάνης, διότι η εν λόγω περίπτωση αφορά μικρότερο όγκο υπολιμενολεκάνης, σχεδόν τρεις φορές μικρότερο.



Διάγραμμα 5.14: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

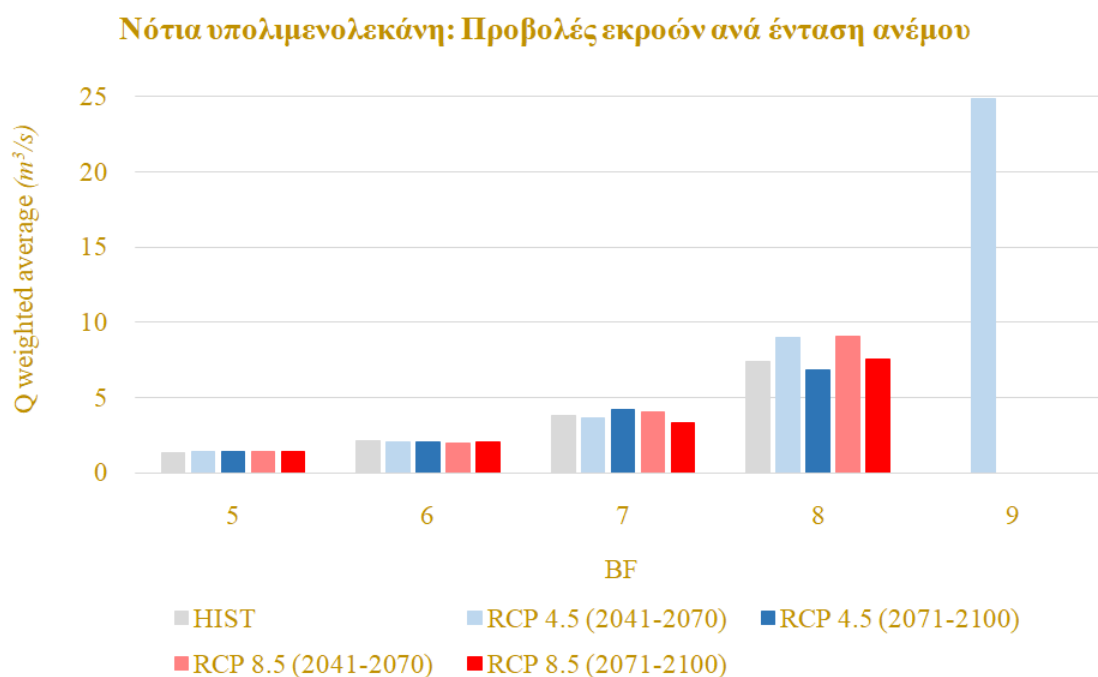
Όπως προβάλλεται παραπάνω (Διάγραμμα 5.14) ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της βόρειας υπολιμενολεκάνης ανά κατεύθυνση ανέμου, για τα ιστορικά δεδομένα από 0° έως τις 90° είχε φθίνουσα πορεία με μεταβολή από τις 4.6 ημέρες στις 2.6 ημέρες αντίστοιχα. Από τις 90° και έως τις 150° υπήρξε αύξουσα πορεία φτάνοντας τις 3.56 ημέρες για την δεύτερη γωνία. Ύστερα, ακολουθήθηκε φθίνουσα πορεία έως τις 240° με τιμή 1.26°. Ωστόσο, από τις 240° και ύστερα υπήρξε αύξουσα πορεία έως τις 330°. Τα σενάρια κλιματικής αλλαγής ακολουθούν παρόμοια πορεία με αυτήν των ιστορικών δεδομένων με την ιδιαιτερότητα ότι το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) ανάμεσα στις 90° και 150° ακολούθησε απότομη μεταβολή όπως και για τη περίπτωση των ιστορικών δεδομένων, ενώ όλα τα άλλα σενάρια ακολούθησαν ομαλότερη μεταβολή. Επίσης, το σενάριο RCP4.5 (2041-2070) δεν απέδωσε τιμές για τις γωνίες 300° και 330°.



Διάγραμμα 5.15: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου βόρειας υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής

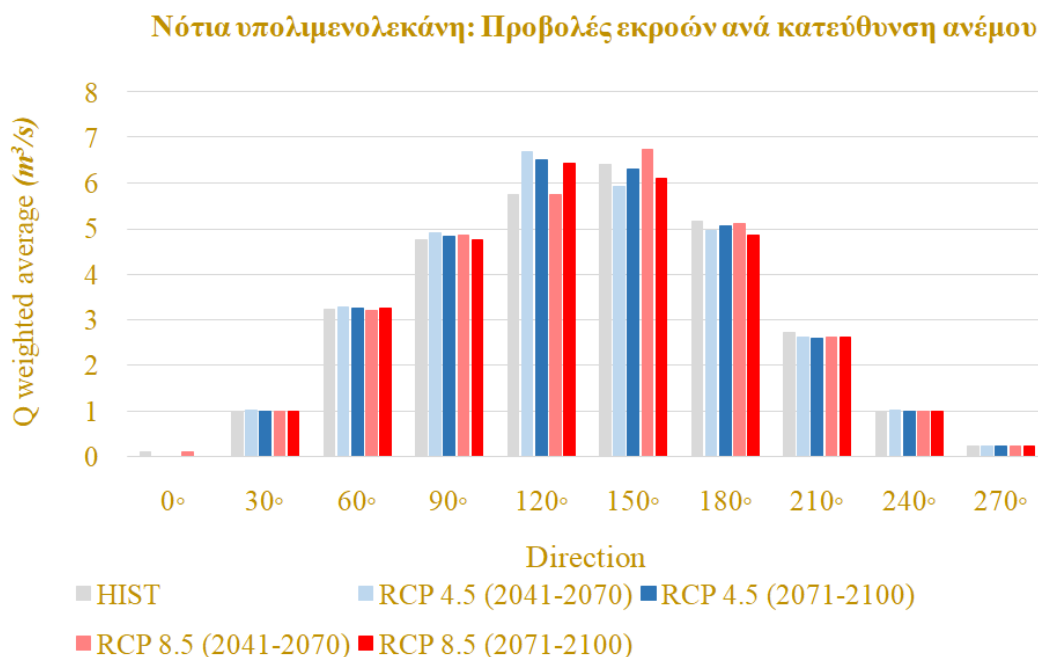
Παραπάνω (Διάγραμμα 5.15), παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης της βόρειας υπολιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου. Προέκυψε ότι η γωνία που αντιπροσωπεύει τα μέγιστα αρνητικά ποσοστά για κάθε σενάριο είναι αυτή των 120° με εξαίρεση το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) που παρατηρήθηκε μέγιστο αρνητικό ποσοστό για την γωνία των 90° και αντίστοιχη τιμή -0.0183% . Γενικά, τα μέγιστα θετικά ποσοστά παρατηρήθηκαν κυρίως στις 150° και ακολούθως στις 180° . Οι 120° είναι η κατεύθυνση κατά την οποία παρουσιάστηκαν μεγαλύτεροι μέσοι σταθμισμένοι χρόνοι ανανέωσης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

❖ Νότια υπολιμενολεκάνη (Southern sub-basin)



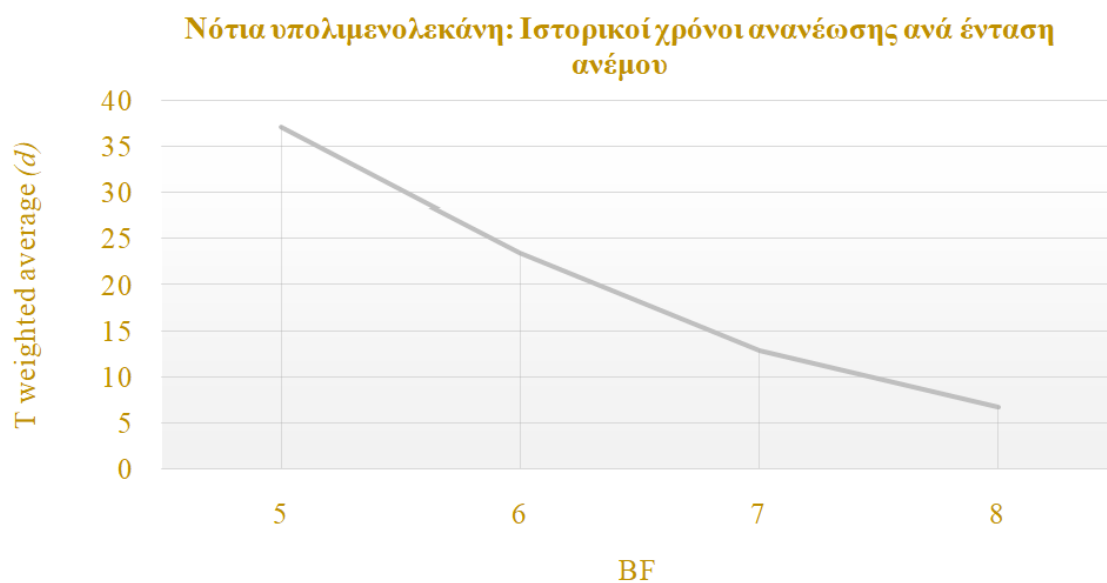
Διάγραμμα 5.16: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Όπως παρουσιάζεται παραπάνω (Διάγραμμα 5.16) για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα η μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή εκ της τρίτης γραμμής έχει ανοδική πορεία από τα 5 έως τα 8 BF με ακραίες τιμές εύρους από περίπου $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ έως περίπου $7.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Συγκριτικά με την προηγούμενη αντίστοιχη περίπτωση της βόρειας υπολιμενολεκάνης παρατηρούνται γενικά μικρότερες τιμές μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής εκ της γραμμής και αυτό δικαιολογείται καθότι προέκυψαν μικρότερες τιμές των επιμέρους εξερχόμενων παροχών από τις προσομοιώσεις. Ακόμη, όλες οι προβολές κλιματικής αλλαγής ακολουθούν σχεδόν παρόμοια πορεία με εξαίρεση τα σενάρια RCP4.5 (2041-2070) και RCP8.5 (2041-2070) που μεταξύ των εντάσεων 7 και 8 BF είχαν μεγαλύτερη τιμή παροχής, για τα 8 BF με τιμή περίπου $9 \text{ m}^3/\text{s}$. Επιπρόσθετα, το σενάριο RCP4.5 (2041-2070) είναι το μόνο που παρουσιάζει μέση σταθμισμένη παροχή για ένταση ανέμου 9 BF με τιμή περίπου $25 \text{ m}^3/\text{s}$ καθώς προέκυψε αρκετά μεγαλύτερη τιμή εξερχόμενης αθροιστικής παροχής εκ της γραμμής για αυτόν τον συνδυασμό ανεμολογικών συνθηκών βάσει των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων.



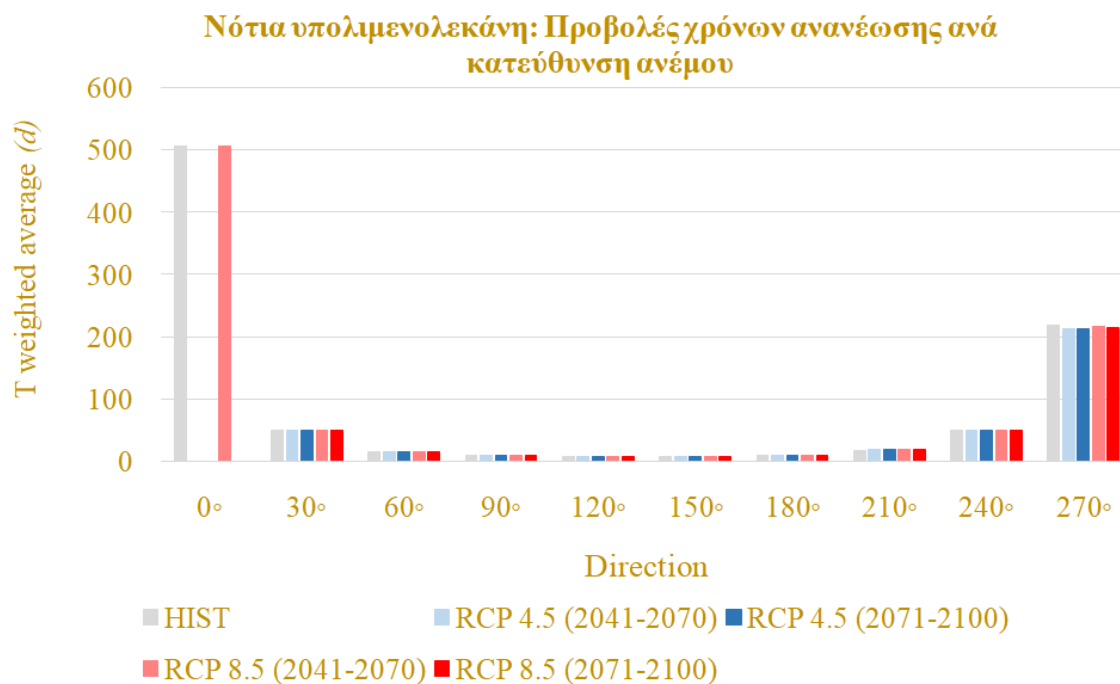
Διάγραμμα 5.17: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Στη συνέχεια, στο Διάγραμμα 5.17 για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα η μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή εκ της τρίτης γραμμής έχει μεταβαλλόμενη τιμή για κάθε ένταση ανέμου. Έως τις 150° παρατηρήθηκε αύξουσα πορεία με τιμή μέσης σταθμισμένης παροχής για την εν λόγω γωνία $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ και έπειτα παρατηρήθηκε φθίνουσα πορεία. Σαν τα ιστορικά δεδομένα παρόμοια πορεία ακολούθησε το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) ενώ τα υπόλοιπα σενάρια είχαν μέγιστο στις 120° και έπειτα ακολούθησαν φθίνουσα πορεία έως τις 270° .



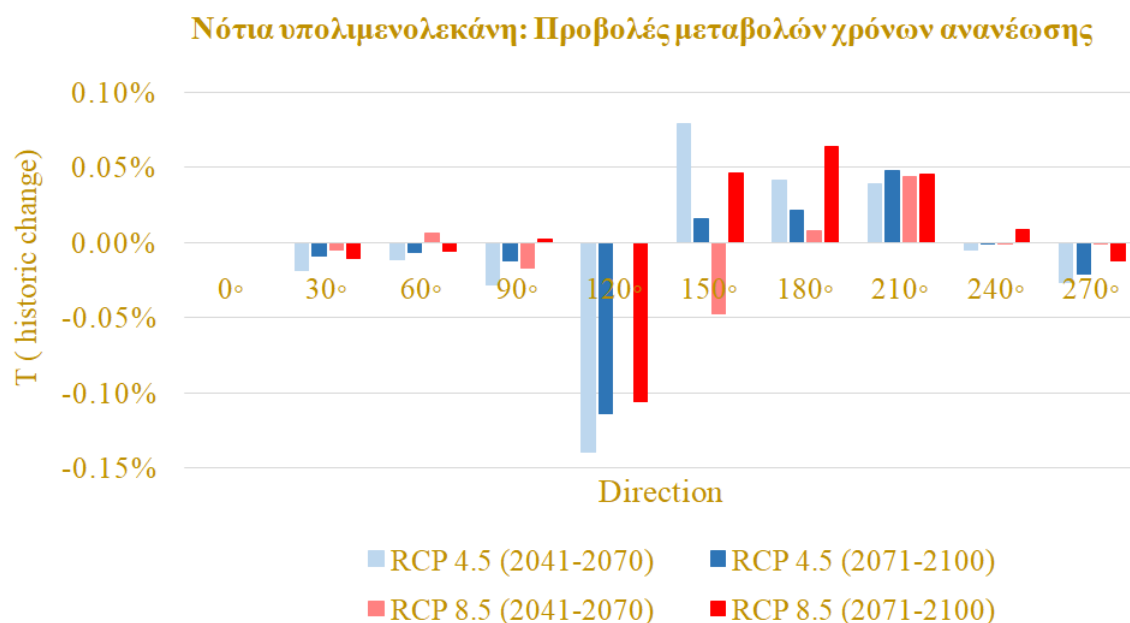
Διάγραμμα 5.18: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα

Όπως παρουσιάζεται παραπάνω (Διάγραμμα 5.18), απεικονίζεται για τα ιστορικά δεδομένα ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της βόρειας υπολιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου. Τα αποτελέσματα δείχνουν και εδώ ότι για όλο το εύρος των εξεταζόμενων εντάσεων παρατηρείται μείωση του χρόνου ανανέωσης όσο εντονότερη η ένταση ανέμου. Επίσης, η μεγαλύτερη μεταβολή προέκυψε και εδώ μεταξύ των εντάσεων 5 και 6 BF με διαφορά $37.14 \text{ ημέρες} - 23.53 \text{ ημέρες} = 13.61 \text{ ημέρες}$. Γενικά προέκυψαν μεγαλύτεροι χρόνοι ανανέωσης συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση της βόρειας λιμενολεκάνης, αφενός διότι στην εν λόγω περίπτωση προκύψαν μικρότερες μέσες σταθμισμένες εξερχόμενες παροχές ανά ένταση και αφετέρου διότι εν προκειμένω υπήρξε σχεδόν διπλάσιος όγκος υπολιμενολεκάνης.



Διάγραμμα 5.19: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

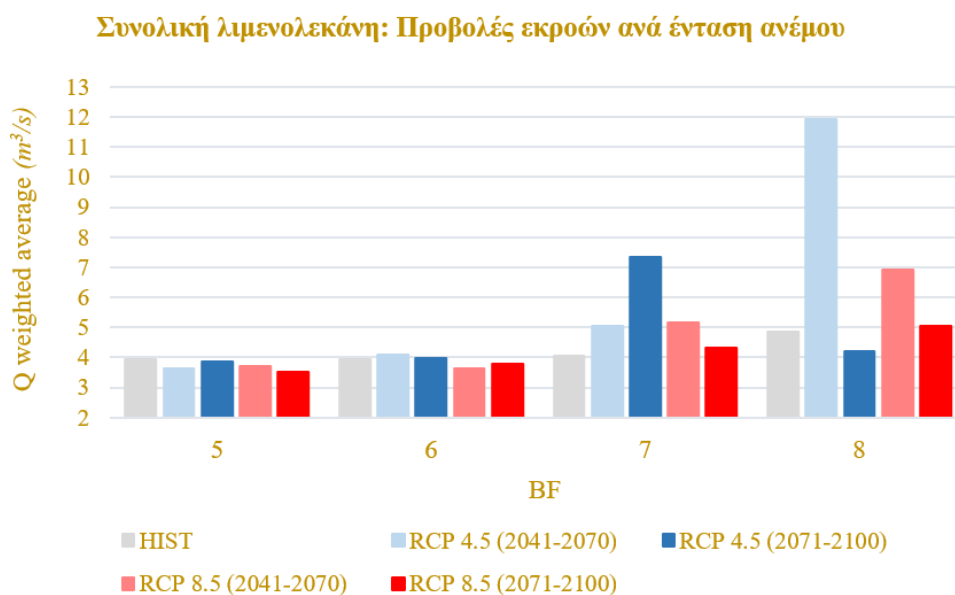
Σύμφωνα με το παραπάνω (Διάγραμμα 5.19) ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της νότιας υπολιμενολεκάνης ανά κατεύθυνση ανέμου, για τα ιστορικά δεδομένα και το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) από 0° έως τις 30° είχε έντονα φθίνουσα πορεία με μεταβολή από τις περίπου 505 ημέρες στις 50 ημέρες αντίστοιχα. Από τις 60° και έως τις 210° υπήρξε σχεδόν σταθερή τιμή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης περίπου κατά μέσο όρο 12 ημέρες. Από τις 30° και ύστερα όλα τα εξεταζόμενα σενάρια ακολουθούν σχεδόν ίδια πορεία έως τις 270°. Οι 0° για τα σενάρια RCP8.5 (2041-2070) και ιστορίας έχουν αρκετά μεγαλύτερους μέσους σταθμισμένους χρόνους ανανέωσης διότι σε σχέση με τις άλλες κατευθύνσεις έχουν αρκετά μικρότερες μέσες σταθμισμένες εξερχόμενες παροχές.



Διάγραμμα 5.20: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου νότιας υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής

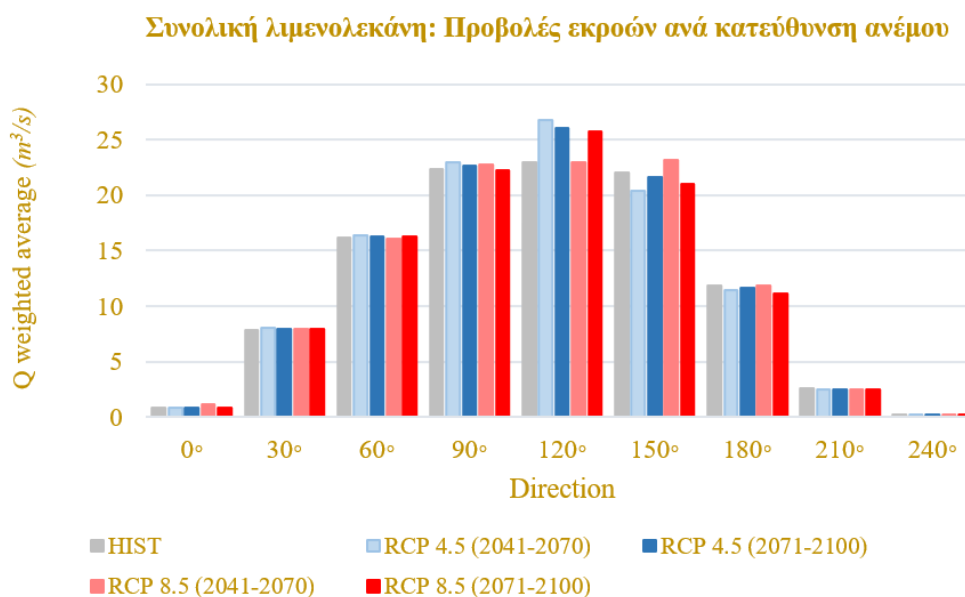
Στο παραπάνω (Διάγραμμα 5.20) παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης της νότιας υπολιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου. Προέκυψε ότι η γωνία που αντιπροσωπεύει τα μέγιστα αρνητικά ποσοστά για όλα τα σενάρια εκτός του RCP8.5 (2041-2070) είναι και σε αυτή τη περίπτωση αυτή των 120°. Το εξαιρούμενο σενάριο παρουσιάζει μέγιστο αρνητικό ποσοστό στη γωνία των 150° με τιμή περίπου -0.05%. Ακόμη, εδώ τα μεγαλύτερα θετικά ποσοστά παρατηρήθηκαν στις 150°, 180° και 210°. Έτσι και εδώ, Οι 120° είναι η κατεύθυνση κατά την οποία παρουσιάστηκαν μεγαλύτεροι μέσοι σταθμισμένοι χρόνοι ανανέωσης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.

❖ Συνολική λιμενολεκάνη (Entire basin)



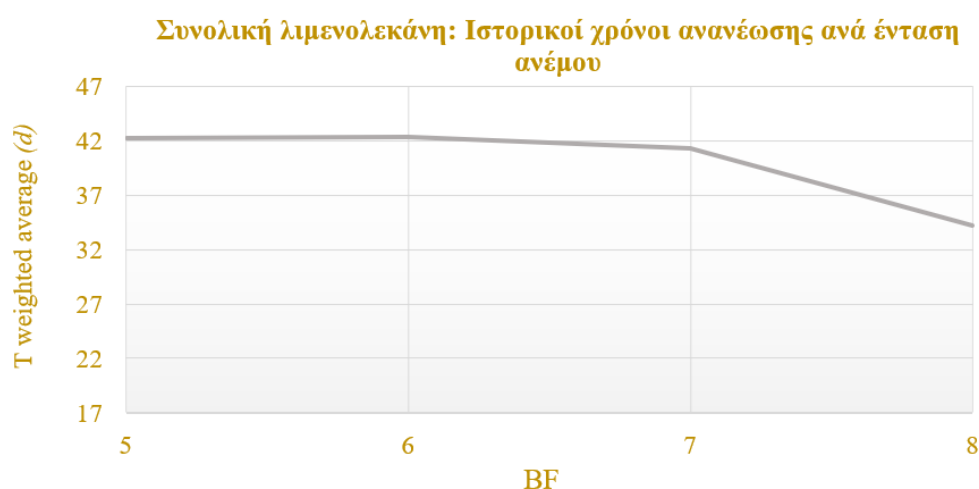
Διάγραμμα 5.21: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Όπως παρατηρείται στο Διάγραμμα 5.21 το σενάριο RCP8.5 (2071-2100) έχει πιο κοντινά αποτελέσματα στα ιστορικά δεδομένα. Το σενάριο RCP4.5 (2041-2100) παρουσιάζει μεγάλη σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή για τον λόγο ότι προέκυψε εξερχόμενη αθροιστική παροχή εκ της γραμμής $33.46 \text{ m}^3/\text{s}$ για ένταση 8 BF και κατεύθυνση 180° .



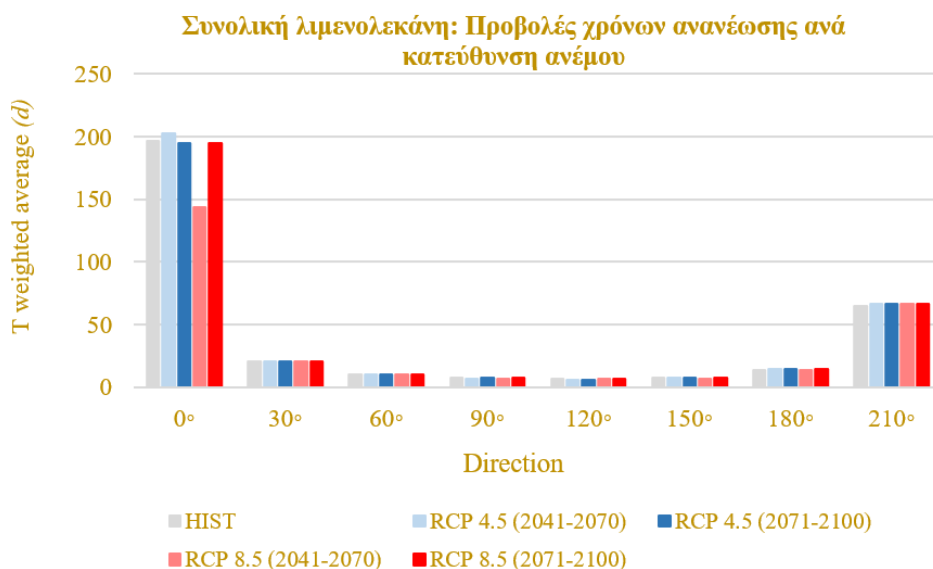
Διάγραμμα 5.22: Μεταβολή μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Έπειτα, στο Διάγραμμα 5.22 για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα η μέση σταθμισμένη εξερχόμενη παροχή εκ της συνολικής λεκάνης έχει μεταβαλλόμενη τιμή για κάθε ένταση ανέμου. Έως τις 90° παρατηρήθηκε αύξουσα πορεία και έπειτα σχεδόν σταθερή με τιμή περίπου $22.3 \text{ m}^3/\text{s}$ έως τις 150° καθώς ύστερα ακολούθησε φθίνουσα πορεία. Το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) παρουσιάζει και εδώ αρκετά όμοια μεταβολή με αυτή των ιστορικών δεδομένων. Τα υπόλοιπα σενάρια κλιματικής αλλαγής είχαν παρόμοια μεταβολή με τα προαναφερθέντα με τη διαφορά ότι μετά τις 90° παρατηρήθηκε περαιτέρω αύξηση και μέγιστη τιμή περίπου $26.8 \text{ m}^3/\text{s}$ για τις 120°, ενώ ύστερα ακολούθησαν φθίνουσα πορεία.



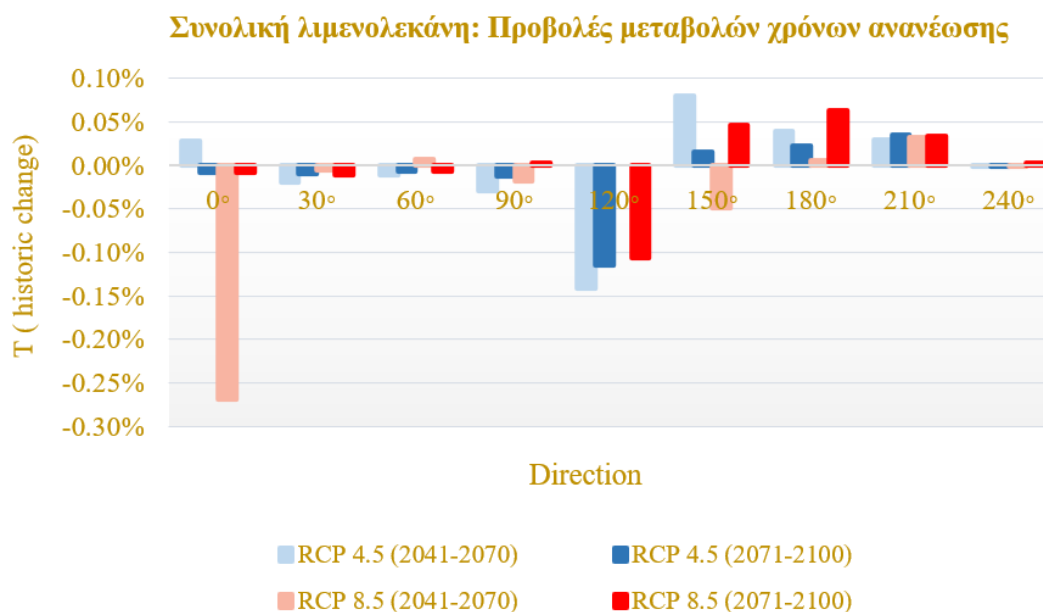
Διάγραμμα 5.23: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα

Παραπάνω (Διάγραμμα 5.23), απεικονίζεται για τα ιστορικά δεδομένα ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της συνολικής λιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου. Προέκυψε ότι από τα 5 έως τα 7 BF είχε σταθερή τιμή περίπου 42 ημέρες ενώ από τα 6 BF και έπειτα παρατηρείται μείωση του χρόνου ανανέωσης. Μεγάλη μεταβολή προέκυψε μεταξύ των δύο μεγαλύτερων εντάσεων με διαφορά 41.3 ημέρες $-34.2 \text{ ημέρες} = 7.1 \text{ ημέρες}$.



Διάγραμμα 5.24: Μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής

Σύμφωνα με το παραπάνω (Διάγραμμα 5.24) όπου απεικονίζεται ο μέσος σταθμισμένος χρόνος ανανέωσης της συνολικής λιμενολεκάνης ανά κατεύθυνση ανέμου για τα εξεταζόμενα σενάρια, προέκυψε ότι για τα ιστορικά δεδομένα από 0° - 30° υπήρξε πτώση κατά 196 - 21 = 175 ημέρες. Έπειτα για το εύρος 60° - 180° υπήρξαν τιμές από 7 – 14 ημέρες ενώ για τις 210° παρατηρήθηκε αύξηση του μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης περίπου στις 65 ημέρες για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια. Το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) είναι το μόνο σε σχέση με όλα τα άλλα όπου για τις 0° είχε τιμή 143 ημέρες καθώς τα υπόλοιπα είχαν αρκετά κοντινές τιμές. Έτσι και εδώ, οι 0° έχουν αρκετά μεγαλύτερους μέσους σταθμισμένους χρόνους ανανέωσης διότι σε σχέση με τις άλλες κατευθύνσεις έχουν αρκετά μικρότερες μέσες σταθμισμένες εξερχόμενες παροχές.



Διάγραμμα 5.25: Ποσοστιαία μεταβολή μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου συνολικής λιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής

Παραπάνω (Διάγραμμα 5.25), απεικονίζεται η μεταβολή του μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης της συνολικής λιμενολεκάνης ανά ένταση ανέμου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια κλιματικής αλλαγής συγκριτικά με τα ιστορικά δεδομένα. Από το διάγραμμα παρουσιάζεται ότι η γωνία που φτάνουν τα μέγιστα αρνητικά ποσοστά είναι η 0° αμέσως μετά ακολουθεί η γωνία των 120° . Τα μέγιστα θετικά ποσοστά παρατηρήθηκαν κυρίως στις 150° και ακολούθως στις 180° . Ομοίως και εδώ το σενάριο RCP8.5 (2041-2070) εμφάνισε εντονότερη μεταβολή διότι σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα παρουσίασε τη μεγαλύτερη απόκλιση μέσων σταθμισμένων χρόνων ανανέωσης.

5.7.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σχετικά με τα διαγράμματα μεταβολής μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά ένταση ανέμου για τις τρεις υπολιμενολεκάνες για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής παρόμοια ποιοτική εικόνα παρατηρήθηκε μεταξύ βόρειας (Διάγραμμα 5.11) και νότιας (Διάγραμμα 5.16) υπολιμενολεκάνης με τη διαφορά ότι για την πρώτη από τα 8 στα 9 BF υπήρξε μείωση ενώ στη δεύτερη υπήρξε αύξηση της παροχής. Έτι περαιτέρω, όσον αφορά τα διαγράμματα μεταβολής μέσης σταθμισμένης εξερχόμενης παροχής ανά κατεύθυνση ανέμου για τις τρεις υπολιμενολεκάνες για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής αρκετά παρόμοια ποιοτική εικόνα παρατηρήθηκε μεταξύ κεντρικής (Διάγραμμα 5.7) και νότιας (Διάγραμμα 5.17) υπολιμενολεκάνης. Ύστερα, σχετικά με τα διαγράμματα μεταβολής μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά ένταση ανέμου για τις τρεις υπολιμενολεκάνες για ιστορικά δεδομένα παρόμοια ποιοτική εικόνα προέκυψε για τα σενάρια βόρειας

(Διάγραμμα 5.13) και νότιας (Διάγραμμα 5.18) υπολιμενολεκάνης. Ακόμη, για τα διαγράμματα μεταβολής μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου για τις τρεις υπολιμενολεκάνες για ιστορικά δεδομένα και προβολές κλιματικής αλλαγής προέκυψε ότι σχετικά παρόμοια ποιοτική εικόνα παρατηρήθηκε ανάμεσα στις περιπτώσεις κεντρικής (Διάγραμμα 5.9) και νότιας (Διάγραμμα 5.19) υπολιμενολεκάνης. Ακόμη, σχετικά με τα διαγράμματα ποσοστιαίας μεταβολής μέσου σταθμισμένου χρόνου ανανέωσης ανά κατεύθυνση ανέμου για τις τρεις υπολιμενολεκάνης μεταξύ ιστορικών δεδομένων και προβολών κλιματικής αλλαγής παρατηρήθηκε ότι σχεδόν παρόμοια εικόνα υπήρξε μεταξύ της βόρειας (Διάγραμμα 5.15) και νότιας (Διάγραμμα 5.20) υπολιμενολεκάνης με διαφορετικές μεταβολές για τα σενάρια RCP4.5 (2041-2070) και RCP8.5 (2041-2070). Κλείνοντας, η συνολική λιμενολεκάνη παρουσιάζει όμοια ποιοτικά διαγράμματα με αυτά της κεντρικής λιμενολεκάνης διότι η εξερχόμενη παροχή εξετάζεται από την ίδια διατομή ελέγχου. Συνολικά η λιμενολεκάνη μελλοντικά θα χρειαστεί περισσότερες ημέρες για ανανέωση των υδάτων της (Πίνακας 5.10).

Πίνακας 5.10: Συγκριτική ποιοτική παρουσίαση αλλαγής των χρόνων ανανέωσης της λιμενολεκάνης Λεμεσού (↑ = αύξηση, ↓ = μείωση)

	<i>RCP4.5</i> (2041-2070)	<i>RCP4.5</i> (2071-2100)	<i>RCP8.5</i> (2041-2070)	<i>RCP8.5</i> (2071-2100)
<i>Βόρεια</i>	↓	↑	↓	↑
<i>Κεντρική</i>	↑	↑	↑	↑
<i>Νότια</i>	↓	↓	↓	↑
<i>Συνολική</i>	↑	↑	↑	↑

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι ο χρόνος ανανέωσης της συνολικής λιμενολεκάνης της Κύπρου για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα είναι της τάξης των 432.2 ημερών. Συγκριτικά με άλλα λιμάνια, η Lisi *et al.* (2009) υπολόγισε χρόνο ανανέωσης για το λιμάνι Augusta της Ιταλίας περίπου 12.5 ημέρες. Το λιμάνι Νέων Μουδανιών στη Χαλκιδική χρειάζεται περίπου λιγότερο από μια ημέρα για να ανανεώσει τα ύδατα του (Savvidis *et al.*, 2009). Αντίστοιχα, το λιμάνι Cabrerias της Ισπανίας χρειάζεται περίπου 6 ημέρες (Orfila *et al.*, 2005). Για το λιμάνι Boston της Μασαχουσέτης ο χρόνος ανανέωσης της λιμενολεκάνης είναι περίπου 2 με 10 ημέρες (Chan Hilton *et al.*, 1998). Η πολύ μεγάλη διαφορά στον υπολογιζόμενο χρόνο ανανέωσης για το Λιμάνι της Λεμεσού από την παρούσα διπλωματική,

συγκριτικά με αυτά που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, μπορεί να αποδοθεί: α) στην μεγάλη έκταση της επιφάνειας της λιμενολεκάνης και σε συνδυασμό με τα μεγάλα βάθη του λιμένα, προκύπτουν μεγάλοι όγκοι νερού προς ανανέωση, β) στις επιμήκεις διατομές ελέγχου τόσο όλου του λιμένα όσο και των υπολιμενολεκανών στις οποίες υπολογίζεται η παροχή εξόδου, γ) στα μεγάλα πλάτη εισόδου του λιμένα που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων ρεύματος ενώ σε μικρότερα πλάτη εισόδου (όπως π.χ. σε μαρίνες) αναπτύσσονται ισχυρότερα ρεύματα και τέλος δ) στον προκαταρκτικό τρόπο υπολογισμό των χρόνων ανανέωσης μέσω της σχέσης παροχής εξόδου και όγκου και όχι στην παρακολούθηση του χρόνου εξόδου από την λιμενολεκάνη ενός ιχνηθέτη που είναι ένα θέμα για περαιτέρω έρευνα.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία διερευνήθηκε μέσω μαθηματικής προσομοίωσης η υδροδυναμική κυκλοφορία της λεκάνης του λιμένα Λεμεσού, Κύπρου, και πως αυτή επηρεάζεται αναλόγως των συνθηκών ανέμου αλλά και τι επιπτώσεις μπορεί να επιφέρει η κλιματική αλλαγή. Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για διάφορες εντάσεις και κατευθύνσεις ανέμου πνοής. Ακόμη, υπολογίστηκαν οι χρόνοι ανανέωσης της για ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα αλλά και για τα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων ακολούθως δίνονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν.

6.1 Συμπεράσματα για την κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του λιμένα Λεμεσού

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις διερευνήσεις σχετικά με την κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του λιμένα Λεμεσού είναι τα εξής:

- ❧ Ως αναμενόταν, ευνοϊκότεροι άνεμοι για την υδροδυναμική κυκλοφορία είναι οι μεγαλύτερης εντάσεως, ενώ δυσμενέστεροι είναι αυτοί με τη μικρότερη ένταση αποδίδοντας και μεγαλύτερους χρόνους ανανέωσης. Συγκεκριμένα, για ένταση ανέμου 4 BF και μικρότερη, παρατηρείται ελάχιστη έως μηδενική υδροδυναμική κυκλοφορία στον λιμένα.
- ❧ Η πιο συχνή κατεύθυνση ανέμου που προκαλεί εντονότερη υδροδυναμική κυκλοφορία προέκυψε ότι είναι η ανατολική, με εντάσεις 6 και 7 BF.
- ❧ Η τάξη μεγέθους των χρόνων ανανέωσης είναι 232 ημέρες για την κεντρική λιμενολεκάνη. Για τη βόρεια υπολιμενολεκάνη είναι 15 ημέρες και για τη νότια 310 ημέρες.
- ❧ Λόγω παλίρροιας δεν παρατηρήθηκε έντονη υδροδυναμική κυκλοφορία, η οποία παραμένει μικρότερη από την αντίστοιχη της ανεμογενούς. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό εύρος της παλίρροιας στην περιοχή. Συνεπώς η παλιρροιογενής κυκλοφορία δεν συμβάλει σημαντικά στους χρόνους ανανέωσης.

6.2 Συμπεράσματα για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην κυκλοφορία και τους χρόνους ανανέωσης του λιμένα Λεμεσού

Επιπλέον τα συμπεράσματα που αναδείχθηκαν από τους υπολογισμούς των χρόνων ανανέωσης για τα ιστορικά δεδομένα αλλά και για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής είναι τα εξής:

- ◆ Η μέση ετήσια ανεμολογική δίαιτα της λιμενολεκάνης τροποποιείται σε μικρό βαθμό βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, σημειώνεται ότι οι ταχύτητες των ανέμων από 5 BF και άνω έχουν σχετικώς μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης για τα σενάρια RCP4.5 (2041-2070) και RCP8.5 (2071-2100).
- ◆ Η κλιματική αλλαγή δεν θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στους χρόνους ανανέωσης σχετικά με το βόρειο και το νότιο υποτιμήμα της λιμενολεκάνης. Ωστόσο υπάρχει μια σαφής αυξητική τάση των χρόνων ανανέωσης στο κεντρικό υποτιμήμα.
- ◆ Προέκυψε ότι η κλιματική αλλαγή ευνόησε τη βόρεια και τη νότια υπολιμενολεκάνη για τις πρώτες χρονικές περιόδους της, καθώς για τα συγκεκριμένα σενάρια μειώθηκαν οι χρόνοι ανανέωσης από 3 έως 4.5%.
- ◆ Το απαισιόδοξο σενάριο προβλέπει αύξηση των χρόνων ανανέωσης για κάθε τμήμα της λιμενολεκάνης.

Συνοψίζοντας, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει διαφορετικά τους χρόνους ανανέωσης των υπολιμενολεκανών. Από τα αποτελέσματα που προκύψαν για την βόρεια αλλά και την νότια υπολιμενολεκάνη ότι δεν παρατηρείται ξεκάθαρη τάση αύξησης ή μείωσης των χρόνων ανανέωσης τους. Ωστόσο, για το κεντρικό υποτιμήμα αλλά και τη συνολική λιμενολεκάνη εμφανίζεται ξεκάθαρη αύξηση των χρόνων ανανέωσης της με την επιρροή της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερος για τη δυσμενέστερη προβολή αυτής.

6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ακολούθως δίνονται ορισμένα πεδία περαιτέρω έρευνας και εξέλιξης της παρούσας διερεύνησης:

- Διερεύνηση των χρόνων ανανέωσης μέσω προσομοίωσης της κίνησης ρύπων και καταγραφής της διαδρομής τους και του χρόνου που απαιτούν για να εξέλθουν από την λιμενολεκάνη.

- Διερεύνηση της συμβολής της εκβολής του γειτονικού ποταμού Γαρούλλη στην κυκλοφορία των παράκτιων ρευμάτων και των ρευμάτων εντός του λιμένα.
- Εφαρμογή της παρούσας μεθοδολογίας σε περισσότερους λιμένες διεθνώς.
- Διερεύνηση πρόσθετων σεναρίων κλιματικής αλλαγής, RCP2.5 και RCP6.0.

Αναφορές

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Κρεστενίτης, Ι., Κομπιάδου, Κ., Μακρής, Χ., Ανδρουλιδάκης, Ι., & Καραμπάς, Θ. (2015). *Θαλάσσια υδροδυναμική κυκλοφορία [Κεφάλαιο]*. Στο Κρεστενίτης, Ι., Κομπιάδου, Κ., Μακρής, Χ., Ανδρουλιδάκης, Ι., & Καραμπάς, Θ., 2015. *Παράκτια μηχανική - Θαλάσσια περιβαλλοντική υδραυλική [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://hdl.handle.net/11419/2791>.
- Στεφανίδης, Θ., «Ανανέωση υδάτων της λιμενολεκάνης τουριστικών λιμένων μέσω αριθμητικής προσομοίωσης παλιρροιακών και ανεμογενών ρευμάτων». Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. 2015.
- Χριστοδούλου, Μ., «Υπολογισμός χρόνου ανανέωσης υδάτων σε αλιευτικό καταφύγιο με χρήση μαθηματικών μοντέλων». Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου – Σχολή Περιβάλλοντος. Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας. 2010.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Chan Hilton. A., Mc Gillivray D., and Adams, E., "Residence Time of Freshwater in Boston's Inner Harbor," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 124, 1998, pp. 82-89.
- Fountoulis, G. & Memos, C. (2004). Optimization of Openings for Water Renewal in a Port Basin. *Journal of Marine Environmental Engineering*. 7.
- Galea, Anthony & Grifoll, Manel & Roman, Federico & Mestres, Marc & Armenio, Vincenzo & Sánchez-Arcilla, Agustín & Zammit Mangion, Louis. (2014). Numerical simulation of water mixing and renewals in the Barcelona port area: The winter season. *Environmental Fluid Mechanics*. 14. 1405-1425. 10.1007/s10652-014-9351-6.

- IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Lisi, I., Taramelli, A., Di Risio, M., Cappucci, S. & Gabellini, M. (2009). Flushing efficiency of Augusta Harbour (Italy). *Journal of Coastal Research*. 56. 841-845.

- Malcangio, D., Melena A., Damiani L., Mali, M., & Saponieri A., 2017. Numerical study of water quality improvement in a port through a forced mixing system. Department of Civil, Environmental, Land, Building Engineering and Chemistry, Polytechnic University of Bari, Italy
- Marcos, M., Jorda, G., and Cozannet, G. L. Sea level rise and its impacts on the Mediterranean In: The Mediterranean region under climate change: A scientific update Sub-chapter 2.2.1., Marseille: IRD Éditions, 2016.
- Metallinos, A.; Chondros, M.; Papadimitriou, A. 2021. Simulating Nearshore Wave Processes Utilizing an Enhanced Boussinesq-Type Model. *Modelling*, 2, 686–705.
- Orfila A., Jordi A., Basterretxea G., Vizoso G., Marba N., Duarte C., Werner F., and Tintoré, J., "Residence time and *Posidonia oceanica* in Cabrera Archipelago National Park, Spain," *Continental Shelf Research*, 25 (11), 2005, pp. 1339–1352.
- Savvidis, Y., Georgiadis C., and Datsi E., "Investigating the Waters' Flushing of the Inner Basin of Nea Moudania Harbor (Northern Greece)," *J. of Envi. Protection and Ecology*, 10, 2009, pp. 732-742.
- Stamou A.I., Katsiris I., Moutzouris C.I. and Tsoukala, V.K. (2004). Improvement of marina design technology using hydrodynamic models. *Global Nest: the Int. J.* Vol 6, No 1, pp 63-72.
- Stamou, A.I., Memos, C. and Spanoudaki, K., (2007). Estimating water renewal time in semi-enclosed coastal areas of complicated geometry using a hydrodynamic model. *Journal of Coastal Research*, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 282 – 286. Gold Coast, Australia, ISSN 0749.0208

- Tsoukala, V.K. and Moutzouris, C.I. (2004). Field measurements of dissolved oxygen in the Piraeus Harbour basin. PROTECTION AND RESTORATION OF THE ENVIRONMENT VII – MYKONOS.
- Tsoukala, V.K., Moutzouris, C.I. (2008). A 3-D experimental study on the beneficial role of flushing culverts in sea water quality. Conference: 31st International Conference on Coastal Engineering, ICCE 2008 At: Hamburg; Germany Volume: pages 4414-4422.
- Tsoukala, V.K., Moutzouris, C.I. (2009). Wave transmission in harbors through flushing culverts. Ocean Engineering 36 (6-7), 434-445. ISSN 0029-8018
- Tsoukala, V.K., Gaitanis, C., Stamou, A.I., Moutzouris, C.I. (2010). Wave and Dissolved Oxygen transmission analysis in harbors using flushing culverts: An experimental approach. Global NEST Journal, Vol 12, No 2, pp 152-160.
- Tsoukala, V.K., Katsardi, V., Belibassakis, K. (2014). Wave transformation through flushing culverts operating at seawater level in coastal structures. Ocean engineering 89, 211-229, ISSN 0029-8018.
- Ulbrich, U. *et al.* (2013). Past and Current Climate Changes in the Mediterranean Region. In: Navarra, A., Tubiana, L. (eds) Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean. Advances in Global Change Research, vol 50. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5781-3_2
- Yin, J., Falconer, R.A., Pipilis, K. and Stamou, A.I., 1998. Flow characteristics and flushing processes in marinas and coastal embayments. Proceedings of the 1st International conference on Maritime Engineering and Ports, (Genoa, Italy), pp. 87-98.

Εγχειρίδια

Scientia Maris, Maris HYD User Guide, Version v02.2022

Scientia Maris, Platform Introduction, Version v02.2022

Scientia Maris, Pre & Post Processing, Version v02.2022

Siebentritt, M., 2016: Understanding sea-level rise and climate change, and associated impacts on the coastal zone. CoastAdapt Information Manual 2, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast.

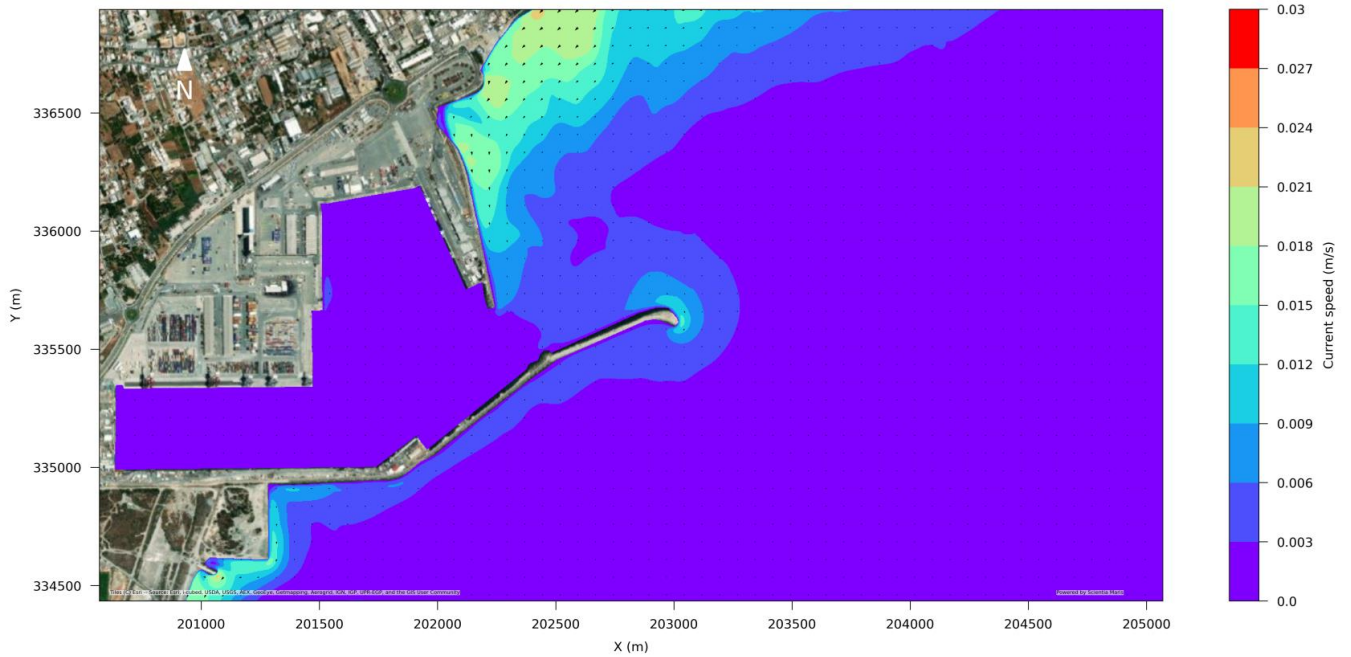
Παραρτήματα

Παράρτημα Α

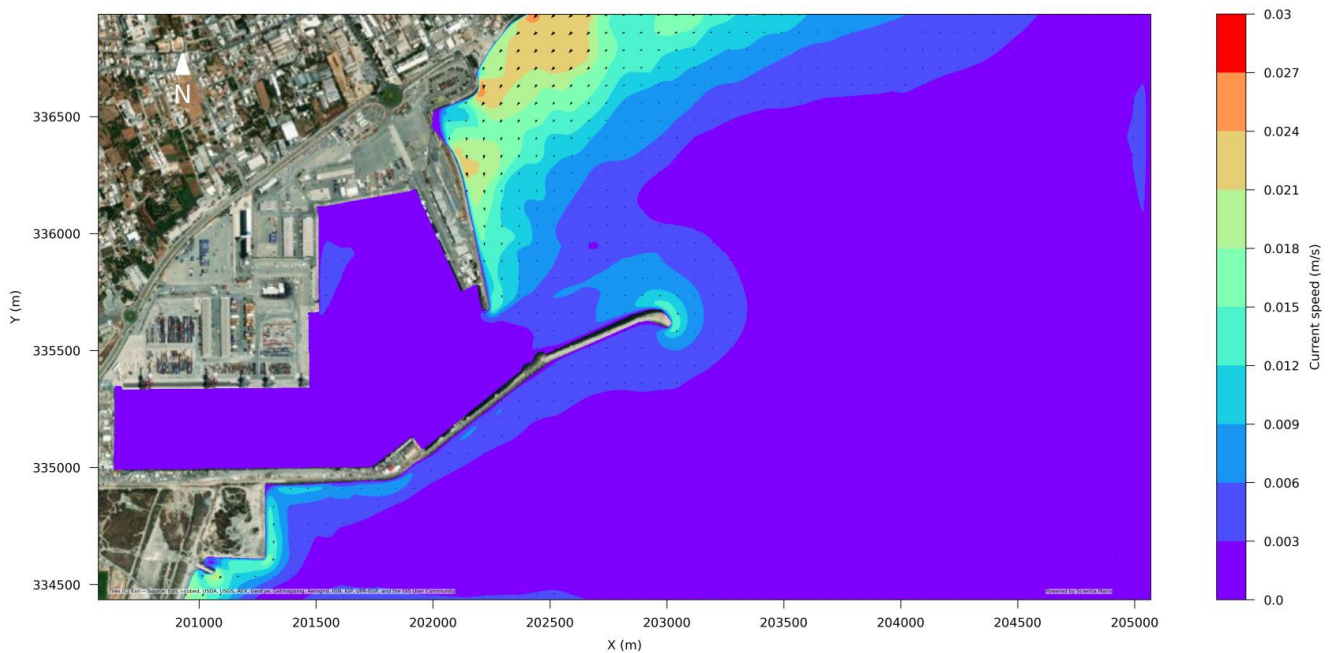
Αποτελέσματα σεναρίων μαθηματικής προσομοίωσης
ανεμογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας

Για τα ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα αλλά και τις προβολές κλιματικής αλλαγής διεξήχθησαν κοινές μαθηματικές προσομοιώσεις ανεμογενούς υδροδυναμικής κυκλοφορίας καθώς εμπίπτουν στις ίδιες ανεμολογικές συνθήκες και διαφοροποιούνται μεταξύ τους κατά το ποσοστό εμφάνισης.

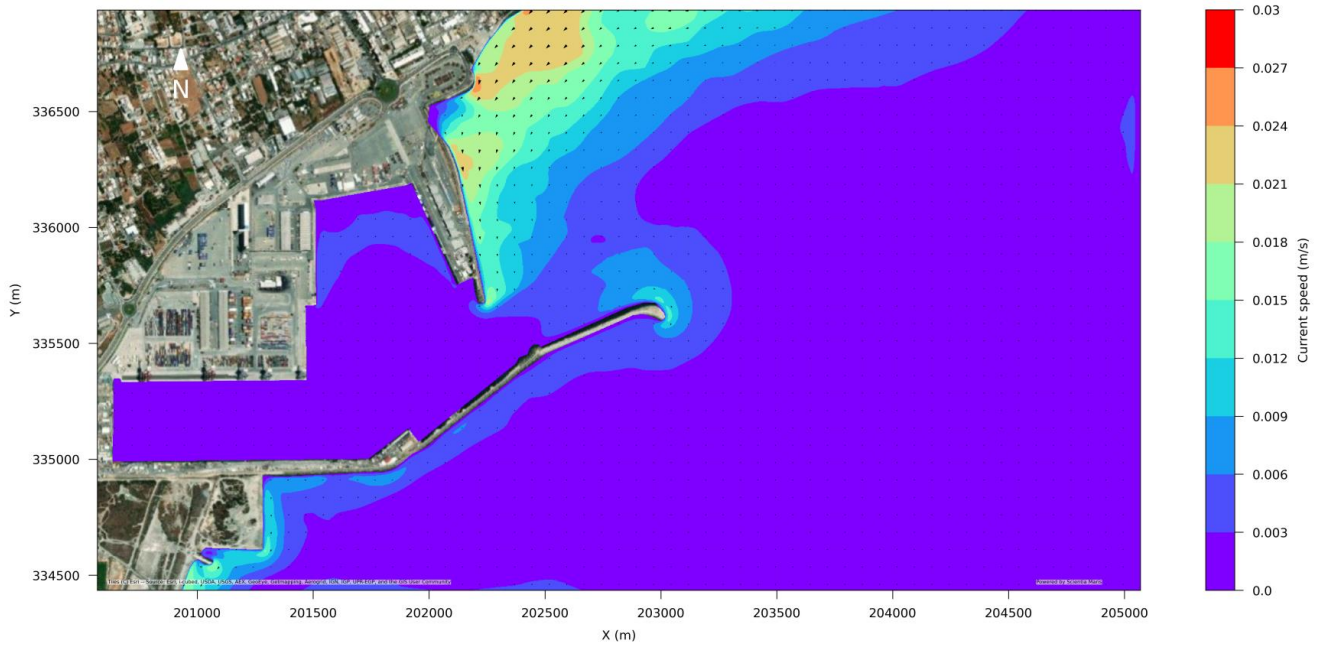
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 0°



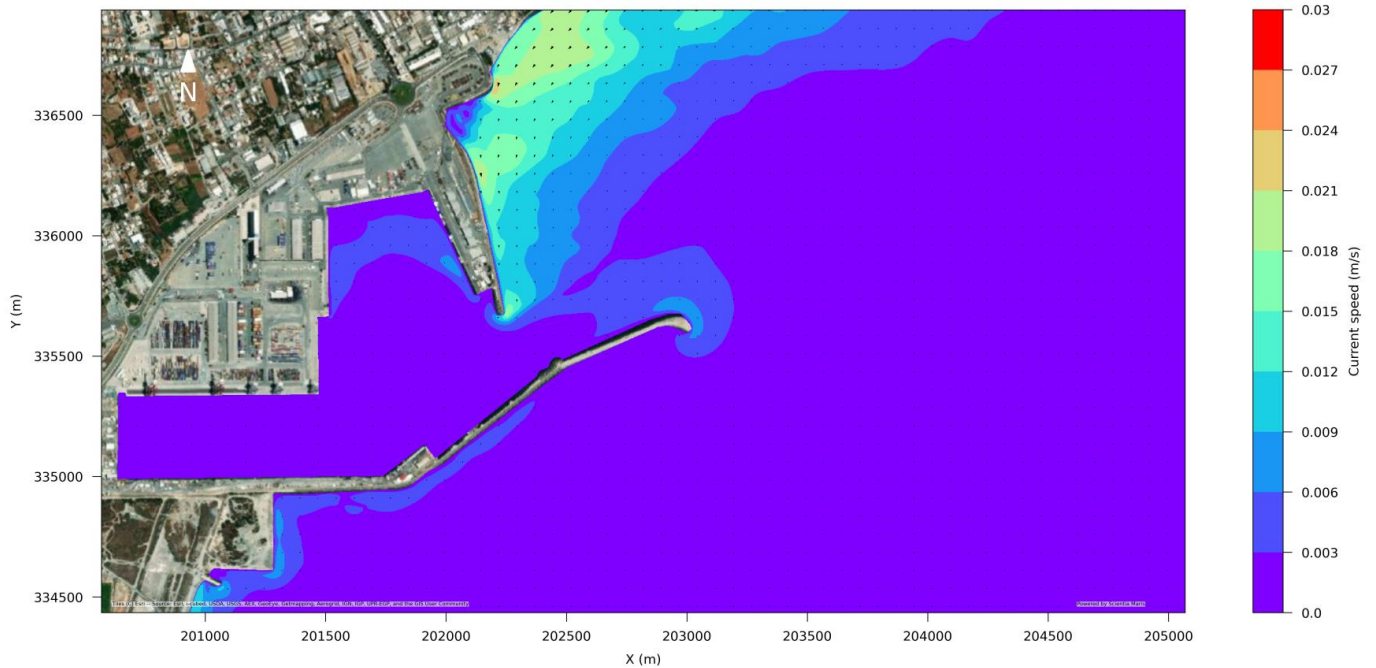
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 30°



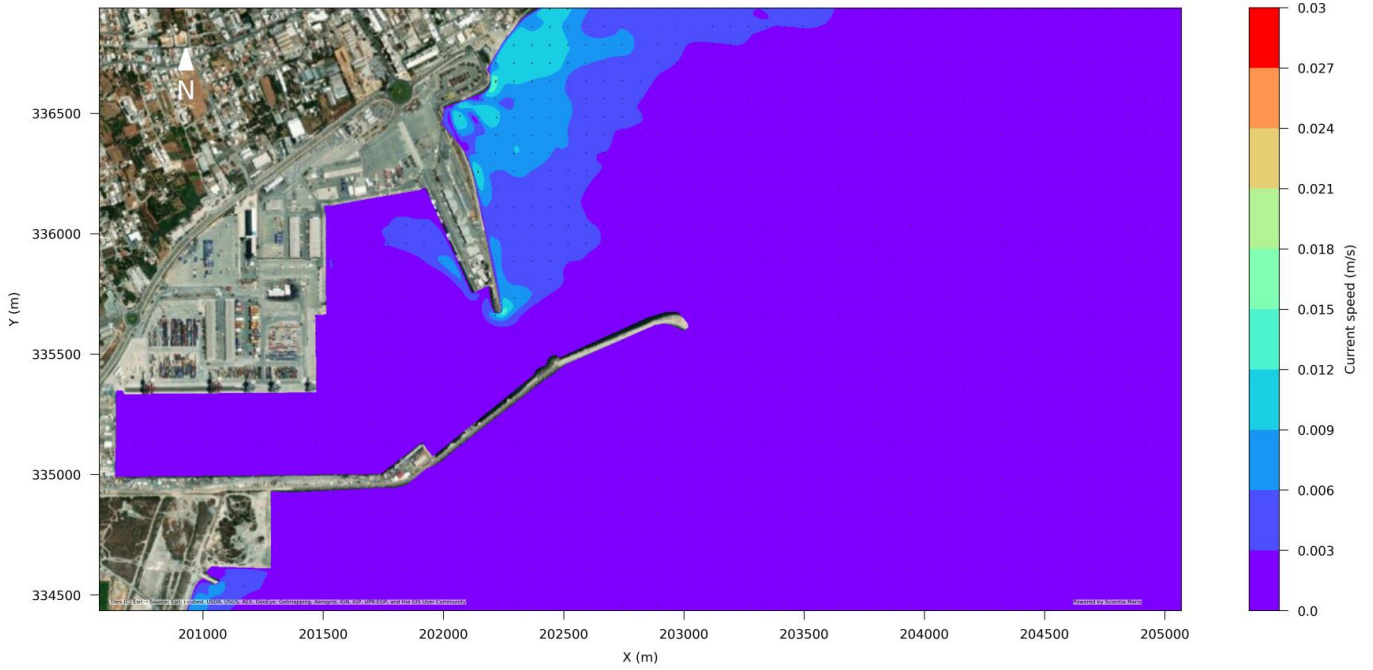
Άνεμος έντασης 4 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 60°



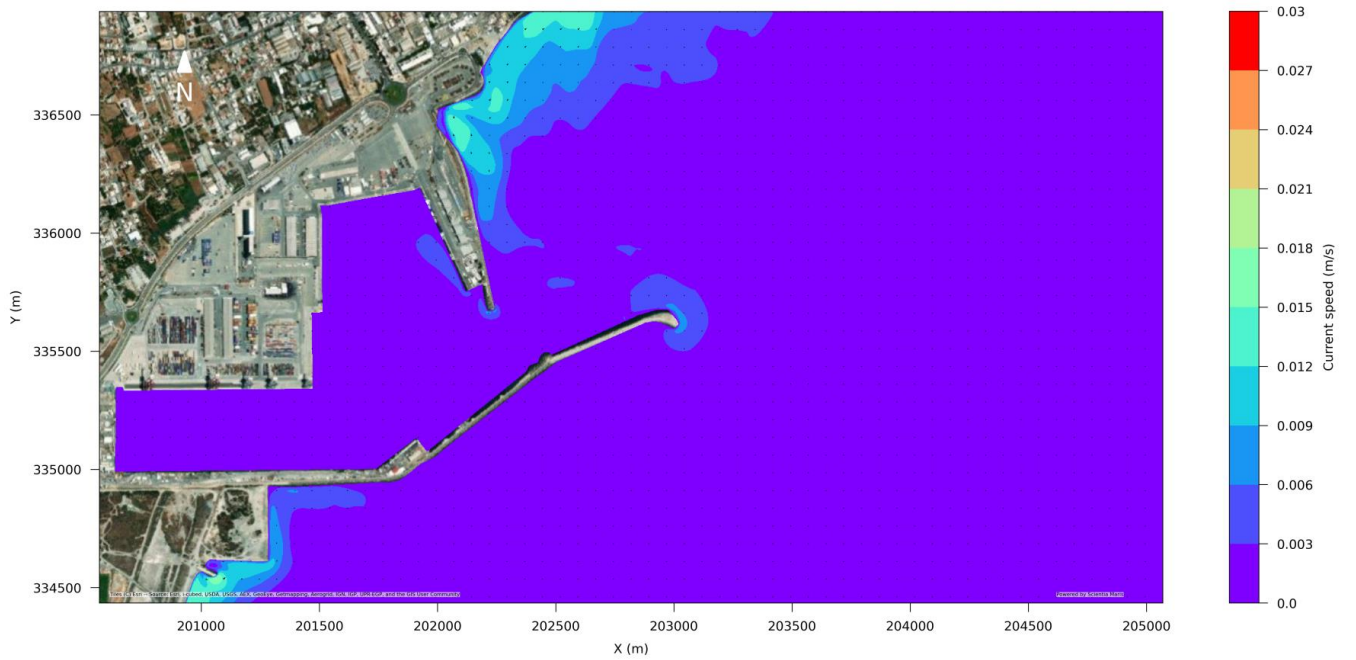
Άνεμος έντασης 4 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 90°



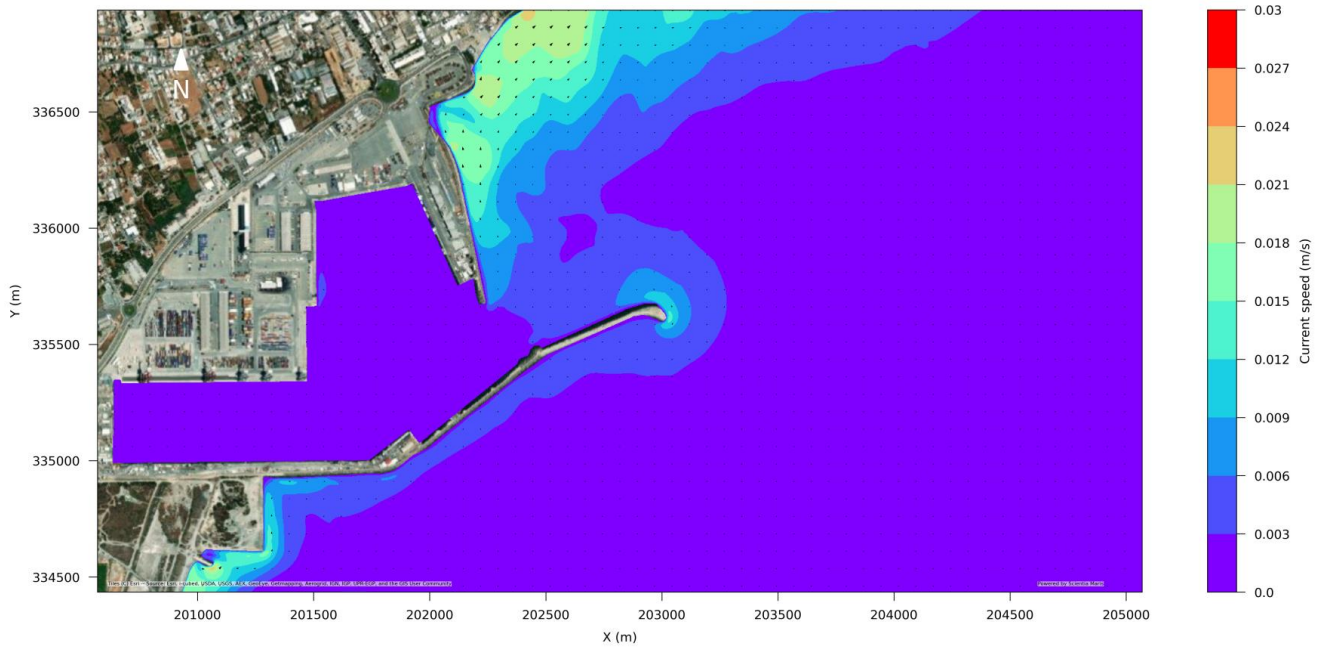
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 120°



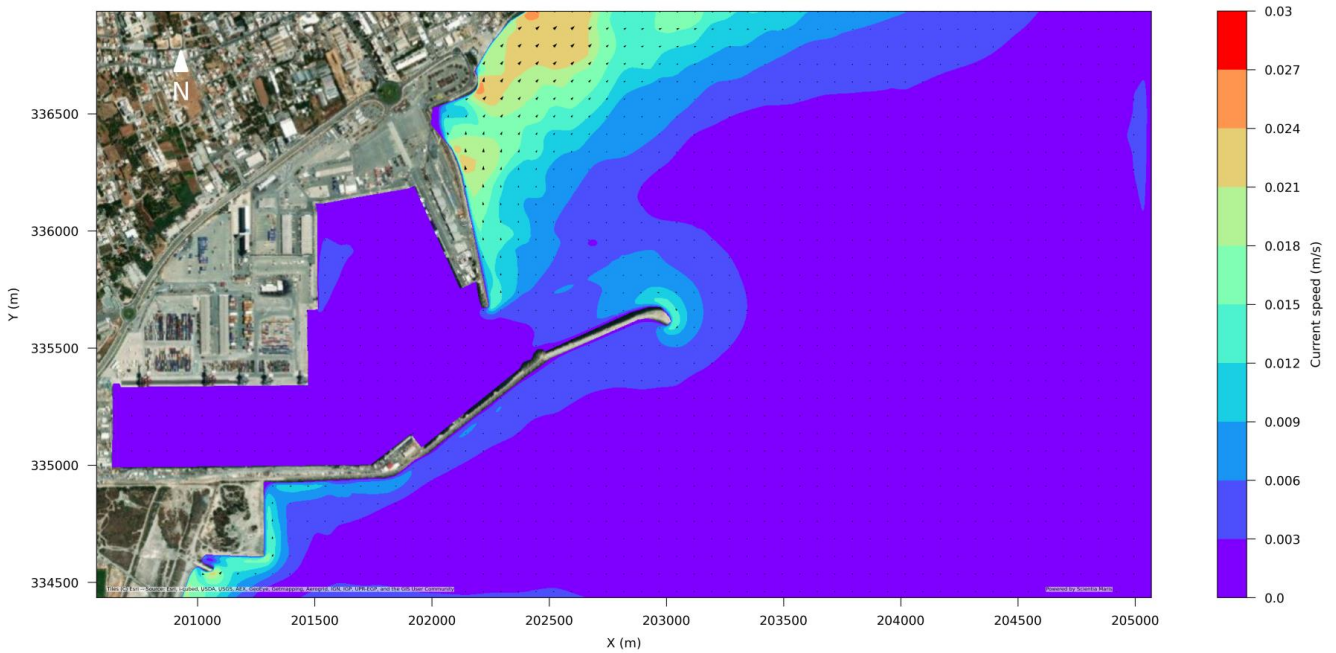
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 150°



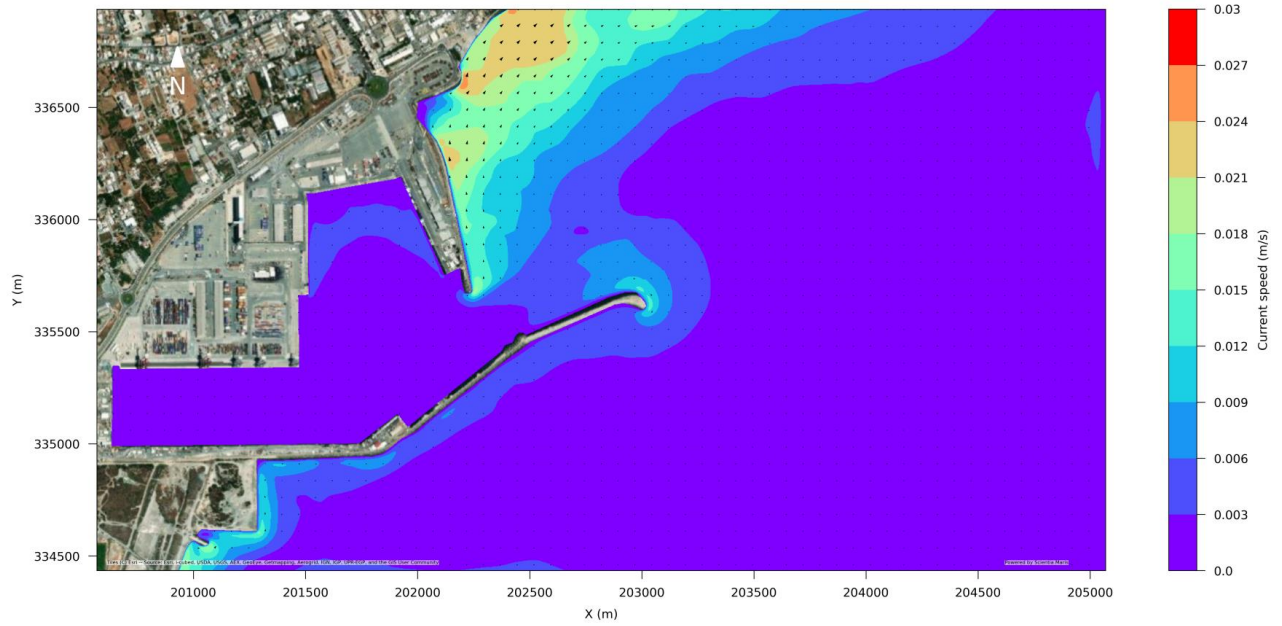
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 180°



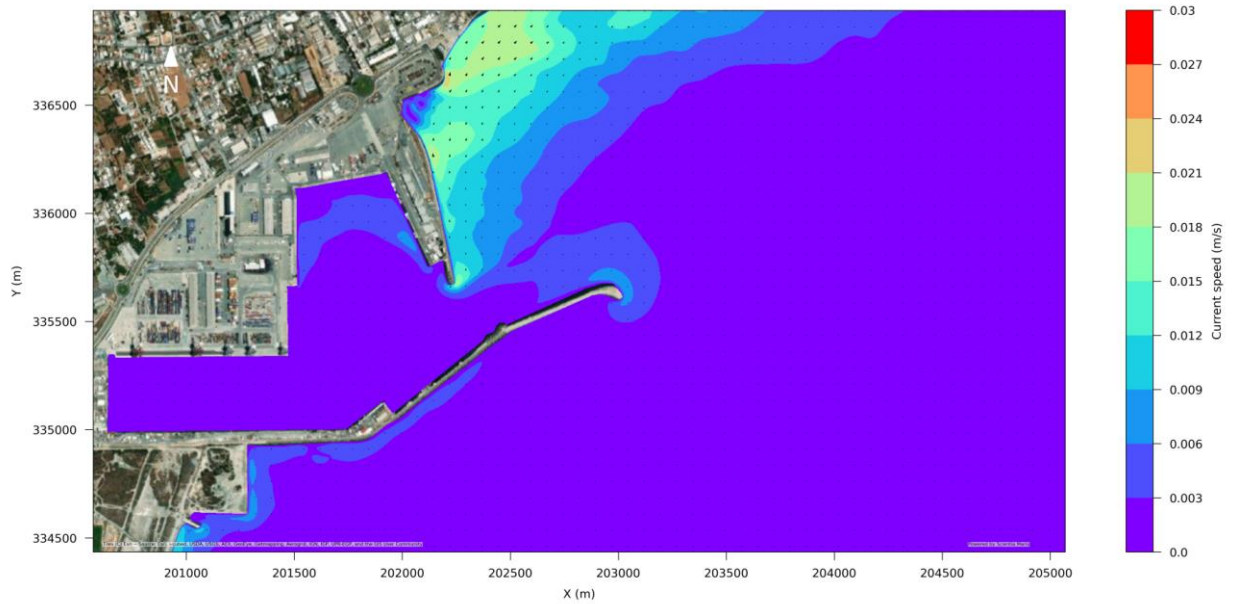
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 210°



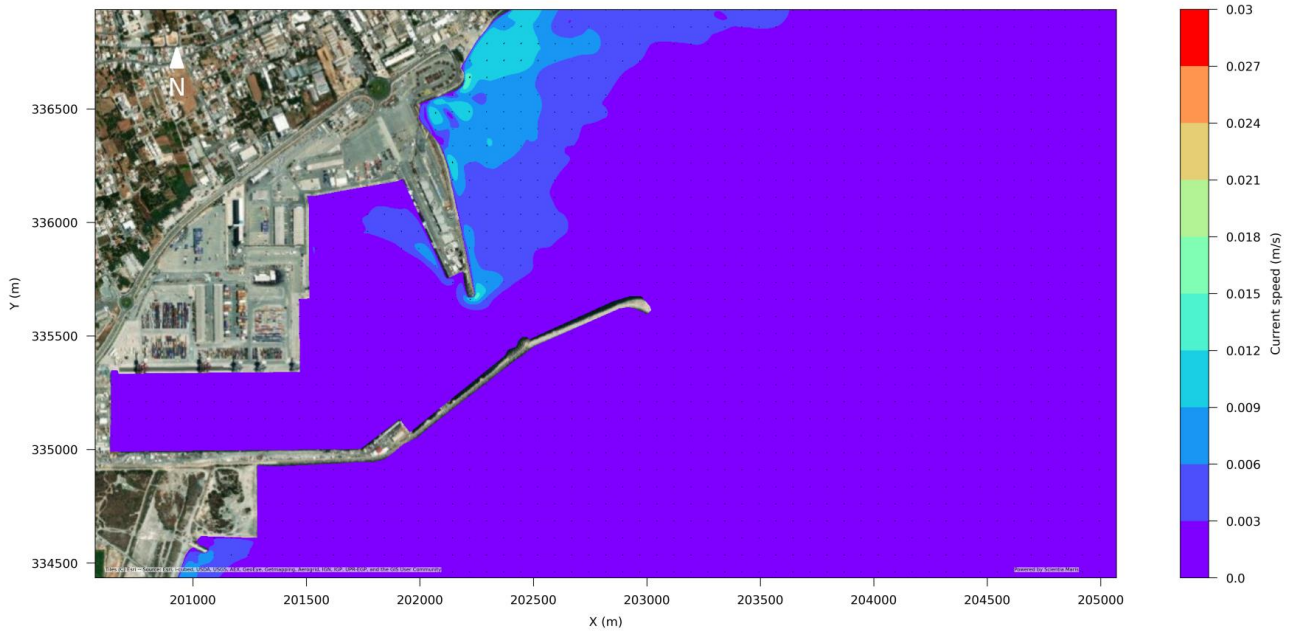
Άνεμος έντασης 4 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 240°



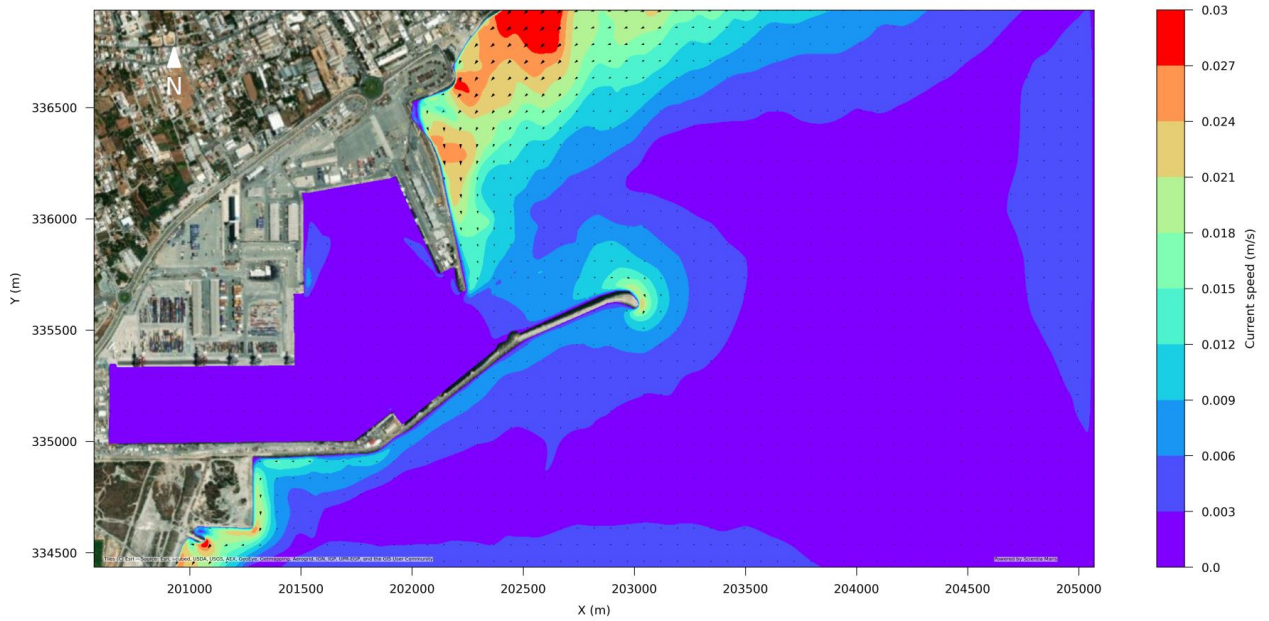
Άνεμος έντασης 4 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 270°



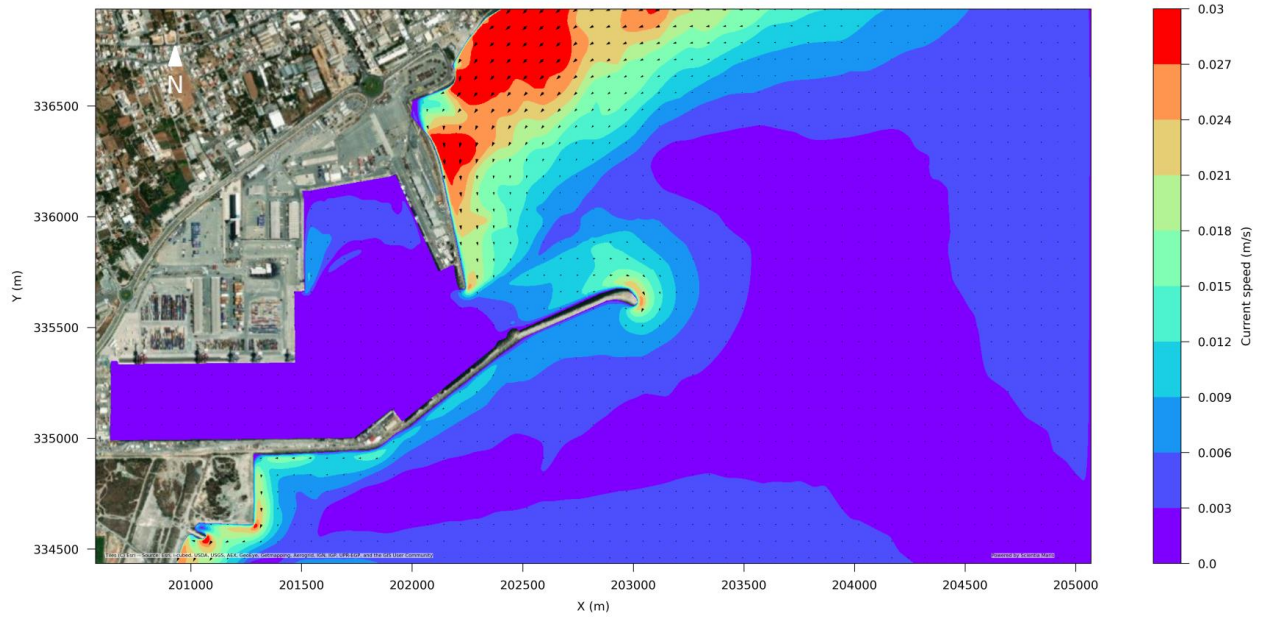
Άνεμος έντασης 4 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 300°



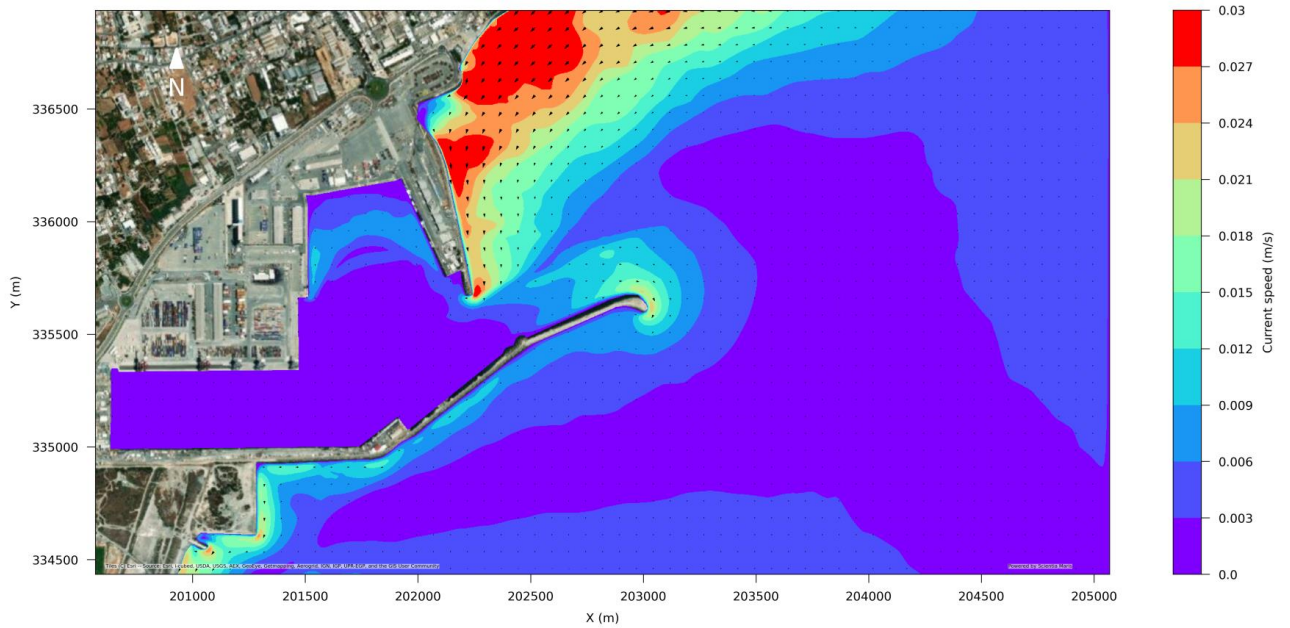
Άνεμος έντασης 5 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 0°



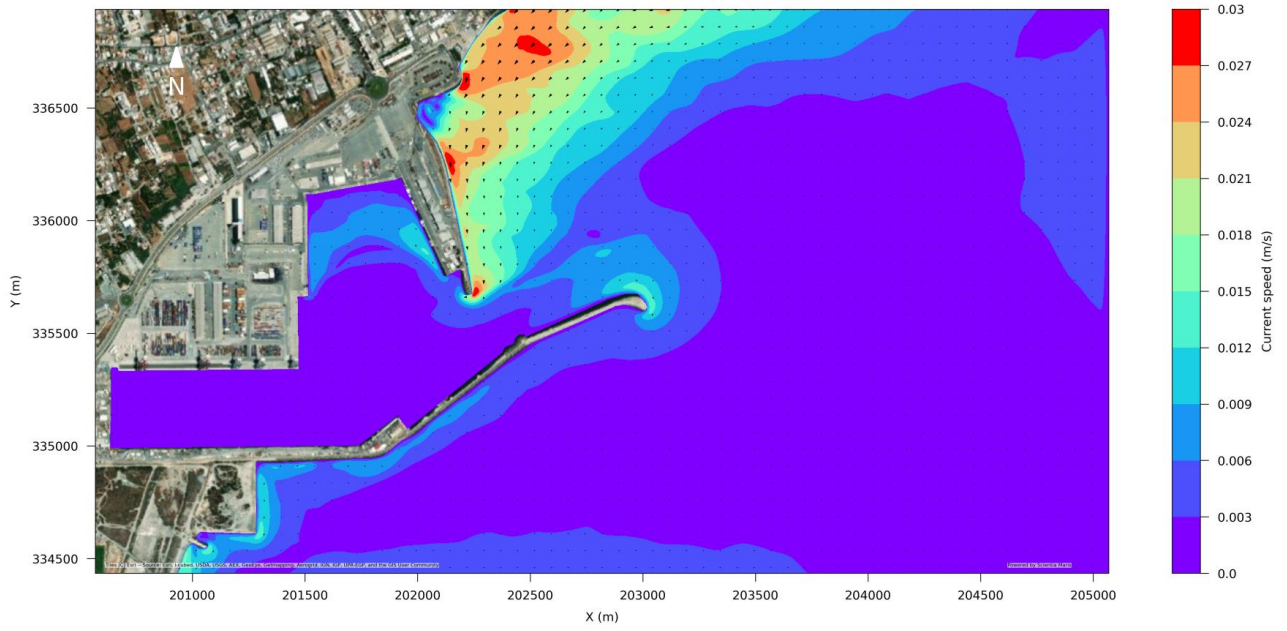
Άνεμος έντασης 5 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 30°



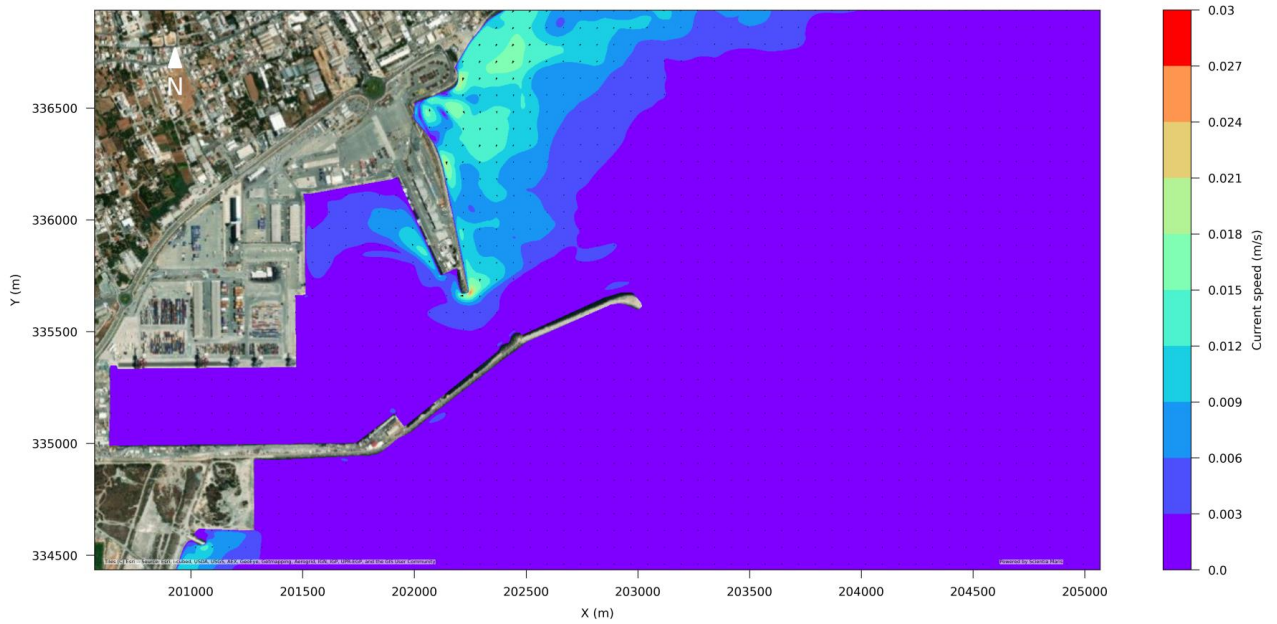
Άνεμος έντασης 5 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 60°



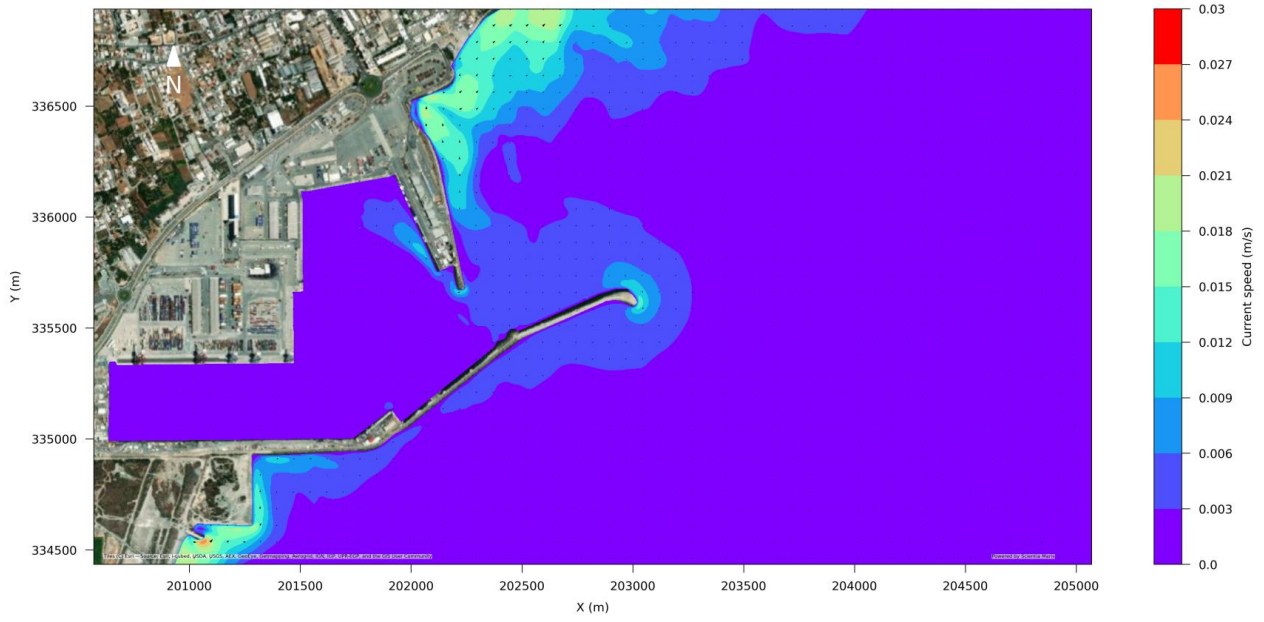
Άνεμος έντασης 5 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 90°



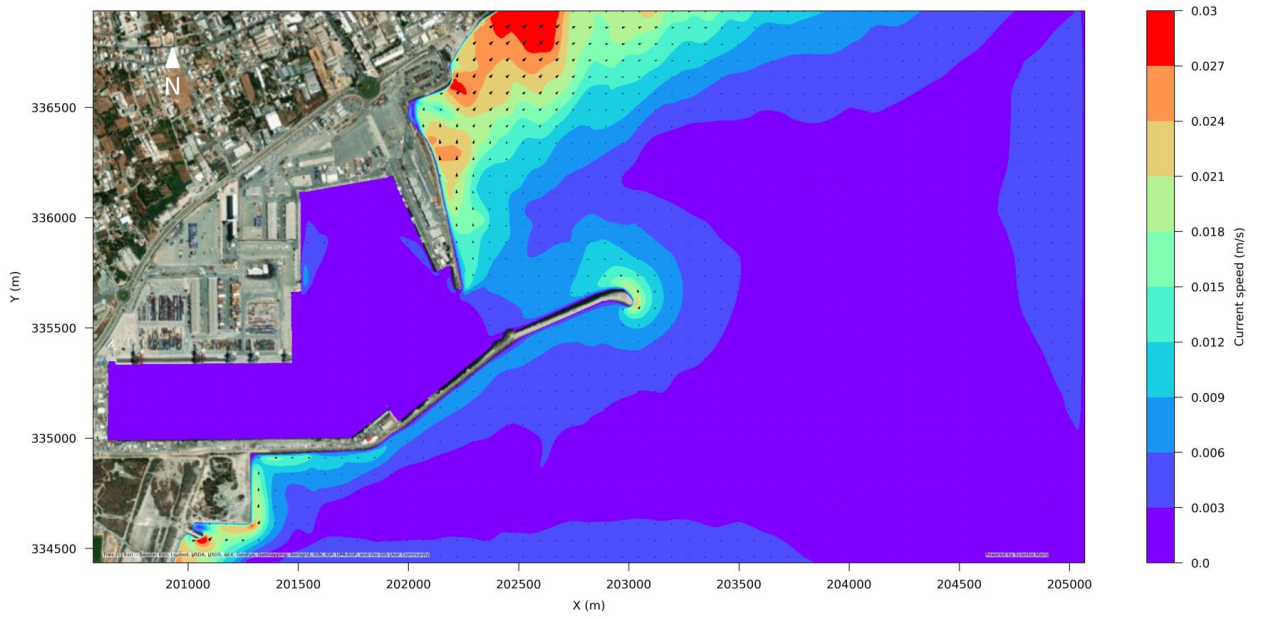
Άνεμος έντασης 5 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 120°



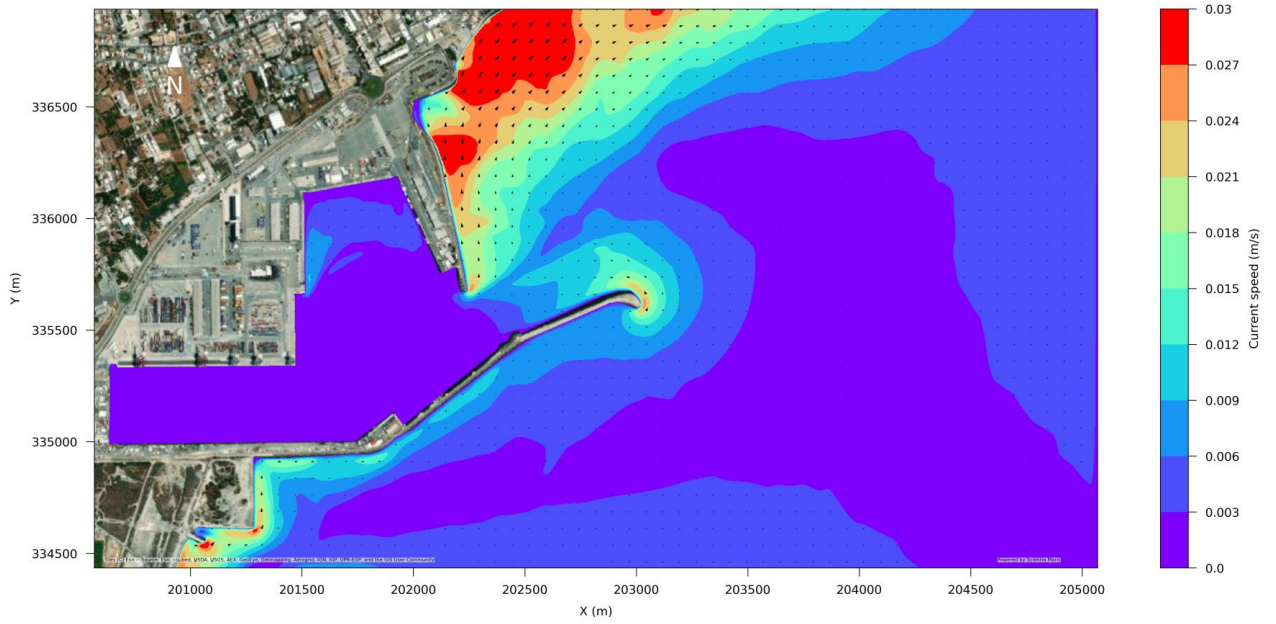
Άνεμος έντασης 5 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 150°



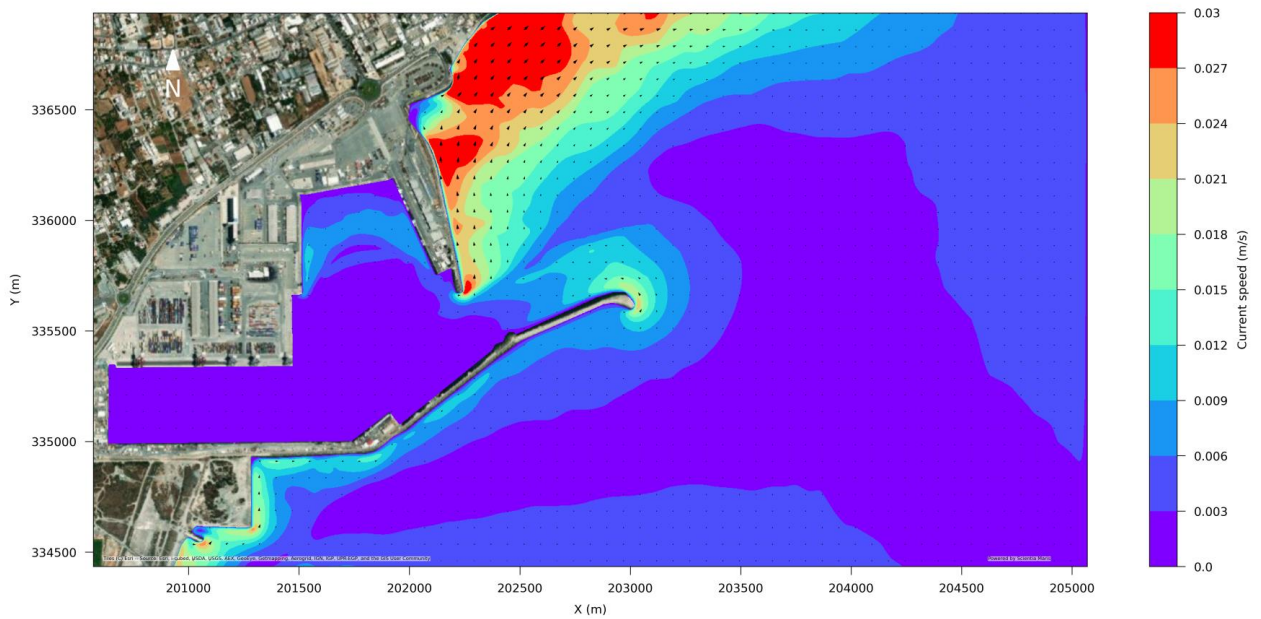
Άνεμος έντασης 5 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 180°



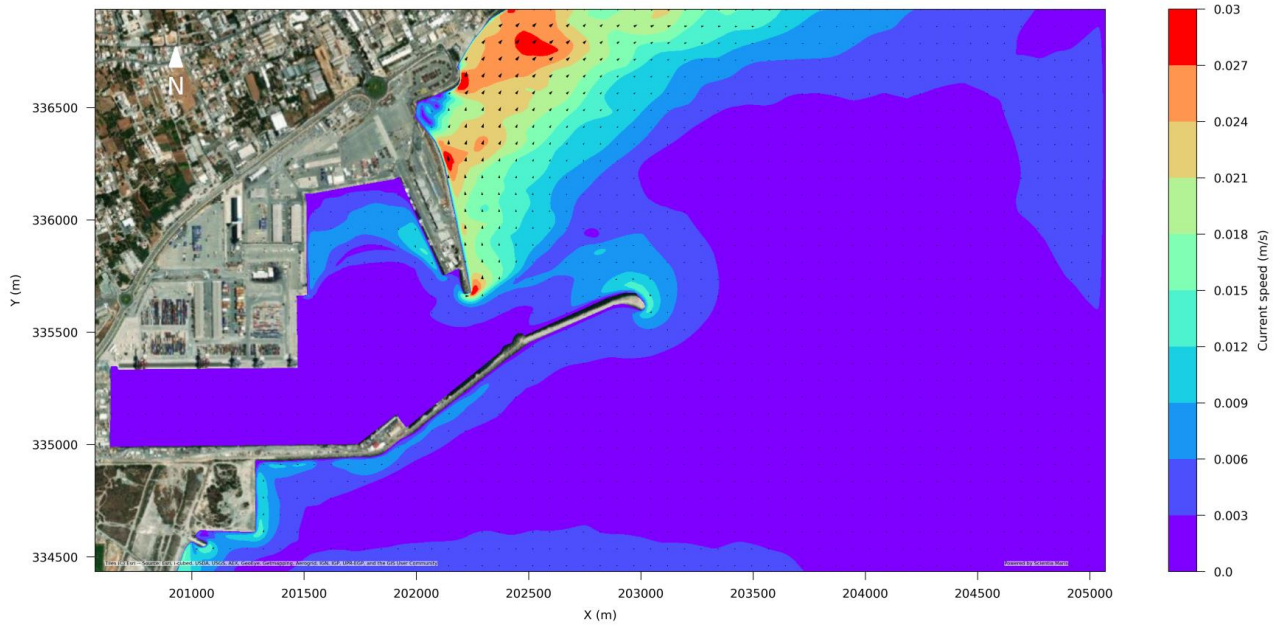
Άνεμος έντασης 5 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 210°



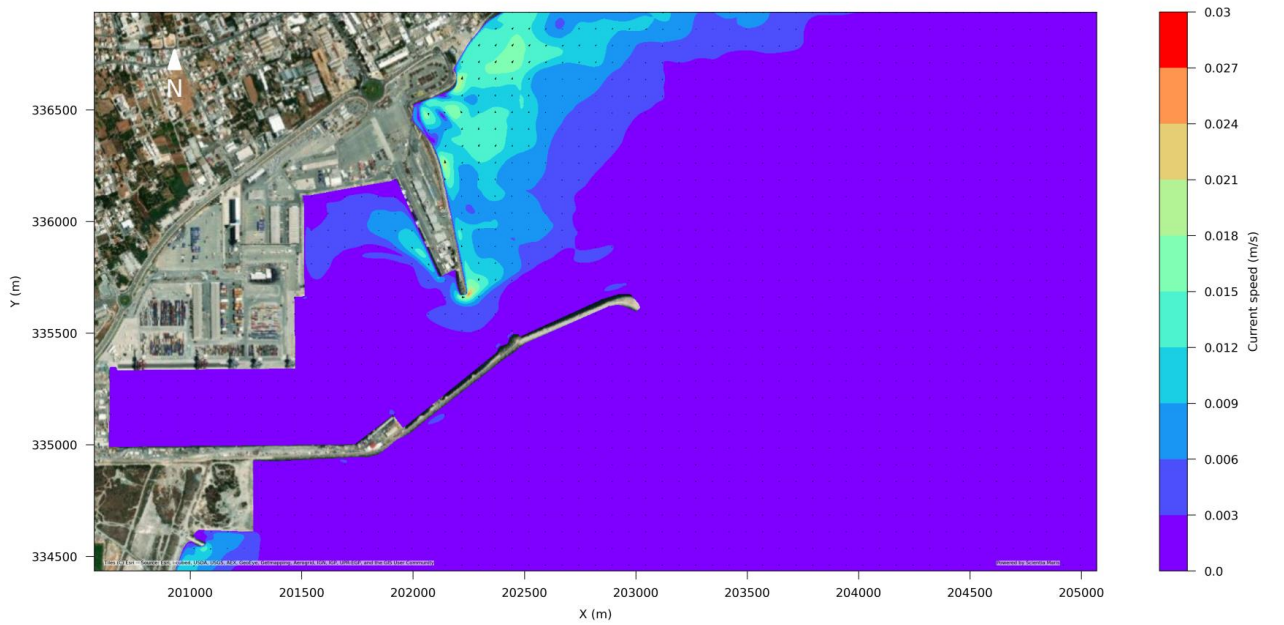
Άνεμος έντασης 5 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 240°



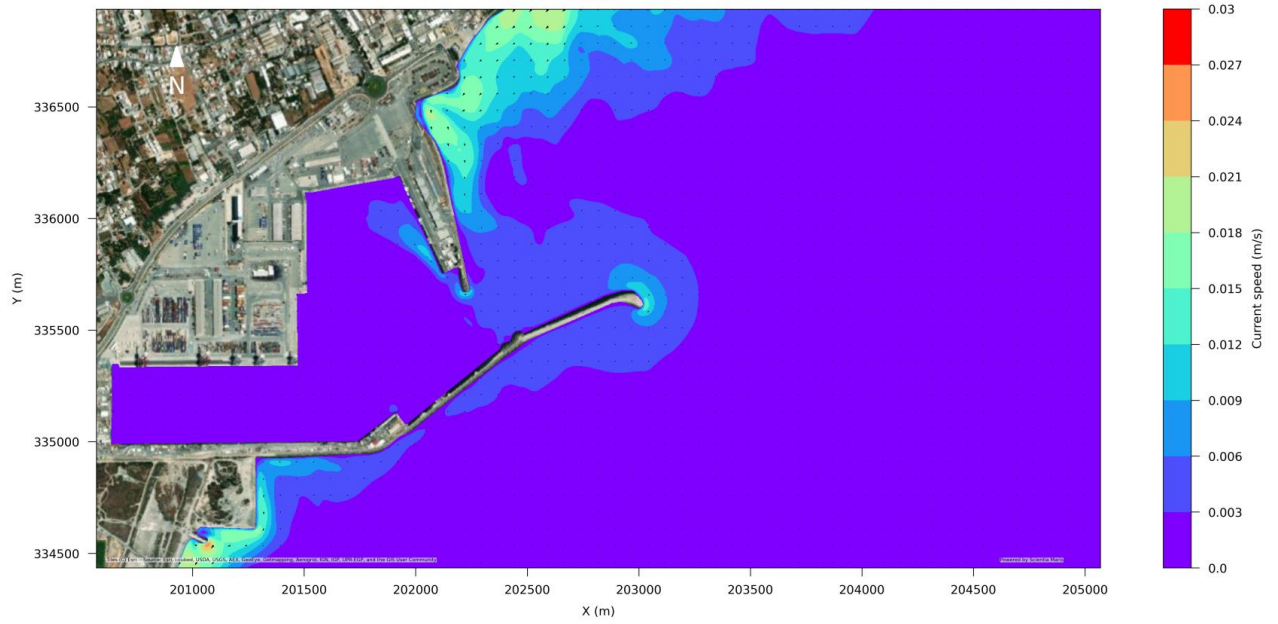
Άνεμος έντασης 5 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 270°



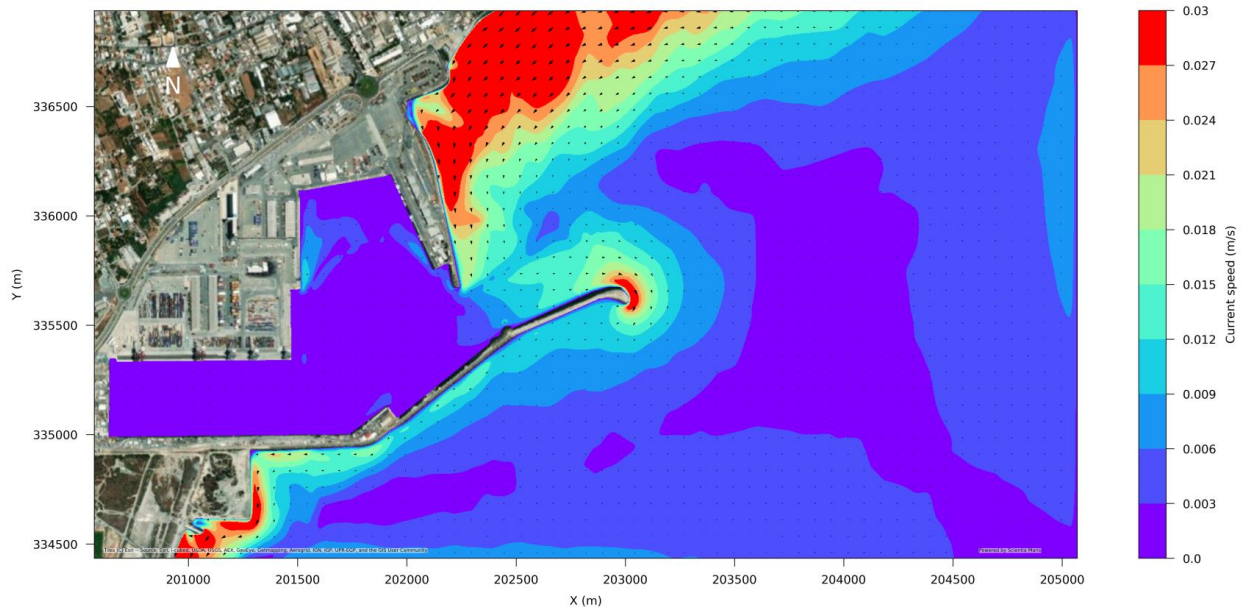
Άνεμος έντασης 5 ΒF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 300°



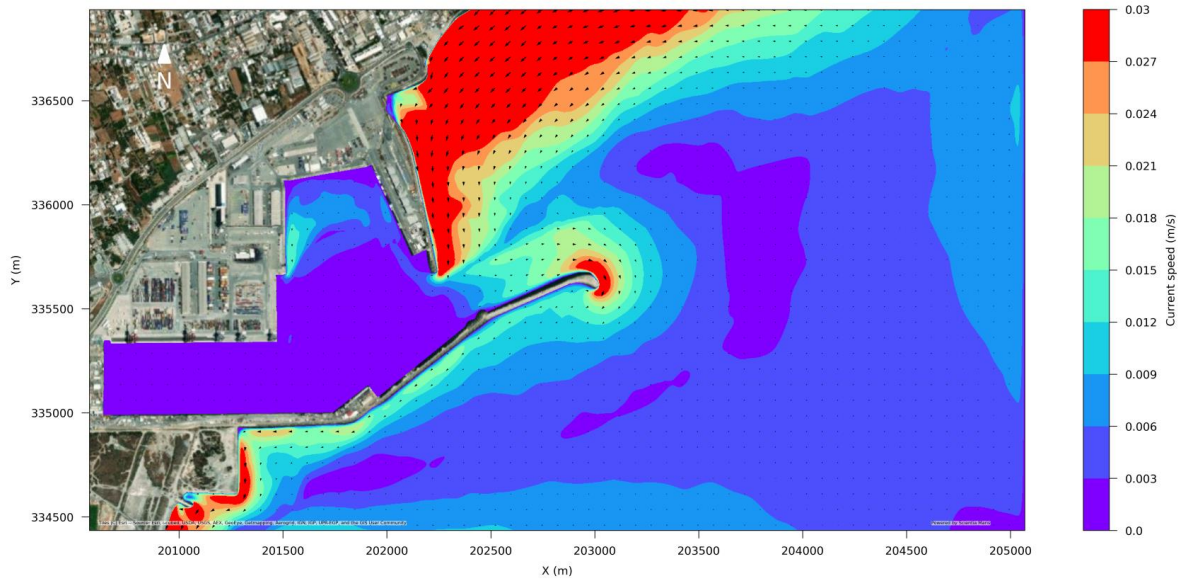
Άνεμος έντασης 5 ΒF κατεύθυνσης εκ Βορρά 330°



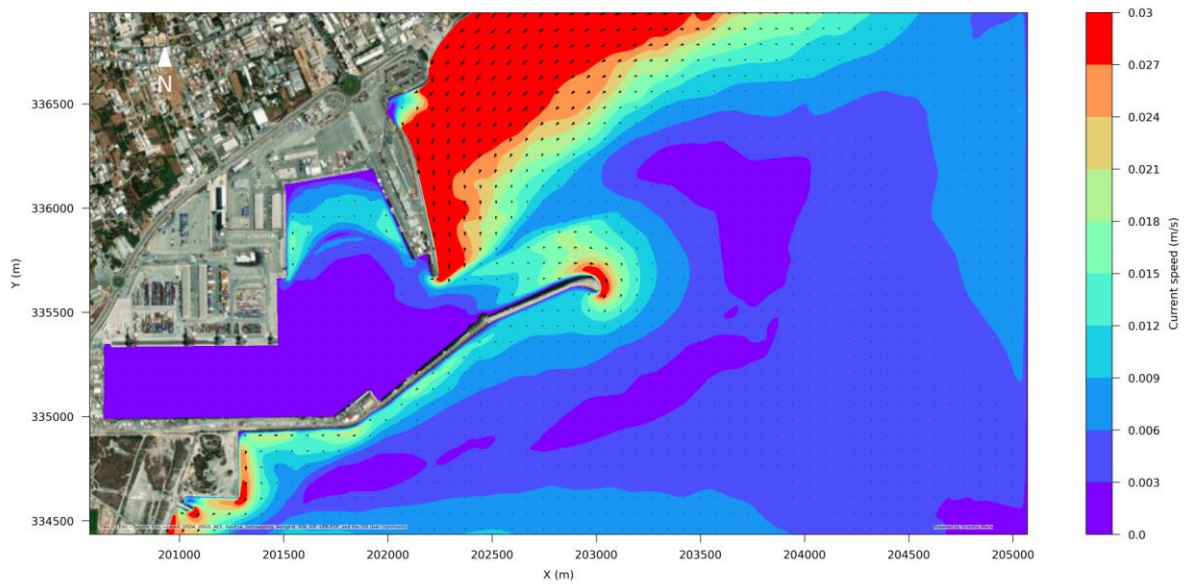
Άνεμος έντασης 6 ΒF κατεύθυνσης εκ Βορρά 0°



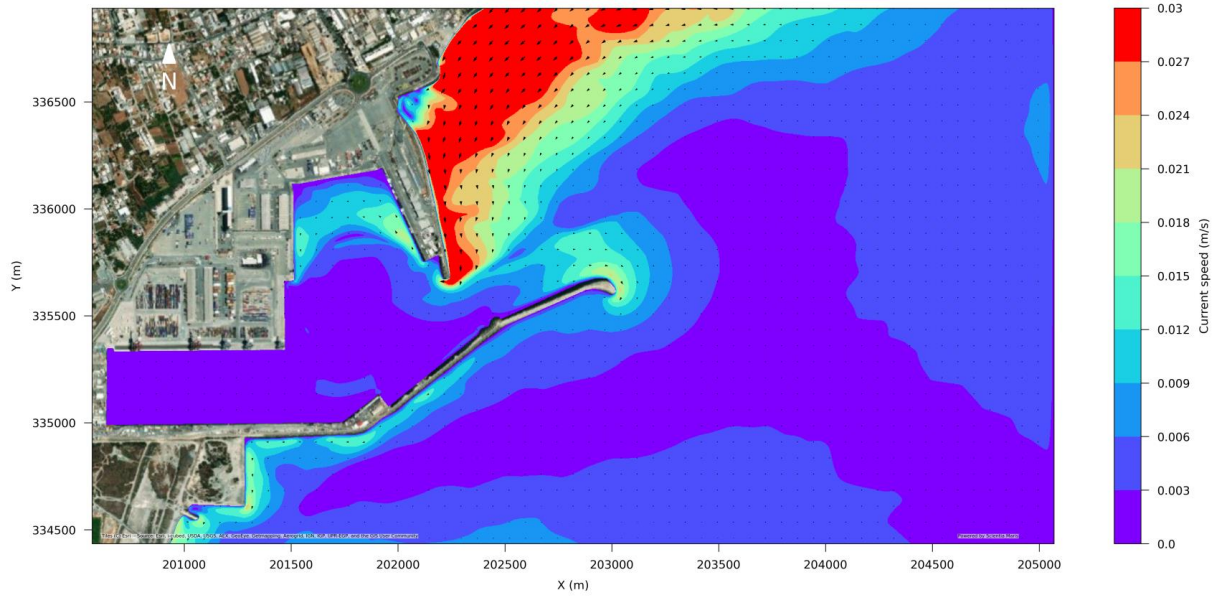
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 30°



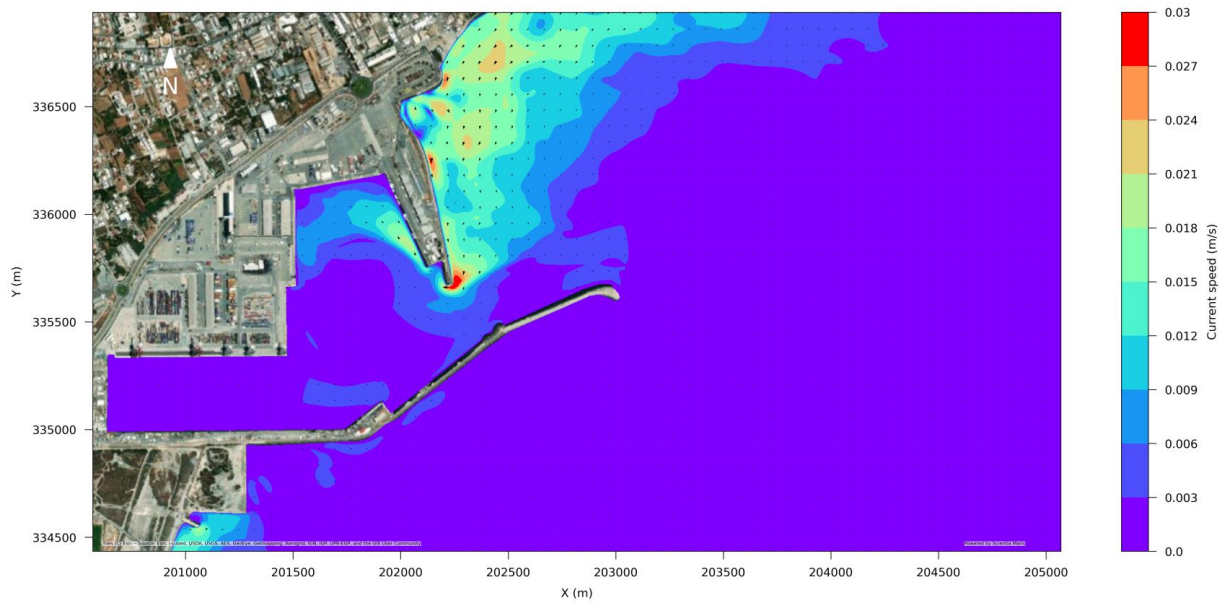
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 60°



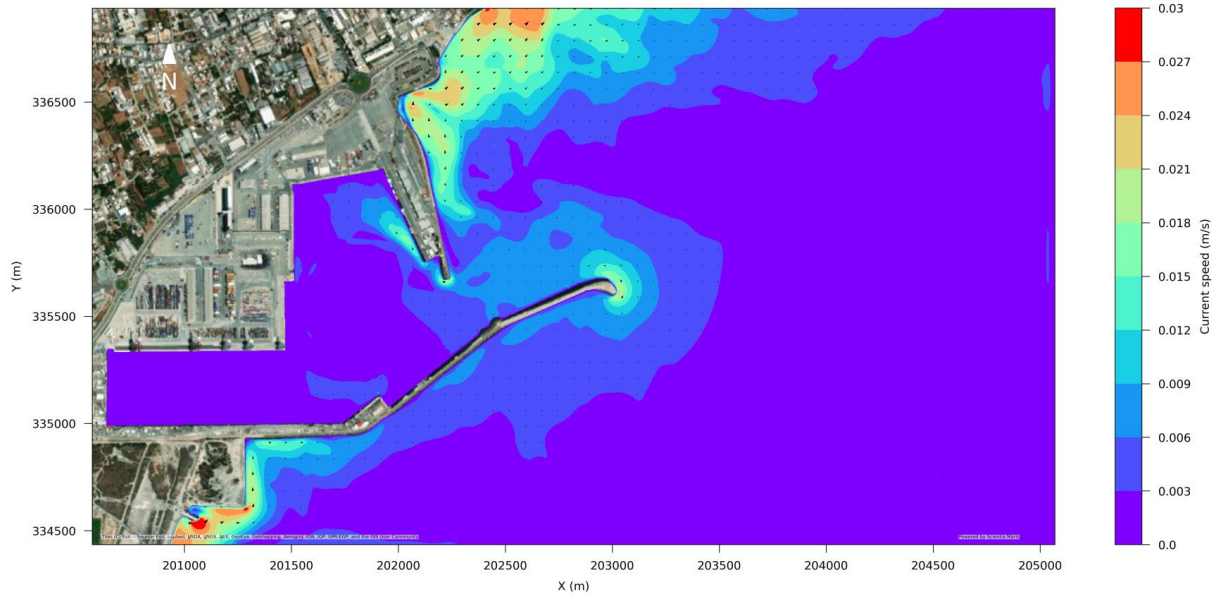
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 90°



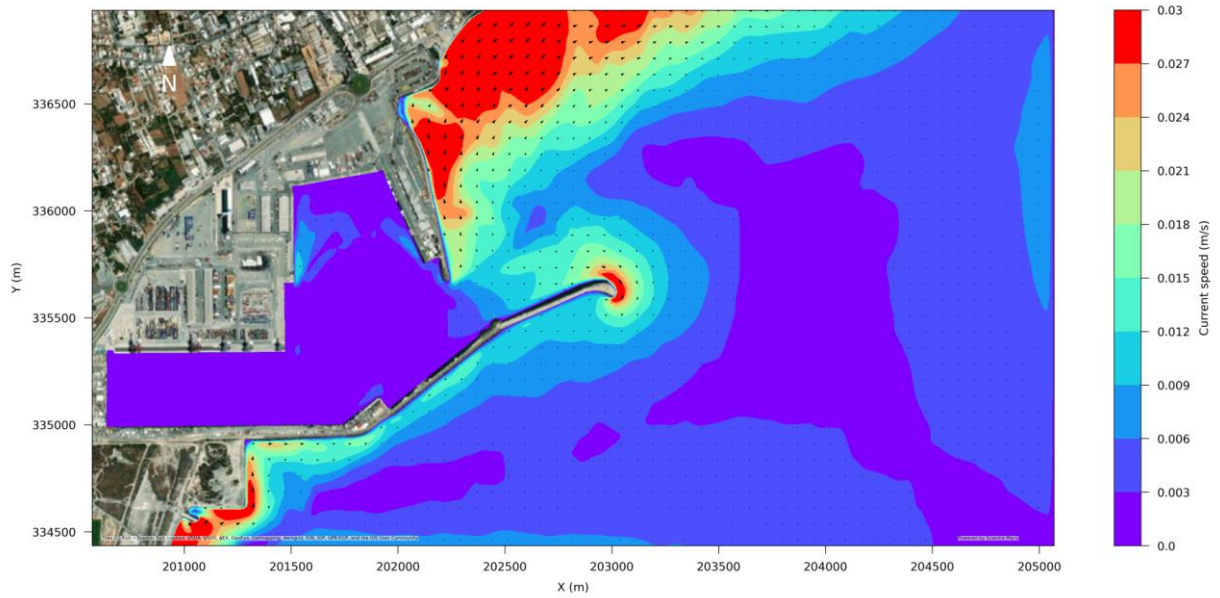
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 120°



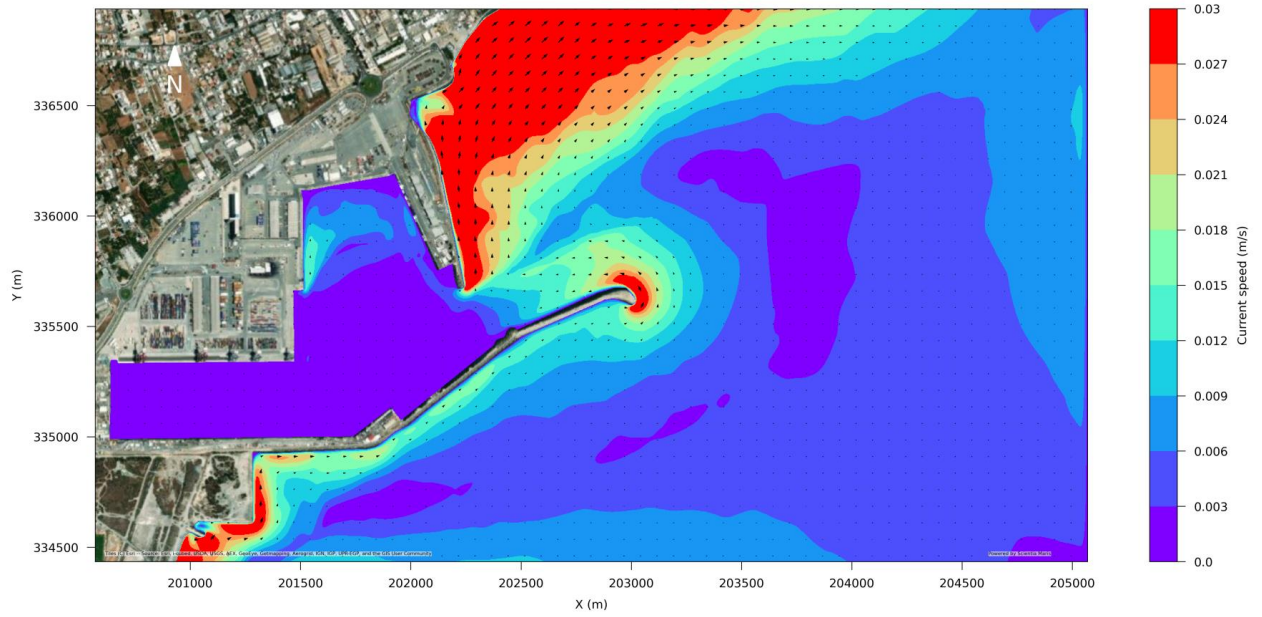
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 150°



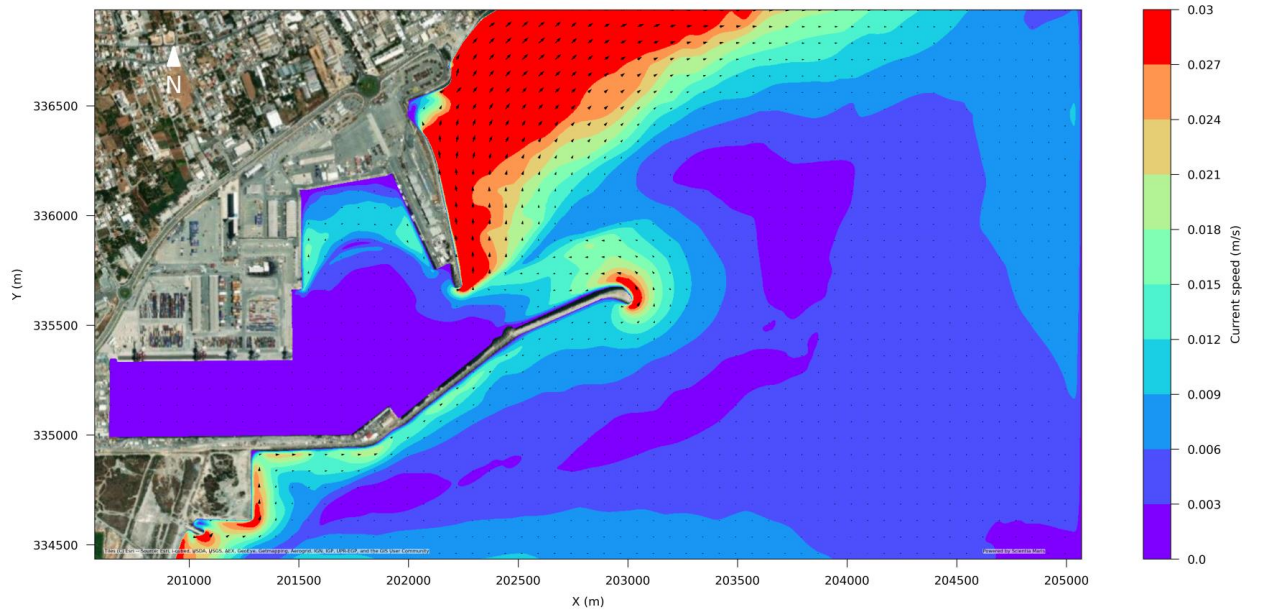
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 180°



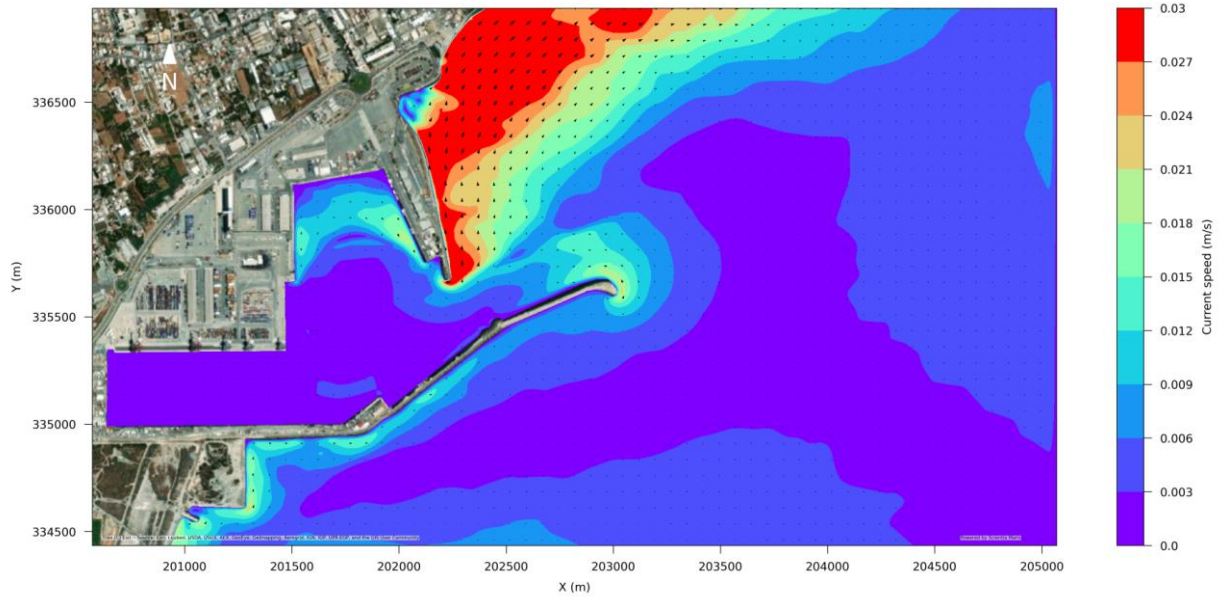
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 210°



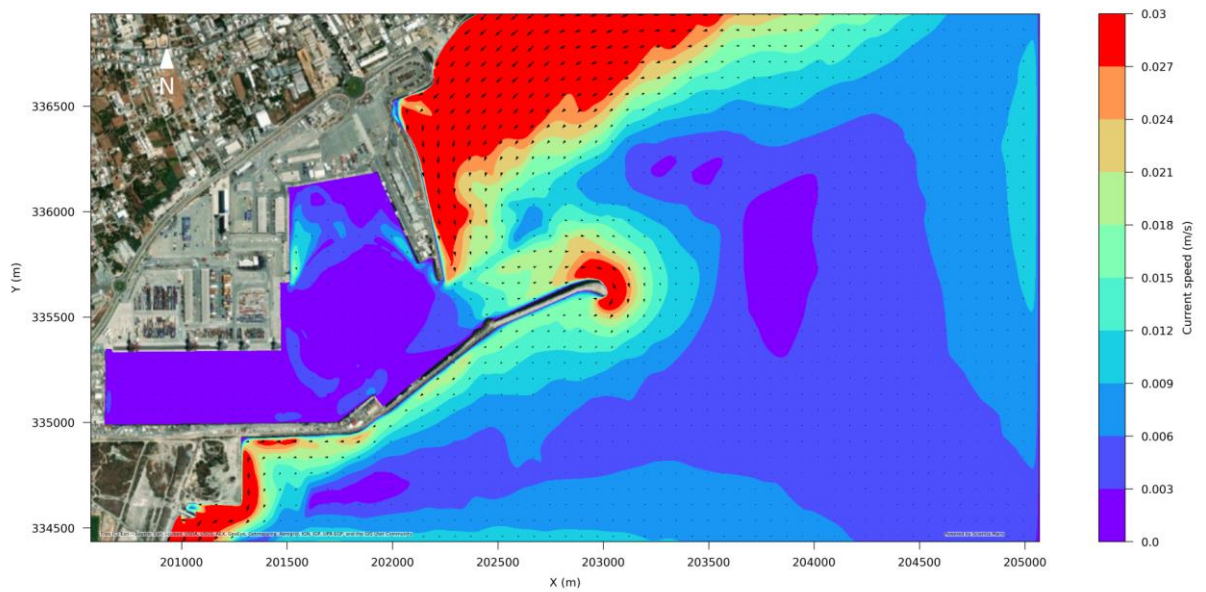
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 240°



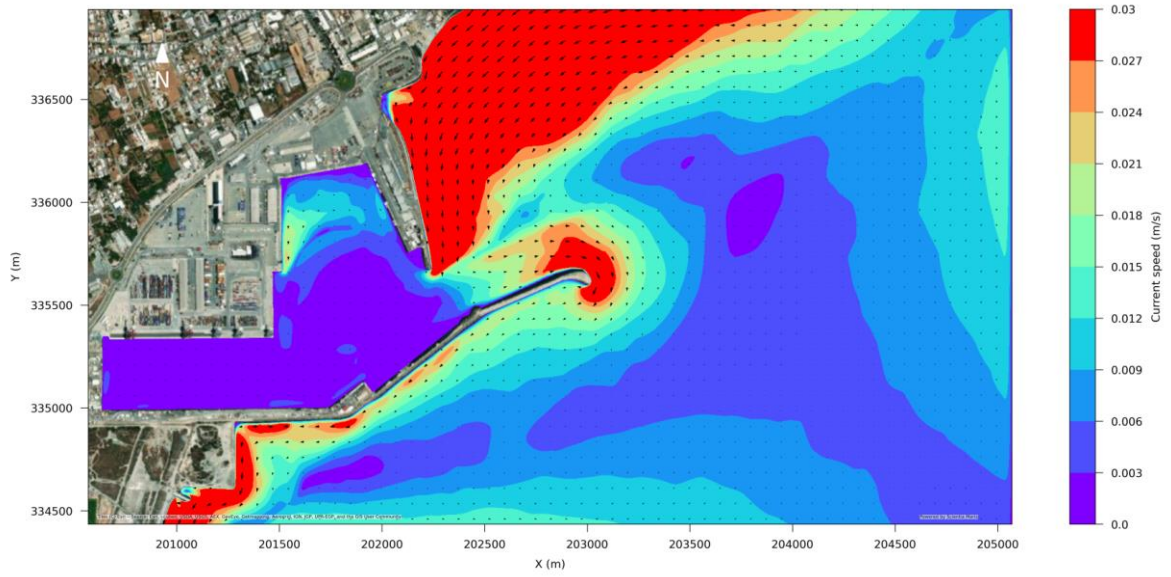
Άνεμος έντασης 6 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 270°



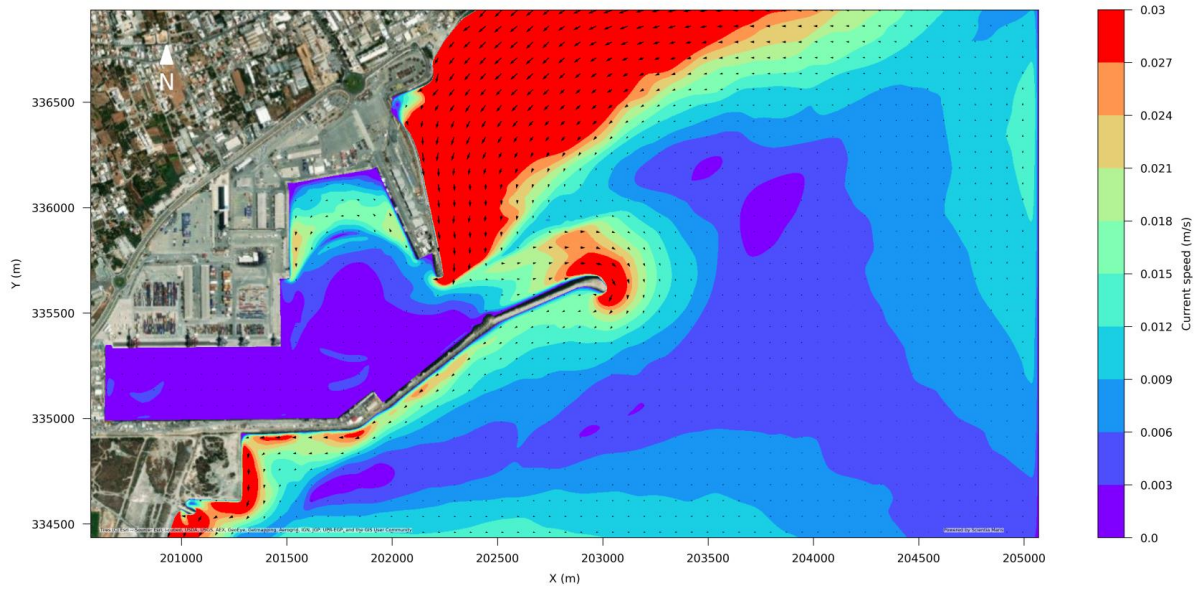
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 0°



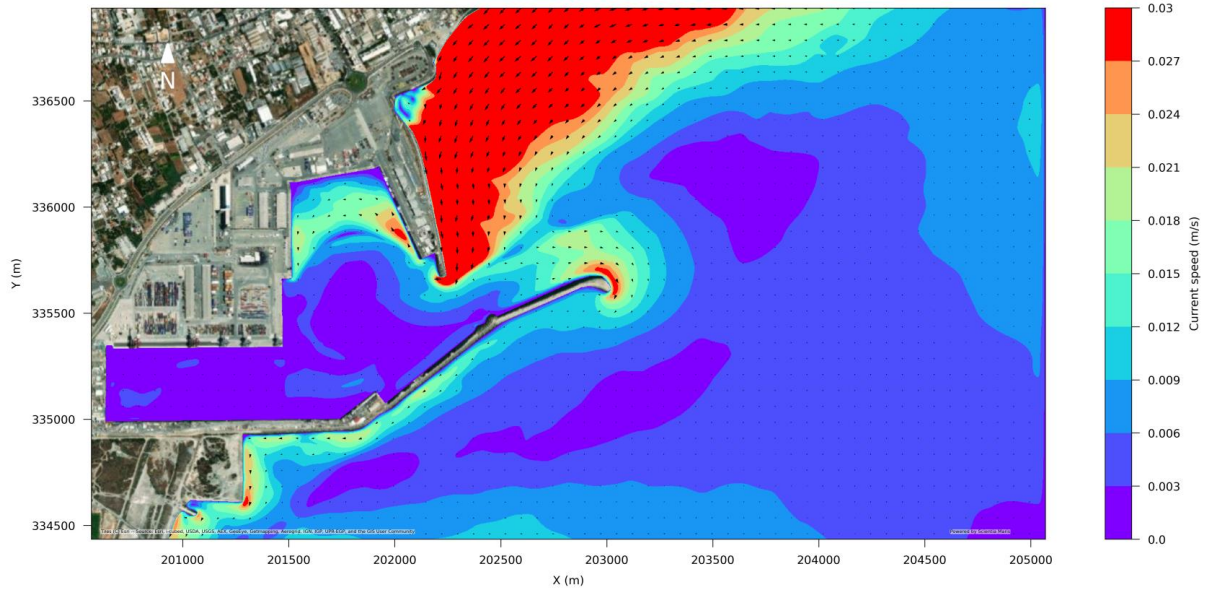
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 30°



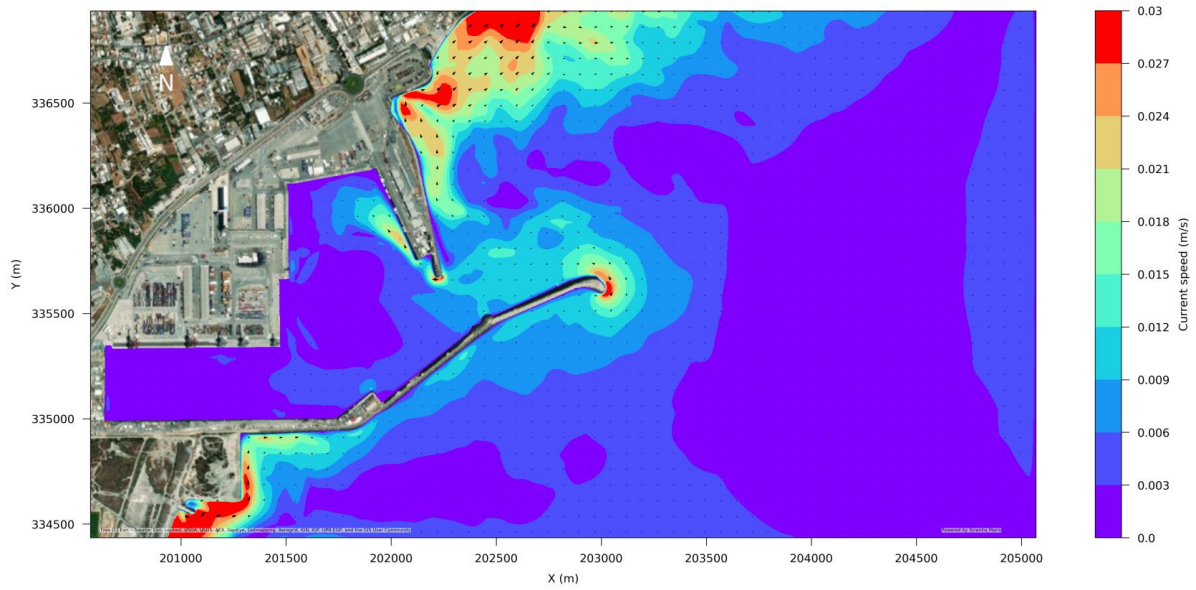
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 60°



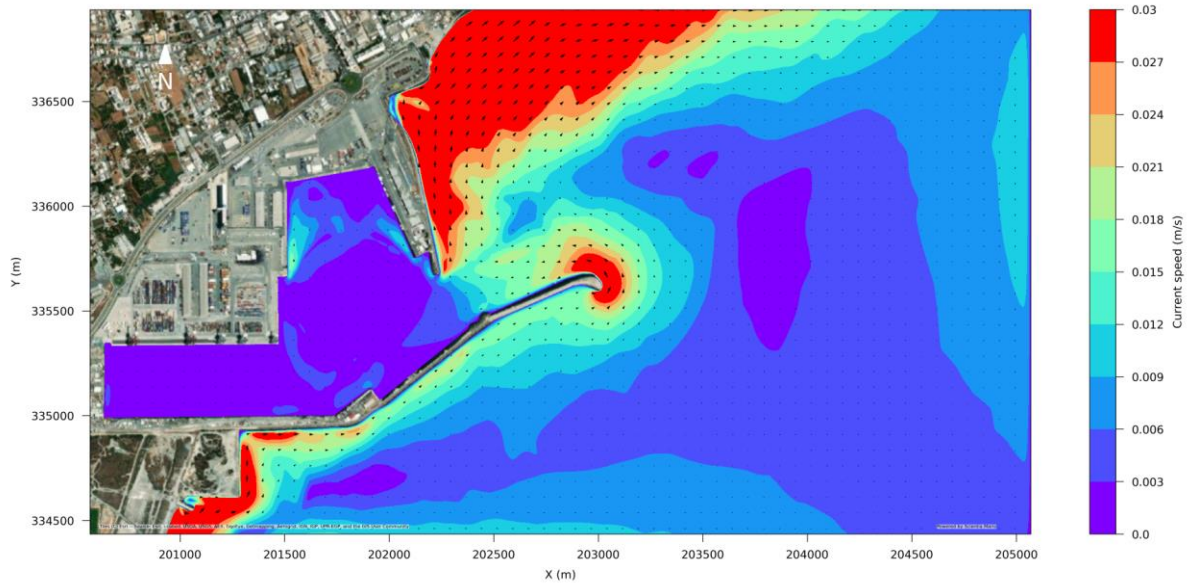
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 90°



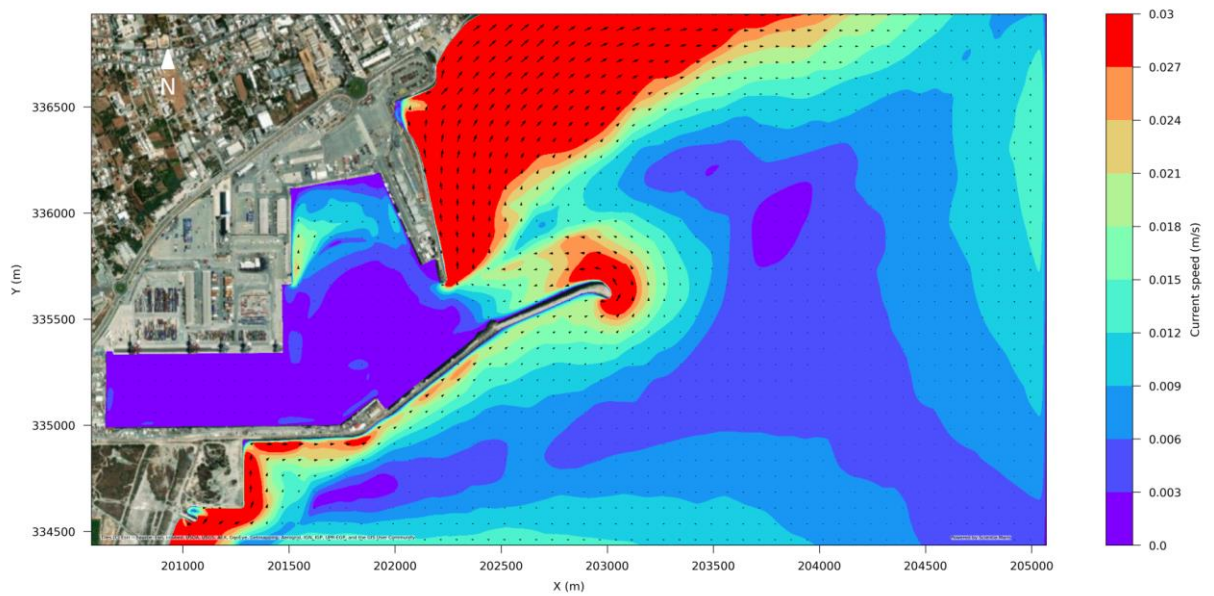
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 150°



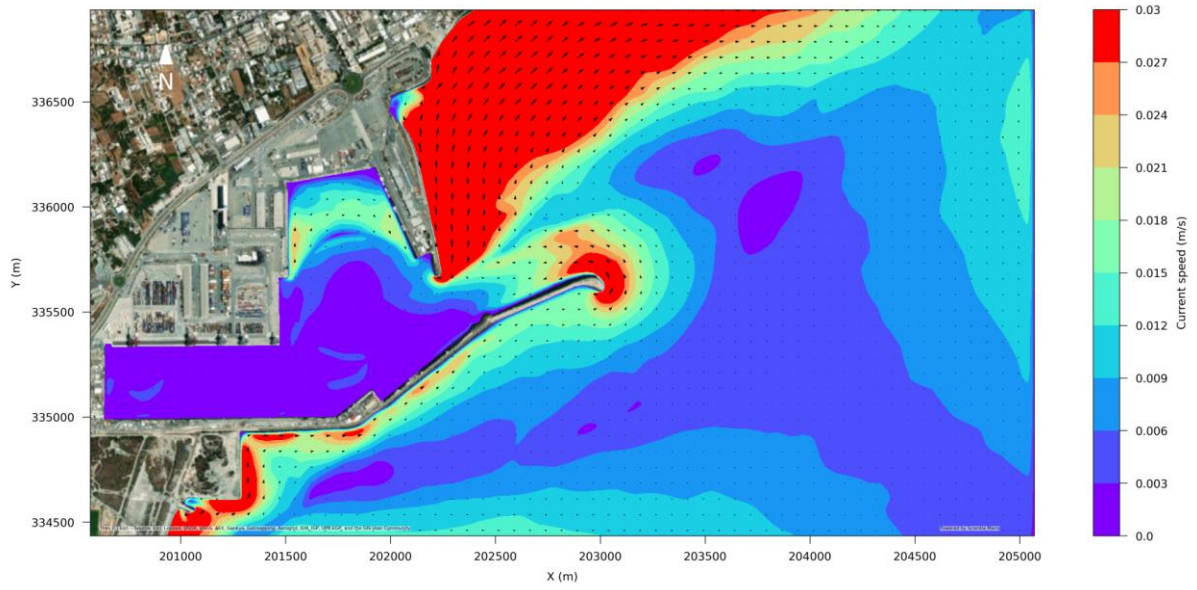
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 180°



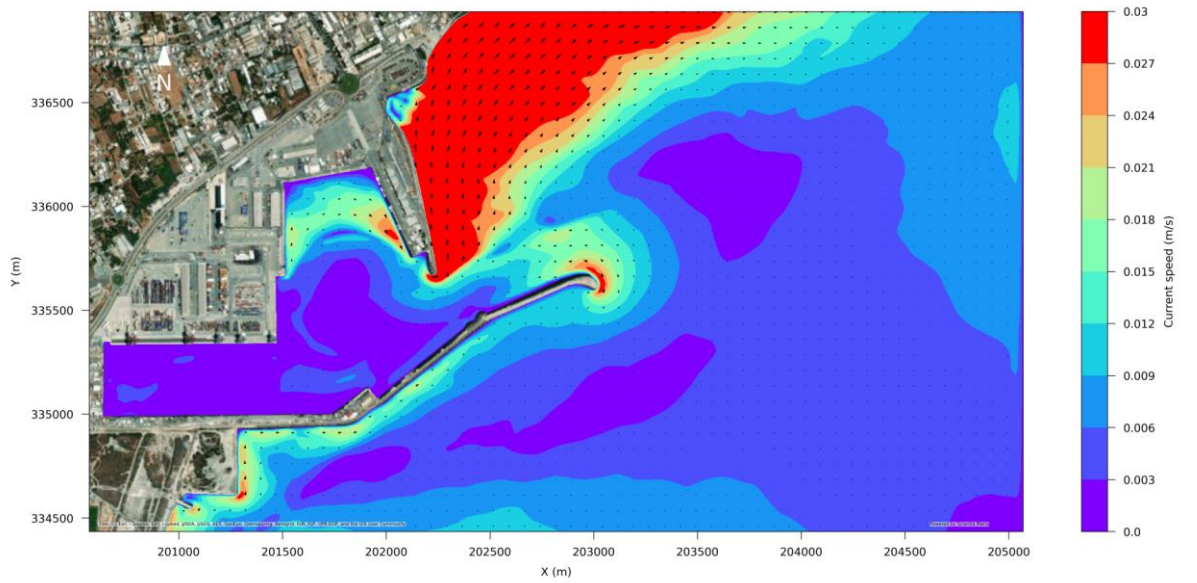
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 210°



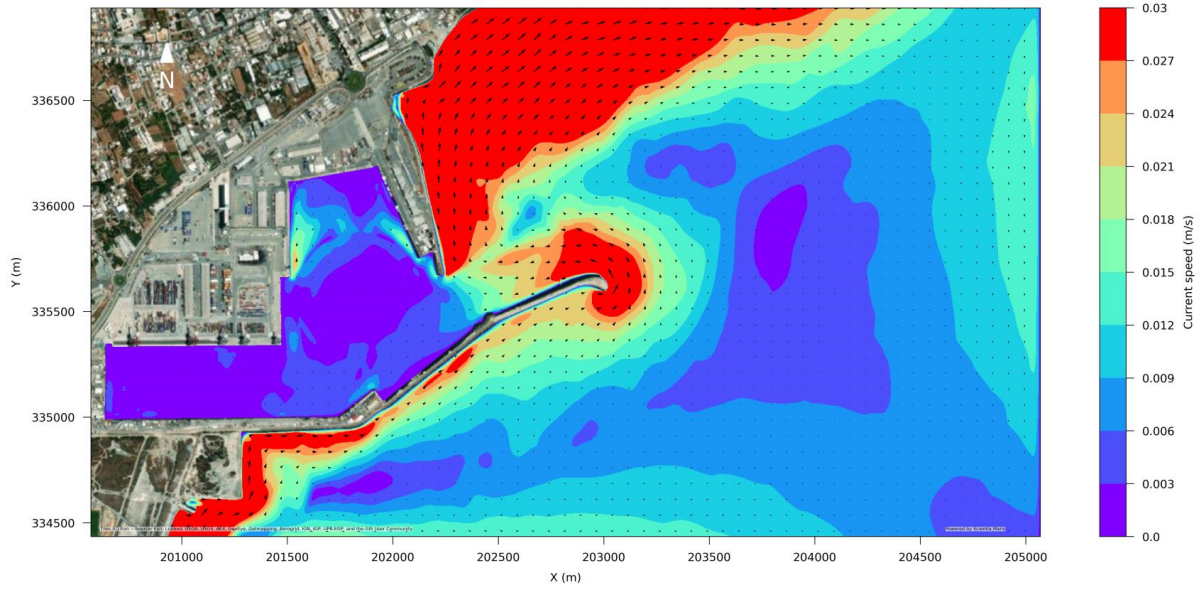
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 240°



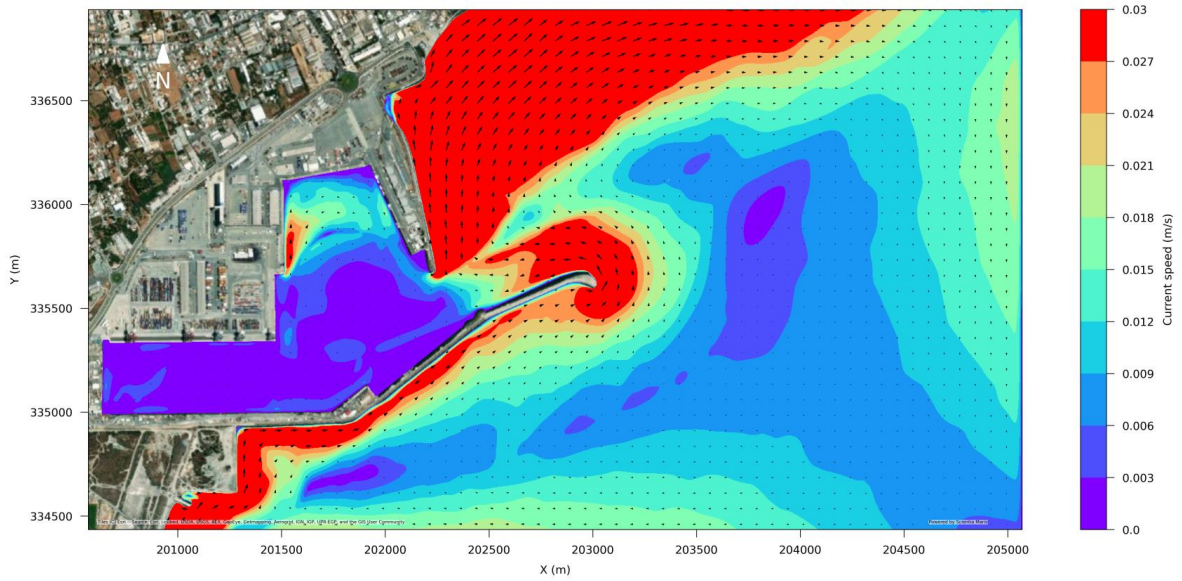
Άνεμος έντασης 7 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 270°



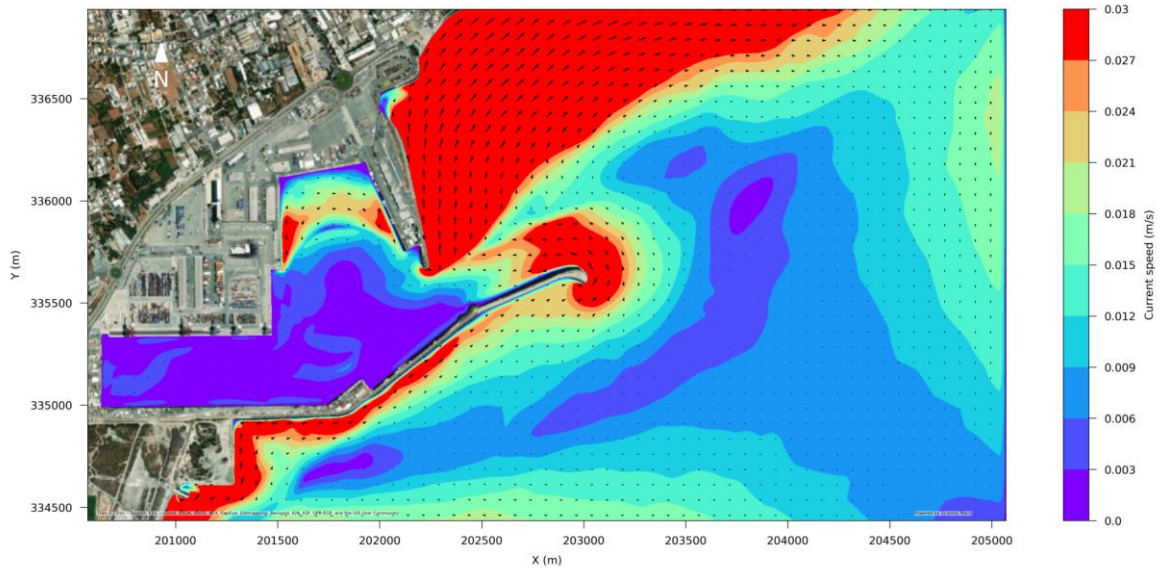
Άνεμος έντασης 8 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 180°



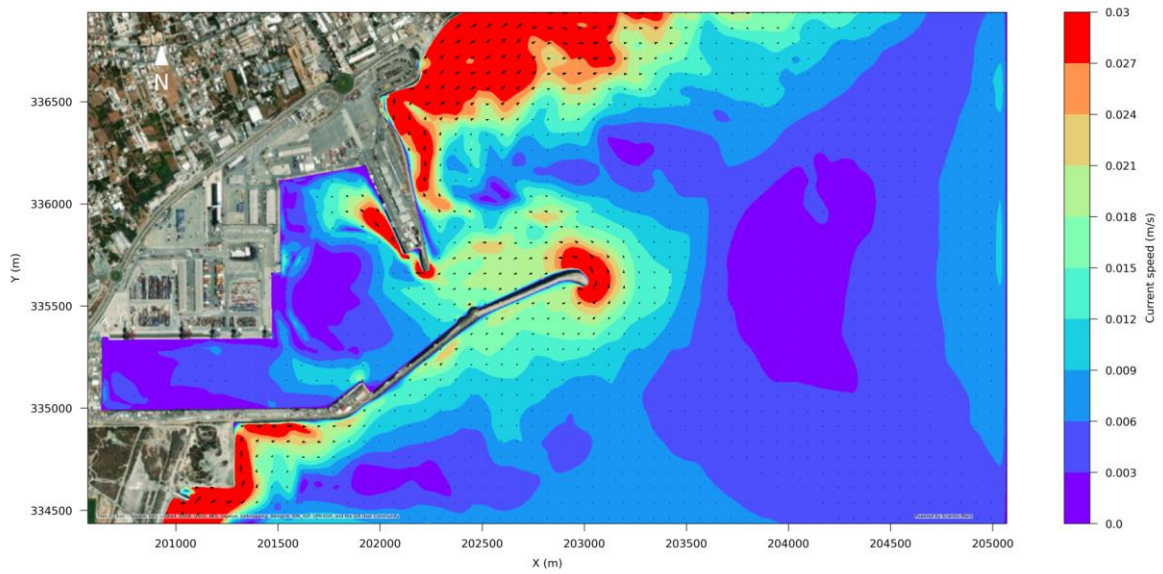
Άνεμος έντασης 8 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 210°



Άνεμος έντασης 8 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 240°



Άνεμος έντασης 9 BF και κατεύθυνσης εκ Βορρά 150°



Παράρτημα Β

Υπολογισμός χρόνων ανανέωσης υπολιμενολεκανών
και συνολικής λιμενολεκάνης

Κεντρική υπολιμενολεκάνη – Ιστορικά δεδομένα

- = Unavailable data

Line 1		History															
		Direction															
BF		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	3.9402	m ³ /s
	Percentage	0.098%	1.832%	0.538%	0.167%	0.032%	0.014%	0.091%	1.551%	3.687%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	22.7089	d
	Q x P	0.0008	0.1347	0.0832	0.0364	0.0074	0.0025	0.0086	0.0356	0.0064	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	-	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	3.9320	m ³ /s
	Percentage	0.009%	0.242%	0.048%	0.007%	-	0.007%	0.048%	0.267%	0.976%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	22.7560	d
	Q x P	0.0001	0.0278	0.0117	0.0024	-	0.0021	0.0074	0.0094	0.0022	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.6744	16.4855	-	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	4.0364	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.011%	-	-	-	-	0.005%	0.055%	0.075%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	22.1677	d
	Q x P	0.0000	0.0018	-	-	-	-	0.0012	0.0028	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	4.8710	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.011%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	18.3696	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	0.0000	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0009	0.1643	0.0949	0.0389	0.0074	0.0046	0.0171	0.0485	0.0088	-	-	-	→	Sum =	0.3854	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8474	7.8822	16.1939	22.3540	23.0146	22.0234	11.8853	2.5745	0.1848	-	-	-			η	
T _{weighted average} Direction (d) =		105.5944	11.3518	5.5254	4.0027	3.8878	4.0628	7.5284	34.7549	484.0811	-	-	-			33301.6814	m ³ /d
															V _{sub basin} =	7730849.0719	m ³
															T _{renewal} =	232.1459	d

Κεντρική υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Line 1		RCP 4.5 (2041-2070)															
		Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.6515	m ³ /s
	Percentage	0.095%	1.559%	0.499%	0.150%	0.020%	0.029%	0.128%	1.868%	3.776%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	24.5043	d
	Q x P	0.0008	0.1146	0.0772	0.0327	0.0046	0.0053	0.0121	0.0429	0.0065	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	37.6005	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.0946	m ³ /s
	Percentage	0.007%	0.274%	0.053%	0.015%	0.007%	0.007%	0.042%	0.269%	1.104%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	21.8528	d
	Q x P	0.0001	0.0315	0.0129	0.0052	0.0026	0.0021	0.0064	0.0095	0.0024	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	16.4855	35.0683	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	5.0317	m ³ /s
	Percentage	-	0.015%	0.002%	-	-	-	0.004%	0.038%	0.064%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	17.7829	d
	Q x P	-	0.0025	0.0007	-	-	-	0.0009	0.0019	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	33.4558	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	11.9155	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	0.002%	0.004%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	7.5093	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	0.0007	0.0003	0.0000	-	-	-				
9	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	87.1889	-	-	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	87.1889	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	0.002%	-	-	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.0262	d
	Q x P	-	-	-	-	-	0.0017	-	-	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0008	0.1486	0.0908	0.0380	0.0072	0.0091	0.0201	0.0545	0.0092	-	-	-	→	Sum =	0.3783	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8239	8.0413	16.3874	23.0195	26.7962	20.4037	11.4343	2.5018	0.1852	-	-	-			η	
T _{weighted average} /Direction (d) =		108.6007	11.1272	5.4601	3.8870	3.3392	4.3853	7.8254	35.7646	483.1720	-	-	-			32688.1732	m ³ /d
T (% historical change)		0.0285%	-0.0198%	-0.0118%	-0.0289%	-0.1411%	0.0794%	0.0394%	0.0291%	-0.0019%	-	-	-	→	Average =	-0.0030%	
Q (% historical change)		-0.0277%	0.0202%	0.0119%	0.0298%	0.1643%	-0.0735%	-0.0379%	-0.0282%	0.0019%	-	-	-	→	Average =	0.0067%	
														V _{sub basin} =	7730849.0719	m ³	
														T _{renewal} =	236.5029	d	

Κεντρική υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Line 1		RCP 4.5 (2071-2100)																
		Direction																
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°					
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.8727	m ³ /s	
	Percentage	0.071%	1.663%	0.554%	0.146%	0.027%	0.016%	0.080%	1.889%	3.466%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	23.1048	d	
	Q x P	0.0006	0.1223	0.0857	0.0319	0.0062	0.0029	0.0076	0.0433	0.0060	-	-	-					
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	37.6005	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.9906	m ³ /s	
	Percentage	0.011%	0.272%	0.046%	0.005%	0.007%	0.007%	0.041%	0.278%	1.022%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	22.4218	d	
	Q x P	0.0001	0.0313	0.0112	0.0017	0.0026	0.0021	0.0063	0.0098	0.0023	-	-	-					
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	16.4855	35.0683	51.1500	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	7.3514	m ³ /s	
	Percentage	-	0.005%	0.005%	0.002%	-	-	0.002%	0.018%	0.037%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	12.1715	d	
	Q x P	-	0.0008	0.0018	0.0010	-	-	0.0005	0.0009	0.0001	-	-	-					
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.1930	m ³ /s	
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.007%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	21.3398	d	
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0005	0.0000	-	-	-					
Sum(Q x P) =		0.0007	0.1544	0.0986	0.0346	0.0088	0.0050	0.0143	0.0545	0.0084	-	-	-	→	Sum =	0.3794	m ³ /s	
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8545	7.9574	16.3035	22.6382	26.0176	21.6854	11.6312	2.4872	0.1849	-	-	-			η		
T _{weighted average} /Direction (d) =		104.7152	11.2446	5.4882	3.9525	3.4391	4.1262	7.6929	35.9747	483.9121	-	-	-			32778.6970	m ³ /d	
T (% historical change)		-0.0083%	-0.0095%	-0.0067%	-0.0126%	-0.1154%	0.0156%	0.0218%	0.0351%	-0.0003%	-	-	-	→	Average =	-0.0089%		
Q (% historical change)		0.0084%	0.0095%	0.0068%	0.0127%	0.1305%	-0.0153%	-0.0214%	-0.0339%	0.0003%	-	-	-	→	Average =	0.0108%		
																V _{sub basin} =	7730849.0719	m ³
																T _{renewal} =	235.8498	d

Κεντρική υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Line 1		RCP 8.5 (2041-2070)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.7243	m ³ /s
	Percentage	0.073%	1.742%	0.556%	0.144%	0.018%	0.018%	0.079%	1.881%	3.833%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	24.0256	d
	Q x P	0.0006	0.1281	0.0860	0.0314	0.0041	0.0033	0.0075	0.0432	0.0066	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	-	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.6461	m ³ /s
	Percentage	0.011%	0.258%	0.042%	0.011%	-	0.007%	0.024%	0.252%	1.064%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	24.5409	d
	Q x P	0.0001	0.0296	0.0102	0.0038	-	0.0021	0.0037	0.0089	0.0023	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	13.9660	16.4855	-	-	-	44.9823	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	5.1606	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.009%	-	-	-	0.002%	0.009%	0.038%	0.073%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	17.3386	d
	Q x P	0.0003	0.0015	-	-	-	0.0009	0.0021	0.0019	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	6.9049	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.004%	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	12.9586	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0003	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0010	0.1592	0.0962	0.0353	0.0041	0.0063	0.0132	0.0542	0.0092	-	-	-	→	Sum =	0.3787	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		1.1579	7.9260	16.0897	22.7576	23.0146	23.1482	11.8108	2.4926	0.1849	-	-	-			ή	
T _{weighted average} /Direction (d) =		77.2725	11.2890	5.5612	3.9318	3.8878	3.8654	7.5759	35.8966	484.0083	-	-	-			32723.5271	m ³ /d
T (% historical change)		-0.2682%	-0.0055%	0.0065%	-0.0177%	0.0000%	-0.0486%	0.0063%	0.0329%	-0.0002%	-	-	-	→	Average =	-0.0327%	
Q (% historical change)		0.3665%	0.0056%	-0.0064%	0.0181%	0.0000%	0.0511%	-0.0063%	-0.0318%	0.0002%	-	-	-	→	Average =	0.0441%	
															V _{sub basin} =	7730849.0719	m ³
															T _{renewal} =	236.2474	d

Κεντρική υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Line 1		RCP 8.5 (2071-2100)																
		Direction																
BF		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270°	300°	330°					
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.5262	m ³ /s	
	Percentage	0.091%	1.506%	0.463%	0.132%	0.030%	0.021%	0.064%	1.839%	3.717%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	25.3751	d	
	Q x P	0.0007	0.1108	0.0716	0.0288	0.0069	0.0038	0.0060	0.0422	0.0064	-	-	-					
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	37.6005	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.7721	m ³ /s	
	Percentage	0.014%	0.230%	0.048%	0.005%	0.007%	0.007%	0.021%	0.278%	0.979%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	23.7209	d	
	Q x P	0.0002	0.0264	0.0117	0.0017	0.0026	0.0021	0.0032	0.0098	0.0022	-	-	-					
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	16.4855	-	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.3281	m ³ /s	
	Percentage	-	0.014%	-	-	-	-	0.002%	0.021%	0.055%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	20.6735	d	
	Q x P	-	0.0023	-	-	-	-	0.0005	0.0011	0.0002	-	-	-					
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	5.0453	m ³ /s	
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.005%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	17.7348	d	
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0003	0.0000	-	-	-					
	Sum(Q x P) =	0.0009	0.1395	0.0833	0.0306	0.0095	0.0059	0.0097	0.0534	0.0088	-	-	-	→	Sum =	0.3415	m ³ /s	
	Q _{weighted average} (m ³ /s) =	0.8541	7.9706	16.3011	22.3050	25.7741	21.0516	11.1812	2.4911	0.1842	-	-	-			ή		
	T _{weighted average} /Direction (d) =	104.7617	11.2259	5.4890	4.0115	3.4716	4.2504	8.0025	35.9186	485.7194	-	-	-			29508.9004	m ³ /d	
	T (% historical change)	-0.0079%	-0.0111%	-0.0066%	0.0022%	-0.1071%	0.0462%	0.0630%	0.0335%	0.0034%	-	-	-	→	Average =	0.0017%		
	Q (% historical change)	0.0079%	0.0112%	0.0066%	-0.0022%	0.1199%	-0.0441%	-0.0592%	-0.0324%	-0.0034%	-	-	-	→	Average =	0.0005%		
																V _{sub basin} =	7730849.0719	m ³
																T _{renewal} =	261.9836	d

Βόρεια υπολιμενολεκάνη – Ιστορικά δεδομένα

- = Unavailable data

Line 2		History Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	5.5192	6.9872	8.8126	10.4089	9.1495	6.3528	8.4627	15.1699	19.0426	17.0693	11.5763	6.4410	}	Q _{weighted average} /BF =	14.5794	m ³ /s
	Percentage	0.098%	1.832%	0.538%	0.167%	0.032%	0.014%	0.091%	1.551%	3.687%	0.856%	0.007%	0.005%		T _{weighted average} /BF =	1.9017	d
	Q x P	0.0054	0.1280	0.0474	0.0174	0.0029	0.0009	0.0077	0.2353	0.7021	0.1461	0.0008	0.0003				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	9.2164	11.6274	14.2644	16.8916	-	10.5965	14.0715	25.6034	30.9993	27.7692	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	26.0131	m ³ /s
	Percentage	0.009%	0.242%	0.048%	0.007%	-	0.007%	0.048%	0.267%	0.976%	0.105%	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.0658	d
	Q x P	0.0008	0.0281	0.0068	0.0012	-	0.0007	0.0068	0.0684	0.3026	0.0292	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	13.9660	17.6191	-	-	-	-	21.3096	40.1744	46.2185	41.3517	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	40.5973	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.011%	-	-	-	-	0.005%	0.055%	0.075%	0.009%	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.6829	d
	Q x P	0.0003	0.0019	-	-	-	-	0.0011	0.0221	0.0347	0.0037	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	57.2966	65.1503	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	59.7508	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.011%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.4640	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0063	0.0033	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0065	0.1581	0.0543	0.0186	0.0029	0.0016	0.0155	0.3320	1.0426	0.1790	0.0008	0.0003	→	Sum =	1.8123	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		5.9868	7.5819	9.2591	10.6697	9.1495	7.7674	10.7783	17.6245	21.9814	18.4528	11.5763	6.4410			η	
T _{weighted average} /Direction (d) =		4.6311	3.6568	2.9944	2.5985	3.0303	3.5695	2.5723	1.5731	1.2613	1.5025	2.3950	4.3045			156579.4781	m ³ /d
															V _{sub basin} =	2395485.7675	m ³
															T _{renewal} =	15.2988	d

Βόρεια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Line 2		RCP 4.5 (2041-2070)															
		Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	5.5192	6.9872	8.8126	10.4089	9.1495	6.3528	8.4627	15.1699	19.0426	17.0693	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	14.8579	m ³ /s
	Percentage	0.095%	1.559%	0.499%	0.150%	0.020%	0.029%	0.128%	1.868%	3.776%	0.740%	-	-		T _{weighted average} BF=	1.8660	d
	Q x P	0.0052	0.1089	0.0440	0.0156	0.0018	0.0018	0.0108	0.2834	0.7190	0.1263	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	9.2164	11.6274	14.2644	16.8916	15.1308	10.5965	14.0715	25.6034	30.9993	27.7692	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	26.0653	m ³ /s
	Percentage	0.007%	0.274%	0.053%	0.015%	0.007%	0.007%	0.042%	0.269%	1.104%	0.119%	-	-		T _{weighted average} BF=	1.0637	d
	Q x P	0.0006	0.0319	0.0076	0.0025	0.0011	0.0007	0.0059	0.0689	0.3422	0.0330	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	17.6191	20.9376	-	-	-	21.3096	40.1744	46.2185	41.3517	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	39.7589	m ³ /s
	Percentage	-	0.015%	0.002%	-	-	-	0.004%	0.038%	0.064%	0.009%	-	-		T _{weighted average} BF=	0.6973	d
	Q x P	-	0.0026	0.0004	-	-	-	0.0009	0.0153	0.0296	0.0037	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	31.0259	57.2966	65.1503	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	52.6923	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	0.002%	0.004%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} BF=	0.5262	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	0.0006	0.0023	0.0013	-	-	-				
9	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	35.9993	-	-	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	35.9993	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	0.002%	-	-	-	-	-	-		T _{weighted average} BF=	0.7702	d
	Q x P	-	-	-	-	-	0.0007	-	-	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0059	0.1434	0.0520	0.0181	0.0029	0.0033	0.0182	0.3698	1.0922	0.1631	-	-	→	Sum=	1.8689	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		5.7729	7.7615	9.3779	10.9983	10.7002	7.1780	10.3495	16.9713	22.0818	18.7880	-	-			η	
T _{weighted average} Direction (d) =		4.8027	3.5722	2.9565	2.5209	2.5911	3.8626	2.6789	1.6337	1.2556	1.4757	-	-			161471.1201	m ³ /d
T (% historical change)		0.0370%	-0.0231%	-0.0127%	-0.0299%	-0.1449%	0.0821%	0.0414%	0.0385%	-0.0045%	-0.0178%	-	-	→	Average=	-0.0034%	
Q (% historical change)		-0.0357%	0.0237%	0.0128%	0.0308%	0.1695%	-0.0759%	-0.0398%	-0.0371%	0.0046%	0.0182%	-	-	→	Average=	0.0071%	
															V _{sub basin} =	2395485.7675	m ³
															T _{renewal} =	14.8354	d

Βόρεια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Line 2		RCP 4.5 (2071-2100)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	5.5192	6.9872	8.8126	10.4089	9.1495	6.3528	8.4627	15.1699	19.0426	17.0693	11.5763	6.4410	}	Q _{weighted average} /BF =	14.6323	m ³ /s
	Percentage	0.071%	1.663%	0.554%	0.146%	0.027%	0.016%	0.080%	1.889%	3.466%	0.710%	0.005%	0.005%		T _{weighted average} /BF =	1.8948	d
	Q x P	0.0039	0.1162	0.0488	0.0152	0.0025	0.0010	0.0068	0.2866	0.6600	0.1212	0.0006	0.0003				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	9.2164	11.6274	14.2644	16.8916	15.1308	10.5965	14.0715	25.6034	30.9993	27.7692	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	25.9342	m ³ /s
	Percentage	0.011%	0.272%	0.046%	0.005%	0.007%	0.007%	0.041%	0.278%	1.022%	0.132%	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.0691	d
	Q x P	0.0010	0.0316	0.0066	0.0008	0.0011	0.0007	0.0058	0.0712	0.3168	0.0367	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	17.6191	20.9376	25.0612	-	-	21.3096	40.1744	46.2185	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	39.4021	m ³ /s
	Percentage	-	0.005%	0.005%	0.002%	-	-	0.002%	0.018%	0.037%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.7037	d
	Q x P	-	0.0009	0.0010	0.0005	-	-	0.0004	0.0072	0.0171	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	31.0259	57.2966	65.1503	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	60.5689	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.007%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.4578	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0040	0.0033	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0049	0.1487	0.0564	0.0165	0.0035	0.0018	0.0130	0.3690	0.9972	0.1578	0.0006	-	→	Sum =	1.7695	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		6.0152	7.6652	9.3273	10.8123	10.3809	7.6444	10.5412	16.8330	22.0130	18.7467	11.5763	6.4410			η	
T _{weighted average} /Direction (d) =		4.6093	3.6171	2.9725	2.5643	2.6708	3.6269	2.6302	1.6471	1.2595	1.4790	2.3950	4.3045			152881.0606	m ³ /d
T (% historical change)		-0.0047%	-0.0109%	-0.0073%	-0.0132%	-0.1186%	0.0161%	0.0225%	0.0470%	-0.0014%	-0.0157%	0.0000%	0.0000%	→	Average =	-0.0072%	
Q (% historical change)		0.0047%	0.0110%	0.0074%	0.0134%	0.1346%	-0.0158%	-0.0220%	-0.0449%	0.0014%	0.0159%	0.0000%	0.0000%	→	Average =	0.0088%	
															V _{sub basin} =	2395485.7675	m ³
															T _{renewal} =	15.6690	d

Βόρεια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Line 2	RCP 8.5 (2041-2070)																
	Direction																
BF	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°					
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	5.5192	6.9872	8.8126	10.4089	9.1495	6.3528	8.4627	15.1699	19.0426	17.0693	11.5763	6.4410	}	Q _{weighted average} /BF =	14.7536	m ³ /s
	Percentage	0.073%	1.742%	0.556%	0.144%	0.018%	0.018%	0.079%	1.881%	3.833%	0.726%	0.002%	0.002%		T _{weighted average} /BF =	1.8792	d
	Q x P	0.0040	0.1217	0.0490	0.0150	0.0016	0.0011	0.0067	0.2853	0.7299	0.1239	0.0002	0.0001				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	9.2164	11.6274	14.2644	16.8916	-	10.5965	14.0715	25.6034	30.9993	27.7692	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	26.2968	m ³ /s
	Percentage	0.011%	0.258%	0.042%	0.011%	-	0.007%	0.024%	0.252%	1.064%	0.106%	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.0543	d
	Q x P	0.0010	0.0300	0.0060	0.0019	-	0.0007	0.0034	0.0645	0.3298	0.0294	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	13.9660	17.6191	-	-	-	17.8933	21.3096	40.1744	46.2185	41.3517	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	39.9804	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.009%	-	-	-	0.002%	0.009%	0.038%	0.073%	0.002%	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.6935	d
	Q x P	0.0003	0.0016	-	-	-	0.0004	0.0019	0.0153	0.0337	0.0008	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	31.0259	57.2966	65.1503	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	57.2966	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.004%	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.4839	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0023	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =	0.0053	0.1533	0.0550	0.0168	0.0016	0.0022	0.0120	0.3674	1.0935	0.1542	0.0002	0.0001	→	Sum =	1.8618	m ³ /s	
Q _{weighted average} (m ³ /s) =	6.0034	7.5858	9.1955	10.8690	9.1495	7.5411	10.6969	16.8931	22.0015	18.4325	11.5763	6.4410			η		
T _{weighted average} /Direction (d) =	4.6183	3.6549	3.0151	2.5509	3.0303	3.6766	2.5919	1.6412	1.2602	1.5042	2.3950	4.3045			160857.4264	m ³ /d	
T (% historical change)	-0.0028%	-0.0005%	0.0069%	-0.0183%	0.0000%	0.0300%	0.0076%	0.0433%	-0.0009%	0.0011%	0.0000%	0.0000%	→	Average =	0.0055%		
Q (% historical change)	0.0028%	0.0005%	-0.0069%	0.0187%	0.0000%	-0.0291%	-0.0076%	-0.0415%	0.0009%	-0.0011%	0.0000%	0.0000%	→	Average =	-0.0053%		
															V _{sub basin} =	2395485.7675	m ³
															T _{renewal} =	14.8920	d

Βόρεια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Line 2		RCP 8.5 (2071-2100)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	5.5192	6.9872	8.8126	10.4089	9.1495	6.3528	8.4627	15.1699	19.0426	17.0693	11.5763	6.4410	}	Q _{weighted average} /BF =	14.9312	m ³ /s
	Percentage	0.091%	1.506%	0.463%	0.132%	0.030%	0.021%	0.064%	1.839%	3.717%	0.634%	0.005%	0.005%		T _{weighted average} /BF =	1.8569	d
	Q x P	0.0050	0.1052	0.0408	0.0137	0.0027	0.0013	0.0054	0.2790	0.7078	0.1082	0.0006	0.0003				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	9.2164	11.6274	14.2644	16.8916	15.1308	10.5965	14.0715	25.6034	30.9993	27.7692	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	26.2260	m ³ /s
	Percentage	0.014%	0.230%	0.048%	0.005%	0.007%	0.007%	0.021%	0.278%	0.979%	0.103%	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.0572	d
	Q x P	0.0013	0.0267	0.0068	0.0008	0.0011	0.0007	0.0030	0.0712	0.3035	0.0286	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	17.6191	-	-	-	-	21.3096	40.1744	46.2185	41.3517	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	39.9752	m ³ /s
	Percentage	-	0.014%	-	-	-	-	0.002%	0.021%	0.055%	0.002%	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.6936	d
	Q x P	-	0.0025	-	-	-	-	0.0004	0.0084	0.0254	0.0008	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	57.2966	65.1503	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	59.5405	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	0.005%	0.002%	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	0.4657	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	0.0029	0.0013	-	-	-	-				
	Sum(Q x P) =	0.0063	0.1344	0.0476	0.0146	0.0038	0.0021	0.0088	0.3615	1.0380	0.1376	0.0006	0.0003	→	Sum =	1.7557	m ³ /s
	Q _{weighted average} (m ³ /s) =	6.0122	7.6821	9.3247	10.6455	10.2811	7.4137	10.1118	16.8667	21.8393	18.6263	11.5763	6.4410			η	
	T _{weighted average} /Direction (d) =	4.6116	3.6091	2.9733	2.6044	2.6968	3.7397	2.7419	1.6438	1.2695	1.4885	2.3950	4.3045			151691.0512	m ³ /d
	T (% historical change)	-0.0042%	-0.0130%	-0.0070%	0.0023%	-0.1101%	0.0477%	0.0659%	0.0449%	0.0065%	-0.0093%	0.0000%	0.0000%	→	Average =	0.0020%	
	Q (% historical change)	0.0042%	0.0132%	0.0071%	-0.0023%	0.1237%	-0.0455%	-0.0618%	-0.0430%	-0.0065%	0.0094%	0.0000%	0.0000%	→	Average =	-0.0001%	
															V _{sub basin} =	2395485.7675	m ³
															T _{renewal} =	15.7919	d

Νότια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής Ιστορικά δεδομένα

- = Unavailable data

Line 3		History Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	0.9236	3.1009	4.6636	5.7501	5.2859	4.0948	2.3400	0.8370	0.2007	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	1.3295	m ³ /s
	Percentage	-	1.832%	0.538%	0.167%	0.032%	0.014%	0.091%	1.551%	3.687%	0.856%	-	-		T _{weighted average} /BF =	37.1370	d
	Q x P	-	0.0169	0.0167	0.0078	0.0018	0.0007	0.0037	0.0363	0.0309	0.0017	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.4141	4.8146	7.3934	-	8.6457	6.7076	3.9877	1.4886	0.3980	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	2.0982	m ³ /s
	Percentage	-	0.242%	0.048%	0.007%	-	0.007%	0.048%	0.267%	0.976%	0.105%	-	-		T _{weighted average} /BF =	23.5315	d
	Q x P	-	0.0034	0.0023	0.0005	-	0.0006	0.0032	0.0106	0.0145	0.0004	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.0977	1.9938	-	-	-	-	10.0293	6.2113	2.4133	0.7142	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.8277	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.011%	-	-	-	-	0.005%	0.055%	0.075%	0.009%	-	-		T _{weighted average} /BF =	12.8989	d
	Q x P	0.0000	0.0002	-	-	-	-	0.0005	0.0034	0.0018	0.0001	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	9.0758	3.6536	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	7.3814	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.011%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	6.6889	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0010	0.0002	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0000	0.0206	0.0190	0.0083	0.0018	0.0013	0.0074	0.0514	0.0474	0.0022	-	-	→	Sum =	0.1594	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.0977	0.9862	3.2412	4.7734	5.7501	6.4059	5.1718	2.7259	0.9989	0.2268	-	-		η		
T _{weighted average} /Direction (d) =		505.5044	50.0647	15.2327	10.3433	8.5863	7.7074	9.5465	18.1127	49.4250	217.6910	-	-			13774.8702	m ³ /d
															V _{sub basin} =	4265807.8181	m ³
															T _{renewal} =	309.6804	d

Νότια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Line 3		RCP 4.5 (2041-2070)															
		Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	0.9236	3.1009	4.6636	5.7501	5.2859	4.0948	2.3400	0.8370	0.2007	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	1.3866	m ³ /s
	Percentage	-	1.559%	0.499%	0.150%	0.020%	0.029%	0.128%	1.868%	3.776%	0.740%	-	-		T _{weighted average} /BF =	35.6065	d
	Q x P	-	0.0144	0.0155	0.0070	0.0012	0.0015	0.0052	0.0437	0.0316	0.0015	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.4141	4.8146	7.3934	9.3522	8.6457	6.7076	3.9877	1.4886	0.3980	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	2.0765	m ³ /s
	Percentage	-	0.274%	0.053%	0.015%	0.007%	0.007%	0.042%	0.269%	1.104%	0.119%	-	-		T _{weighted average} /BF =	23.7766	d
	Q x P	-	0.0039	0.0026	0.0011	0.0007	0.0006	0.0028	0.0107	0.0164	0.0005	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.9938	6.9292	-	-	-	10.0293	6.2113	2.4133	0.7142	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.6424	m ³ /s
	Percentage	-	0.015%	0.002%	-	-	-	0.004%	0.038%	0.064%	0.009%	-	-		T _{weighted average} /BF =	13.5552	d
	Q x P	-	0.0003	0.0001	-	-	-	0.0004	0.0024	0.0015	0.0001	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	14.2506	9.0758	3.6536	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	9.0140	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	0.002%	0.004%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	5.4774	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	0.0003	0.0004	0.0001	-	-	-				
9	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	24.8820	-	-	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	24.8820	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	0.002%	-	-	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.9843	d
	Q x P	-	-	-	-	-	0.0005	-	-	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =		-	0.0186	0.0182	0.0081	0.0018	0.0026	0.0087	0.0572	0.0497	0.0020	-	-	→	Sum =	0.1669	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		-	1.0050	3.2786	4.9118	6.6840	5.9392	4.9686	2.6233	1.0039	0.2331	-	-			η	
T _{weighted average} /Direction (d) =		-	49.1265	15.0589	10.0519	7.3867	8.3130	9.9369	18.8208	49.1788	211.8512	-	-			14417.2052	m ³ /d
T (% historical change)		-	-0.0187%	-0.0114%	-0.0282%	-0.1397%	0.0786%	0.0409%	0.0391%	-0.0050%	-0.0268%	-	-	→	Average =	-0.0079%	
Q (% historical change)		-	0.0191%	0.0115%	0.0290%	0.1624%	-0.0728%	-0.0393%	-0.0376%	0.0050%	0.0276%	-	-	→	Average =	0.0116%	
															V _{sub basin} =	4265807.8181	m ³
															T _{renewal} =	295.8831	d

Νότια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Line 3		RCP 4.5 (2071-2100)															
		Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	0.9236	3.1009	4.6636	5.7501	5.2859	4.0948	2.3400	0.8370	0.2007	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	1.3994	m ³ /s
	Percentage	-	1.663%	0.554%	0.146%	0.027%	0.016%	0.080%	1.889%	3.466%	0.710%	-	-		T _{weighted average} /BF =	35.2826	d
	Q x P	-	0.0154	0.0172	0.0068	0.0016	0.0008	0.0033	0.0442	0.0290	0.0014	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.4141	4.8146	7.3934	9.3522	8.6457	6.7076	3.9877	1.4886	0.3980	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	2.0588	m ³ /s
	Percentage	-	0.272%	0.046%	0.005%	0.007%	0.007%	0.041%	0.278%	1.022%	0.132%	-	-		T _{weighted average} /BF =	23.9811	d
	Q x P	-	0.0038	0.0022	0.0004	0.0007	0.0006	0.0028	0.0111	0.0152	0.0005	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.9938	6.9292	10.7431	-	-	10.0293	6.2113	2.4133	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.1631	m ³ /s
	Percentage	-	0.005%	0.005%	0.002%	-	-	0.002%	0.018%	0.037%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	11.8596	d
	Q x P	-	0.0001	0.0003	0.0002	-	-	0.0002	0.0011	0.0009	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	9.0758	3.6536	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	6.8165	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.007%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	7.2431	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0006	0.0002	-	-	-				
Sum(Q x P) =		-	0.0193	0.0197	0.0074	0.0022	0.0015	0.0062	0.0570	0.0453	0.0020	-	-	→	Sum =	0.1606	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		-	0.9951	3.2628	4.8323	6.4918	6.3085	5.0623	2.6023	1.0000	0.2316	-	-			ή	
T _{weighted average} /Direction (d) =		-	49.6143	15.1320	10.2173	7.6055	7.8264	9.7531	18.9728	49.3751	213.1712	-	-			13877.0383	m ³ /d
T (% historical change)		-	-0.0090%	-0.0066%	-0.0122%	-0.1142%	0.0154%	0.0216%	0.0475%	-0.0010%	-0.0208%	-	-	→	Average =	-0.0088%	
Q (% historical change)		-	0.0091%	0.0067%	0.0123%	0.1290%	-0.0152%	-0.0212%	-0.0453%	0.0010%	0.0212%	-	-	→	Average =	0.0108%	
																V _{sub basin} =	4265807.8181 m ³
																T _{renewal} =	307.4005 d

Νότια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Line 3		RCP 8.5 (2041-2070)																
BF		Direction																
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°					
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	0.9236	3.1009	4.6636	5.7501	5.2859	4.0948	2.3400	0.8370	0.2007	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	1.3651	m ³ /s	
	Percentage	-	1.742%	0.556%	0.144%	0.018%	0.018%	0.079%	1.881%	3.833%	0.726%	-	-		T _{weighted average} /BF =	36.1670	d	
	Q x P	-	0.0161	0.0172	0.0067	0.0010	0.0010	0.0032	0.0440	0.0321	0.0015	-	-					
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.4141	4.8146	7.3934	-	8.6457	6.7076	3.9877	1.4886	0.3980	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	1.9846	m ³ /s	
	Percentage	-	0.258%	0.042%	0.011%	-	0.007%	0.024%	0.252%	1.064%	0.106%	-	-		T _{weighted average} /BF =	24.8784	d	
	Q x P	-	0.0036	0.0020	0.0008	-	0.0006	0.0016	0.0100	0.0158	0.0004	-	-					
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.0977	1.9938	-	-	-	12.9752	10.0293	6.2113	2.4133	0.7142	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.0591	m ³ /s	
	Percentage	0.002%	0.009%	-	-	-	0.002%	0.009%	0.038%	0.073%	0.002%	-	-		T _{weighted average} /BF =	12.1634	d	
	Q x P	0.0000	0.0002	-	-	-	0.0003	0.0009	0.0024	0.0018	0.0000	-	-					
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	9.0758	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	9.0758	m ³ /s	
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.004%	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	5.4401	d	
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	-	-	-	-					
Sum(Q x P) =		0.0000	0.0199	0.0193	0.0075	0.0010	0.0018	0.0057	0.0568	0.0497	0.0019	-	-	→	Sum =	0.1637	m ³ /s	
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.0977	0.9914	3.2212	4.8573	5.7501	6.7266	5.1316	2.6109	0.9996	0.2270	-	-			η		
T _{weighted average} Direction (d) =		505.5044	49.8017	15.3273	10.1646	8.5863	7.3400	9.6213	18.9099	49.3918	217.5125	-	-			14141.2120	m ³ /d	
T (% historical change)		0.0000%	-0.0053%	0.0062%	-0.0173%	0.0000%	-0.0477%	0.0078%	0.0440%	-0.0007%	-0.0008%	-	-	→	Average =	-0.0014%		
Q (% historical change)		0.0000%	0.0053%	-0.0062%	0.0176%	0.0000%	0.0501%	-0.0078%	-0.0422%	0.0007%	0.0008%	-	-	→	Average =	0.0018%		
															V _{sub basin} =	4265807.8181	m ³	
															T _{renewal} =	301.6579	d	

Νότια υπολιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Line 3		RCP 8.5 (2071-2100)															
		Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	0.9236	3.1009	4.6636	5.7501	5.2859	4.0948	2.3400	0.8370	0.2007	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	1.3716	m ³ /s
	Percentage	-	1.506%	0.463%	0.132%	0.030%	0.021%	0.064%	1.839%	3.717%	0.634%	-	-		T _{weighted average} /BF =	35.9974	d
	Q x P	-	0.0139	0.0144	0.0062	0.0017	0.0011	0.0026	0.0430	0.0311	0.0013	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.4141	4.8146	7.3934	9.3522	8.6457	6.7076	3.9877	1.4886	0.3980	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	2.0662	m ³ /s
	Percentage	-	0.230%	0.048%	0.005%	0.007%	0.007%	0.021%	0.278%	0.979%	0.103%	-	-		T _{weighted average} /BF =	23.8960	d
	Q x P	-	0.0033	0.0023	0.0004	0.0007	0.0006	0.0014	0.0111	0.0146	0.0004	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	1.9938	-	-	-	-	10.0293	6.2113	2.4133	0.7142	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.3252	m ³ /s
	Percentage	-	0.014%	-	-	-	-	0.002%	0.021%	0.055%	0.002%	-	-		T _{weighted average} /BF =	14.8481	d
	Q x P	-	0.0003	-	-	-	-	0.0002	0.0013	0.0013	0.0000	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	9.0758	3.6536	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	7.5266	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.005%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	6.5598	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0005	0.0001	-	-	-				
Sum(Q x P) =		-	0.0174	0.0167	0.0065	0.0024	0.0017	0.0042	0.0559	0.0471	0.0017	-	-	→	Sum =	0.1536	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		-	0.9966	3.2618	4.7632	6.4316	6.1259	4.8619	2.6074	0.9906	0.2296	-	-			η	
T _{weighted average} /Direction (d) =		-	49.5398	15.1364	10.3654	7.6766	8.0597	10.1549	18.9355	49.8411	215.0670	-	-			13272.4539	m ³ /d
T (% historical change)		-	-0.0105%	-0.0063%	0.0021%	-0.1060%	0.0457%	0.0637%	0.0454%	0.0084%	-0.0121%	-	-	→	Average =	0.0034%	
Q (% historical change)		-	0.0106%	0.0064%	-0.0021%	0.1185%	-0.0437%	-0.0599%	-0.0435%	-0.0083%	0.0122%	-	-	→	Average =	-0.0011%	
															V _{sub basin} =	4265807.8181	m ³
															T _{renewal} =	321.4031	d

Συνολική λιμενολεκάνη – Ιστορικά δεδομένα

- = Unavailable data

Entire basin		History															
		Direction															
BF		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	3.9402	m ³ /s
	Percentage	0.098%	1.832%	0.538%	0.167%	0.032%	0.014%	0.091%	1.551%	3.687%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	42.2761	d
	Q x P	0.0008	0.1347	0.0832	0.0364	0.0074	0.0025	0.0086	0.0356	0.0064	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	-	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	3.9320	m ³ /s
	Percentage	0.009%	0.242%	0.048%	0.007%	-	0.007%	0.048%	0.267%	0.976%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	42.3638	d
	Q x P	0.0001	0.0278	0.0117	0.0024	-	0.0021	0.0074	0.0094	0.0022	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.6744	16.4855	-	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	4.0364	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.011%	-	-	-	-	0.005%	0.055%	0.075%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	41.2685	d
	Q x P	0.0000	0.0018	-	-	-	-	0.0012	0.0028	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	4.8710	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.011%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	34.1977	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	0.0000	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0009	0.1643	0.0949	0.0389	0.0074	0.0046	0.0171	0.0485	0.0088	-	-	-	→	Sum =	0.3854	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8474	7.8822	16.1939	22.3540	23.0146	22.0234	11.8853	2.5745	0.1848	-	-	-			η	
T _{weighted average} Direction (d) =		196.5799	21.1331	10.2863	7.4517	7.2378	7.5636	14.0153	64.7014	901.1901	-	-	-			33301.6814	m ³ /d
															V _{basin} =	14392142.66	m ³
															T _{renewal} =	432.1747	d

Συνολική λιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Entire basin		RCP 4.5 (2041-2070)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°					
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.6515	m ³ /s
	Percentage	0.095%	1.559%	0.499%	0.150%	0.020%	0.029%	0.128%	1.868%	3.776%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	45.6184	d
	Q x P	0.0008	0.1146	0.0772	0.0327	0.0046	0.0053	0.0121	0.0429	0.0065	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	37.6005	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.0946	m ³ /s
	Percentage	0.007%	0.274%	0.053%	0.015%	0.007%	0.007%	0.042%	0.269%	1.104%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	40.6823	d
	Q x P	0.0001	0.0315	0.0129	0.0052	0.0026	0.0021	0.0064	0.0095	0.0024	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	16.4855	35.0683	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	5.0317	m ³ /s
	Percentage	-	0.015%	0.002%	-	-	-	0.004%	0.038%	0.064%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	33.1055	d
	Q x P	-	0.0025	0.0007	-	-	-	0.0009	0.0019	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	33.4558	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	11.9155	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	0.002%	0.004%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	13.9798	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	0.0007	0.0003	0.0000	-	-	-				
9	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	87.1889	-	-	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	87.1889	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	0.002%	-	-	-	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	1.9105	d
	Q x P	-	-	-	-	-	0.0017	-	-	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0008	0.1486	0.0908	0.0380	0.0072	0.0091	0.0201	0.0545	0.0092	-	-	-	→	Sum =	0.3783	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8239	8.0413	16.3874	23.0195	26.7962	20.4037	11.4343	2.5018	0.1852	-	-	-			η	
T _{weighted average} Direction (d) =		202.1766	20.7149	10.1649	7.2363	6.2164	8.1640	14.5681	66.5813	899.4976	-	-	-	→		32688.1732	m ³ /d
T (% historical change)		0.0285%	-0.0198%	-0.0118%	-0.0289%	-0.1411%	0.0794%	0.0394%	0.0291%	-0.0019%	-	-	-	→	Average =	-0.0030%	
Q (% historical change)		-0.0277%	0.0202%	0.0119%	0.0298%	0.1643%	-0.0735%	-0.0379%	-0.0282%	0.0019%	-	-	-	→	Average =	0.0067%	
															V _{basin} =	14392142.66	m ³
															T _{renewal} =	440.2859	d

Συνολική λιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 4.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Entire basin		RCP 4.5 (2071-2100)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	3.8727	m ³ /s
	Percentage	0.071%	1.663%	0.554%	0.146%	0.027%	0.016%	0.080%	1.889%	3.466%	-	-	-		T _{weighted average} BF=	43.0132	d
	Q x P	0.0006	0.1223	0.0857	0.0319	0.0062	0.0029	0.0076	0.0433	0.0060	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	37.6005	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	3.9906	m ³ /s
	Percentage	0.011%	0.272%	0.046%	0.005%	0.007%	0.007%	0.041%	0.278%	1.022%	-	-	-		T _{weighted average} BF=	41.7416	d
	Q x P	0.0001	0.0313	0.0112	0.0017	0.0026	0.0021	0.0063	0.0098	0.0023	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	16.4855	35.0683	51.1500	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	7.3514	m ³ /s
	Percentage	-	0.005%	0.005%	0.002%	-	-	0.002%	0.018%	0.037%	-	-	-		T _{weighted average} BF=	22.6591	d
	Q x P	-	0.0008	0.0018	0.0010	-	-	0.0005	0.0009	0.0001	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF=	4.1930	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.007%	0.005%	-	-	-		T _{weighted average} BF=	39.7272	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0005	0.0000	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0007	0.1544	0.0986	0.0346	0.0088	0.0050	0.0143	0.0545	0.0084	-	-	-	→	Sum=	0.3794	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8545	7.9574	16.3035	22.6382	26.0176	21.6854	11.6312	2.4872	0.1849	-	-	-			ή	
T _{weighted average} Direction (d) =		194.9432	20.9334	10.2172	7.3582	6.4024	7.6815	14.3215	66.9724	900.8754	-	-	-			32778.6970	m ³ /d
T (% historical change)		-0.0083%	-0.0095%	-0.0067%	-0.0126%	-0.1154%	0.0156%	0.0218%	0.0351%	-0.0003%	-	-	-	→	Average=	-0.0089%	
Q (% historical change)		0.0084%	0.0095%	0.0068%	0.0127%	0.1305%	-0.0153%	-0.0214%	-0.0339%	0.0003%	-	-	-	→	Average=	0.0108%	
															V _{basin} =	14392142.66	m ³
															T _{renewal} =	439.0700	d

Συνολική λιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2041-2070)

- = Unavailable data

Entire basin		RCP 8.5 (2041-2070)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	3.7243	m ³ /s
	Percentage	0.073%	1.742%	0.556%	0.144%	0.018%	0.018%	0.079%	1.881%	3.833%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	44.7272	d
	Q x P	0.0006	0.1281	0.0860	0.0314	0.0041	0.0033	0.0075	0.0432	0.0066	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	-	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	3.6461	m ³ /s
	Percentage	0.011%	0.258%	0.042%	0.011%	-	0.007%	0.024%	0.252%	1.064%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	45.6866	d
	Q x P	0.0001	0.0296	0.0102	0.0038	-	0.0021	0.0037	0.0089	0.0023	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	13.9660	16.4855	-	-	-	44.9823	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	5.1606	m ³ /s
	Percentage	0.002%	0.009%	-	-	-	0.002%	0.009%	0.038%	0.073%	-	-	-		T _{weighted average} BF =	32.2785	d
	Q x P	0.0003	0.0015	-	-	-	0.0009	0.0021	0.0019	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	-	-	-	-	}	Q _{weighted average} BF =	6.9049	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.004%	-	-	-	-		T _{weighted average} BF =	24.1243	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0003	-	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0010	0.1592	0.0962	0.0353	0.0041	0.0063	0.0132	0.0542	0.0092	-	-	-	→	Sum =	0.3787	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		1.1579	7.9260	16.0897	22.7576	23.0146	23.1482	11.8108	2.4926	0.1849	-	-	-			η	
T _{weighted average} Direction (d) =		143.8544	21.0163	10.3529	7.3196	7.2378	7.1961	14.1036	66.8269	901.0545	-	-	-			32723.5271	m ³ /d
T (% historical change)		-0.2682%	-0.0055%	0.0065%	-0.0177%	0.0000%	-0.0486%	0.0063%	0.0329%	-0.0002%	-	-	-	→	Average =	-0.0327%	
Q (% historical change)		0.3665%	0.0056%	-0.0064%	0.0181%	0.0000%	0.0511%	-0.0063%	-0.0318%	0.0002%	-	-	-	→	Average =	0.0441%	
															V _{basin} =	14392142.66	m ³
															T _{renewal} =	439.8103	d

Συνολική λιμενολεκάνη – Σενάριο κλιματικής αλλαγής RCP 8.5 (2071-2100)

- = Unavailable data

Entire basin		RCP 8.5 (2071-2100)															
BF		Direction															
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°				
5	Q _{outflow} (m ³ /s)	0.7919	7.3540	15.4632	21.8258	23.0146	18.1362	9.4404	2.2948	0.1730	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.5262	m ³ /s
	Percentage	0.091%	1.506%	0.463%	0.132%	0.030%	0.021%	0.064%	1.839%	3.717%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	47.2395	d
	Q x P	0.0007	0.1108	0.0716	0.0288	0.0069	0.0038	0.0060	0.0422	0.0064	-	-	-				
6	Q _{outflow} (m ³ /s)	1.2585	11.4900	24.3832	34.9563	37.6005	29.7980	15.3414	3.5202	0.2204	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	3.7721	m ³ /s
	Percentage	0.014%	0.230%	0.048%	0.005%	0.007%	0.007%	0.021%	0.278%	0.979%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	44.1601	d
	Q x P	0.0002	0.0264	0.0117	0.0017	0.0026	0.0021	0.0032	0.0098	0.0022	-	-	-				
7	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	16.4855	-	-	-	-	23.2032	5.0045	0.2889	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	4.3281	m ³ /s
	Percentage	-	0.014%	-	-	-	-	0.002%	0.021%	0.055%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	38.4868	d
	Q x P	-	0.0023	-	-	-	-	0.0005	0.0011	0.0002	-	-	-				
8	Q _{outflow} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	6.9049	0.3963	-	-	-	}	Q _{weighted average} /BF =	5.0453	m ³ /s
	Percentage	-	-	-	-	-	-	-	0.005%	0.002%	-	-	-		T _{weighted average} /BF =	33.0160	d
	Q x P	-	-	-	-	-	-	-	0.0003	0.0000	-	-	-				
Sum(Q x P) =		0.0009	0.1395	0.0833	0.0306	0.0095	0.0059	0.0097	0.0534	0.0088	-	-	-	→	Sum =	0.3415	m ³ /s
Q _{weighted average} (m ³ /s) =		0.8541	7.9706	16.3011	22.3050	25.7741	21.0516	11.1812	2.4911	0.1842	-	-	-			ή	
T _{weighted average} Direction (d) =		195.0297	20.8987	10.2187	7.4681	6.4629	7.9127	14.8979	66.8678	904.2399	-	-	-			29508.9004	m ³ /d
T (% historical change)		-0.0079%	-0.0111%	-0.0066%	0.0022%	-0.1071%	0.0462%	0.0630%	0.0335%	0.0034%	-	-	-	→	Average =	0.0017%	
Q (% historical change)		0.0079%	0.0112%	0.0066%	-0.0022%	0.1199%	-0.0441%	-0.0592%	-0.0324%	-0.0034%	-	-	-	→	Average =	0.0005%	
															V _{basin} =	14392142.66	m ³
															T _{renewal} =	487.7221	d