

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ**  
**ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**  
**ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΚΑΡΔΑΚΑΡΗΣ ΚΙΜΩΝ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**  
**ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ**

*ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2020*



# ΚΥΡΙΑ ΣΗΜΕΙΑ

---

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ
3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ
5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΣΩ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

---

*Κυματισμοί* : Θεωρητικά αστείρευτη πηγή ενέργειας με εξαιρετικά μεγάλο ενεργειακό δυναμικό προς αξιοποίηση. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη αβεβαιότητα, όπως όλα τα φυσικά φαινόμενα, και συνεπώς είναι απαραίτητη η μελέτη τους και με στοχαστικές μεθόδους.

Στην αρχαία Ελλάδα οι κυματισμοί ήταν αντικείμενο μελέτης κυρίως για λόγους ναυσιπλοΐας. Πρώτη αναφορά για ενδιαφέρον μελέτης και αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας έγινε από το Γάλλο Pierre-Simon Girard το 1799 με την πρώτη ευρεσιτεχνία.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

---

Επίδραση ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας (τριβή)



Ρυτίδες



Ένταση και διάρκεια  
καταιγίδας

Ενεργό ανάπτυγμα  
πελάγους (Fetch)

**Ανεμογενή κύματα**





## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

---

- ❖ *Τεχνολογίες αξιοποίησης κυματικής ενέργειας*
  - Τοποθεσία: Χερσαία, Παράκτια, Υπεράκτια
  - Μέγεθος και προσανατολισμός ανάλογα την κυματική διάδοση
  - Αρχές λειτουργίας π.χ. διατάξεις με λειτουργία ταλαντευόμενης στήλης ύδατος (OWC), πλωτές διατάξεις κ.α.
- ❖ *Μέθοδοι λήψης ωκεανογραφικών δεδομένων*
  - Ραντάρ
  - Αισθητήρες στάθμης και μετρητές πίεσης
  - Πλοία καταγραφείς
  - Πλωτοί σημαντήρες (buoys)



### 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

**Δεδομένα:** Χρονοσειρές σημαντικού ύψους και μέσης περιόδου κύματος από 24 πλωτούς σημαντήρες σε διάφορα μέρη του πλανήτη.

- ✓ *Σημαντικό ύψος κύματος ( $H_s$  σε  $m$ ):* η μέση τιμή του ύψους κύματος (από κορυφή σε κοιλία) του 33% των υψηλότερων κυμάτων σε ένα χρονικό διάστημα συνεχών μετρήσεων.
- ✓ *Μέση περίοδος κύματος ( $T_m$  σε  $sec$ ):* η μέση τιμή της περιόδου στο ίδιο διάστημα καταγραφών για συγκεκριμένες συνθήκες θαλασσοταραχής.



### 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---



$$\mu \equiv E[X]$$

$$\text{Var}(X) = \sigma^2 = E[(X - E[X])^2]$$

$$\text{Skew}(X) = \frac{E[(X - E[X])^3]}{\sigma^3}$$

$$\text{Kurt}(X) = \frac{E[(X - E[X])^4]}{\sigma^4}$$



$$\rho_{X,Y} = \text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$



Stations	Significant Wave Height							Average Wave Period							Correlation of Hs and Tm
	Percentage of NaNs (%)	min (m)	max (m)	Mean	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis	Percentage of NaNs (%)	min (s)	max (s)	Mean	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis	
44004	55,620	0,240	11,400	2,039	1,242	1,555	6,177	55,628	3,400	12,000	5,831	1,082	0,977	4,314	0,712
51003	12,342	0,010	6,390	2,195	0,645	1,061	5,128	12,329	3,410	17,230	6,683	1,087	1,713	7,507	0,523
46006	28,206	0,400	16,320	2,786	1,493	1,265	5,150	28,433	3,520	15,970	7,198	1,426	0,689	3,526	0,662
46035	23,502	0,010	15,400	2,602	1,562	1,282	5,275	23,416	2,560	22,710	6,485	1,280	0,524	3,746	0,822
46001	7,446	0,200	14,800	2,700	1,408	1,159	4,779	7,464	2,800	14,400	6,578	1,238	0,509	3,292	0,734
46022	21,887	0,010	12,000	2,414	1,129	1,028	4,747	21,850	2,780	16,940	7,379	1,608	0,817	3,727	0,525
46012	21,836	0,200	8,760	2,127	0,928	1,142	4,861	21,856	2,400	17,220	7,389	1,575	0,719	3,584	0,422
44011	22,679	0,300	13,860	2,000	1,207	1,580	6,295	22,673	2,980	17,590	5,866	1,059	0,820	4,466	0,657
44008	16,225	0,010	10,250	1,733	1,069	1,672	6,820	16,222	3,000	14,480	5,863	1,055	0,815	4,365	0,576
41002	28,902	0,300	14,500	1,827	0,997	1,835	8,860	28,927	3,000	12,900	5,723	0,996	1,185	5,754	0,614
51001	19,903	0,740	12,300	2,401	0,883	1,611	7,222	19,909	4,100	15,540	6,691	1,400	1,414	5,502	0,618
41041	9,566	0,850	7,680	2,027	0,523	1,185	6,920	9,339	2,630	20,980	6,014	0,877	2,144	13,819	0,465
41047	11,186	0,370	11,770	1,688	0,837	2,101	11,588	11,186	3,510	11,590	6,132	1,001	0,948	4,520	0,597
55026	19,271	0,120	11,819	2,980	1,207	1,004	4,620	19,271	2,750	13,790	7,918	1,329	-0,066	2,963	0,517
62105	12,643	0,100	17,000	2,700	1,525	1,510	6,521	13,197	1,000	20,000	7,007	1,630	0,511	3,554	0,736
64045	13,076	0,100	19,000	3,488	1,816	1,230	5,101	14,039	2,000	18,000	7,330	1,472	0,532	3,387	0,806
64046	24,204	0,100	17,400	3,124	1,705	1,344	5,910	25,542	3,000	16,000	7,332	1,524	0,449	3,270	0,743
32012	19,667	0,830	5,930	2,241	0,630	0,881	4,344	19,667	4,190	14,470	7,262	1,267	1,218	4,856	0,355
10000	42,227	0,060	2,820	0,564	0,269	0,645	3,756	42,227	1,650	6,220	3,199	0,468	0,092	3,020	0,831
20000	42,896	1,020	8,300	2,787	0,979	1,214	4,892	42,896	4,340	14,360	8,450	1,473	0,295	2,890	0,530
30000	42,933	0,510	6,530	2,158	0,791	1,102	4,857	42,933	3,690	16,030	8,277	1,912	0,454	2,659	0,395
40000	17,213	0,288	8,275	1,593	0,666	1,631	8,138	17,213	2,870	15,260	7,642	1,533	0,401	3,066	0,388
50000	34,863	0,080	6,340	0,562	0,292	5,334	58,510	34,901	2,100	23,400	5,896	1,258	2,101	15,709	0,376
60000	30,853	0,010	8,000	0,531	0,490	2,103	9,098	30,852	1,000	13,340	4,033	1,192	0,910	4,423	0,568

### 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

**Περιοδικότητα → Διπλή ή Μονή ;;;**

Γενεσιουργό αίτιο κυματισμών – Άνεμος



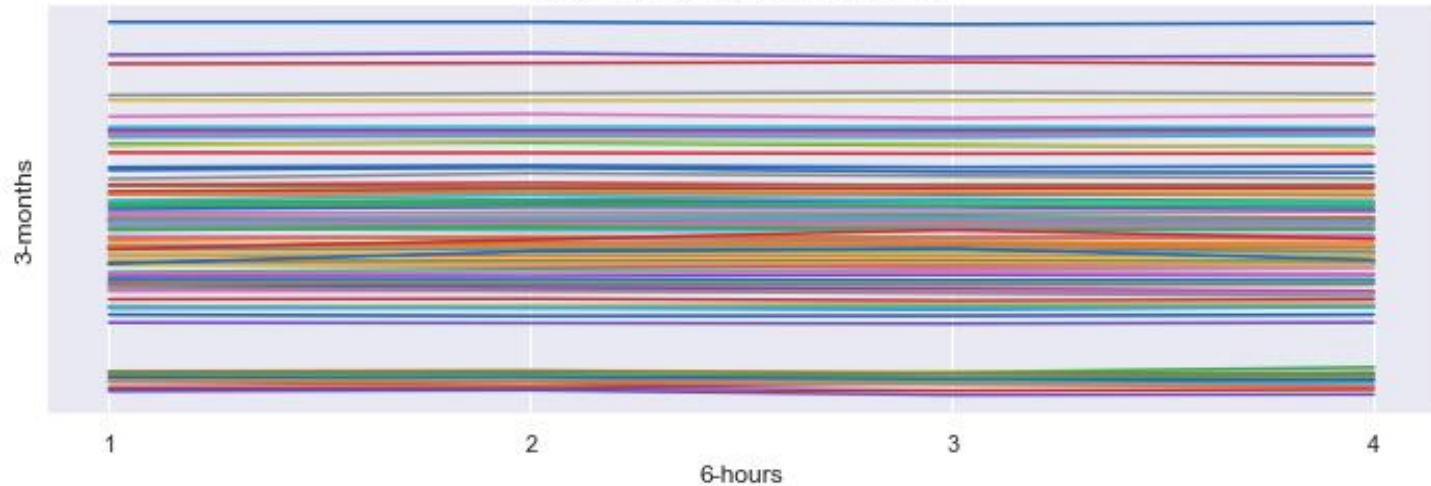
Διπλή περιοδικότητα

*Ομαδοποίηση δεδομένων*

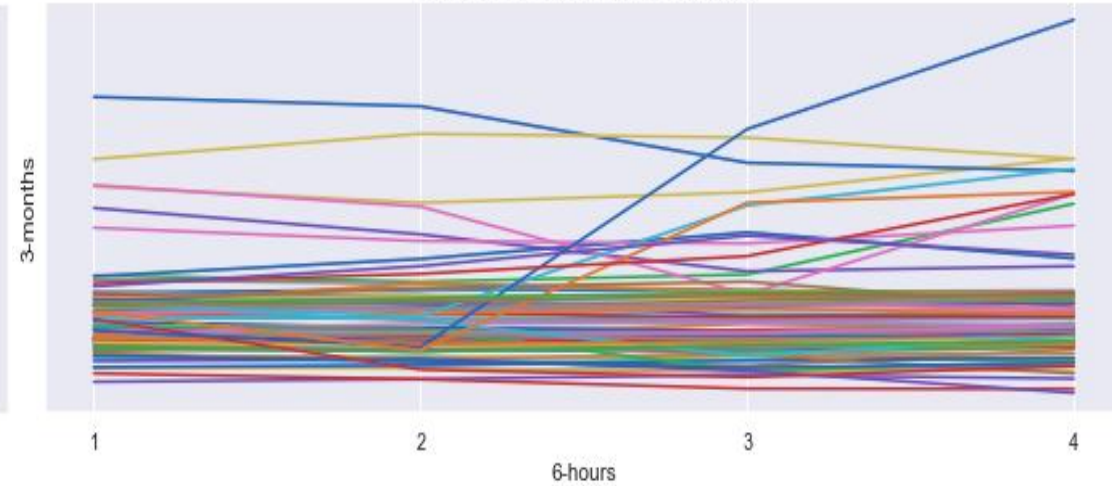
- Σε 6ωρα στα 3μηνα (εξέταση διπλής περιοδικότητας)
- Μηνιαία (εξέταση μονής περιοδικότητας)

# Σημαντικό ύψος κύματος ( $H_s$ )

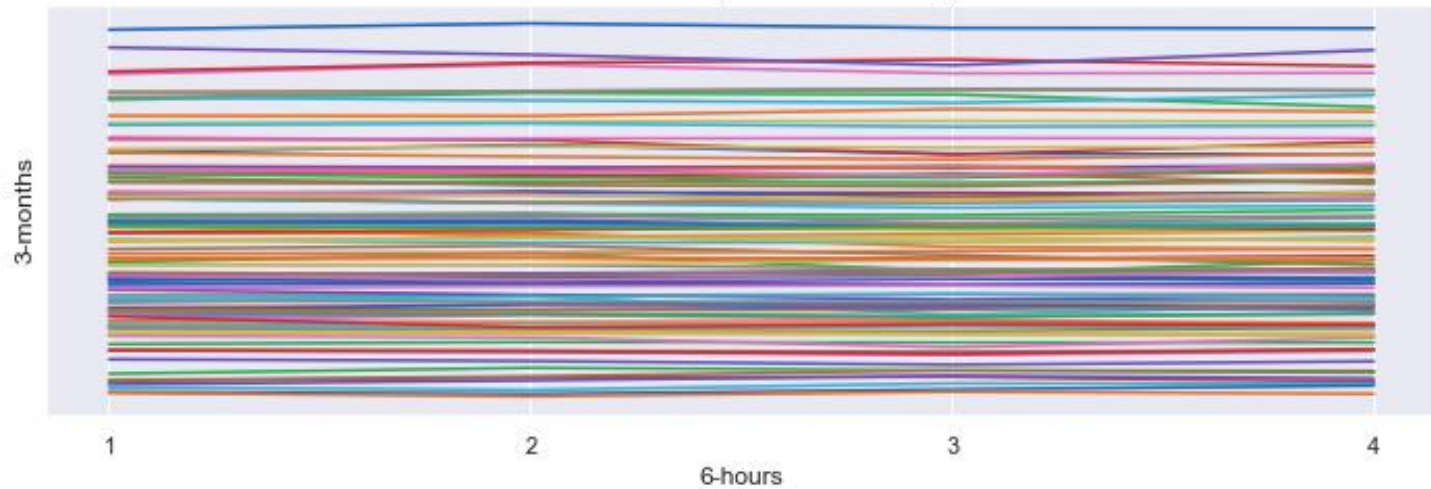
Mean of Significant Wave Height



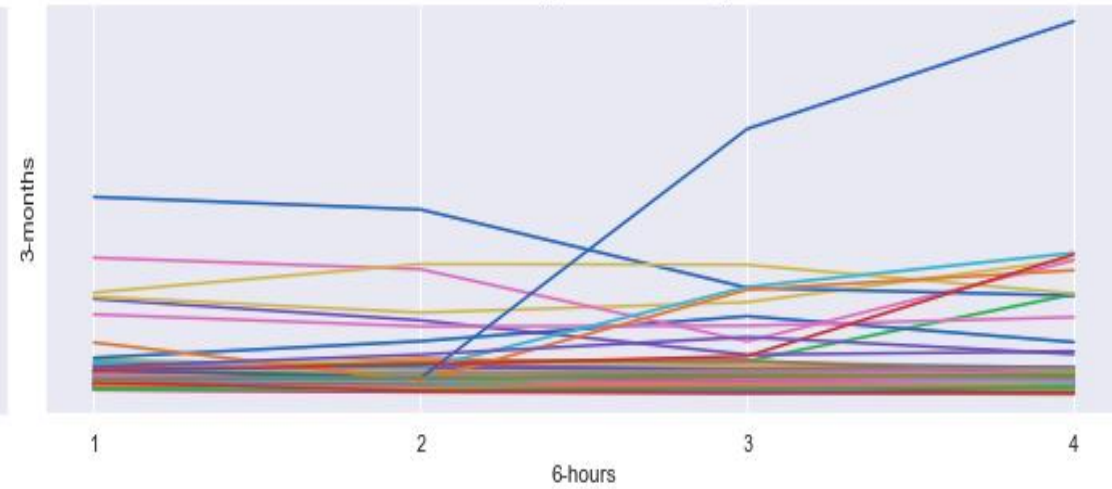
Skewness of Significant Wave Height



St. Deviation of Significant Wave Height

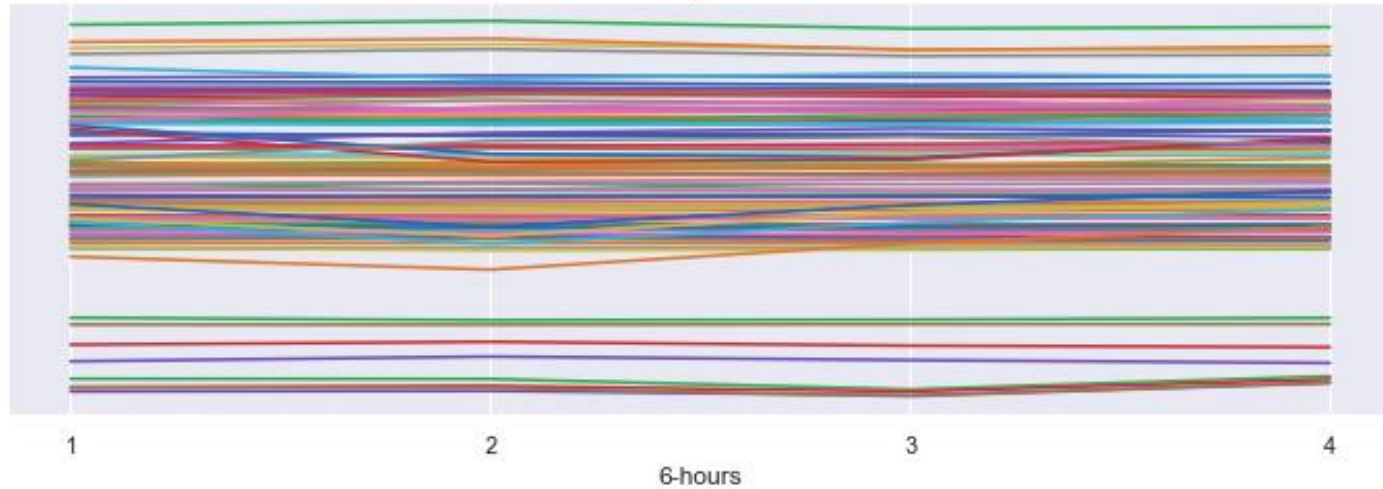


Kurtosis of Significant Wave Height

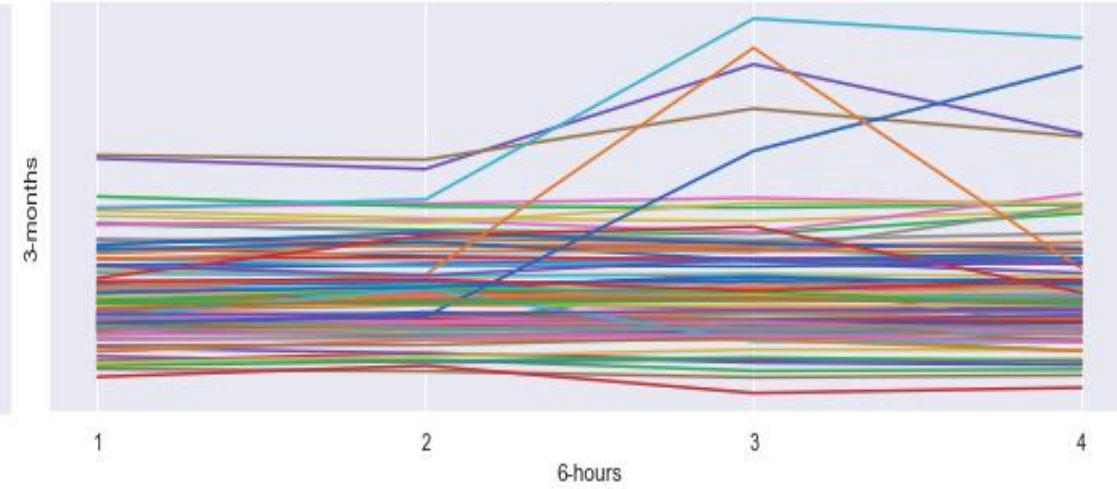


# Μέση περίοδος κύματος ( $T_m$ )

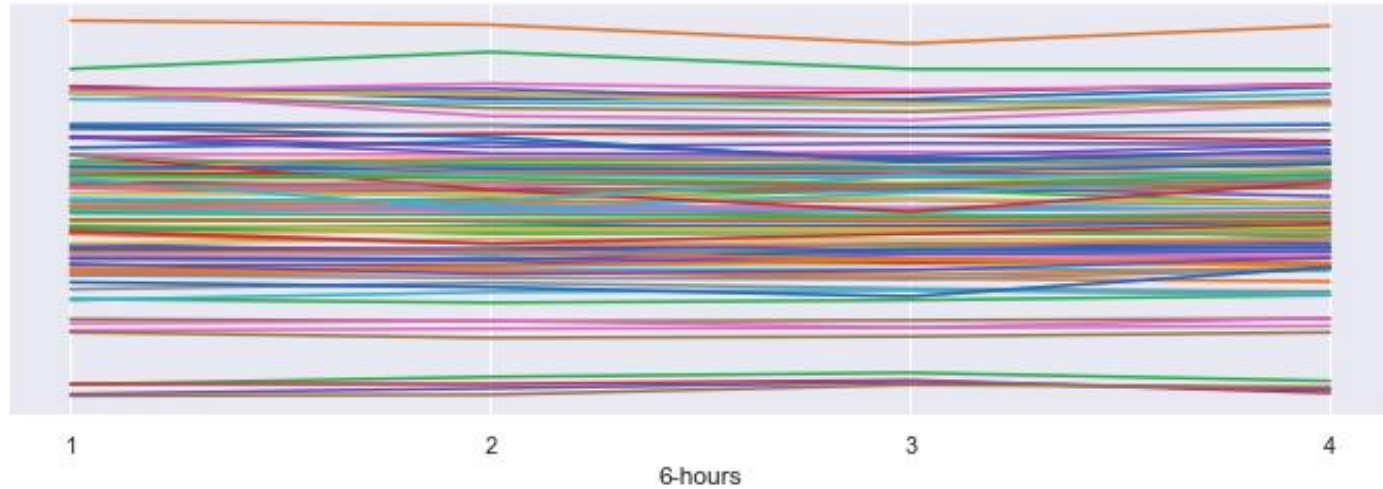
Mean of Average Wave Period



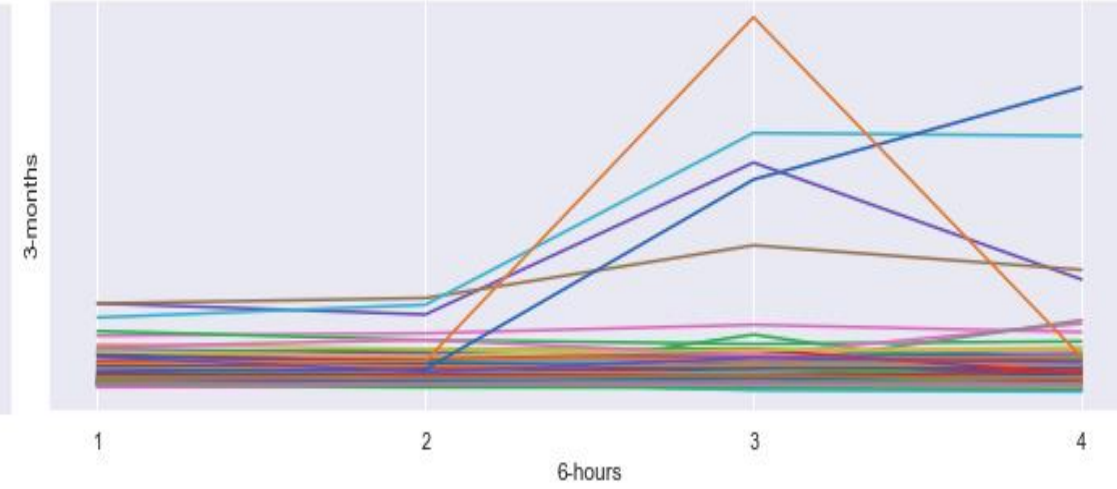
Skewness of Average Wave Period



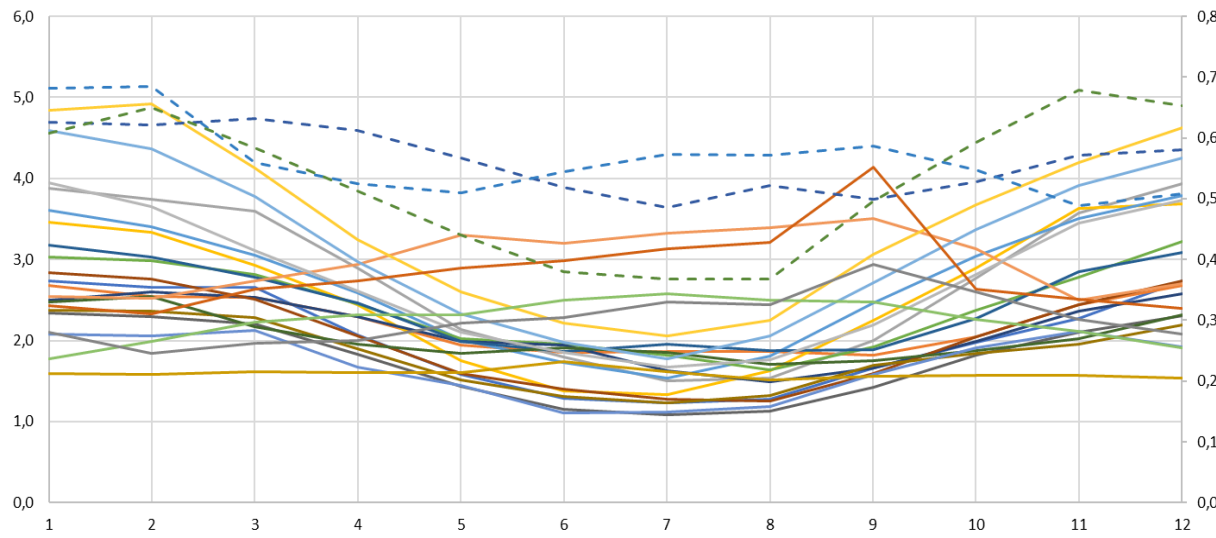
St. Deviation of Average Wave Period



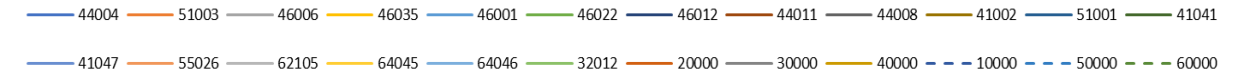
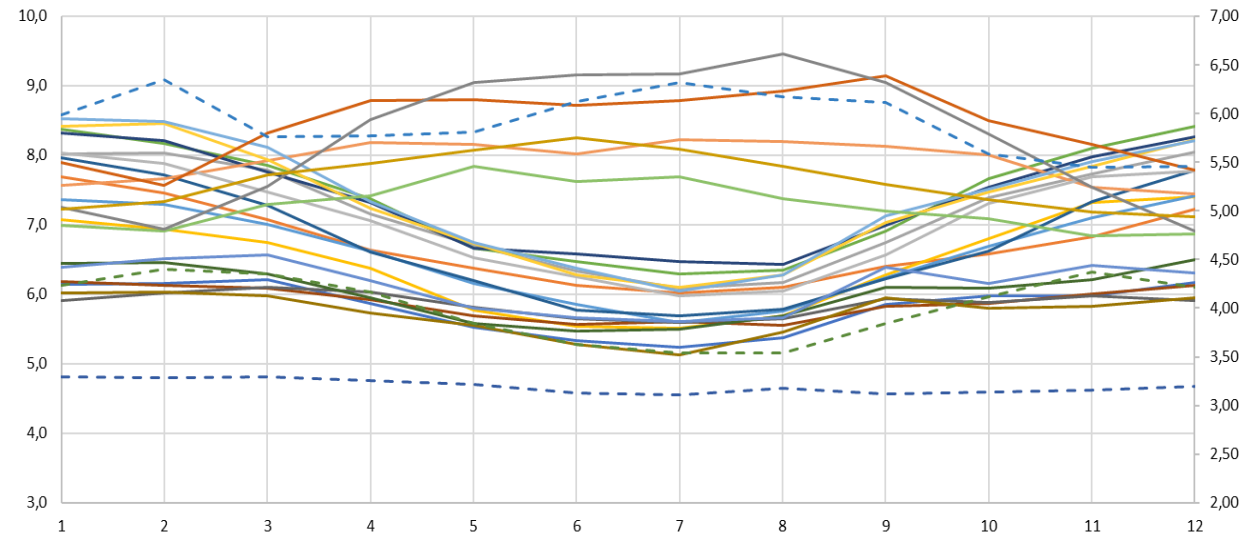
Kurtosis of Average Wave Period



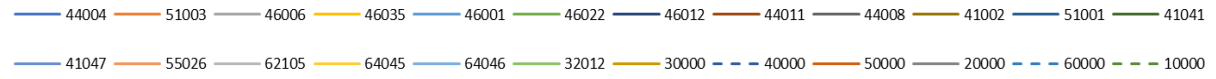
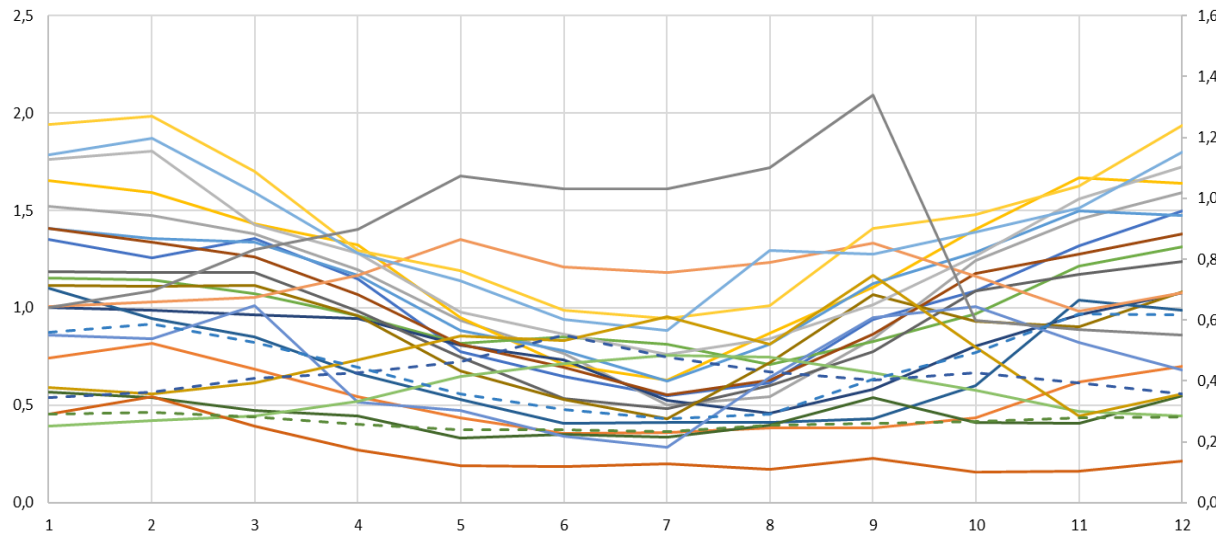
### Mean Hs



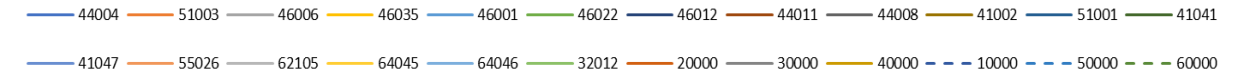
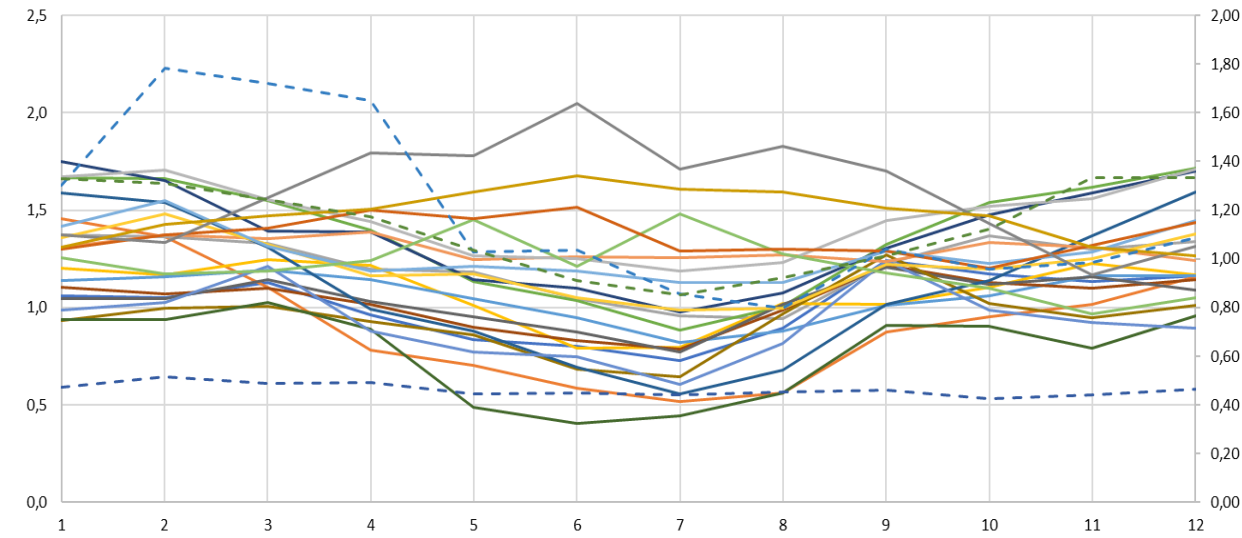
### Mean Tm



### Standard Deviation Hs



### Standard Deviation Tm



### 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

Καταλήγουμε σε μονή περιοδικότητα και μελετάμε το φαινόμενο μηνιαία, ώστε να κατασκευάσουμε μοντέλο περιγραφής των τριών πρώτων κεντρικών ροπών (η ασυμμετρία ορίζεται με μία σταθερή τιμή, τη μέση τιμή των μηνιαίων τιμών).

Η χρήση του μοντέλου περιοδικότητας επιβάλλεται για την ολοκλήρωση της παραγωγής των συνθετικών χρονοσειρών με ελάχιστο προσδιορισμό παραμέτρων (7 έναντι 36).

$$\mu(i) = a e^{-\cos\left[2\pi\left(\frac{i}{12}+b\right)\right]} + c$$

$$\sigma(i) = a e^{-\cos\left[2\pi\left(\frac{i}{12}+b\right)\right]} + c$$

### 3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

Προσαρμογή γνωστών κατανομών στα δεδομένα μελέτης:

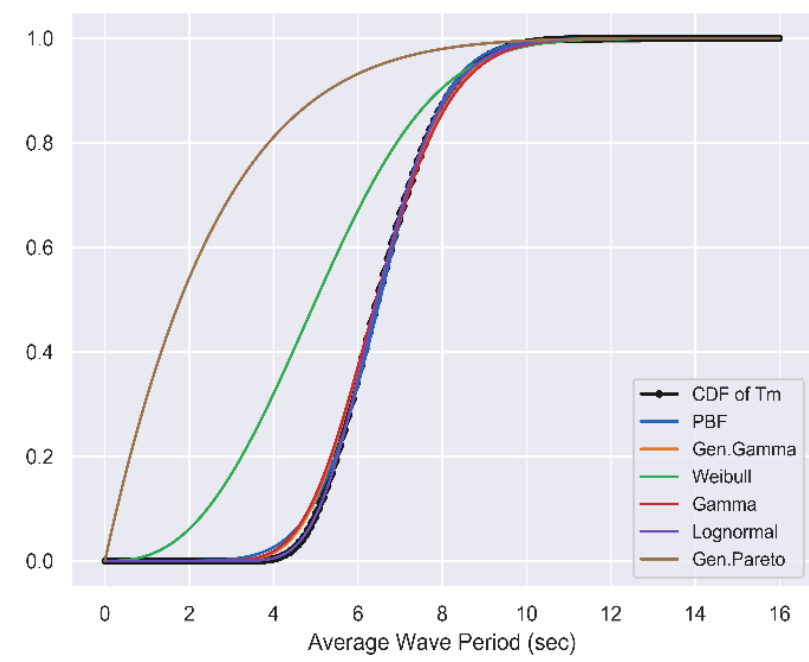
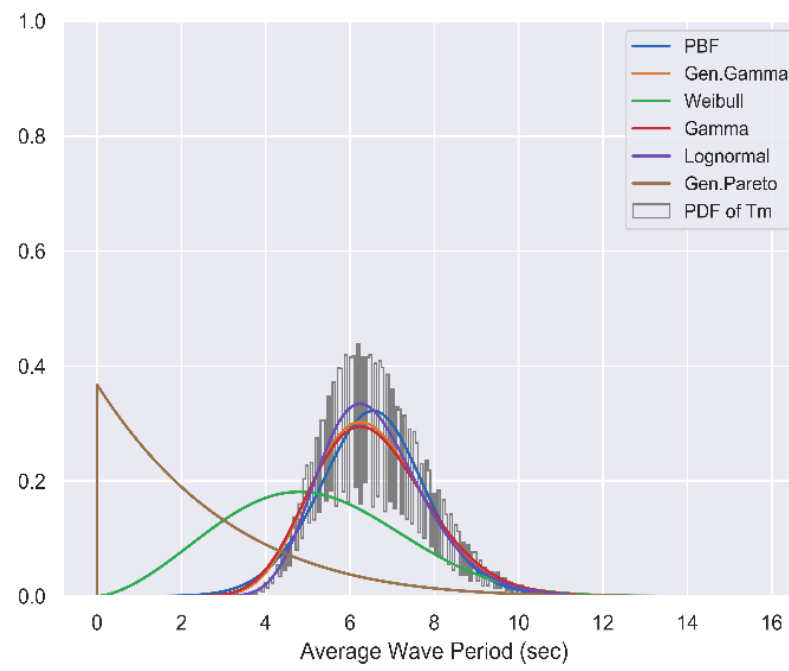
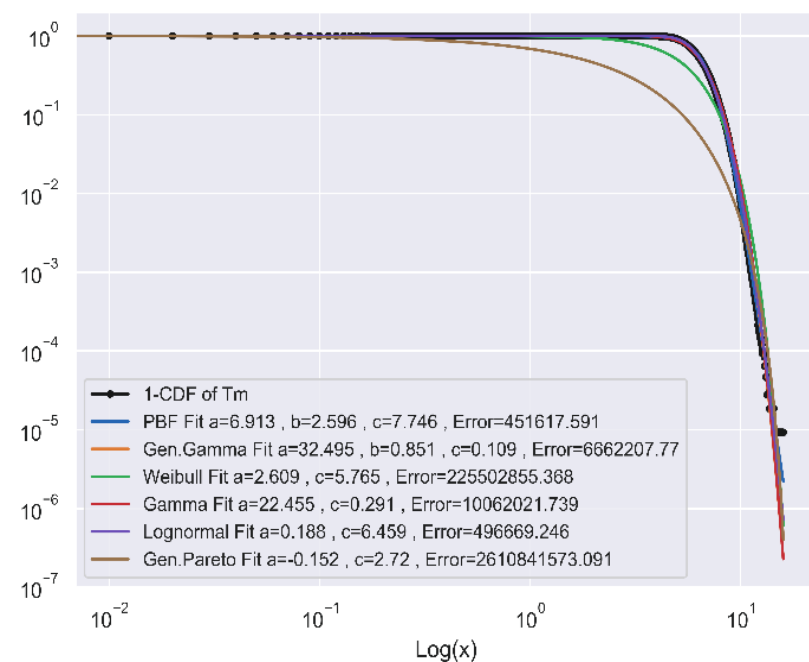
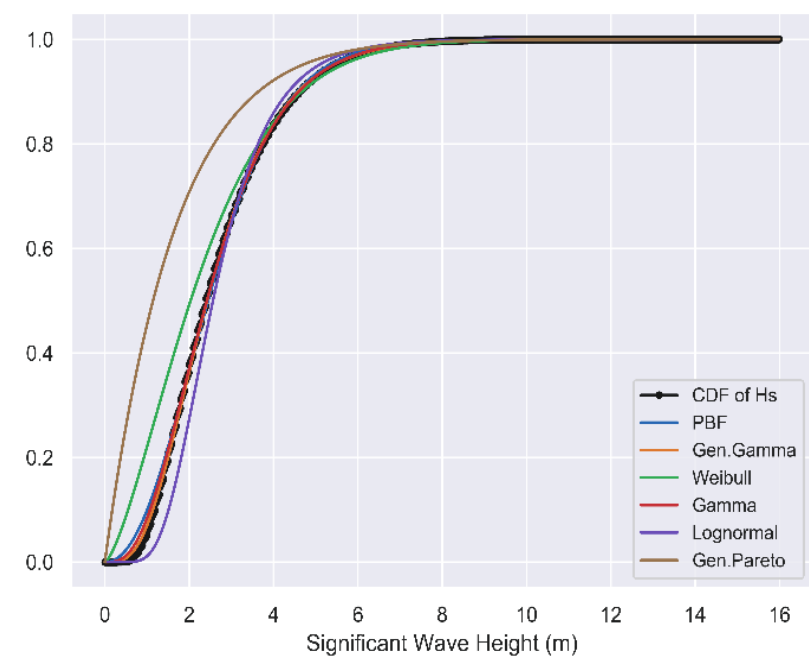
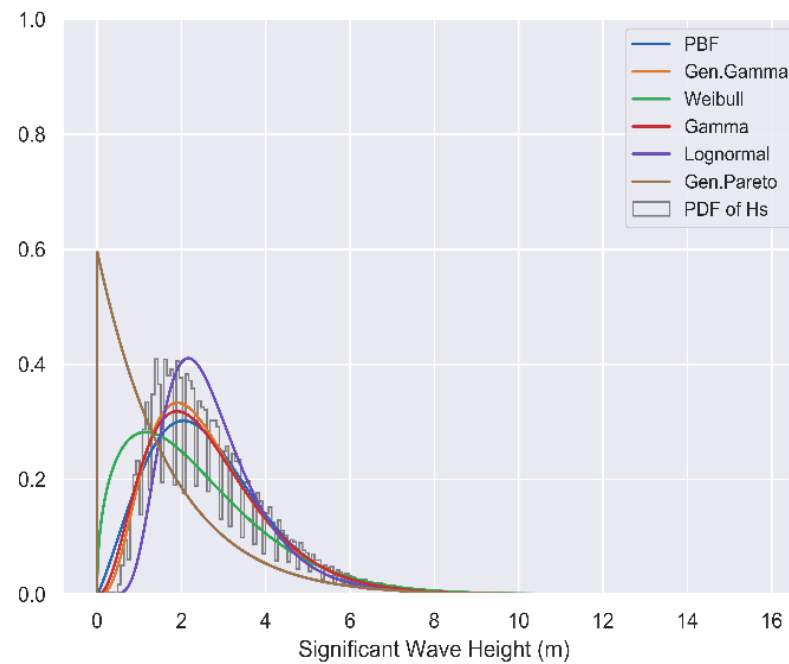
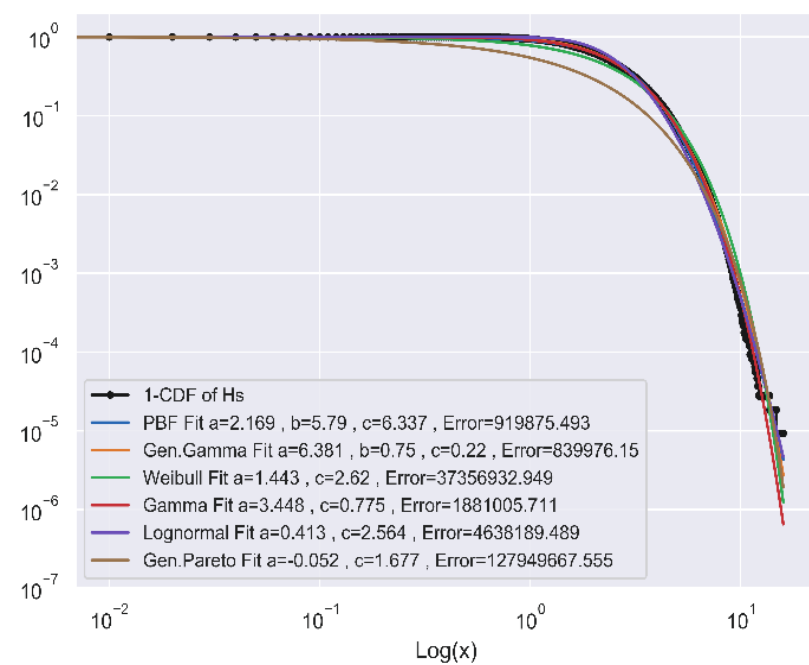
- Pareto – Burr – Feller (PBF)
- Generalized Gamma
- Gamma
- Lognormal
- Weibull
- Generalized Pareto

Survival Function:  $sf = 1 - cdf$

Δείκτης σφάλματος  $\varepsilon_f$  :

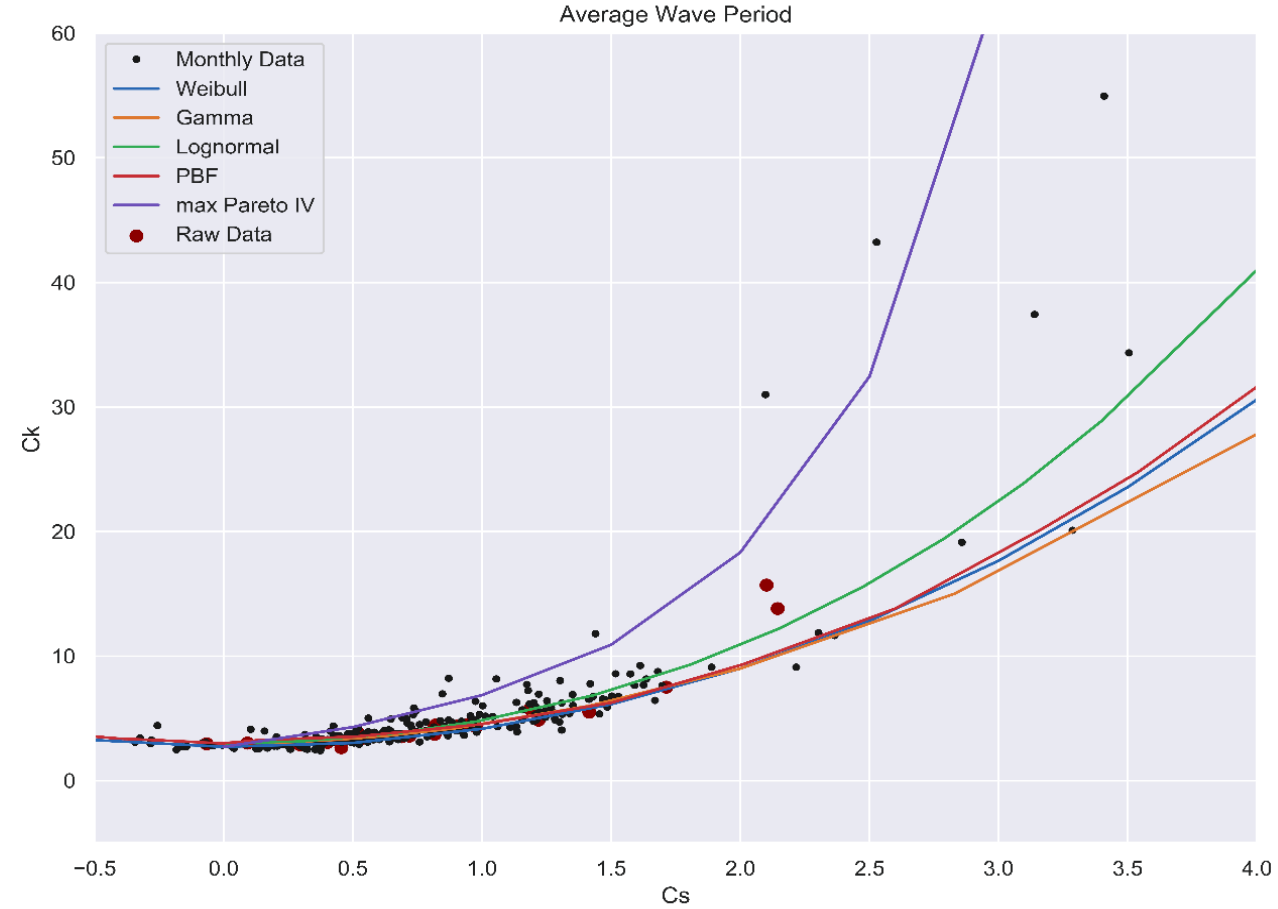
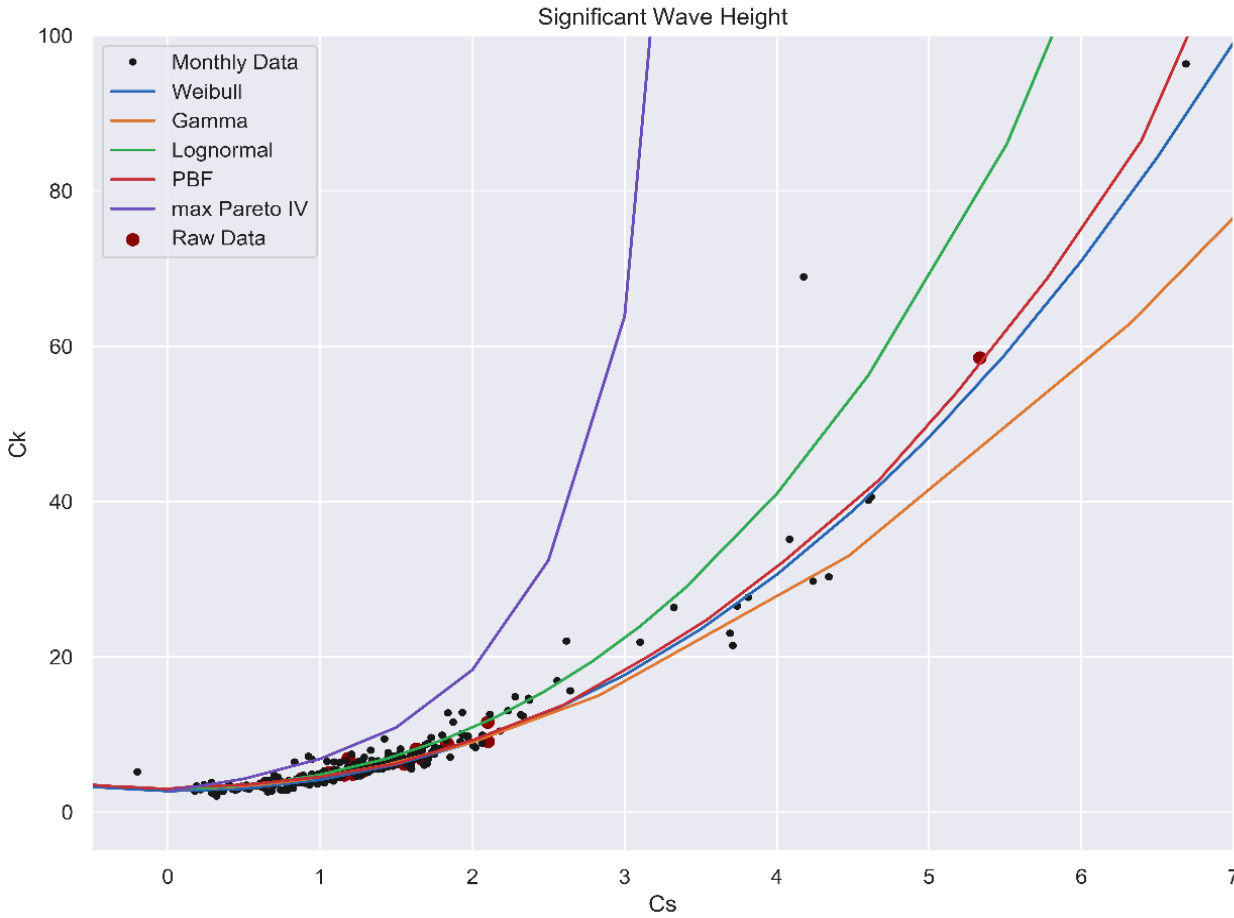
$$\varepsilon_f = \sum_i \left| 1 - \frac{f_m(x_i)}{f_e(x_i)} \right| \sum_i |f_e(x_i) - f_m(x_i)| \sum_i \left| 1 - \frac{f_e(x_i)}{f_m(x_i)} \right|$$

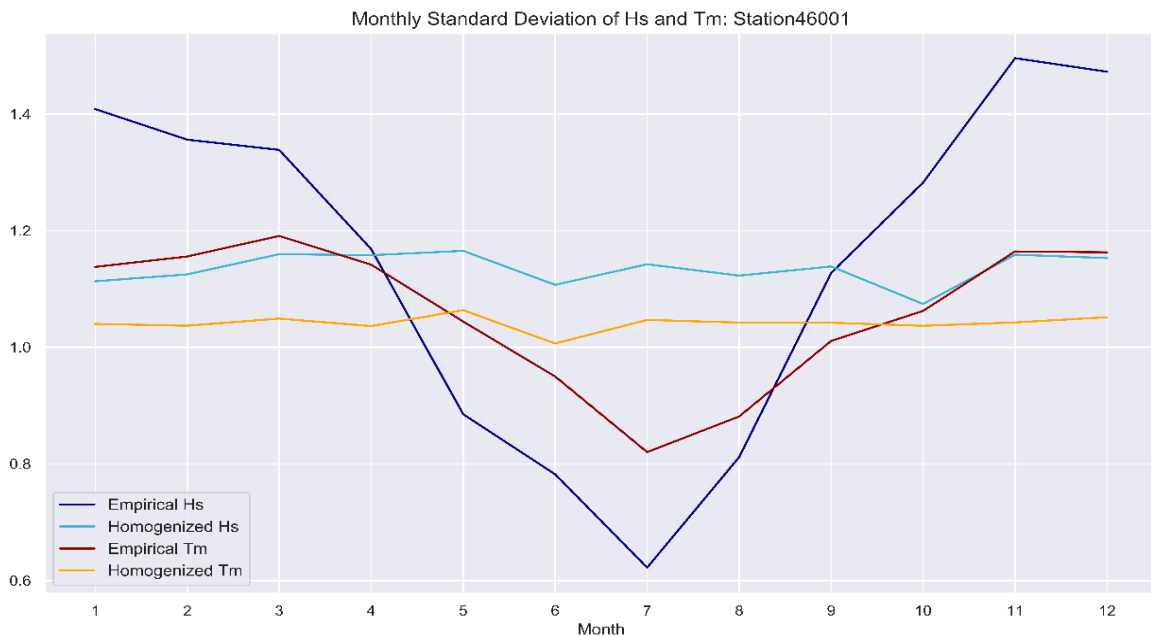
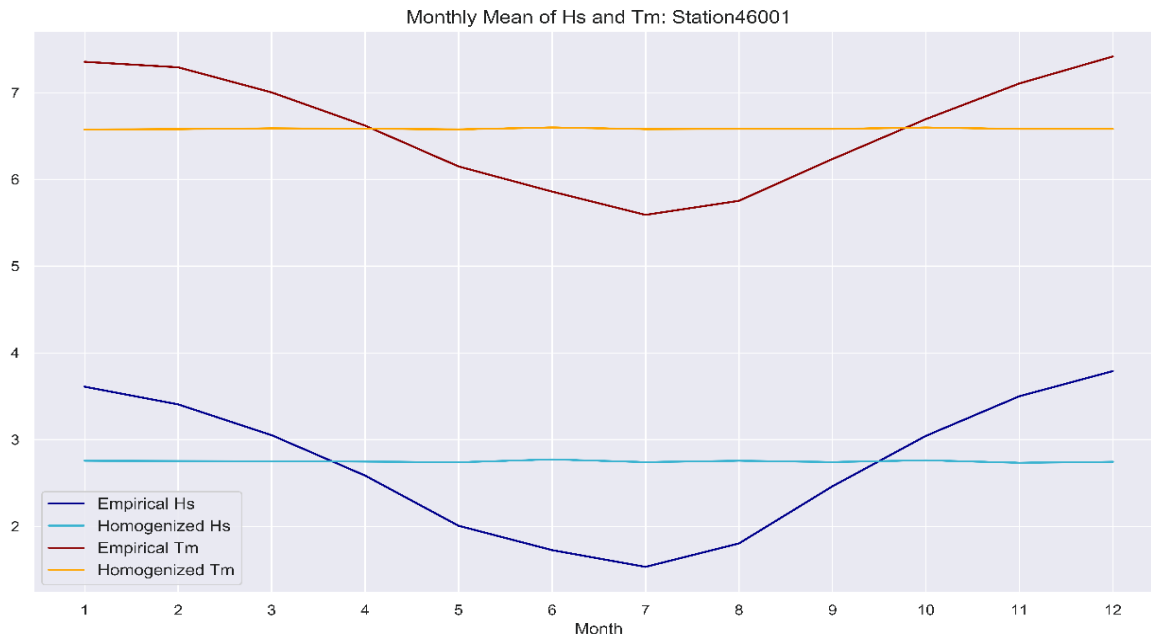
# Station 46001 With Fitted Distributions





# Διαγράμματα ασυμμετρίας - κύρτωσης





## Βέλτιστη κατανομή η PBF

$$cdf: \quad F(x|\alpha, \beta, \lambda) = 1 - \left[ 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right]^{-\lambda}$$

$$pdf: \quad f(x|\alpha, \beta, \lambda) = \alpha \lambda \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} \left[ 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right]^{-(\lambda+1)}$$

$$x, \alpha, \beta, \lambda > 0$$



Μηνιαία προσαρμογή στα δεδομένα και υπολογισμός μηνιαίων και μέσων παραμέτρων.

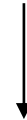


Ομογενοποίηση για αφαίρεση περιοδικότητας από την περιθώρια δομή, με σκοπό τη μελέτη του αμιγώς στοχαστικού μέρους του φαινομένου.

## 4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

---

Μεγάλη ακρίβεια στην περιγραφή ενός φαινομένου μέσω ενός πειράματος, το οποίο δίνει συνεχώς ίδια αποτελέσματα.



Ντετερμινιστικά μοντέλα

Μικρή ακρίβεια στην περιγραφή ενός φαινομένου μέσω ενός πειράματος, το οποίο δίνει συνεχώς διαφορετικά αποτελέσματα.



Στοχαστικά μοντέλα

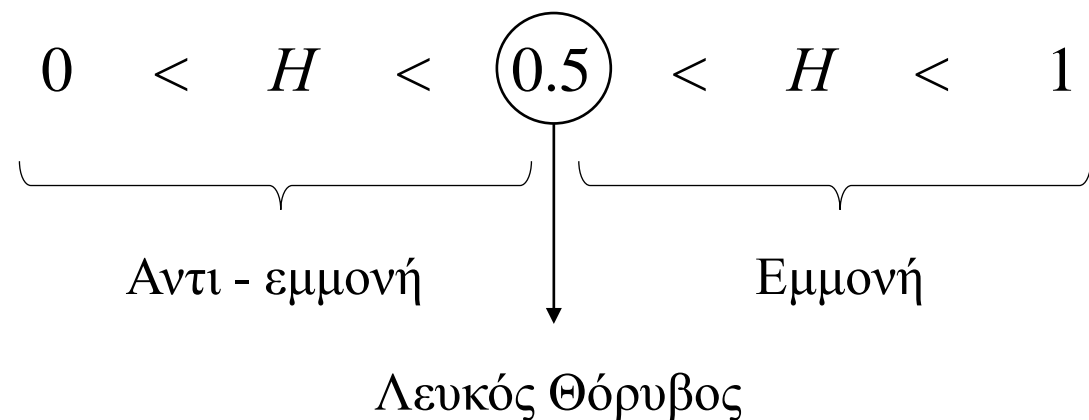
Στοχαστική ανέλιξη: οικογένεια τυχαίων μεταβλητών  $X_t$  ή  $X(t)$ , με  $t$  να αποτελεί μια παράμετρο που συνήθως παριστάνει χρόνο.

## 4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Ο Βρετανός υδρολόγος Harold Edwin **Hurst** εισήγαγε το 1951 την έννοια της μακροπρόθεσμης εμμονής.

Η ανάλυση και η μαθηματική διατύπωση αυτής της συμπεριφοράς είχε γίνει από τον Ρώσο μαθηματικό Andrey Nikolaevich **Kolmogorov** το 1940.

Τα φυσικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται από μεγάλη αβεβαιότητα και τυχαιότητα. Η συμπεριφορά κατά την οποία η αβεβαιότητα αυτή μεγιστοποιείται σε όλες τις χρονικές κλίμακες ορίζεται ως συμπεριφορά **Hurst – Kolmogorov (HK)** ή φαινόμενο **Hurst** και ποσοτικοποιείται με το συντελεστή Hurst ( $H$ ).



## 4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

---

Κλιμακόγραμμα: στοχαστικό εργαλείο που συσχετίζει τη διασπορά (ή την τυπική απόκλιση) του μέσου όρου της ανέλιξης με το μέσο όρο της κλίμακας του χρόνου.

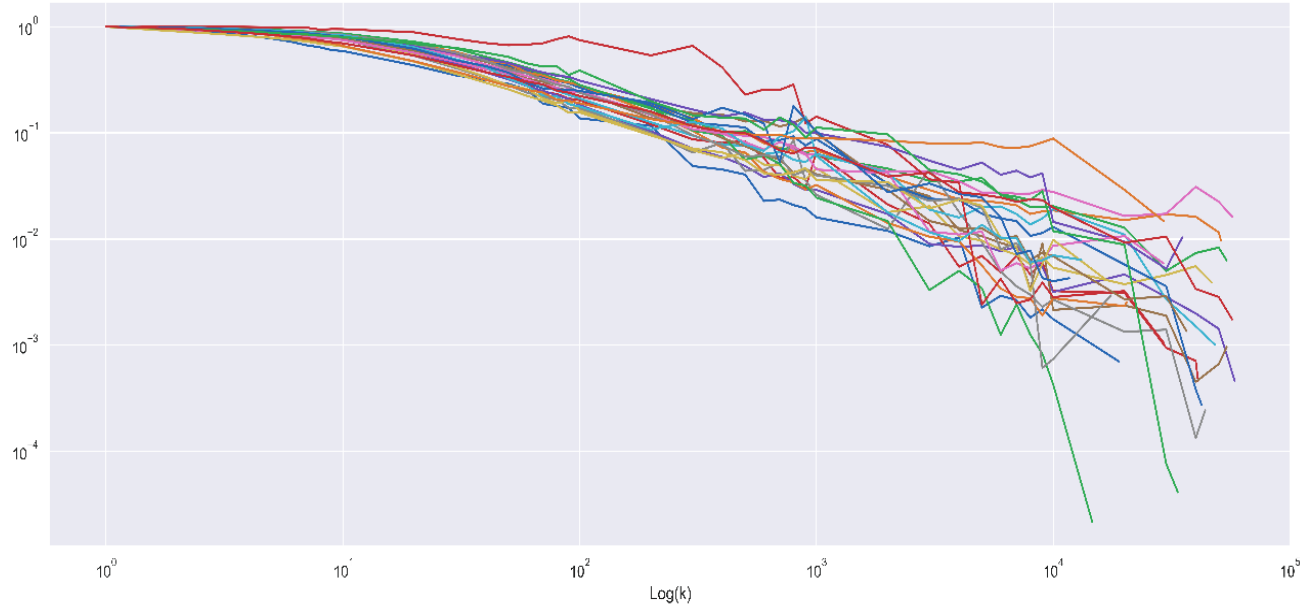
Άμεση σχέση με αυτοσυνδιασπορά και φάσμα ισχύος αλλά είναι πιο ακριβές και πιο αξιόπιστο εργαλείο.

Υπολογίστηκαν αρχικά τα κλιμακογράμματα των δύο μεταβλητών για κάθε σταθμό μέσω των κανονικοποιημένων τιμών με κλίμακες:

[1, 2, 3, ..., 10, 20, 30, ..., 100, 200, 300, ...,

1000, 2000, ..., 10000, 20000, ...,  $n/2$ ]

Climacograms of all Stations for Significant Wave Height



Climacograms of all Stations for Average Wave Period



$H_s$

$T_m$

Φαίνεται και οι δύο μεταβλητές να περιγράφονται από μακροπρόθεσμη εμμονή.

## 4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Προσαρμογή τριών μοντέλων στοχαστικών ανεξίτηνων στο μέσο κλιμακόγραμμα, λαμβάνοντας υπόψη τη μεροληψία.

❖ Hurst – Kolmogorov (HK)

$$\gamma(k) = k^{2H-2}$$

❖ Generalized  
Hurst – Kolmogorov (GHK)

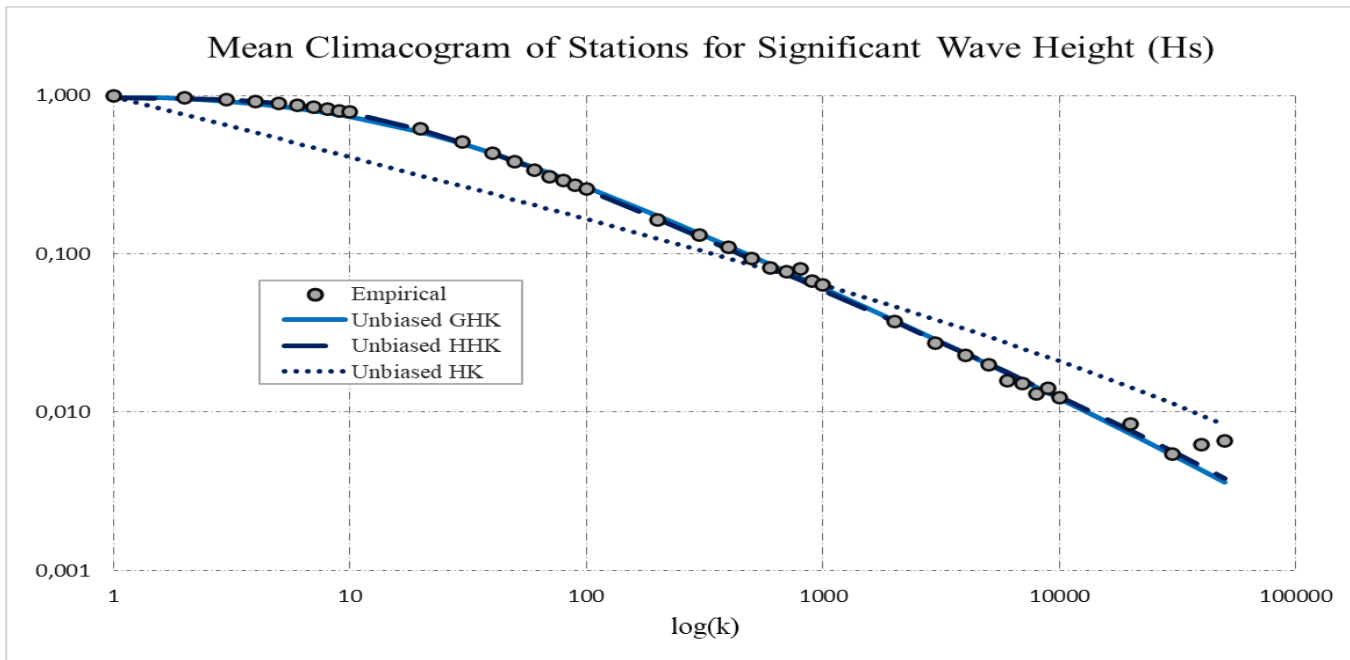
$$\gamma(k) = \frac{\lambda}{\left(1 + \frac{k}{q}\right)^{2-2H}}$$

❖ Hybrid  
Hurst – Kolmogorov (HHK)

$$\gamma(k) = \frac{\lambda}{\left[1 + \left(\frac{k}{q}\right)^{2M}\right]^{\frac{1-H}{M}}}$$

✓ Bias:

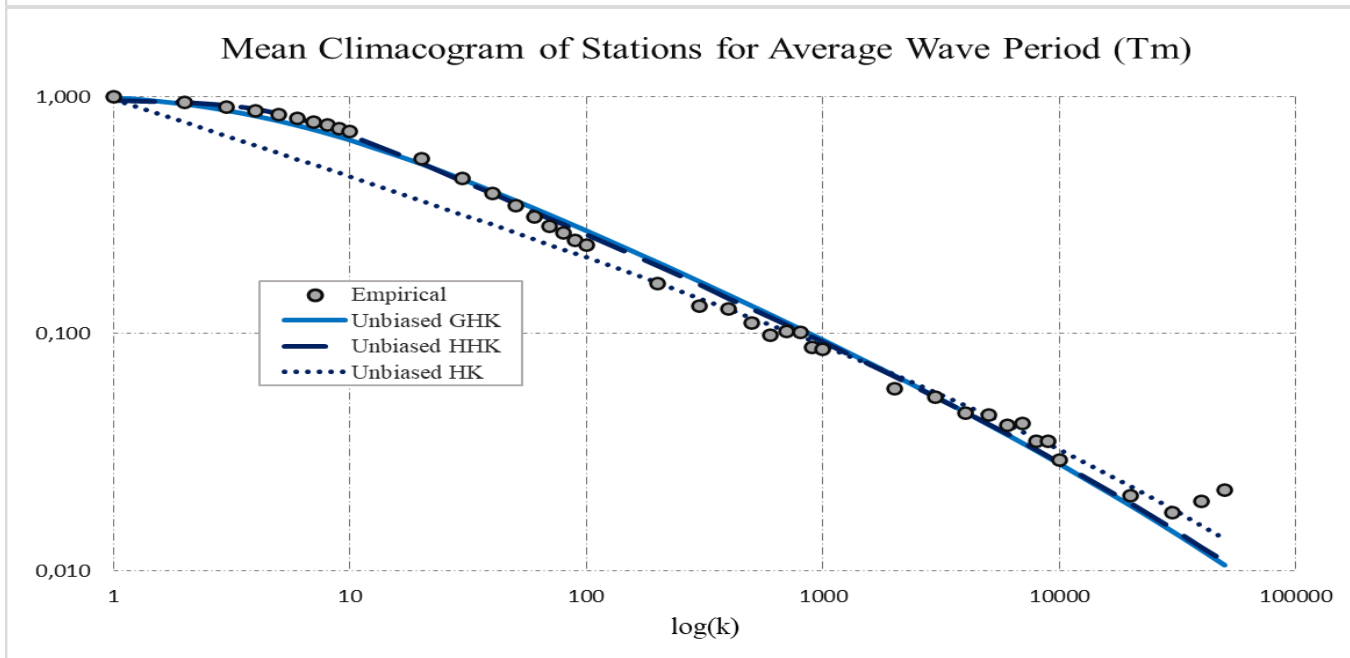
$$B_E \left[ \hat{\gamma}_d^{(\Delta)}(\kappa) \right] = \gamma_d^{(\Delta)}(\kappa) - E \left[ \hat{\gamma}_d^{(\Delta)}(\kappa) \right] = \frac{\gamma(n\Delta)/\gamma(\kappa\Delta) - \kappa/n}{1 - \kappa/n} \gamma(\kappa\Delta)$$



Βέλτιστη προσαρμογή το μοντέλο  
GHK με παραμέτρους:

$$q = 14.461$$

$$H = 0.669 > \mathbf{0.5}$$

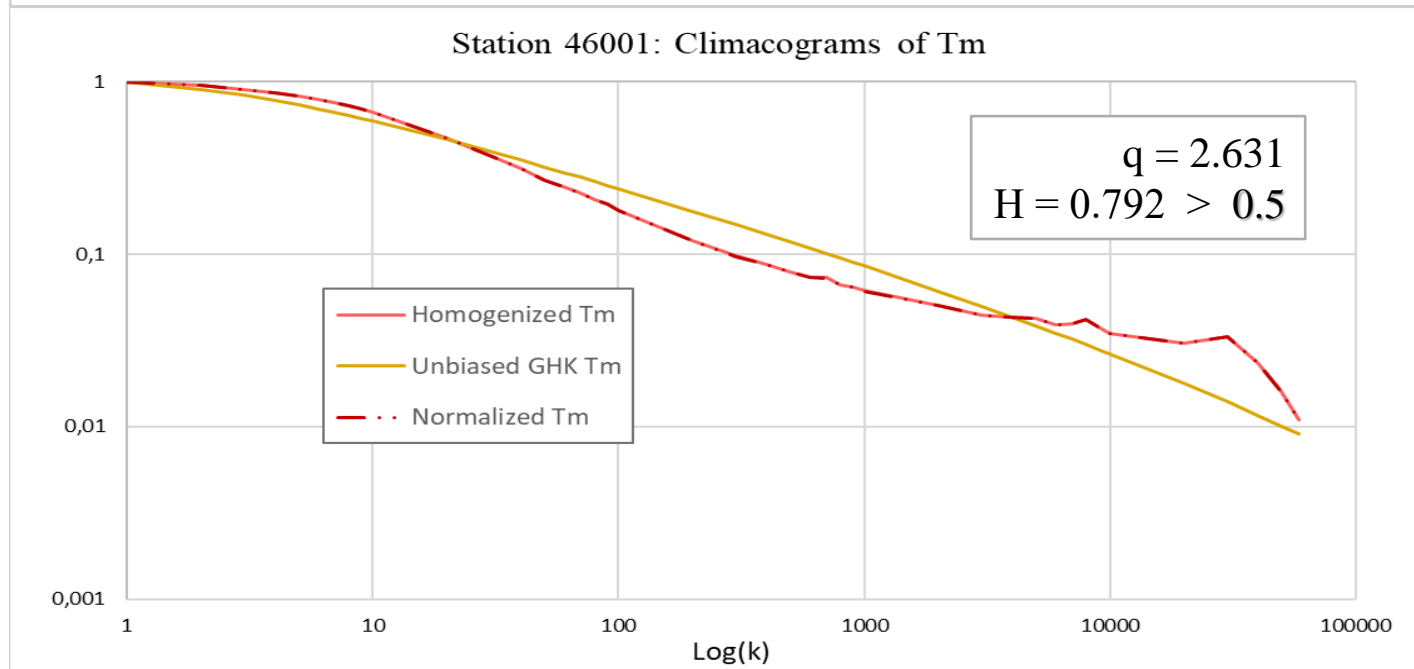
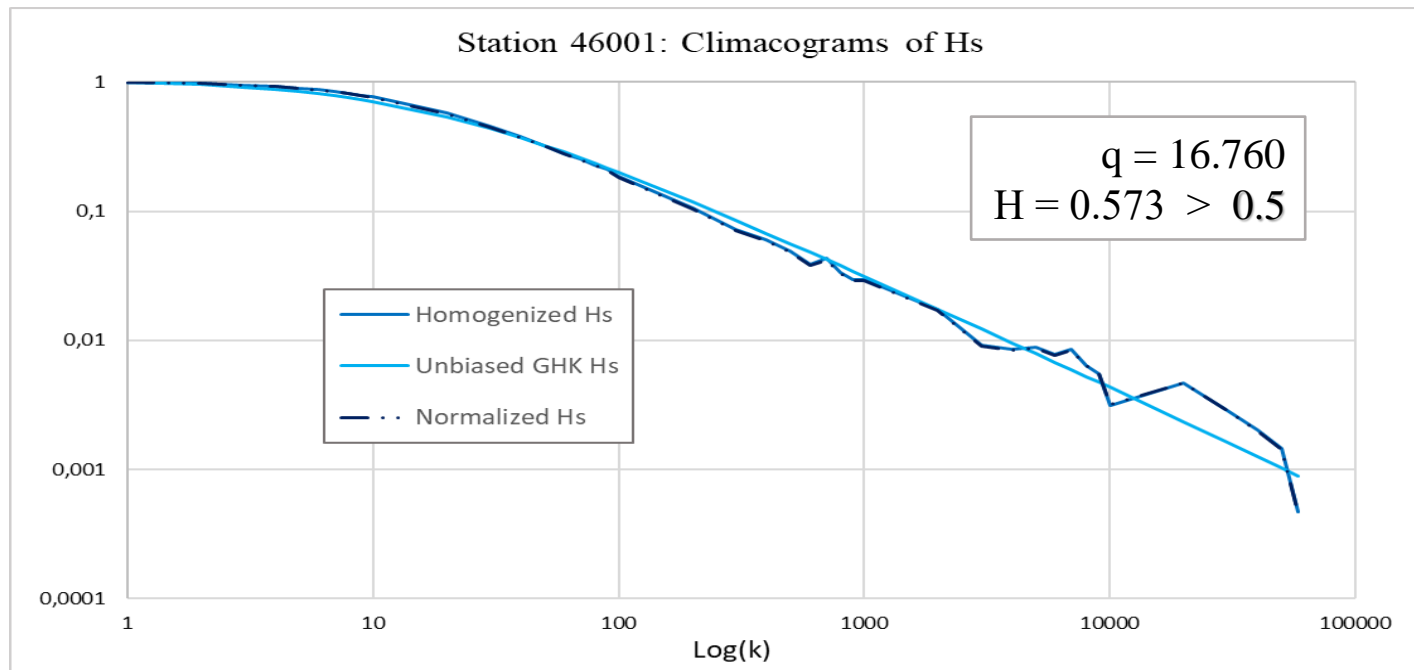


Βέλτιστη προσαρμογή το μοντέλο  
GHK με παραμέτρους:

$$q = 4.632$$

$$H = 0.783 > \mathbf{0.5}$$





- Ομογενοποιημένες και κανονικοποιημένες τιμές διαφέρουν ελάχιστα, γεγονός που δηλώνει ότι η επιρροή της περιοδικότητας στο φαινόμενο είναι αδύναμη.

- Επαληθεύεται η επιλογή του μοντέλου GHK αφού φαίνεται να προσαρμόζεται εξαιρετικά για τις δύο μεταβλητές.

- Στο κλιμακόγραμμα για τη μέση περίοδο παρατηρείται σημείο καμπής (“κοιλιά”), που λόγω της ασθενούς περιοδικότητας οφείλεται στο φυσικό φαινόμενο αθροίσματος δύο διεργασιών (Markov και τύπου HK), ενώ λόγω του μικρού της μεγέθους μοντελοποιείται ικανοποιητικά με μία και μόνο διεργασία (GHK).

## 4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

---

Η στοχαστική σύνθεση του μοντέλου GHK επιλέγεται να εκτελεστεί με το σχήμα του συμμετρικού κυλιόμενου μέσου (SMA), το οποίο μετασχηματίζει μία ανέλιξη λευκού θορύβου  $v_i$  σε μία ανέλιξη με αυτοσυσχέτιση  $\underline{x}_i$  σύμφωνα με τη σχέση:

$$\underline{x}_i = \sum_{j=-q}^q a_{|j|} \underline{v}_{i+j} = a_s \underline{v}_{i-q} + \dots + a_1 \underline{v}_{i-1} + a_0 \underline{v}_i + a_1 \underline{v}_{i+1} + \dots + a_s \underline{v}_{i+q}$$

όπου  $a_j$  συντελεστές βαρύτητας του σχήματος οι οποίοι συνδέονται με την αυτοσυνδιασπορά της ανέλιξης ως εξής:

$$\sum_{j=-s}^{s-i} a_{|j|} a_{|m+j|} = \gamma_m, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$



## 4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

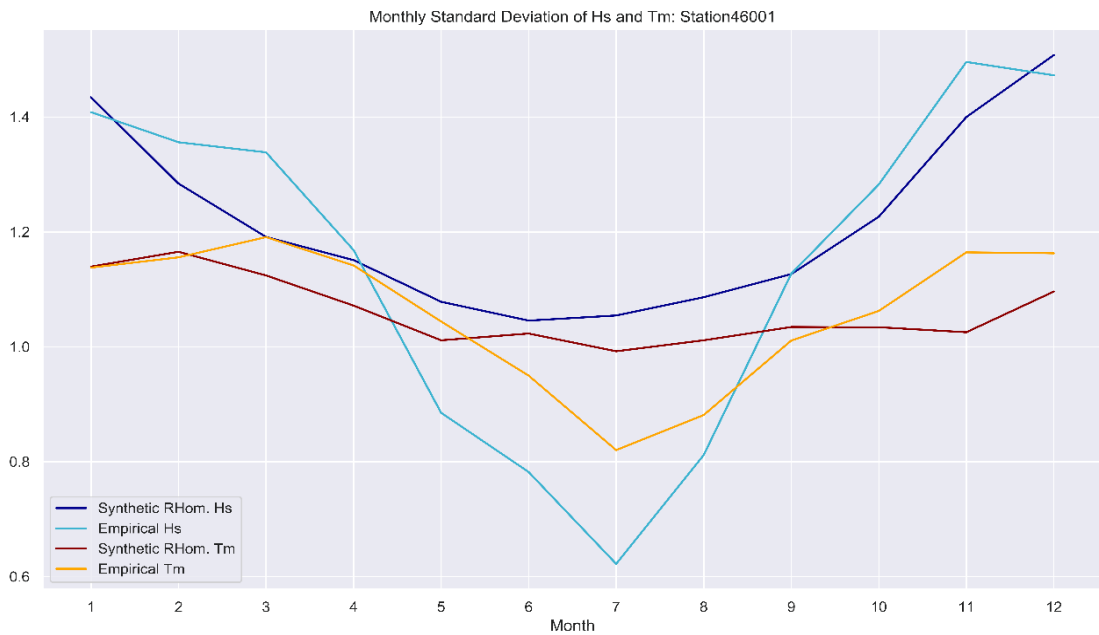
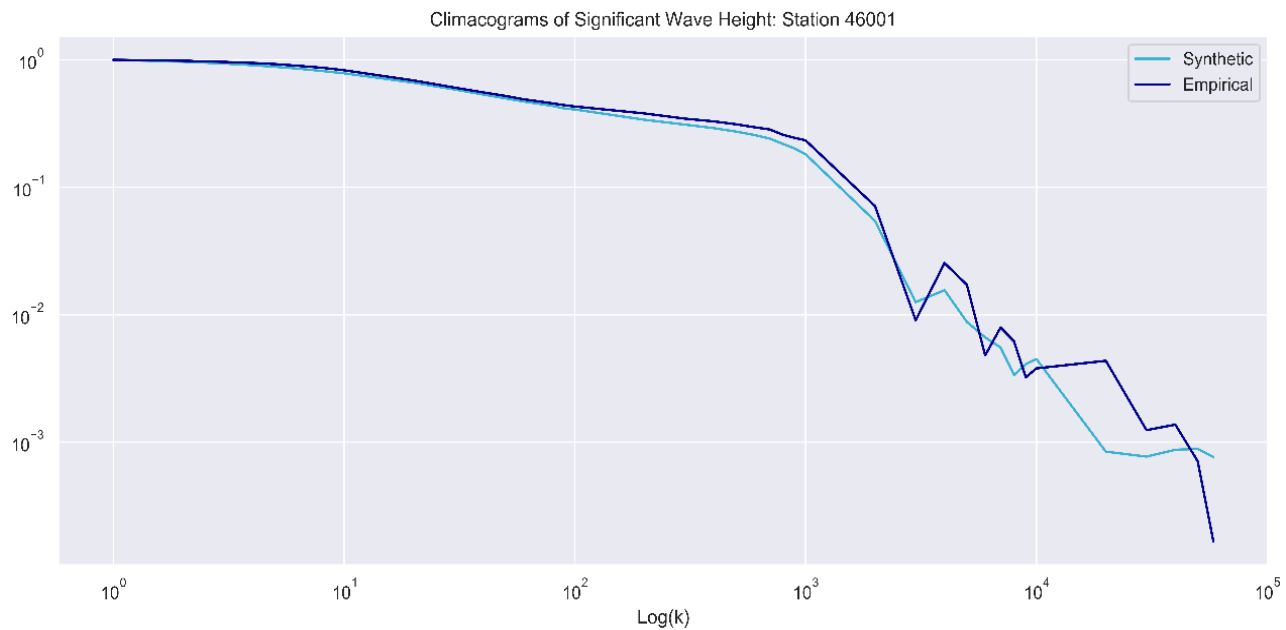
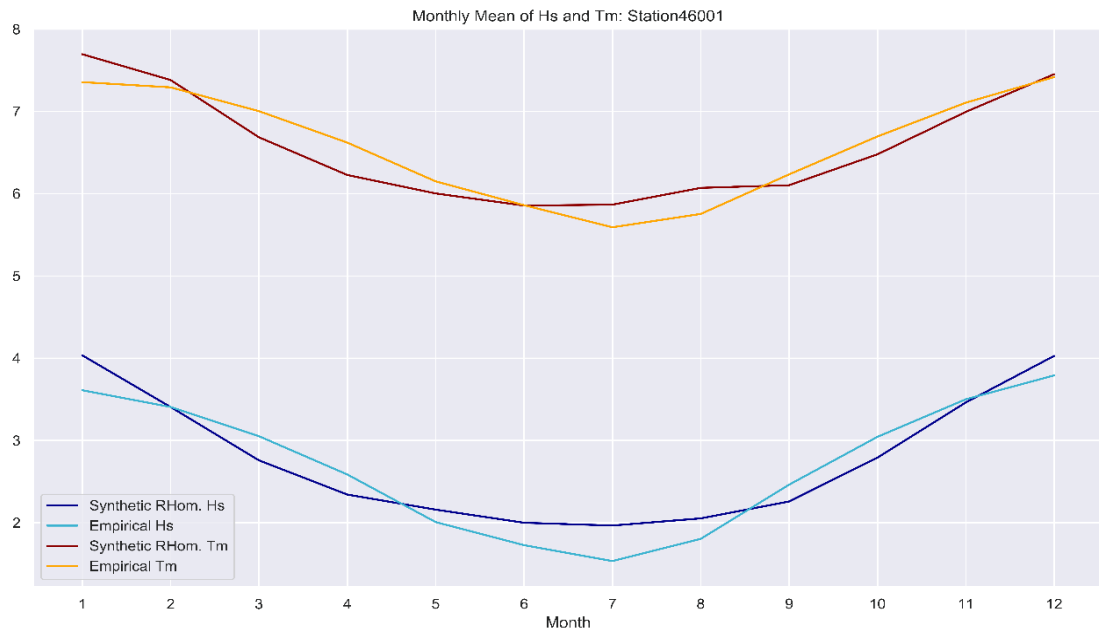
---

Ως εισόδους το μοντέλο λαμβάνει τις τέσσερις πρώτες στατιστικές ροπές που προκύπτουν από τις μέσες μηνιαίες παραμέτρους της προσαρμοσμένης κατανομής PBF, το πλήθος των τιμών του δείγματος και τις παραμέτρους από την προσαρμογή του μοντέλου GHK.

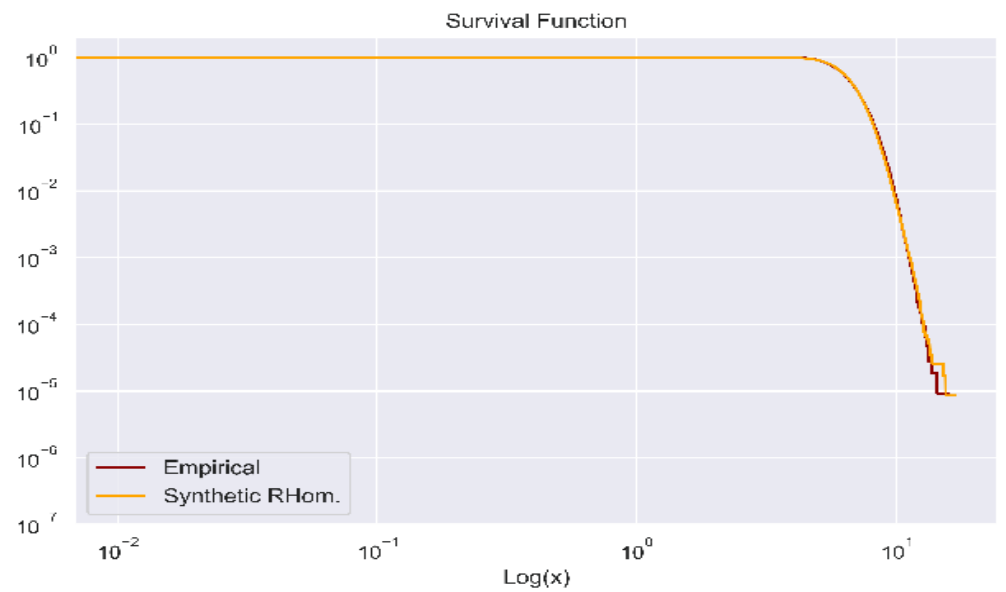
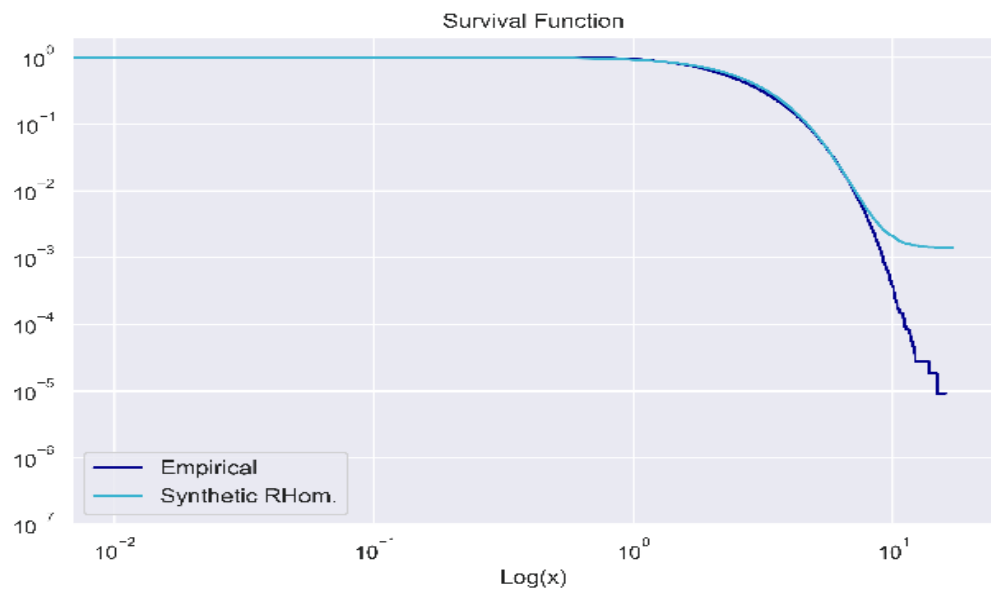
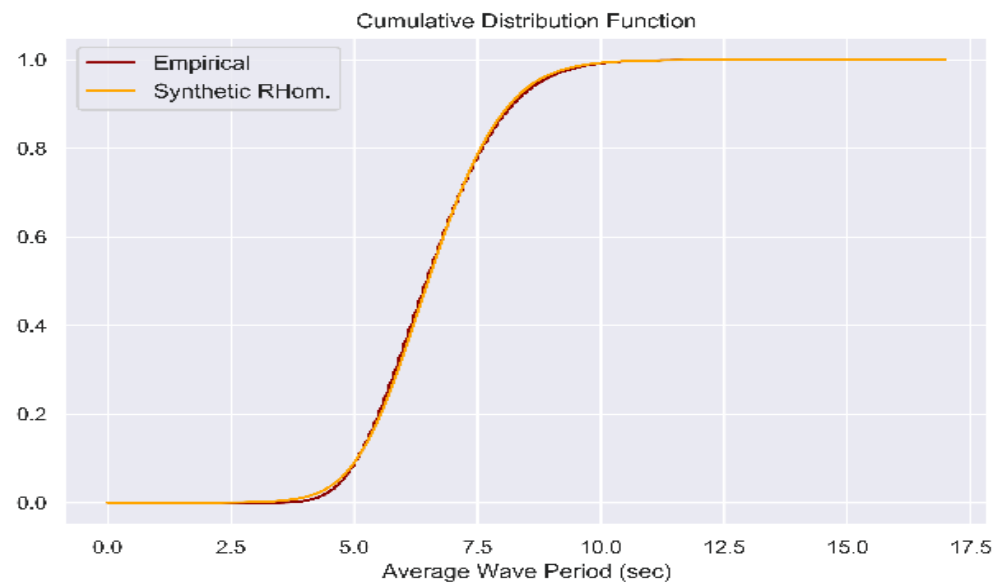
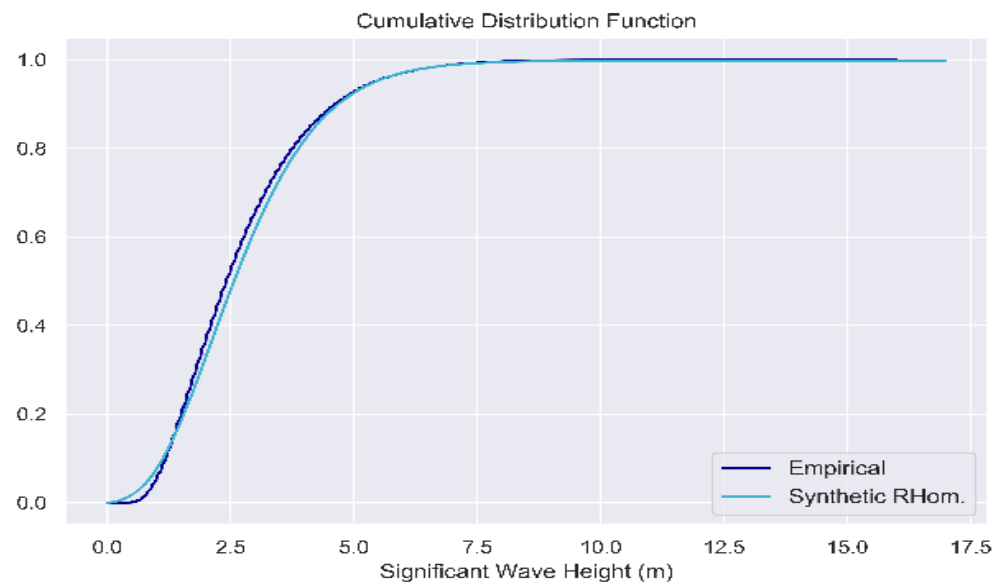
Παράγει συνθετικές χρονοσειρές για τις δύο μεταβλητές απουσία της περιοδικότητας από την περιθώρια δομή και συνεπώς απαιτείται να εκτελεστεί η διαδικασία της αντίστροφης ομογενοποίησης.

Για τη διαδικασία της αντίστροφης ομογενοποίησης, γίνεται χρήση του μοντέλου περιοδικότητας που κατασκευάστηκε νωρίτερα, ώστε το προτεινόμενο μοντέλο να οριστεί πλήρως, με όσο το δυνατόν λιγότερες παραμέτρους και να προκύψουν οι ζητούμενες συνθετικές χρονοσειρές.

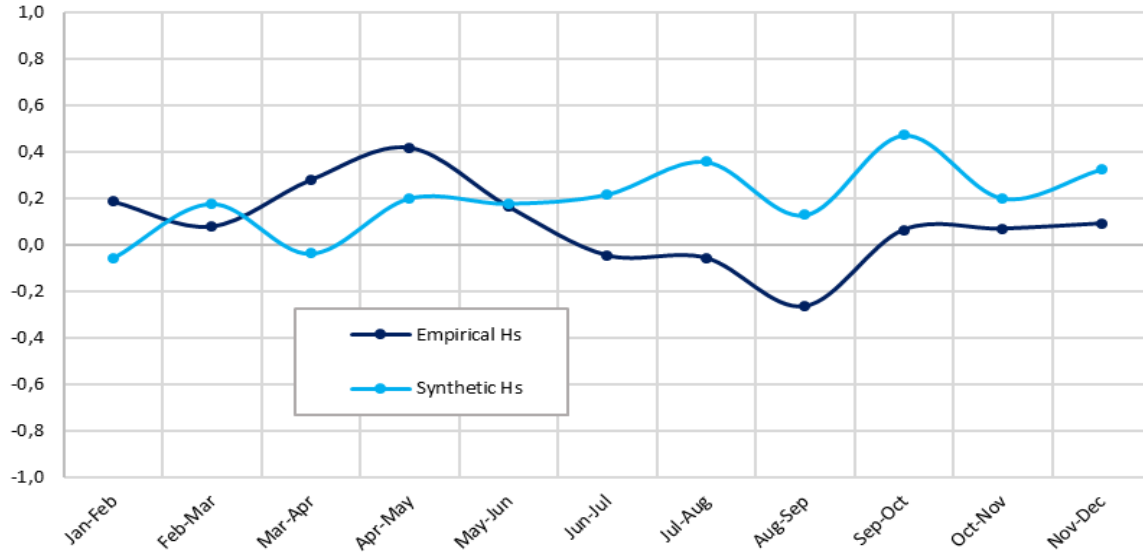
Τέλος, εκτελούνται απαραίτητοι έλεγχοι για την αξιοπιστία της σύνθεσης (σύγκριση μέσης τιμής, τυπικής απόκλισης, κλιμακογραμμάτων, συσχετίσεων, *cdf* και *sf*).



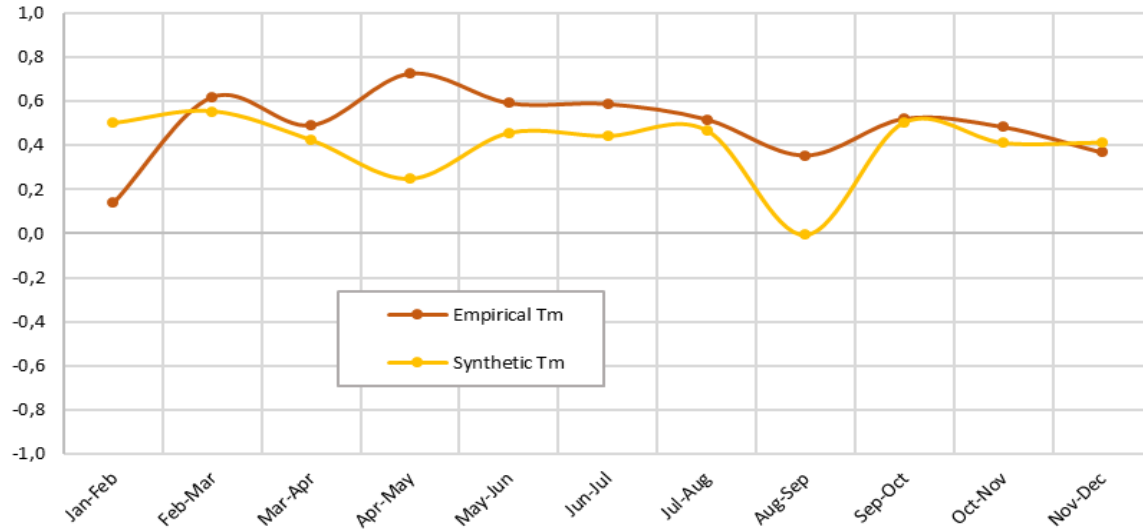
### Station 46001: Empirical vs Synthetic



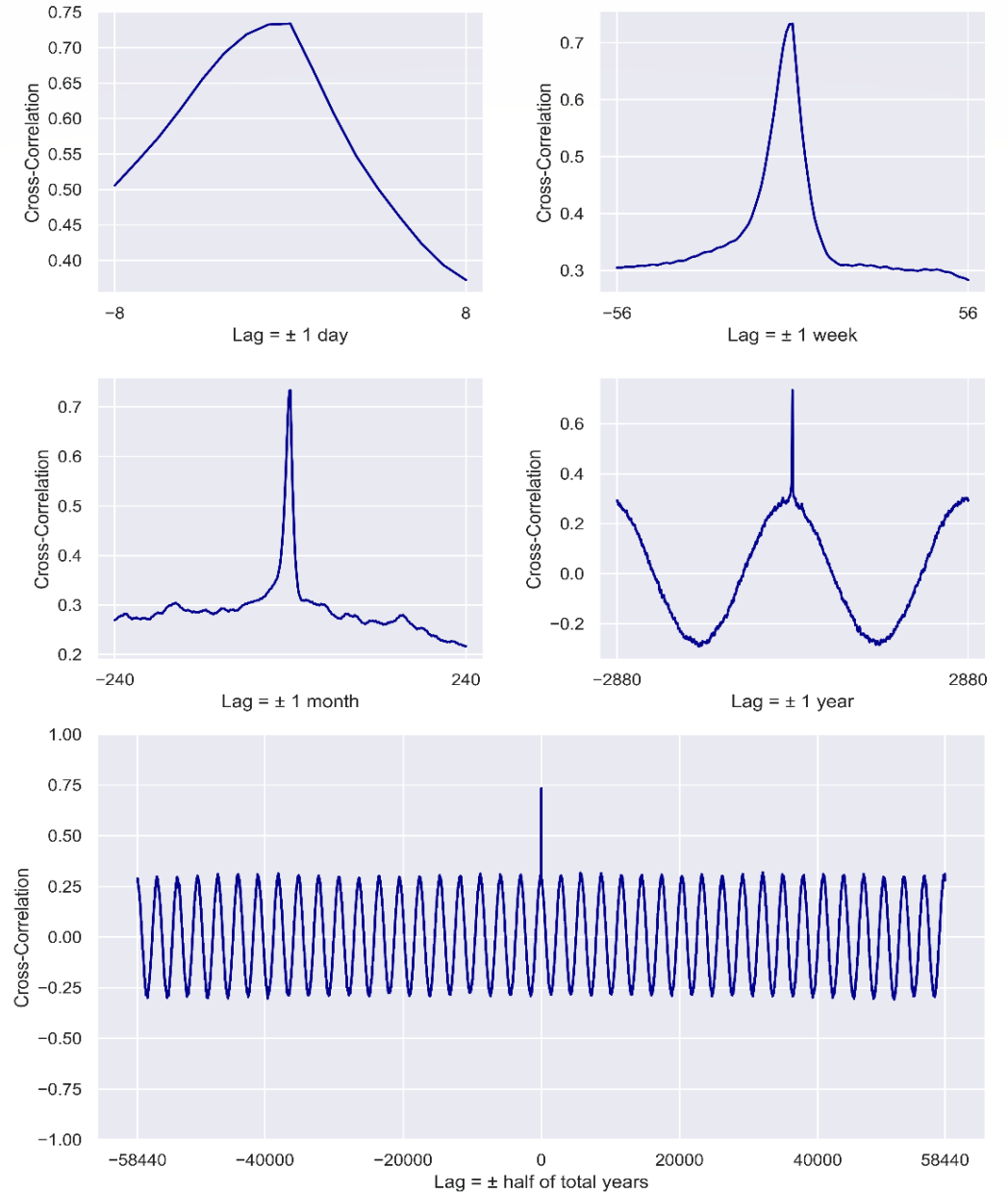
Monthly Correlations of Hs for lag=1 (Station 46001)



Monthly Correlations of Tm for lag=1 (Station 46001)



Significant Wave Height vs Average Wave Period



## 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

---

Το ενεργειακό δυναμικό υπολογίζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης που εκφράζει τη ροή ενέργειας (energy flux) σε βαθιά νερά:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_m$$

$P$  σε W/m η κυματική ισχύς ανά μέτρο μήκους κύματος

Εκτελούνται δύο εφαρμογές στοχαστικής σύνθεσης και εκτίμησης του ενεργειακού δυναμικού:

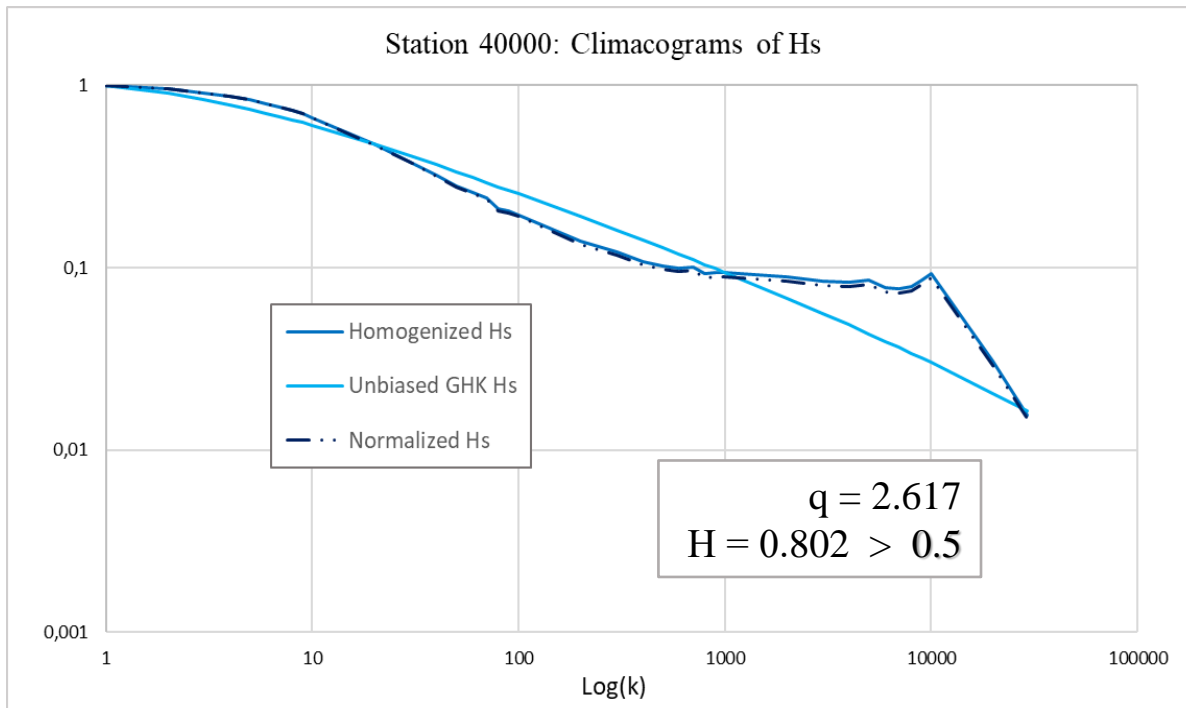
1. Ανοιχτά της πόλης Έντεν (ΝΑ Αυστραλία)
  - Μεγάλο πλήθος εμπειρικών δεδομένων (μετρήσεις από σημαντήρα)
2. Βόρεια της Αστυπάλαιας
  - Μικρό πλήθος δεδομένων που προέκυψαν ύστερα από προσομοίωση

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1

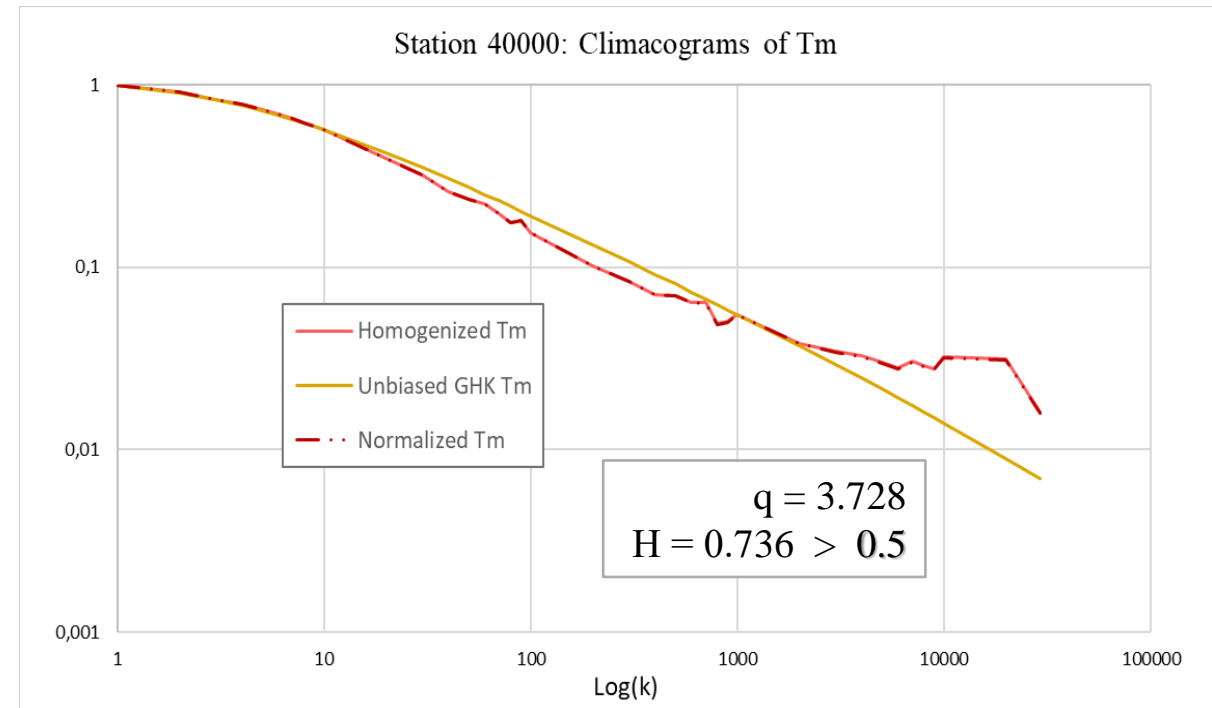
Ιστορικά δεδομένα 40 ετών  
(1978-2017) με 6ωρες  
καταγραφές.



Station 40000: Climacograms of Hs

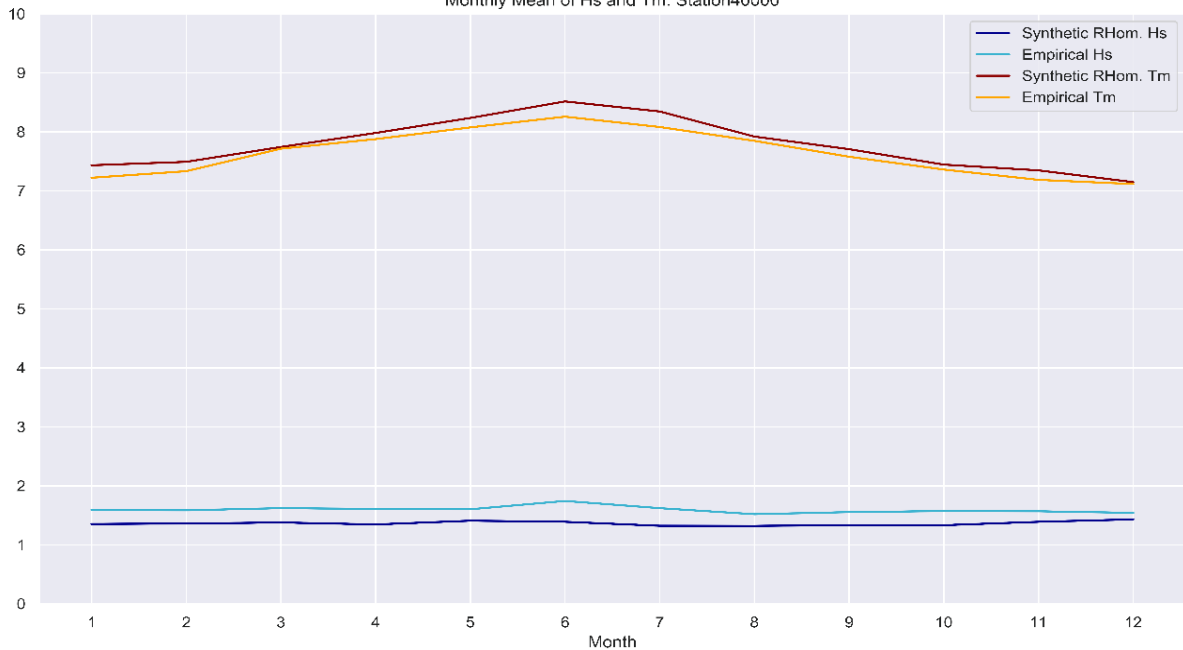


Station 40000: Climacograms of Tm

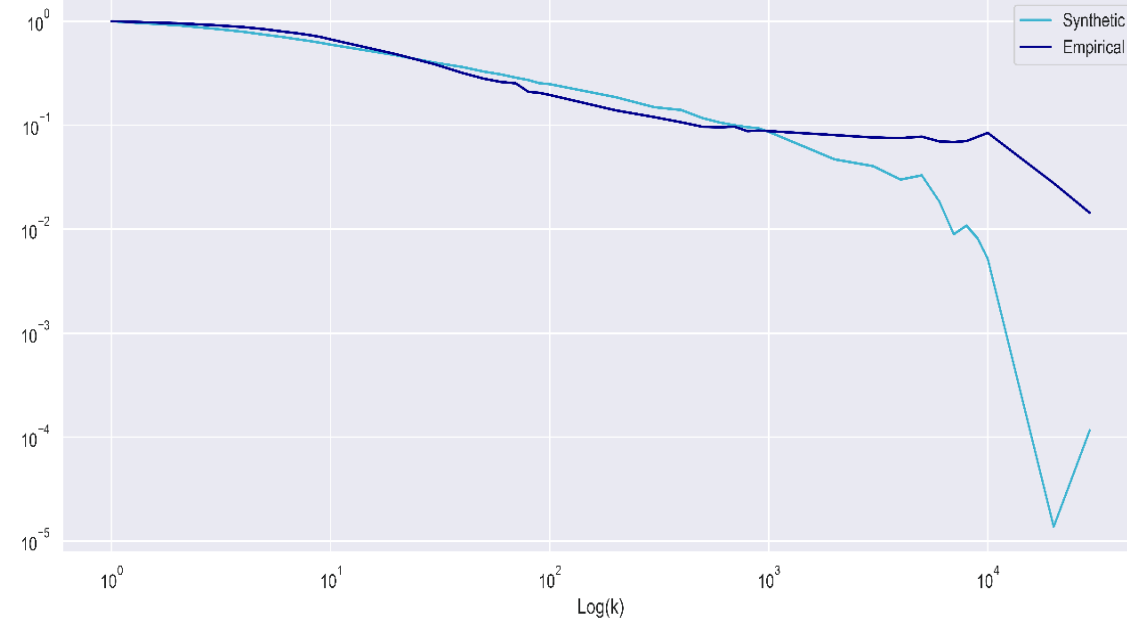




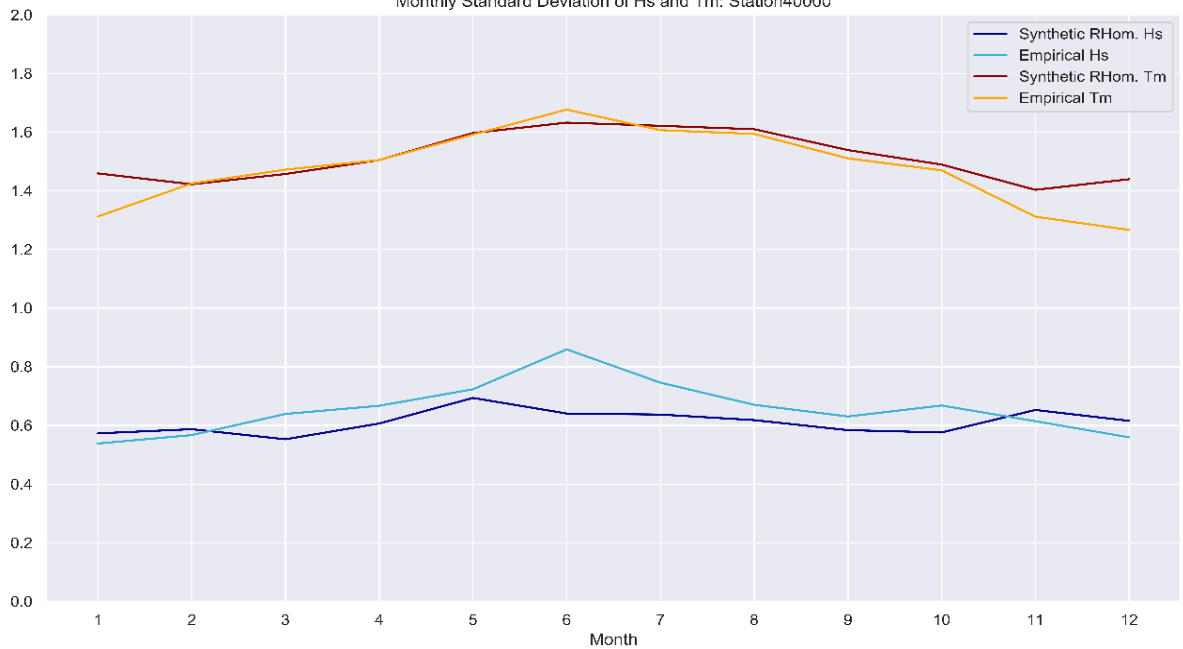
Monthly Mean of Hs and Tm: Station40000



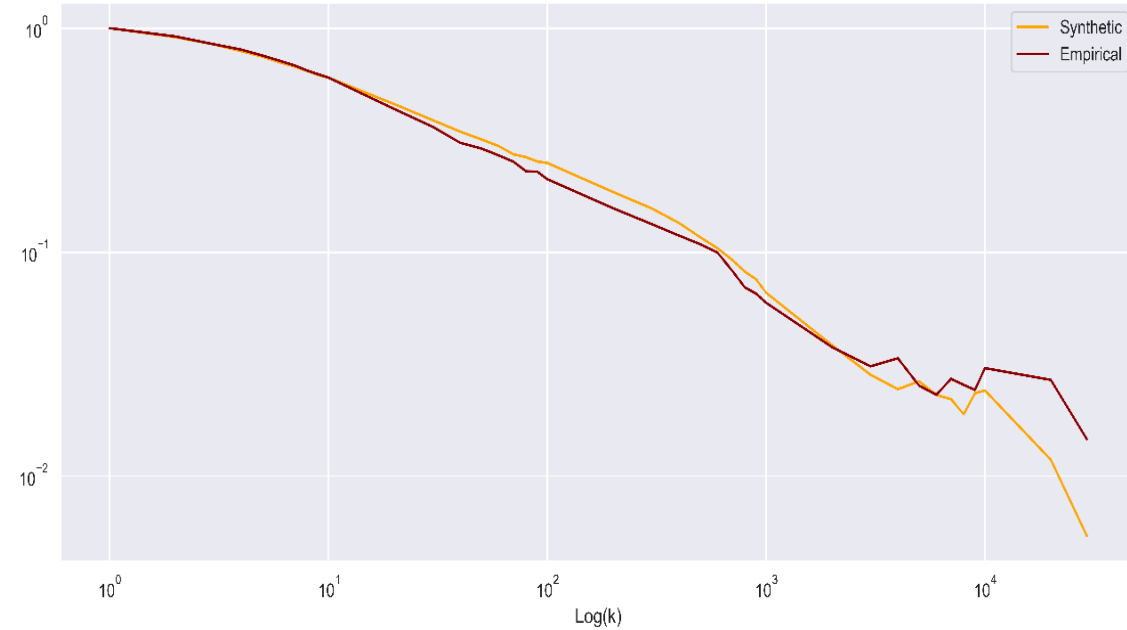
Climacograms of Significant Wave Height: Station 40000



Monthly Standard Deviation of Hs and Tm: Station40000

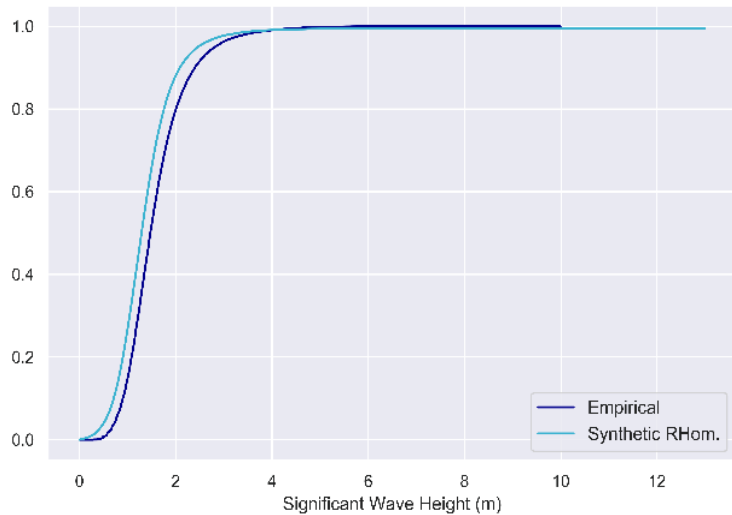


Climacograms of Average Wave Period: Station 40000

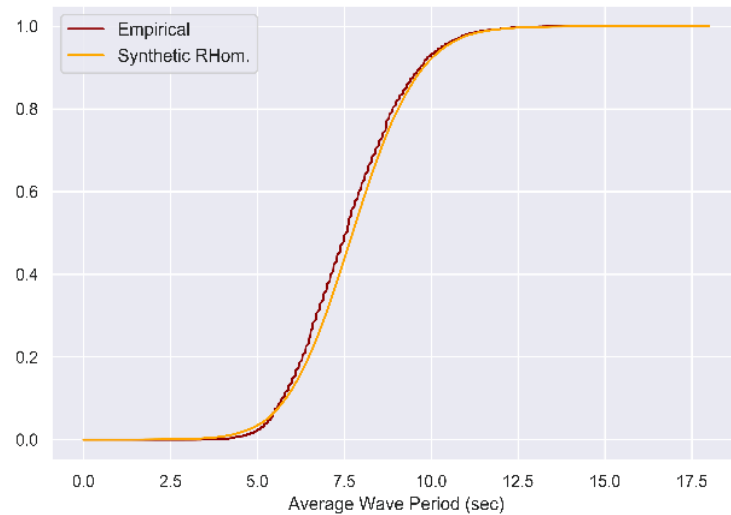


### Station 40000: Empirical vs Synthetic

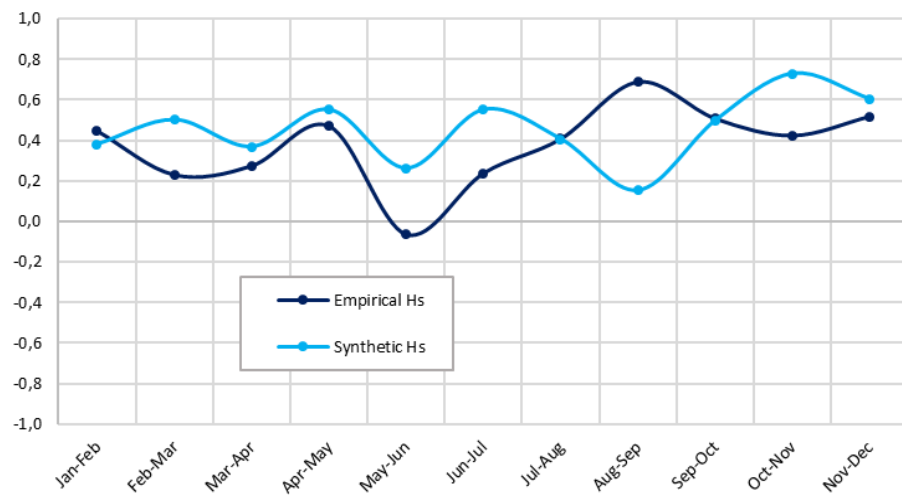
Cumulative Distribution Function



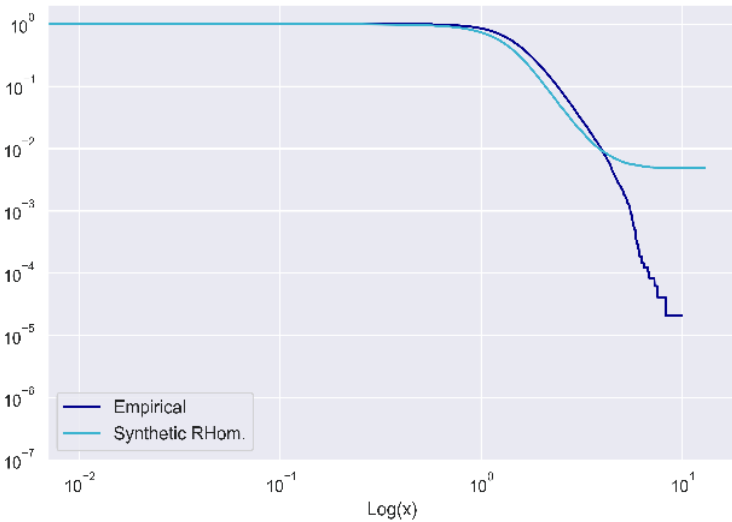
Cumulative Distribution Function



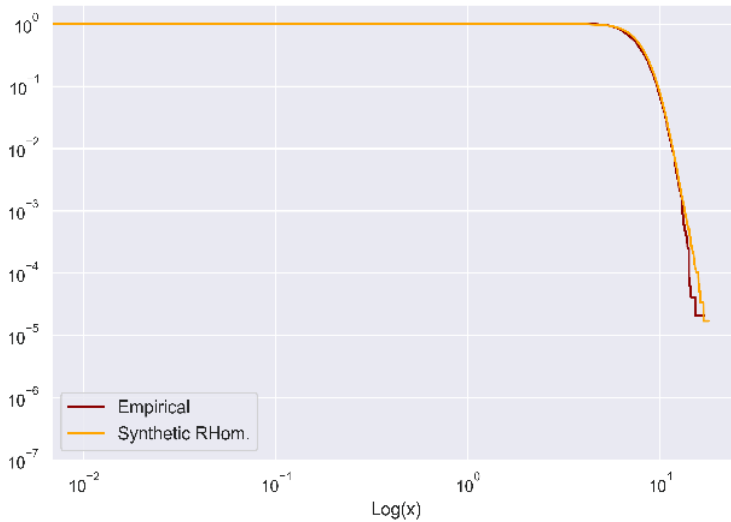
Monthly Correlations of Hs for lag=1 (Station 40000)



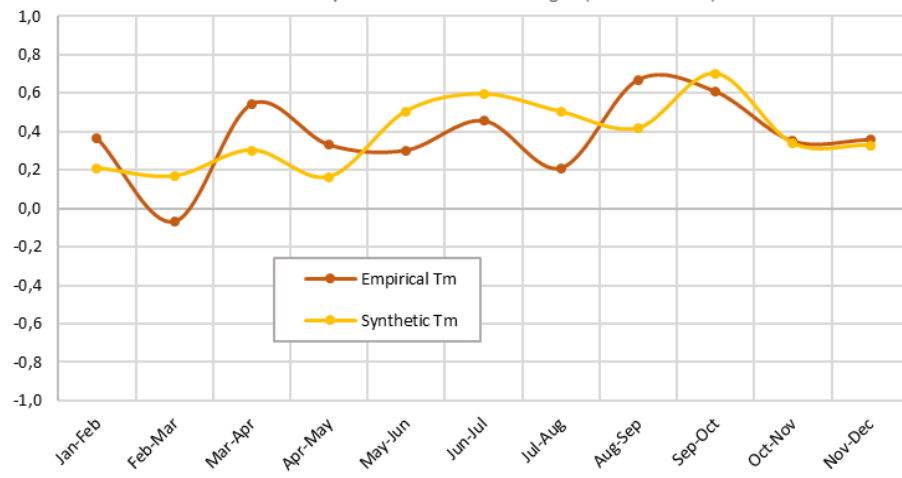
Survival Function

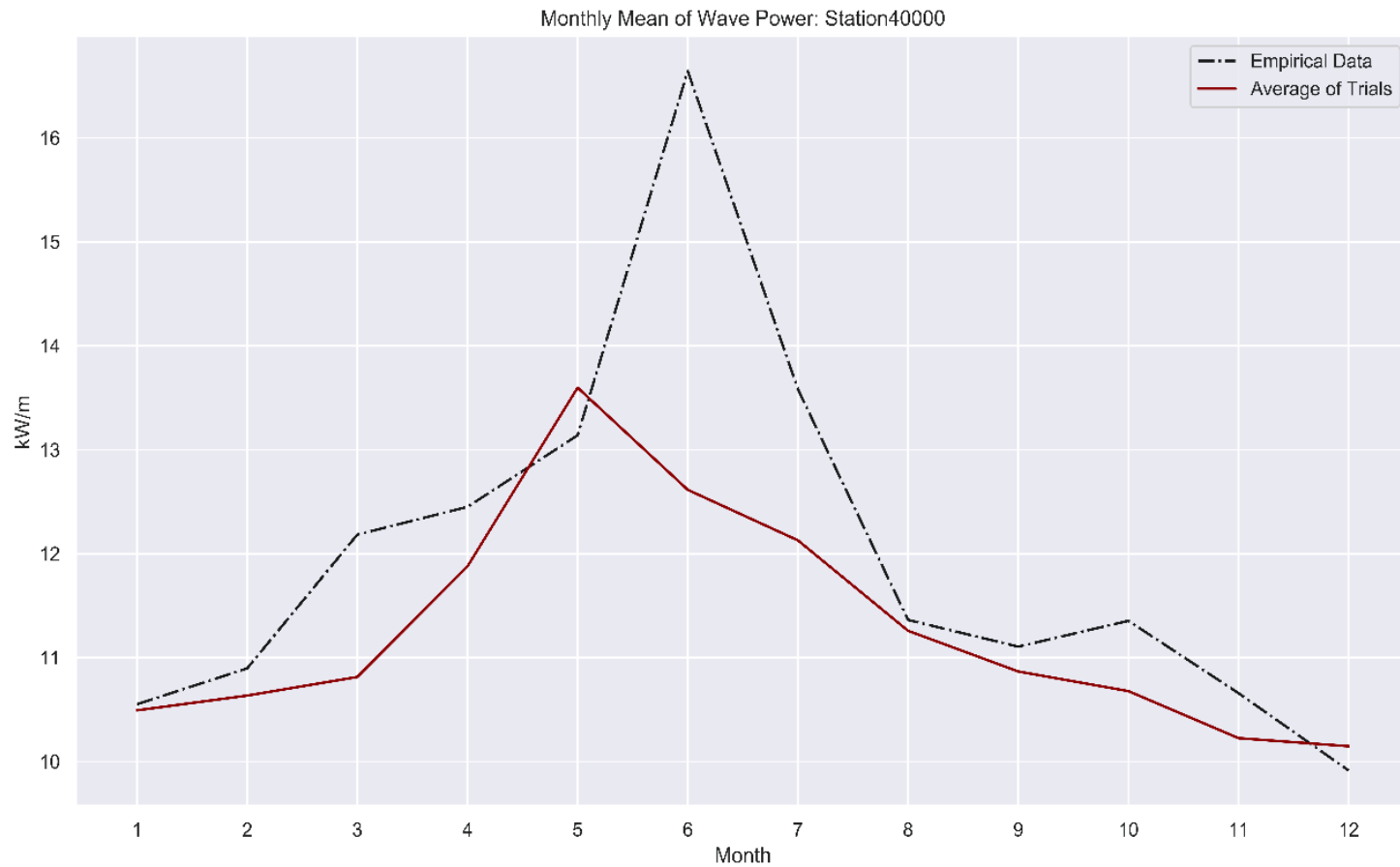


Survival Function



Monthly Correlations of Tm for lag=1 (Station 40000)



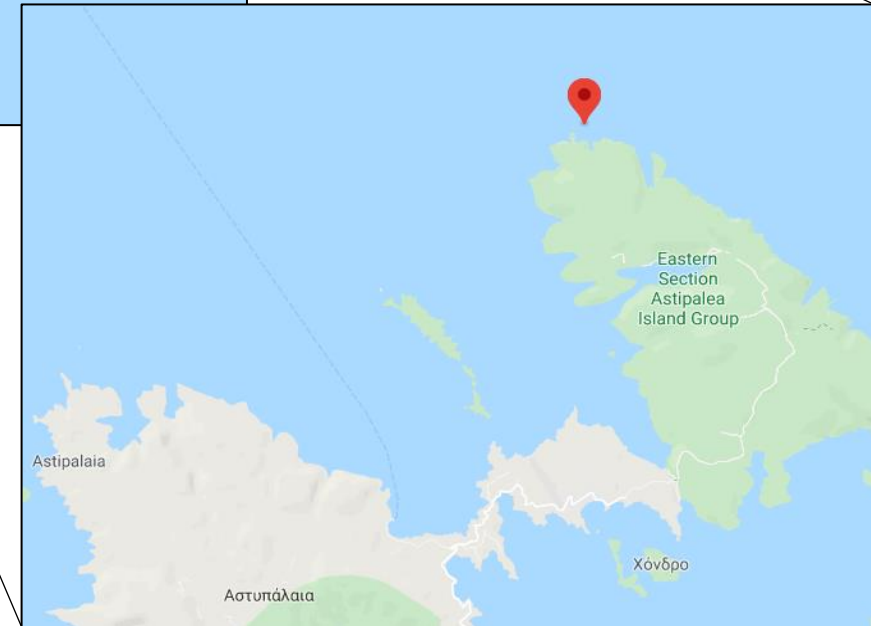
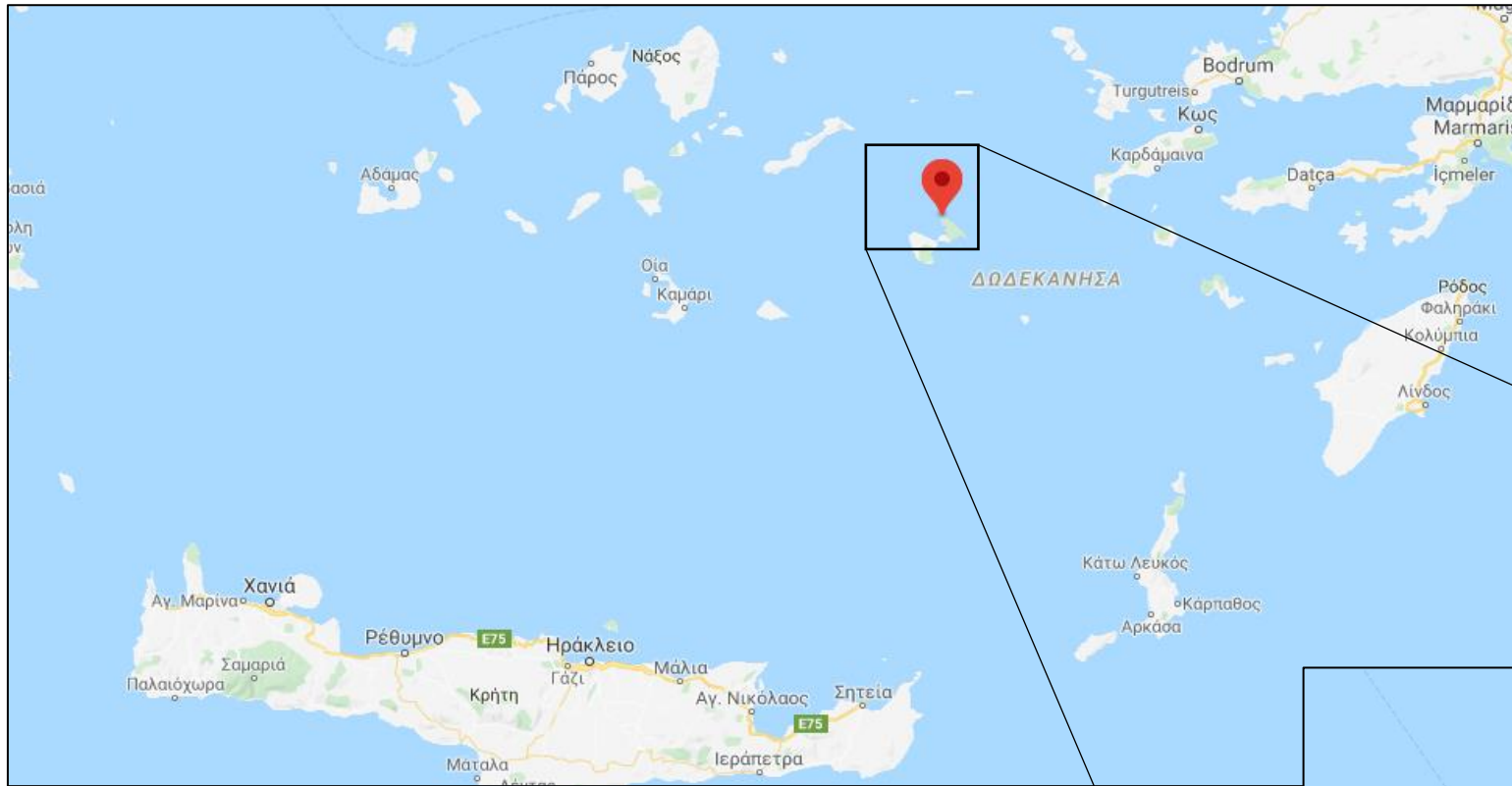


Εκτέλεση 5 προσομοιώσεων και υπολογισμός της μέσης τιμής για καλύτερη προσέγγιση.

Ήπια υποεκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού λόγω της αντίστοιχα ήπιας υποεκτίμησης ύψους και περιόδου από την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2

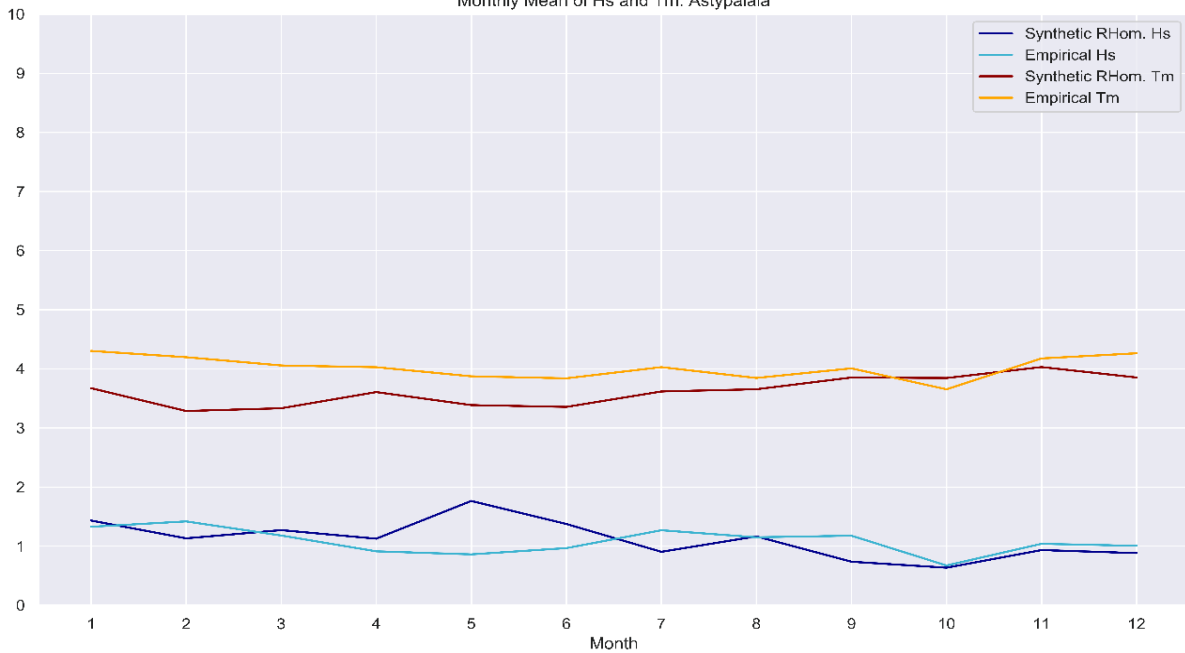
Δεδομένα ενός έτους 3ωρου χρονικού βήματος που προέκυψαν ύστερα από προσομοίωση από μετρήσεις σταθμών Μυκόνου και Σαντορίνης.



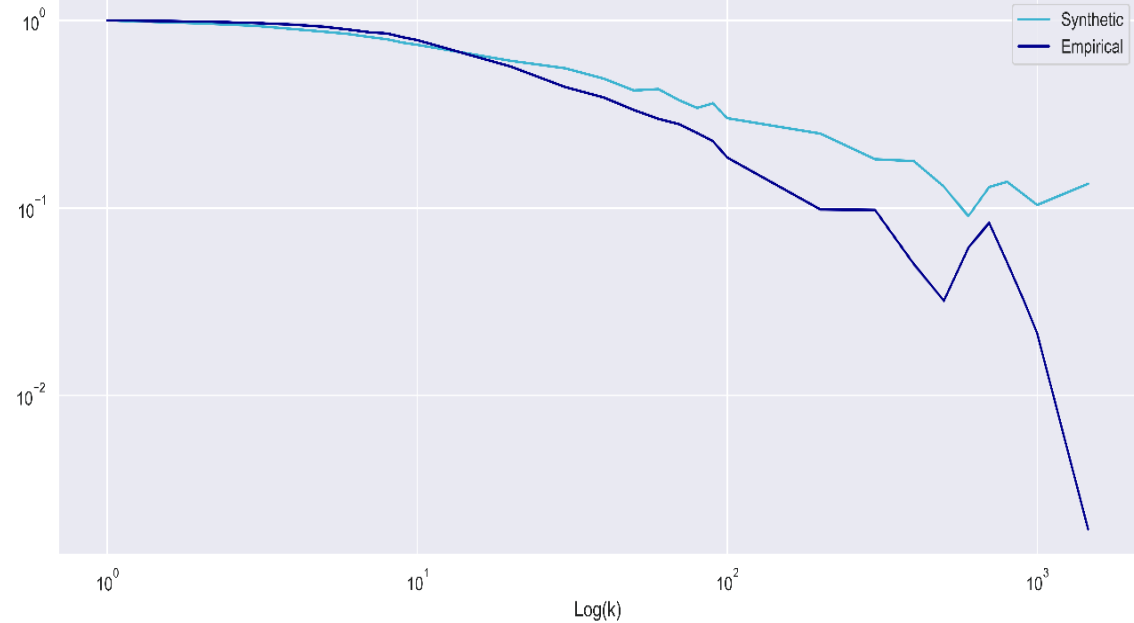
Παραδοχές για τις εισόδους του μοντέλου SMA:

- Τιμές  $H$  και  $q$  από την προσαρμογή του GHK στο μέσο κλιμακόγραμμα.
- Παράμετροι της PBF από προσαρμογή στο σύνολο της χρονοσειράς για τον προσδιορισμό των 4 ροπών.

Monthly Mean of Hs and Tm: Astypalaia



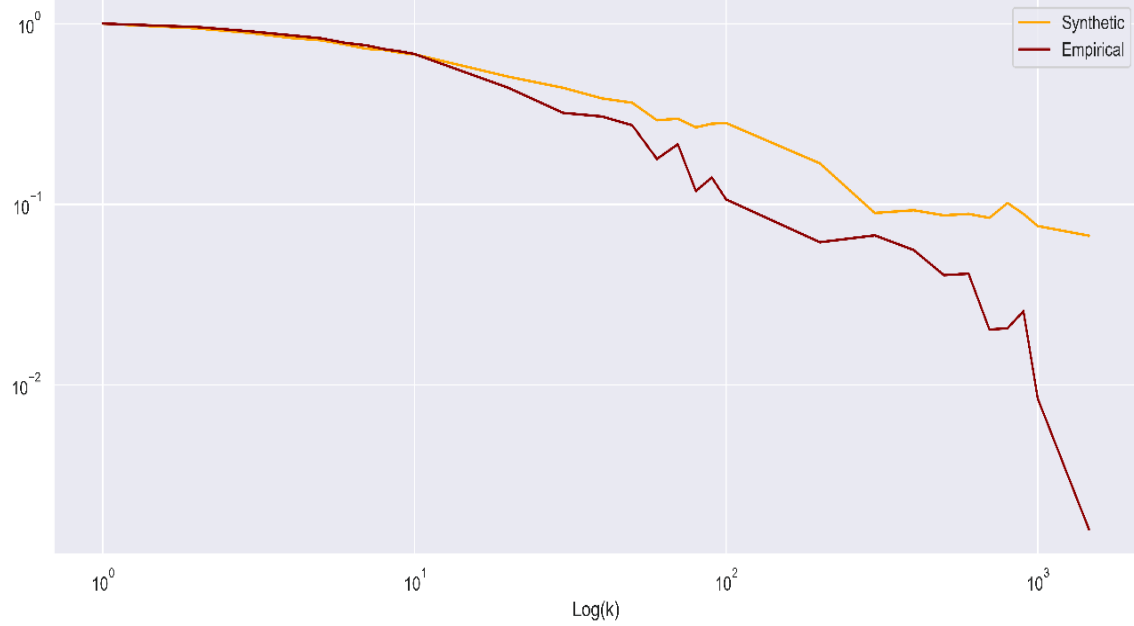
Climacograms of Significant Wave Height: Astypalaia



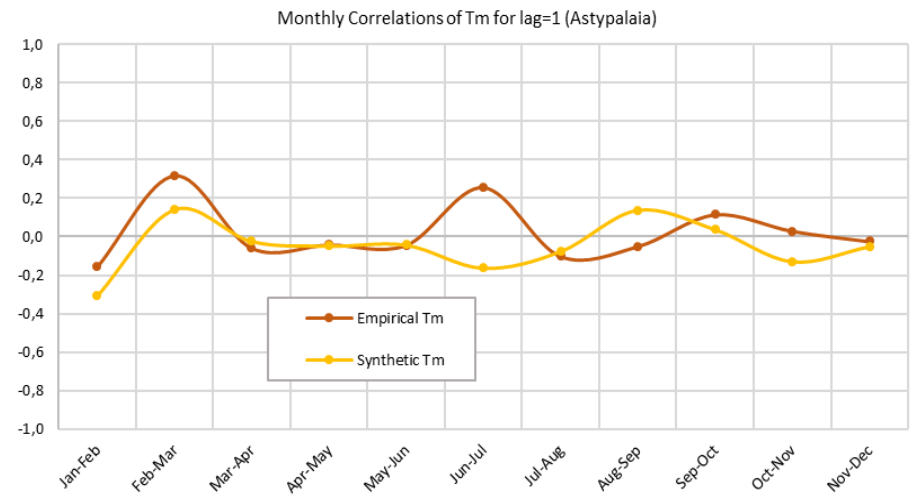
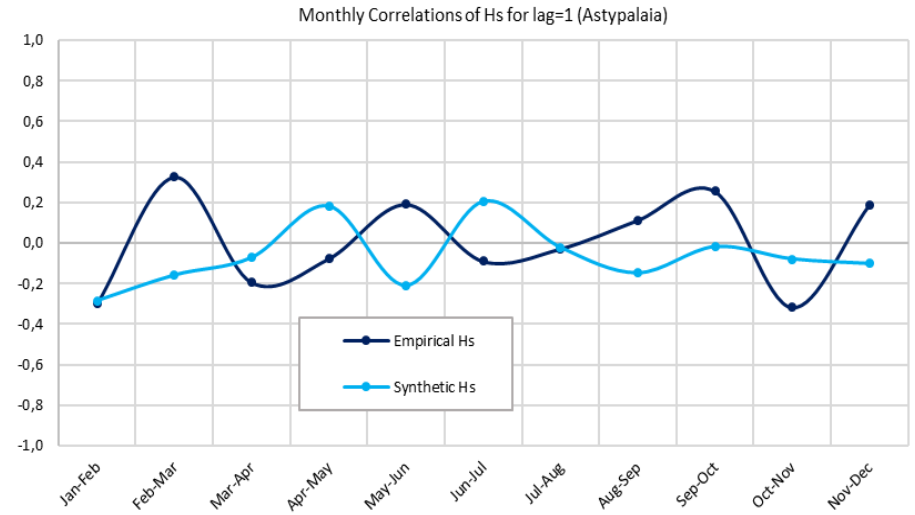
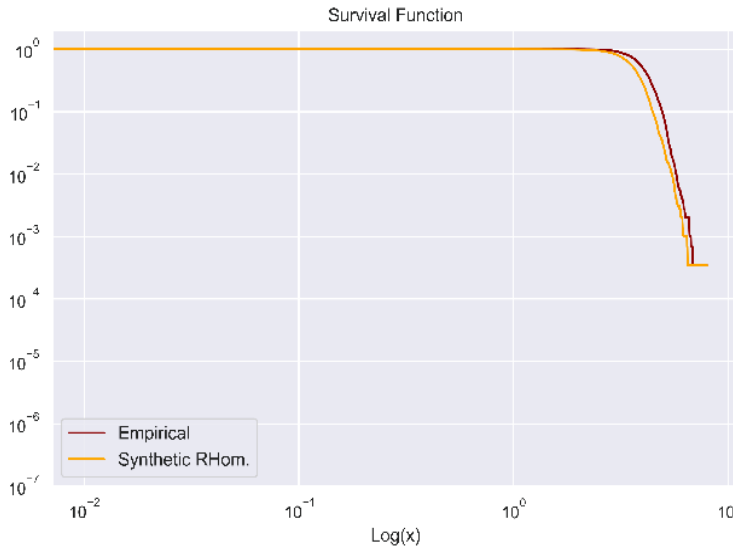
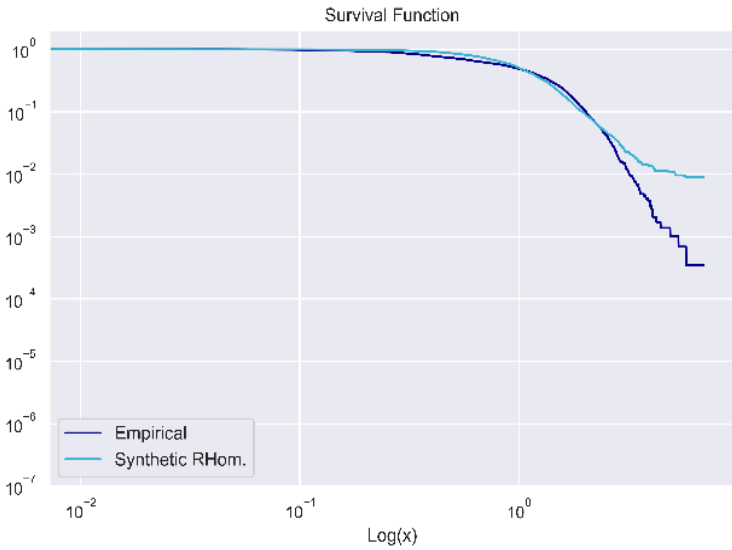
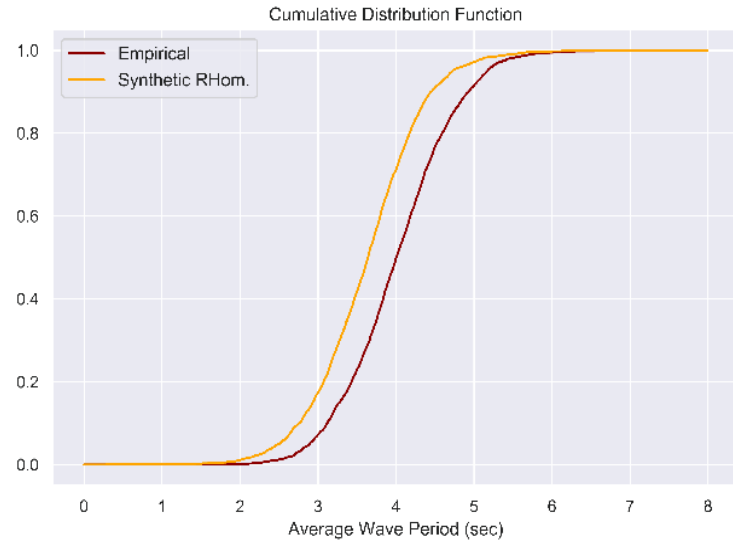
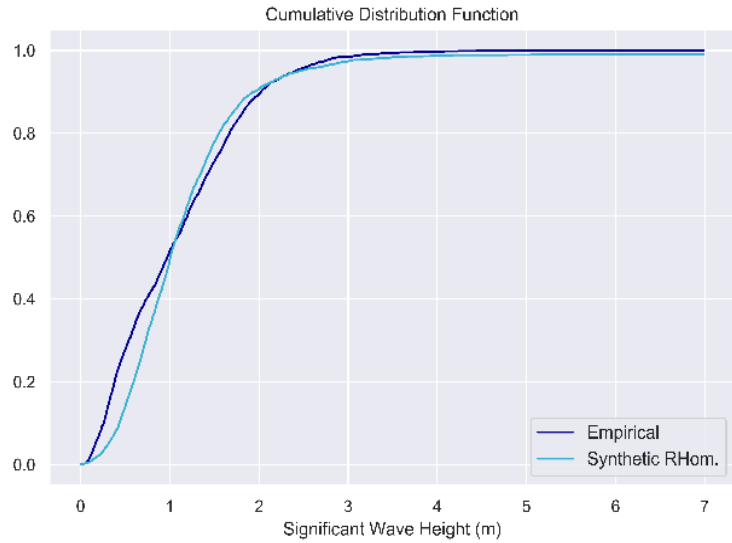
Monthly Standard Deviation of Hs and Tm: Astypalaia

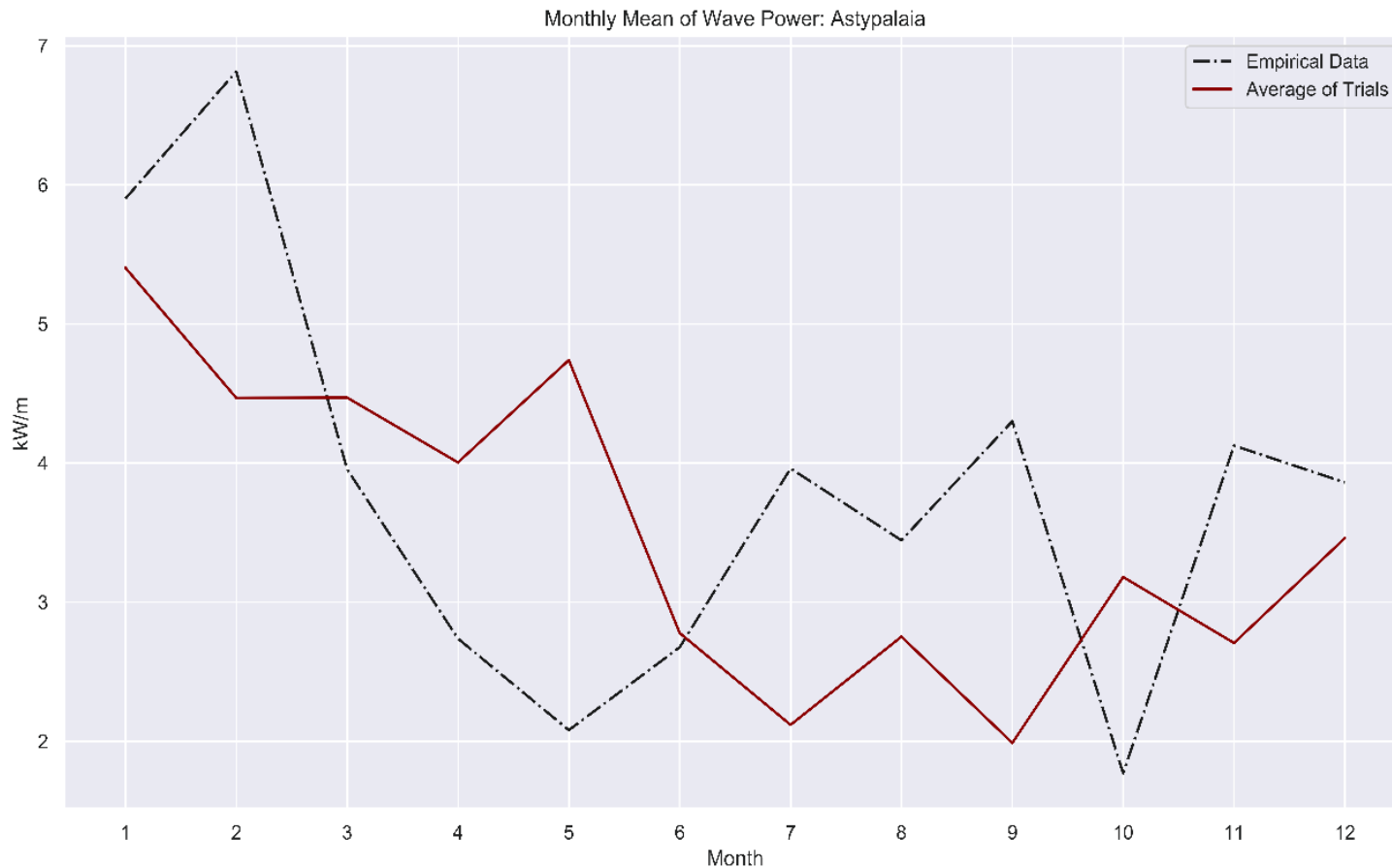


Climacograms of Average Wave Period: Astypalaia



### Astypalaia: Empirical vs Synthetic





Εκτέλεση 5 προσομοιώσεων και υπολογισμός της μέσης τιμής για καλύτερη προσέγγιση.

Ήπια υποεκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού λόγω της αντίστοιχα ήπιας υποεκτίμησης ύψους και περιόδου από την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών.

Ισχυρή επιρροή του πλήθους των διαθέσιμων δεδομένων και της προέλευσής τους.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

- Το φαινόμενο παρουσιάζει μονή περιοδικότητα (εποχική), σε αντίθεση με τον άνεμο, ο οποίος έχει διπλή περιοδικότητα (ενδοημερήσια και εποχική).
- Η κατανομή PBF προκύπτει ως η βέλτιστη κατανομή για την προσαρμογή στα δεδομένα μελέτης (Generalized Gamma και Lognormal για μέση περίοδο σε ειδικές περιπτώσεις).
- Το μοντέλο των 7 παραμέτρων (μοντέλο περιοδικότητας) ενδείκνυται για την περιγραφή των τριών πρώτων στατιστικών ροπών έναντι της εφαρμογής των 36 παραμέτρων.





## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

- Το φαινόμενο παρουσιάζει μακροπρόθεσμη εμμονή, με βέλτιστη την προσαρμογή της ανέλιξης GHK έναντι της HHK.
- Επιλέγεται το σχήμα SMA για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών (σύνθεση του μοντέλου GHK), το οποίο δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα όσο αυξάνεται ο αριθμός προσομοιώσεων, ενώ για το ενεργειακό δυναμικό παρατηρείται ήπια υποεκτίμηση.
- Κρίσιμοι παράγοντες της αξιοπιστίας του προτεινόμενου μοντέλου αποτελούν τα μήκη των διαθέσιμων χρονοσειρών (πλήθος δεδομένων), καθώς και η προέλευσή τους (εμπειρικές μετρήσεις – προσομοίωση), ωστόσο η μέθοδος δύναται να εφαρμοστεί και σε μικρά δείγματα (βλ. Εφαρμογή Αστυπάλαια).

