



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Χριστίνα Τσολούδη

Επίβλεψη: Ανδρέας Ευστρατιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθανάσιος Ζήσος, Υποψήφιος Διδάκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2025

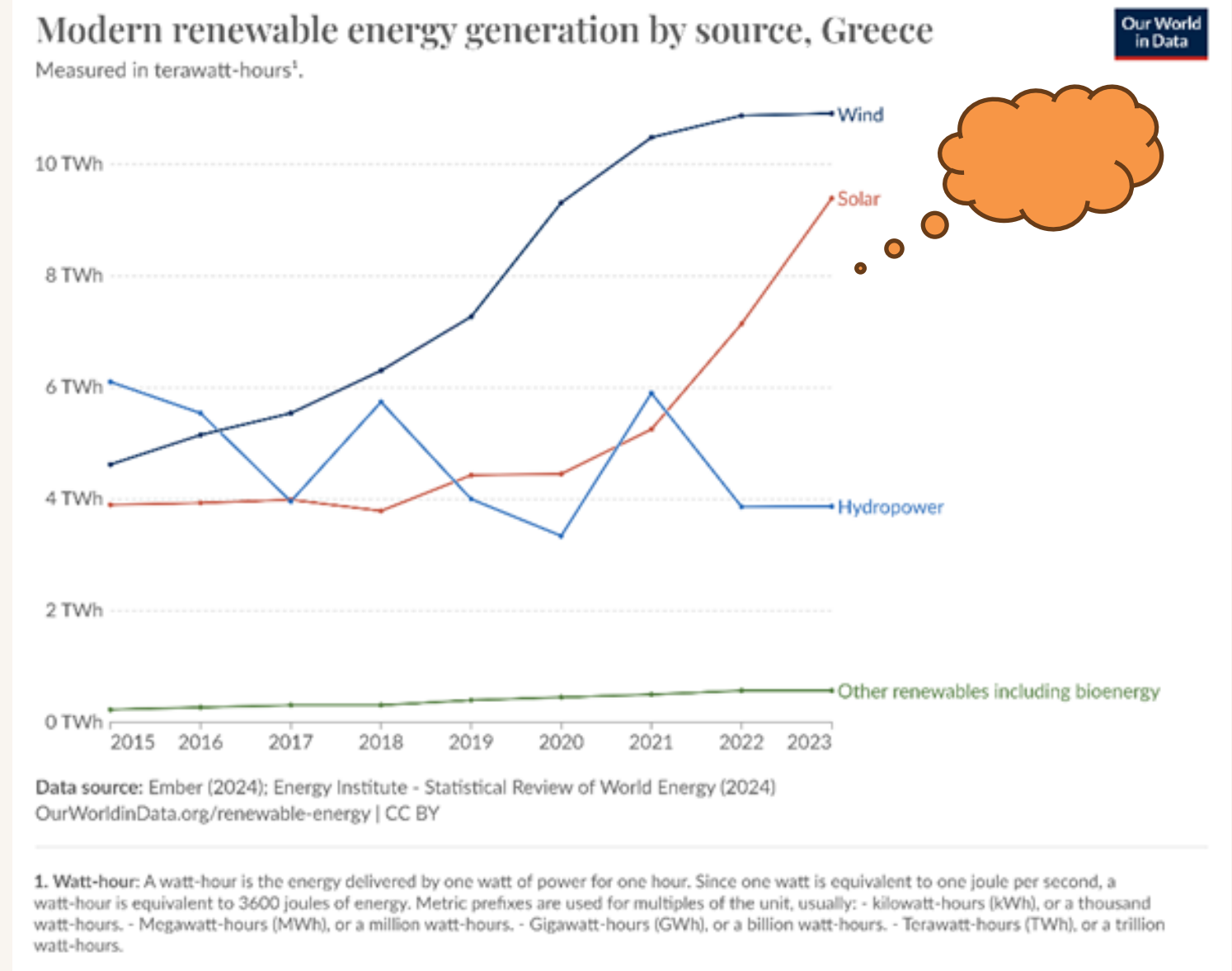
- Προσιτή μορφή ενέργειας λόγω χαμηλού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας
- Αφθονία σε ηλιοφάνεια λόγω αυξημένου ηλιακού δυναμικού
- Δυνατότητα αποκεντρωμένης παραγωγής → μείωση εξάρτησης από το δίκτυο και τα ορυκτά καύσιμα → ενεργειακή αυτονομία
- Πρόοδος σε τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και διαχείρισης ζήτησης
- Από το 2022 στο 2023 υπήρξε αύξηση 17% στην παραγόμενη ενέργεια



Άμεση εξάρτηση από ηλιοφάνεια
και λοιπές ατμοσφαιρικές συνθήκες



ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ



Άμεση εξάρτηση από ηλιοφάνεια και καιρικές συνθήκες
παράγοντες με χωρική μεταβλητότητα

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Ανάγκη για δυνατότητα εκτίμησης ηλιακής παραγωγής



Αύξηση αξιοπιστίας
ενεργειακού συστήματος

Πλήρη αποδέσμευση
συμβατικών πηγών
παραγωγής ενέργειας

Βελτιστοποίηση διαχείρισης
παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
και μείωση κόστους λειτουργίας

Ο λόγος της πραγματικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, E , προς τη θεωρητικά μέγιστη ποσότητα που μπορεί να παραχθεί από ένα έργο (ή σύστημα έργων) με συνολική ονομαστική ισχύ P_{max} κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος, T .

$$CF = \frac{E}{P_{max} T} = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_{max} T}$$

Συνήθως, ο συντελεστής δυναμικότητας (CF) αναφέρεται σε ετήσια κλίμακα, όπου η θεωρητικά μέγιστη παραγωγή ενέργειας είναι ίση με τη μέγιστη (ονομαστική) ισχύ του συστήματος κατά τη διάρκεια των ωρών του έτους ($T = 8760$ ώρες).

Στην περίπτωση μη ελεγχόμενων πηγών ενέργειας που επηρεάζονται από τυχαία μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ., αιολικά, Φ/Β, μικρά υδροηλεκτρικά), ο CF μπορεί να θεωρηθεί ως ένας **μακροσκοπικός οικονομικός δείκτης** αξιολόγησης, καθώς συγκρίνει την παραγόμενη ισχύ (οφέλη από την πώληση ενέργειας) με την εγκατεστημένη ισχύ (κόστος επένδυσης).

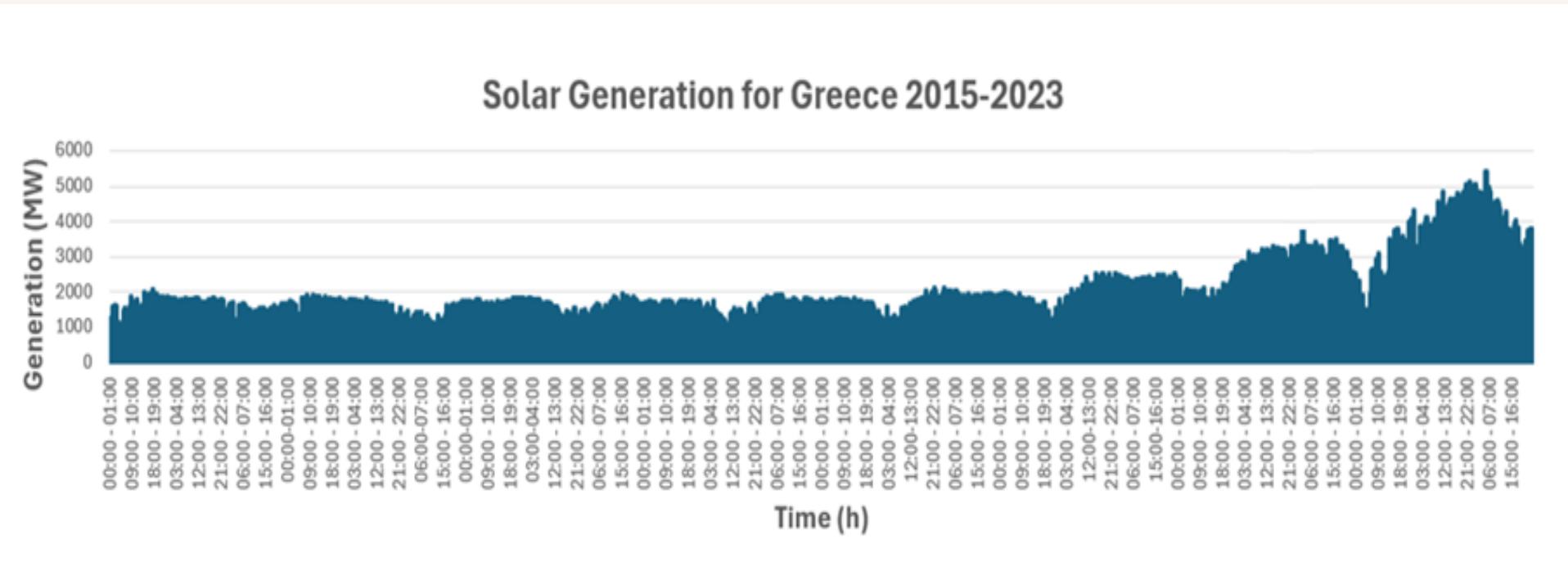
Τυπική «καλή» τιμή για φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα: 20%

Ιδεατές συνθήκες λειτουργίας Φ/Β συστημάτων:

- Θερμοκρασία μέχρι 25°C
- Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία πάνω από 1000 W/m²
- Ηλιακά πλαίσια (panel) νέας τεχνολογίας

ΠΑΡΑΓΩΓΗ

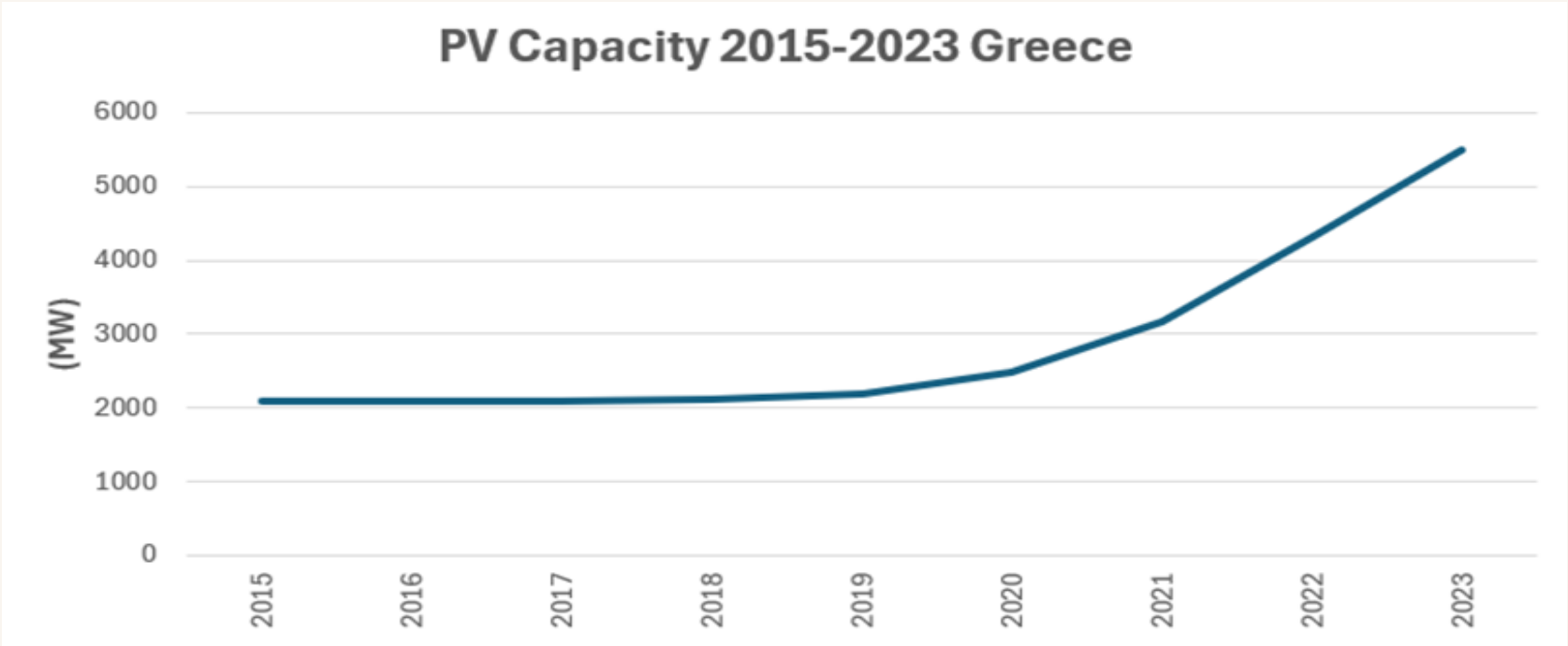
Συλλογή **ωριαίων δεδομένων** μέσω της πλατφόρμας του ENTSO-E για τα έτη 2015-2023 και συνάθροιση αυτών σε ημερήσια κλίμακα



Τα ωριαία πρωτογενή δεδομένα είναι καταγεγραμμένα σε ώρα Ανατολικής Ευρώπης (EET, UTC +2:00), δηλαδή σε ώρα Ελλάδος. Οι τιμές που δίνονται για την ωριαία παραγωγή μετρούνται σε MW.

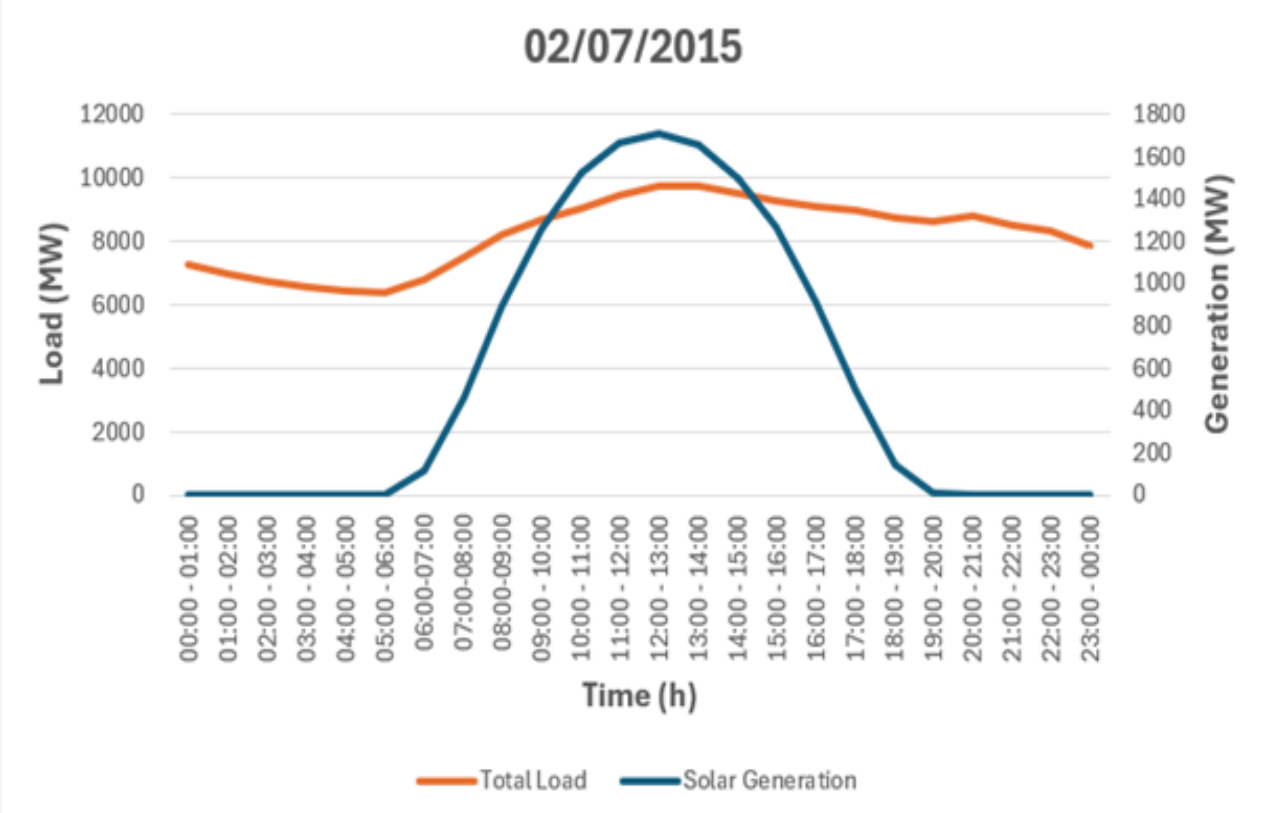
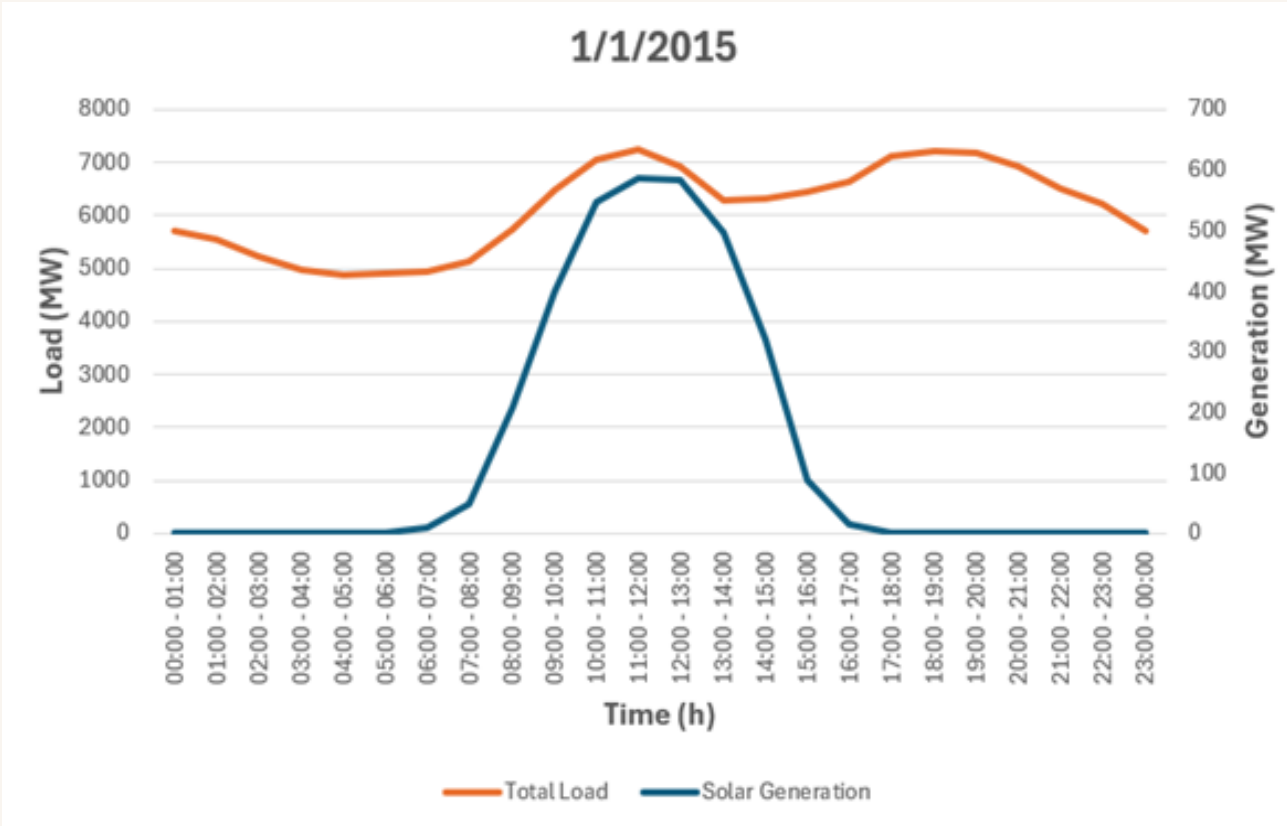
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ

Συλλογή **μηνιαίων δεδομένων** μέσω της πλατφόρμας του ΔΑΠΕΕΠ και γραμμική παρεμβολή αυτών σε ημερήσια κλίμακα, για τα έτη 2015-2023



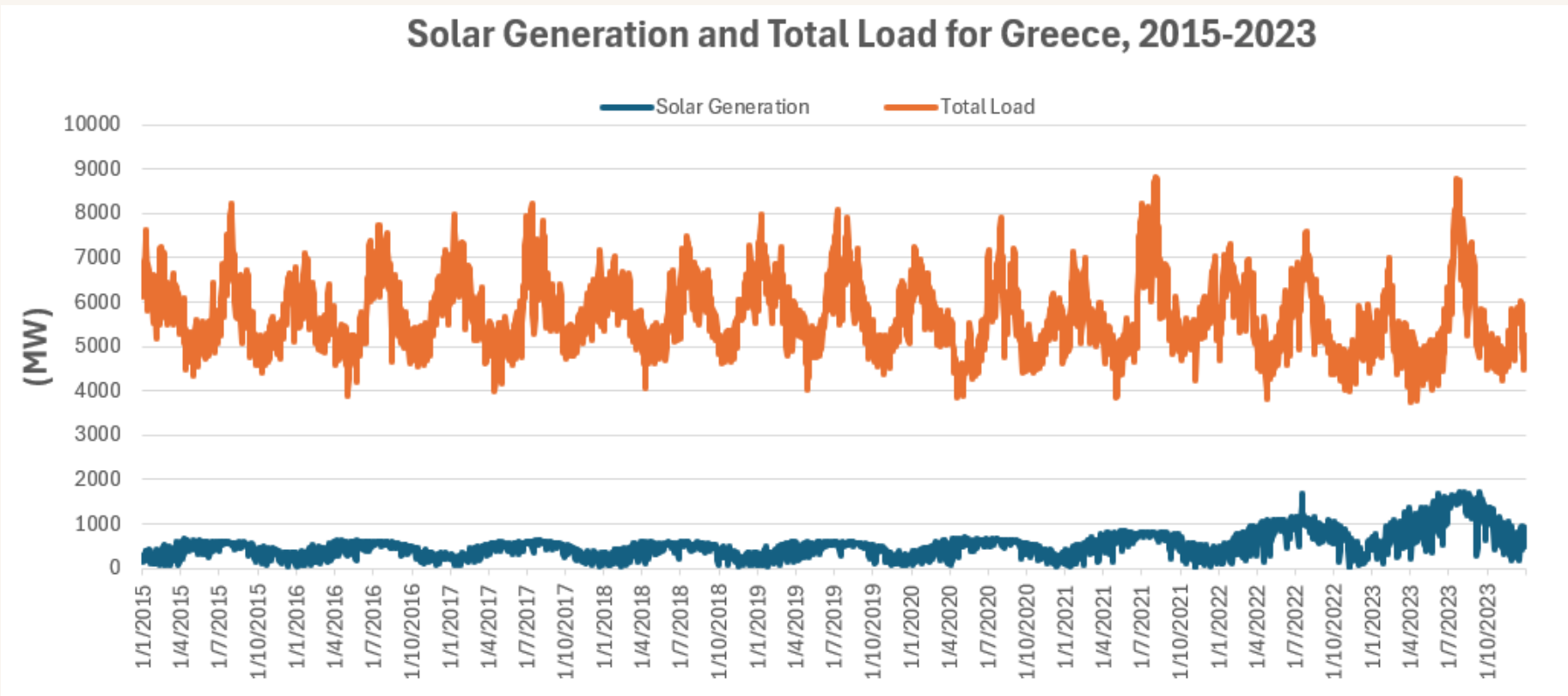
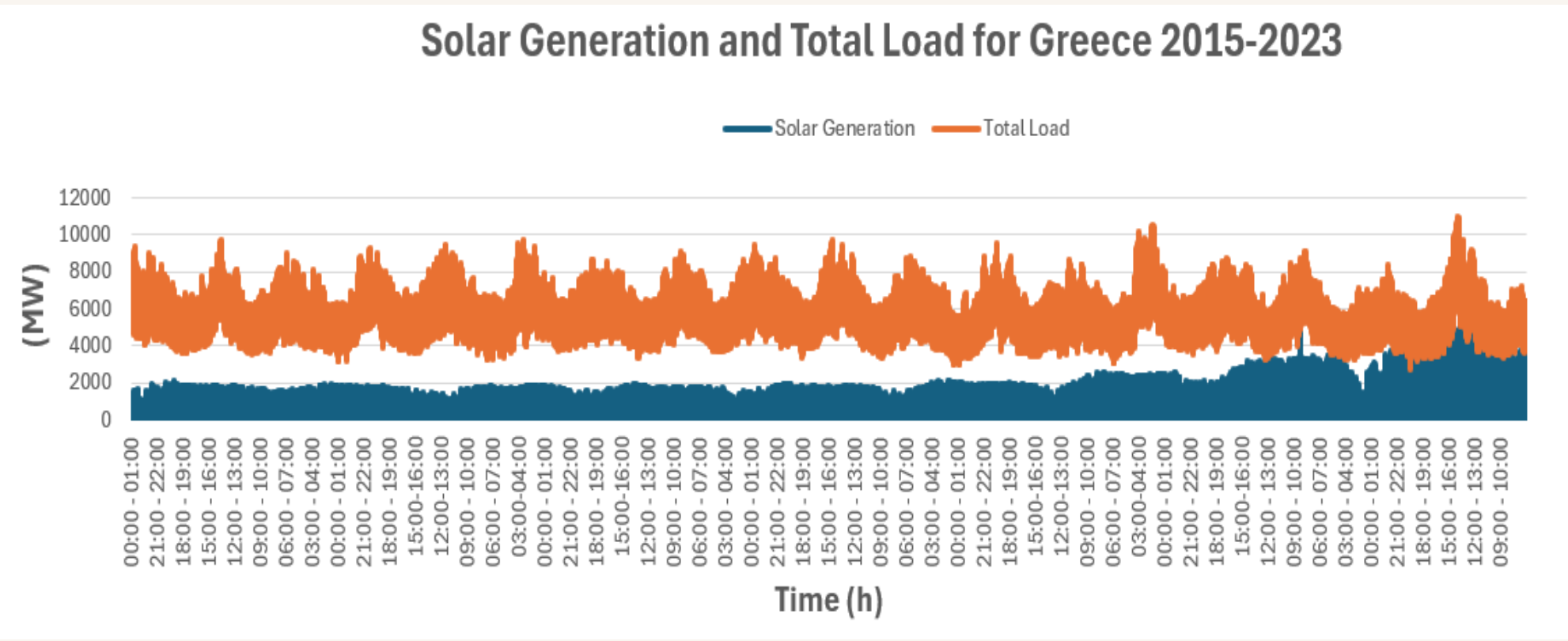
Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος οφείλεται σε:

- μείωση κόστους τεχνολογίας
- παροχή εθνικών κινήτρων π.χ. net metering
- διαμόρφωση περιβαλλοντικής συνείδησης
- επενδυτικό ενδιαφέρον

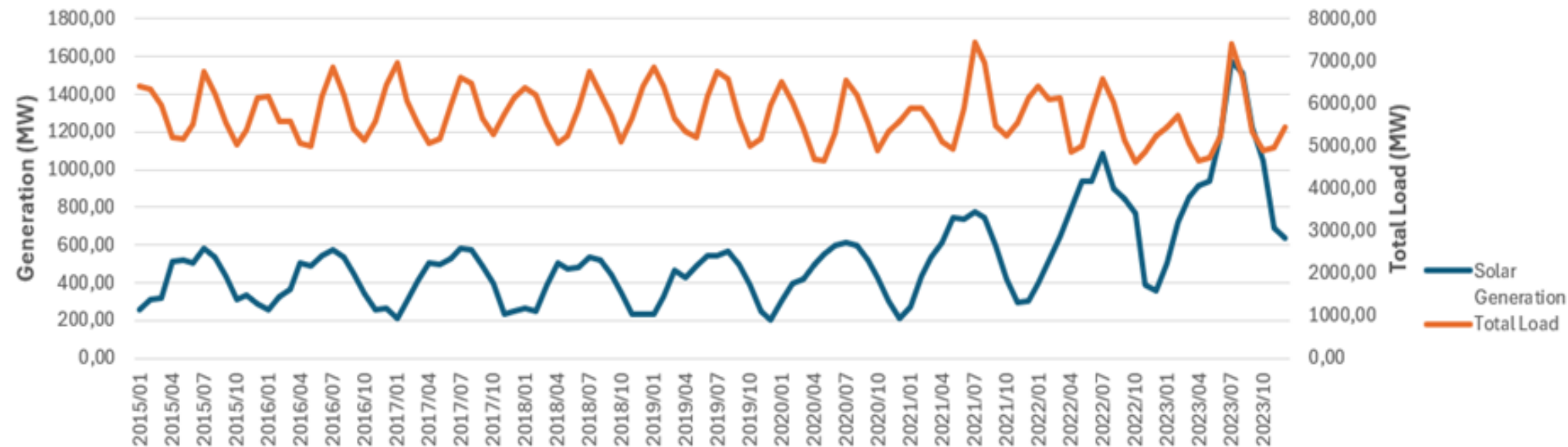


Μετά τις 17:00 παρατηρείται διακοπή λειτουργίας συστήματος και ενισχύεται το φαινόμενο Duck Curve, λόγω της απότομης απόσυρσης των Φ/Β.

Το μεσημέρι παρατηρείται υπερπαραγωγή λόγω αυξημένης ηλιοφάνειας→ απόρριψη φορτίου, έως και μηδενικές τιμές ενέργειας

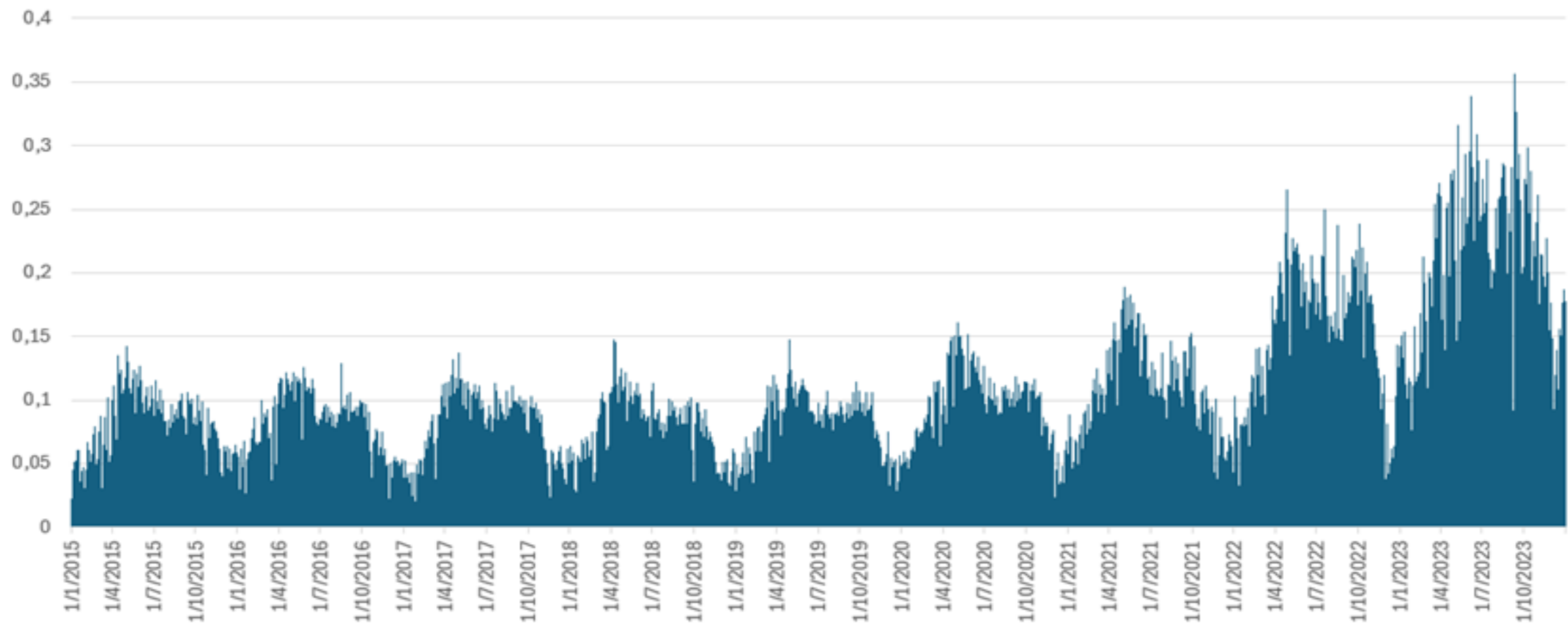


Solar Generation and Total Load for Greece, 2015-2023

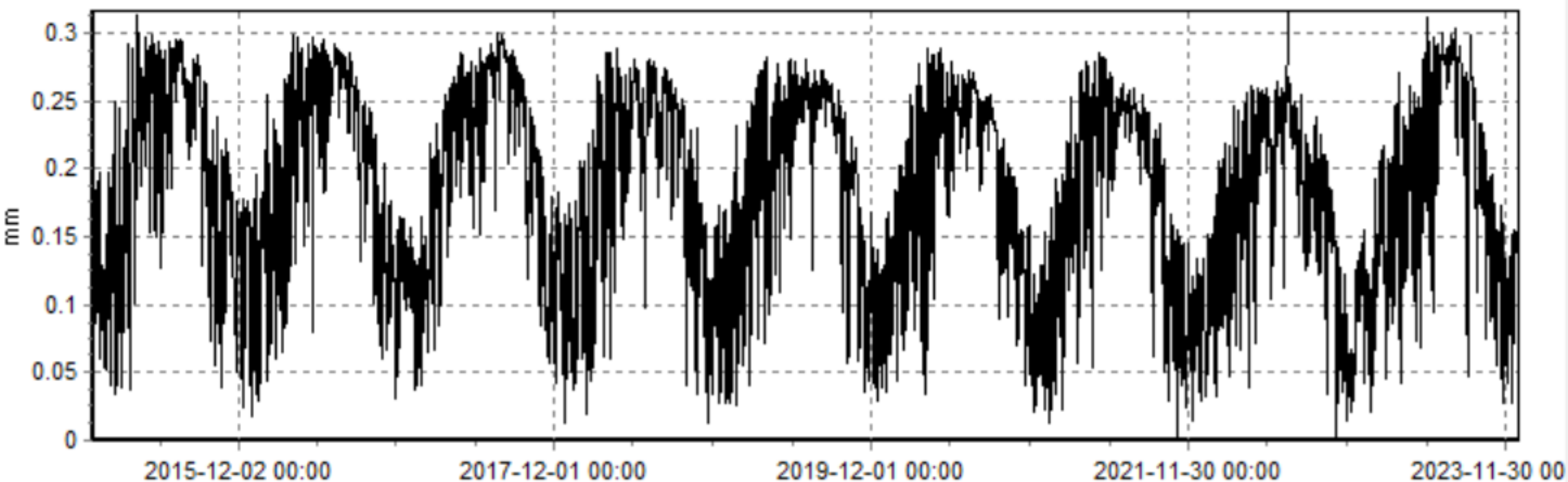
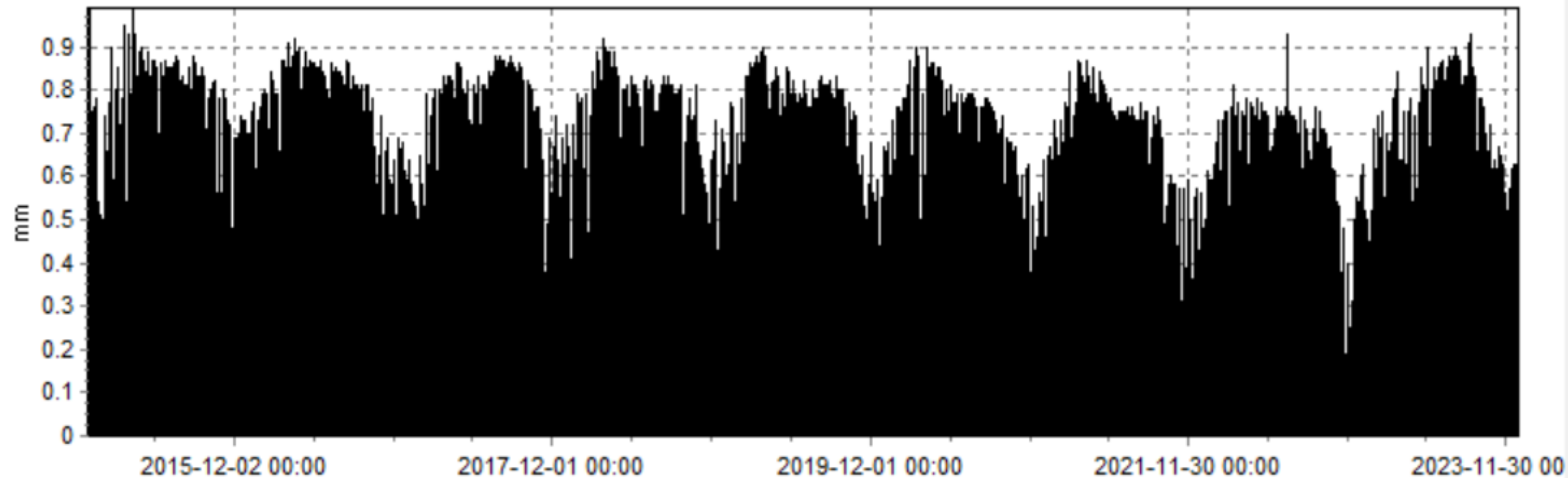


Παραγωγή Φ/Β ενέργειας και ζήτηση σε μηνιαία κλίμακα για τα έτη 2015-2023

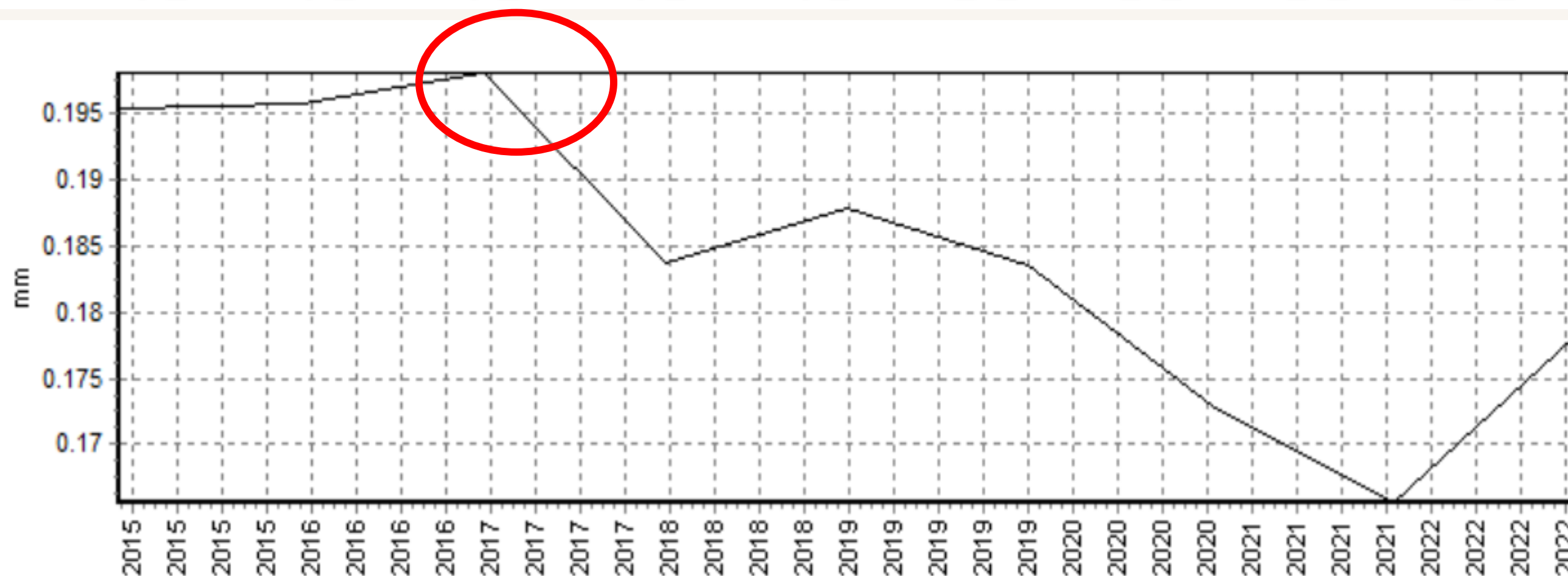
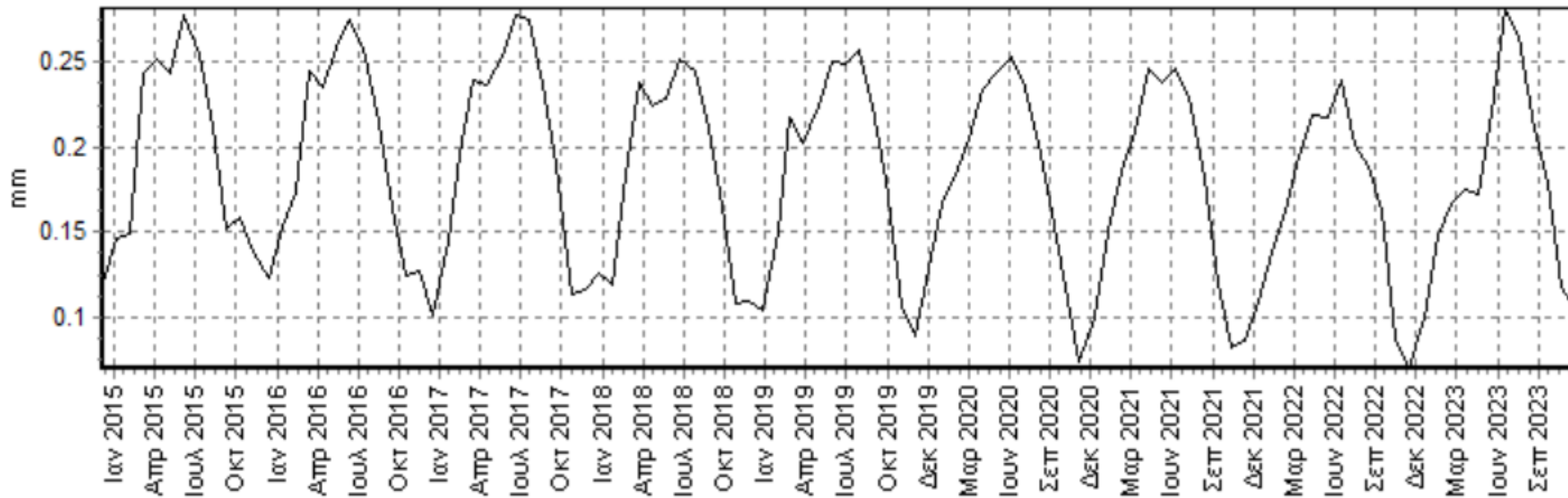
% Reach of total demand by PV Panels for Greece 2015-2023



Το ποσοστό κάλυψης της συνολικής ζήτησης σε ενέργεια από φωτοβολταϊκά συστήματα αυξάνεται με την πάροδο των χρόνων. Το 2023 αγγίζει μέχρι και το 35%.



- Αξιοσημείωτη η διαφοροποίηση στο εύρος τιμών του συντελεστή από ωριαία σε ημερήσια κλίμακα
- Στην ωριαία κλίμακα είναι έντονο το φαινόμενο της διπλής περιοδικότητας (ενδοημερήσια, εποχιακή), ενώ στην ημερήσια αποκαλύπτεται μόνο η εποχιακή περιοδικότητα
- Η μέγιστη τιμή του ωριαίου συντελεστή δυναμικότητας αγγίζει το 0,90 αλλά δεν είναι ποτέ ίση με 1! (δεν μπορεί να παραχθεί ποτέ η μέγιστη ισχύς)



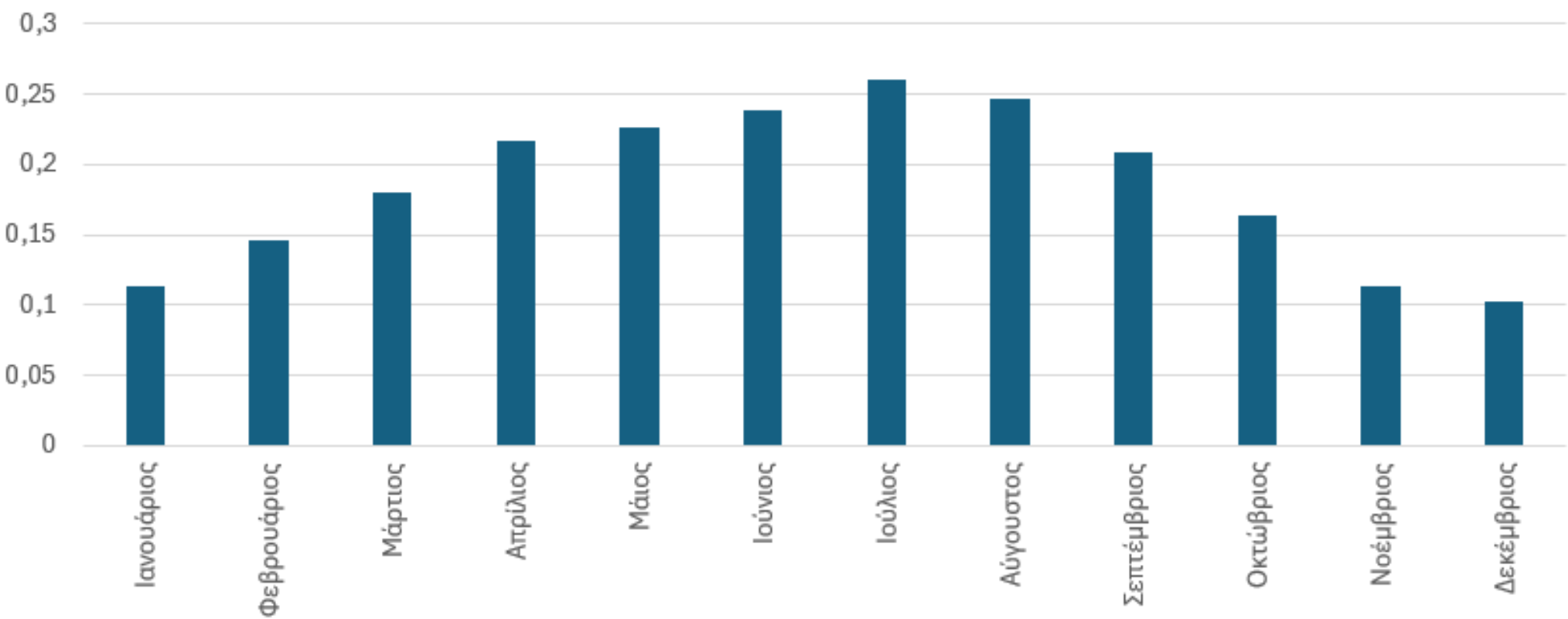
Σε μηνιαία και ετήσια κλίμακα είναι έντονη η φθίνουσα τάση του συντελεστή δυναμικότητας, από το 2015 έως το 2022. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως:

- Γήρανση των πάνελ
- Κατάληψη των βέλτιστων θέσεων τοποθέτησης
- Ατμοσφαιρικές συνθήκες (σκόνη, καύσωνες)

Το 2023 παρατηρείται εκ νέου αύξηση του συντελεστή δυναμικότητας, και επομένως της αποδοτικότητας του συστήματος

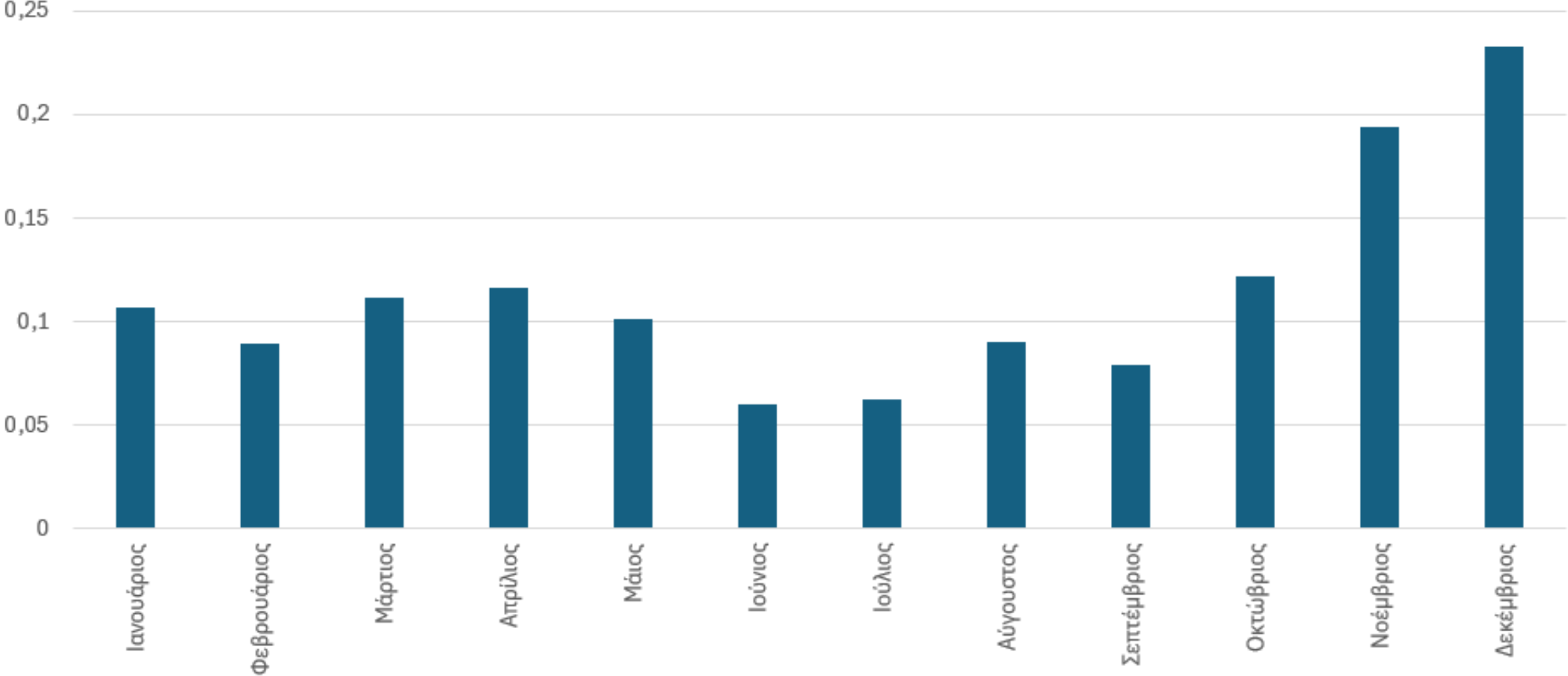
- βελτίωση τεχνολογίας
- αντικατάσταση εξοπλισμού

Συντελεστής Δυναμικότητας ανά μήνα



Τους καλοκαιρινούς μήνες φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση και μικρότερη αβεβαιότητα λόγω των σχετικά σταθερών μετεωρολογικών συνθηκών

Συντελεστής Μεταβλητότητας ανά μήνα



Ο συντελεστής μεταβλητότητας εκφράζει το μέτρο αβεβαιότητας του συντελεστή δυναμικότητας



- Δορυφορικά δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας μέσω της πλατφόρμας PVGIS
- 40 σημεία σε όλη την Ελλάδα
- Σε ωριαία κλίμακα για τα έτη 2015-2023, κατόπιν επικαιροποίησης
- Ηλιακή Ακτινοβολία W/m^2
- Θερμοκρασία $^{\circ}\text{C}$

Γεωγραφικά διαμερίσματα

- Θράκη: 2 σημεία
- Μακεδονία: 9 σημεία
- Ήπειρος: 2 σημεία
- Θεσσαλία: 2 σημεία
- Στερεά Ελλάδα: 6 σημεία
- Πελοπόννησος: 7 σημεία
- Νησιά Αιγαίου Πελάγους: 9 σημεία
- Επτάνησα: 2 σημεία
- Κρήτη: 1 σημείο

Ωριαία πρωτογενή δεδομένα → ημερήσια

Υπολογισμός μέσου όρου ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε ένα από τα 40 σημεία

Διπλή περιοδικότητα φαινομένου

Εποχική

Περιορισμένη ηλιοφάνεια τον χειμώνα, αυξημένη το καλοκαίρι

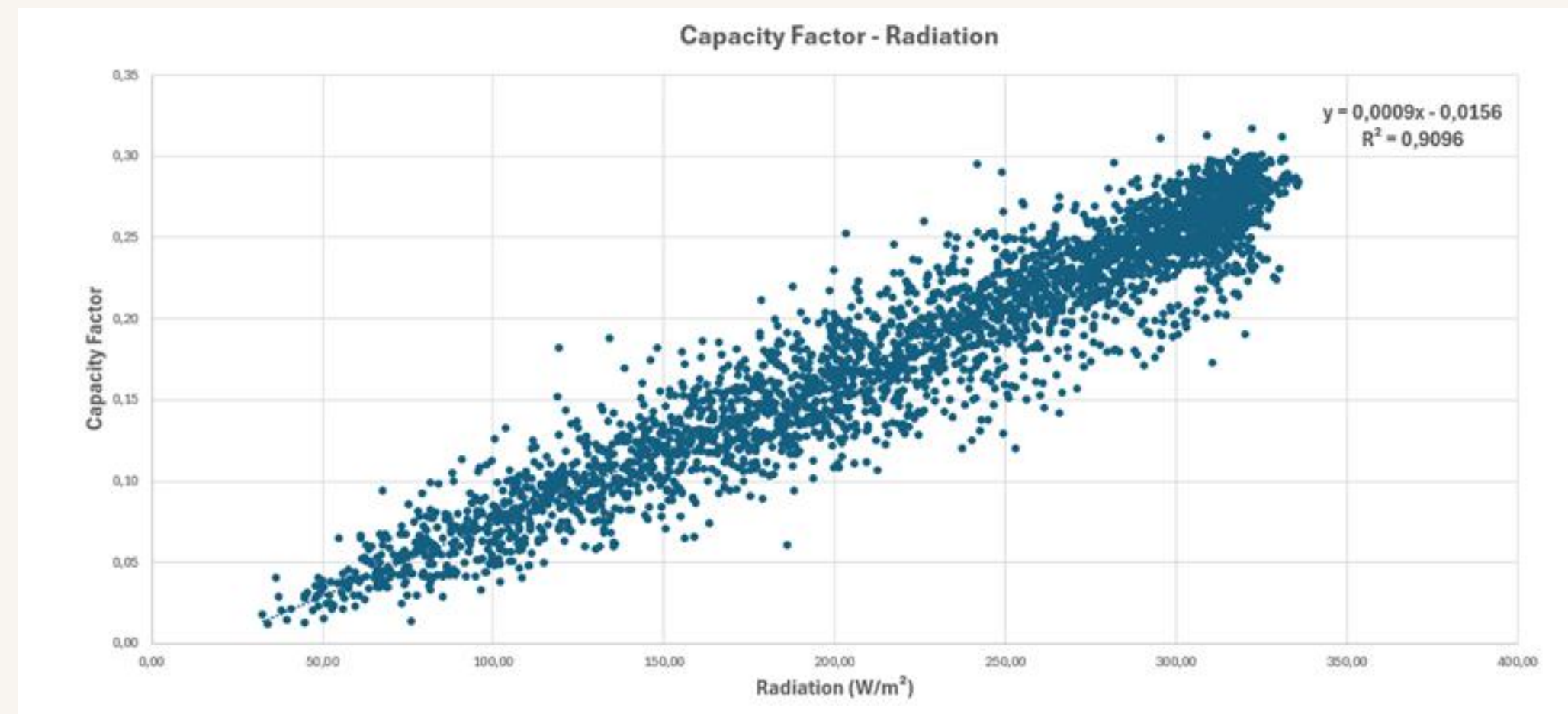
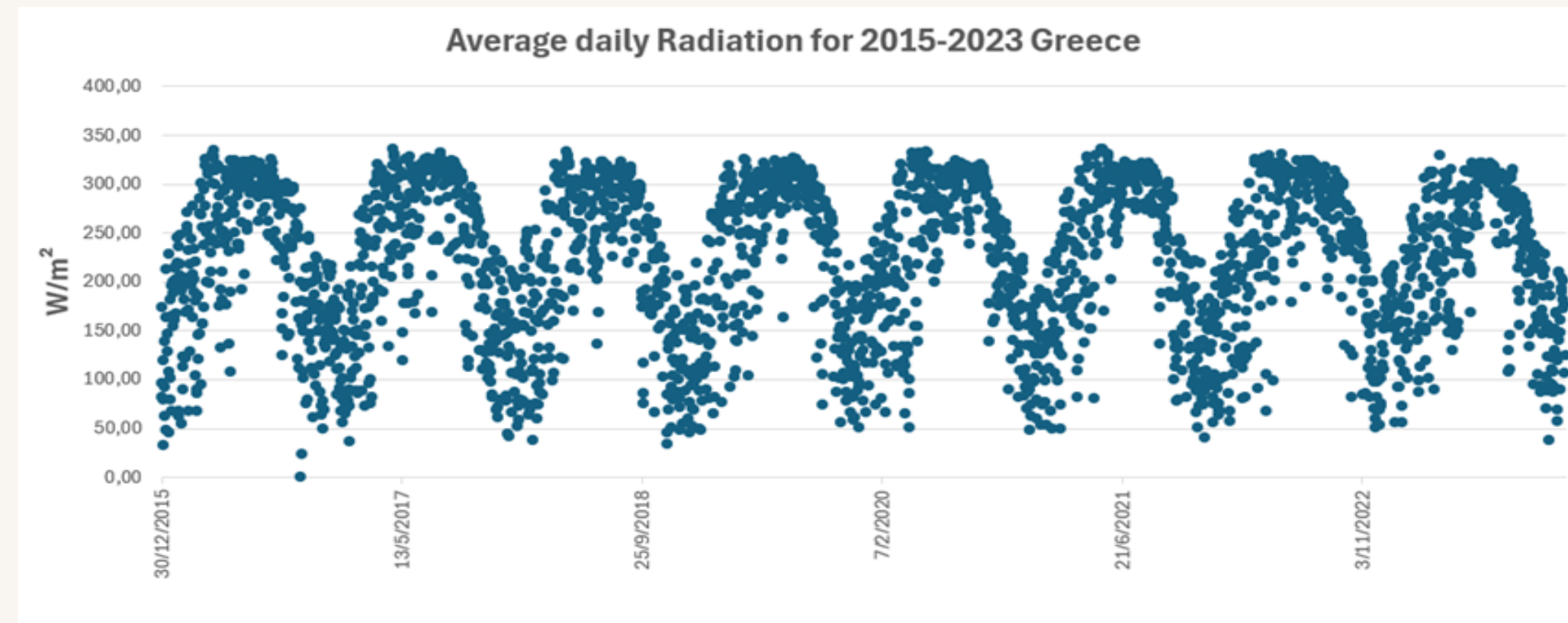
Ημερήσια

Εναλλαγή μέρας και νύχτας
Αύξηση ωριαίας διάρκειας ημέρας το καλοκαίρι

Συσχέτιση ηλιακής ακτινοβολίας και συντελεστή δυναμικότητας

$$y = 0,0009x - 0,0156$$

Γραμμική συσχέτιση με συντελεστή Pearson
 $R^2 = 0,9096$



Ωριαία πρωτογενή δεδομένα → ημερήσια

Υπολογισμός μέσου όρου
θερμοκρασίας για κάθε ένα από
τα 40 σημεία

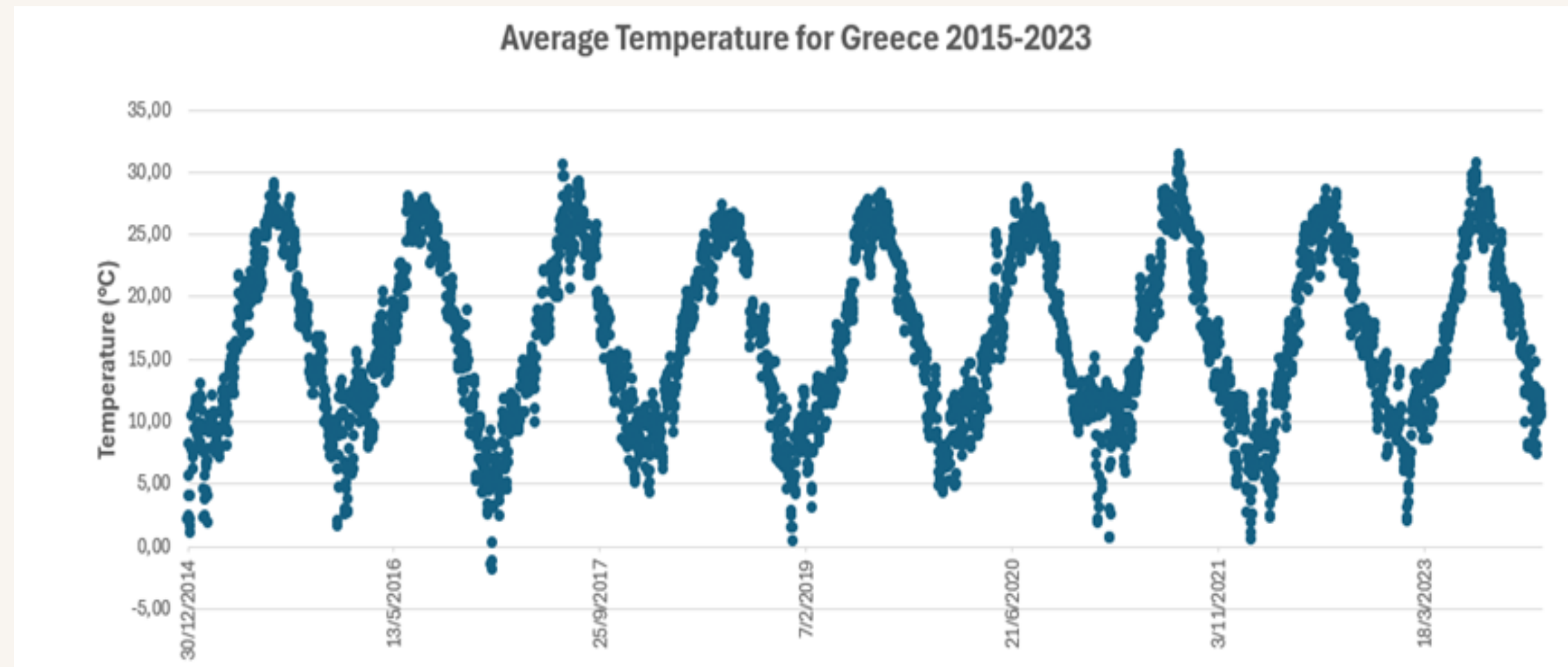
Διπλή περιοδικότητα

Εποχική

Μείωση θερμοκρασίας
τον χειμώνα, άνοδος το
καλοκαίρι

Ενδοημερήσια

Εναλλαγή μέρας και νύχτας
Αύξηση θερμοκρασίας τις
μεσημεριανές ώρες



Η συσχέτιση των χρονοσειρών θερμοκρασίας και συντελεστή δυναμικότητας της χώρας δεν οδηγεί σε απόλυτα συμπεράσματα.

Η θερμοκρασία δύναται να έχει διττή επιρροή στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Άνοδος θερμοκρασίας δεν συνεπάγεται απαραίτητα και αύξηση του συντελεστή δυναμικότητας

Τι είναι η διπλή περιοδικότητα;

Διπλή περιοδικότητα φαινομένου που οφείλεται σε κλιματικούς και αστρονομικούς παράγοντες.

Η εποχική περιοδικότητα οφείλεται στη μεταβολή της ηλιακής γωνίας και στη διάρκεια της ημέρας:

- Μέγιστη το καλοκαίρι
- Ελάχιστη το χειμώνα

Η ημερήσια περιοδικότητα οφείλεται στην ανατολή και τη δύση του Ηλίου:

- Κορύφωση το μεσημέρι
- Μείωση τις βραδινές ώρες

Σε τι οφελεί η απομάκρυνσή της;

- Καίρια για την ανάλυση μακροπρόθεσμων τάσεων και την κατανόηση πραγματικών μεταβολών.
- Ακριβέστερη ανίχνευση ακραίων αποκλίσεων
- Βελτίωση ακρίβειας στατιστικών μοντέλων και προβλέψεων.
- Βελτίωση απόδοσης μοντέλων μηχανικής μάθησης καθώς χωρίς περιοδικές συνιστώσες γίνονται πιο εύκολα συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών περιοχών και εποχών.

Εφαρμογή

Η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζεται από την ετήσια τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο και από την εποχική μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης στην Γη

Με την περιοδικότητα αυτή κρύβονται μακροπρόθεσμες τάσεις
Δεν συμπεραίνονται διακυμάνσεις που οφείλονται σε κλιματική αλλαγή, ανθρωπογενείς παράγοντες, αυξημένη ρύπανση ή μεταβολή ατμοσφαιρικής διαφάνειας

Μεθοδολογία: Προσαρμογή συνημιτονοειδούς συνάρτησης (Cosine Fitting)

Αποσύνθεση χρονοσειράς $x(t)$ σε περιοδικό μέρος (διακύμανση λόγω περιοδικότητας) και υπόλοιπο (διαφορά πραγματικής τιμής και εκτιμώμενης περιοδικότητας, δηλαδή μη περιοδική συνιστώσα)

Γενική μορφή

$$x^*(t) = x_L + (x_U - x_L) \left\{ 1 - \frac{1}{a} \cos \left[2\pi \cdot \frac{J(t) - T_{LAG}}{365} \right] \right\}$$

x_L, x_U : όρια διακύμανσης περιοδικής διεργασίας ακτινοβολίας **SOLVER**

$J(t)$: δείκτης της ημέρας του έτους (Julian day $J=1$ την 1/1, $J=2$ την 2/1 κ.ο.κ)

T_{LAG} : παράμετρος χρονικής υστέρησης **SOLVER**

a : ελέγχει το εύρος της ταλάντωσης

Ο όρος $\cos \left[2\pi \cdot \frac{J(t) - T_{LAG}}{365} \right]$ αναπαριστά την ετήσια ταλάντωση της ακτινοβολίας.

Μεγιστοποίηση συντελεστή Kling-Gupta Efficiency (KGE) $KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (a - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$

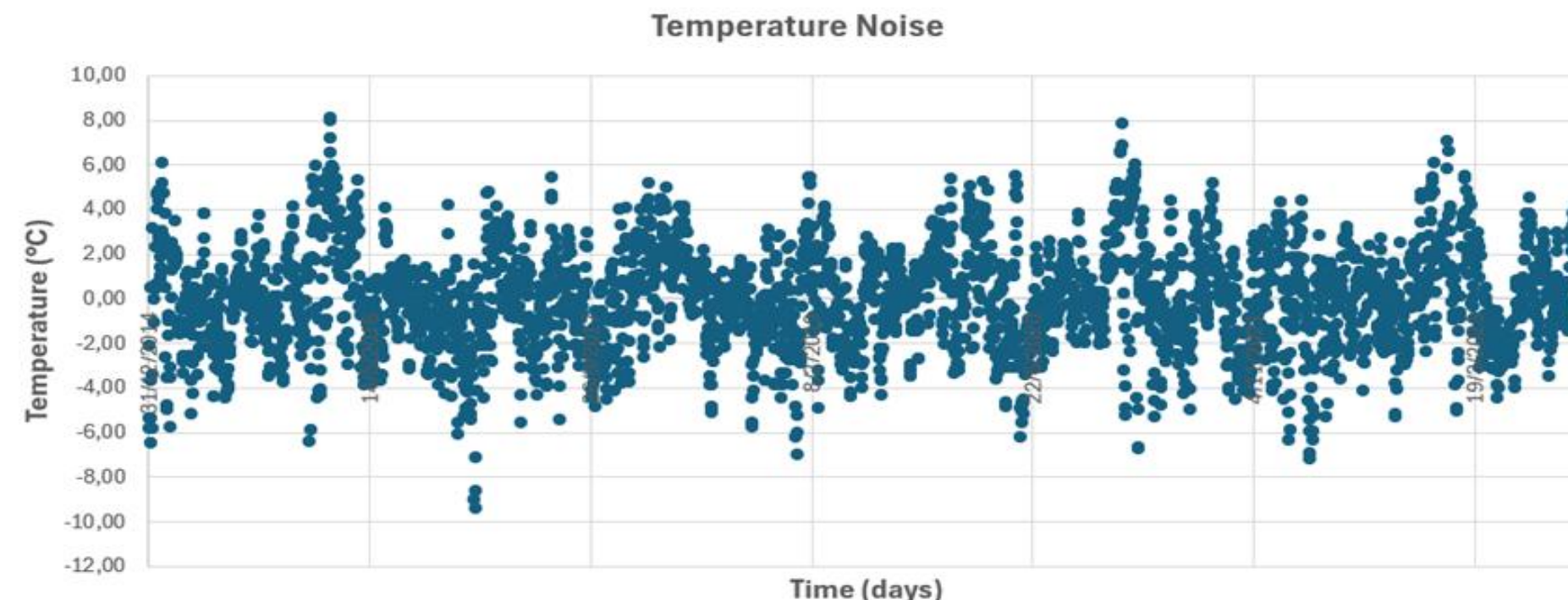
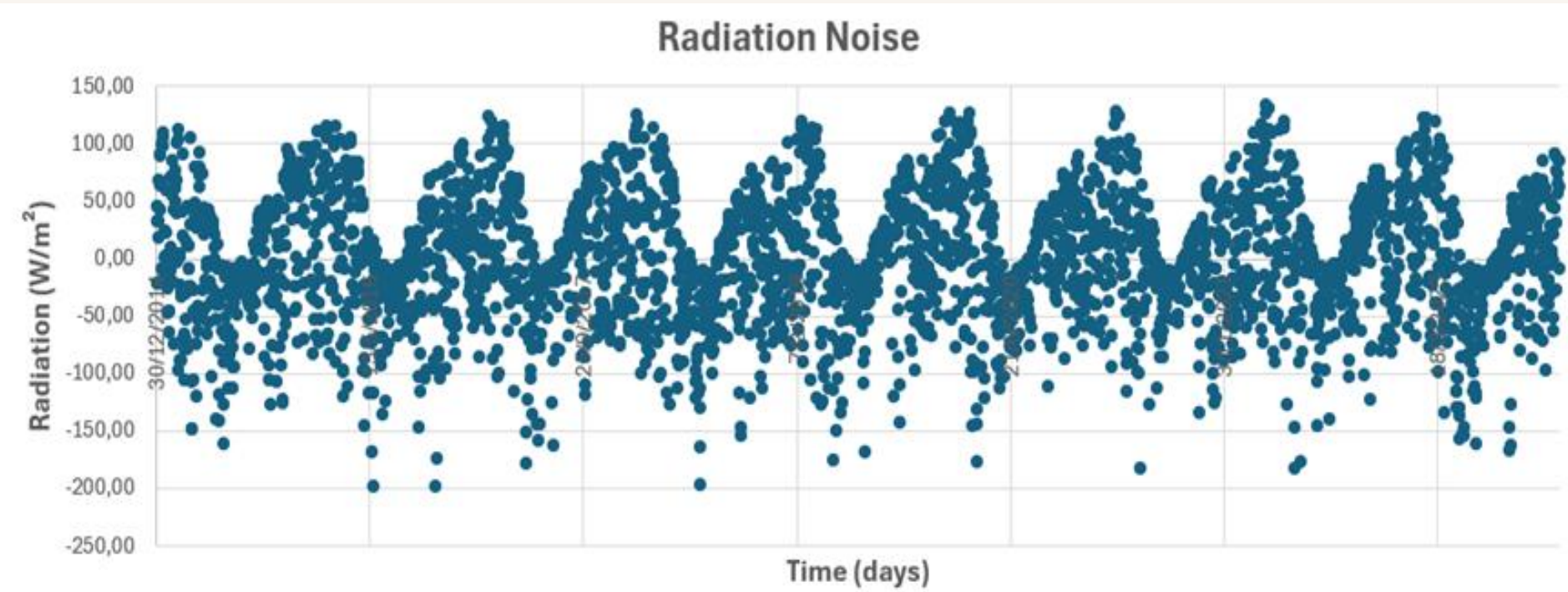
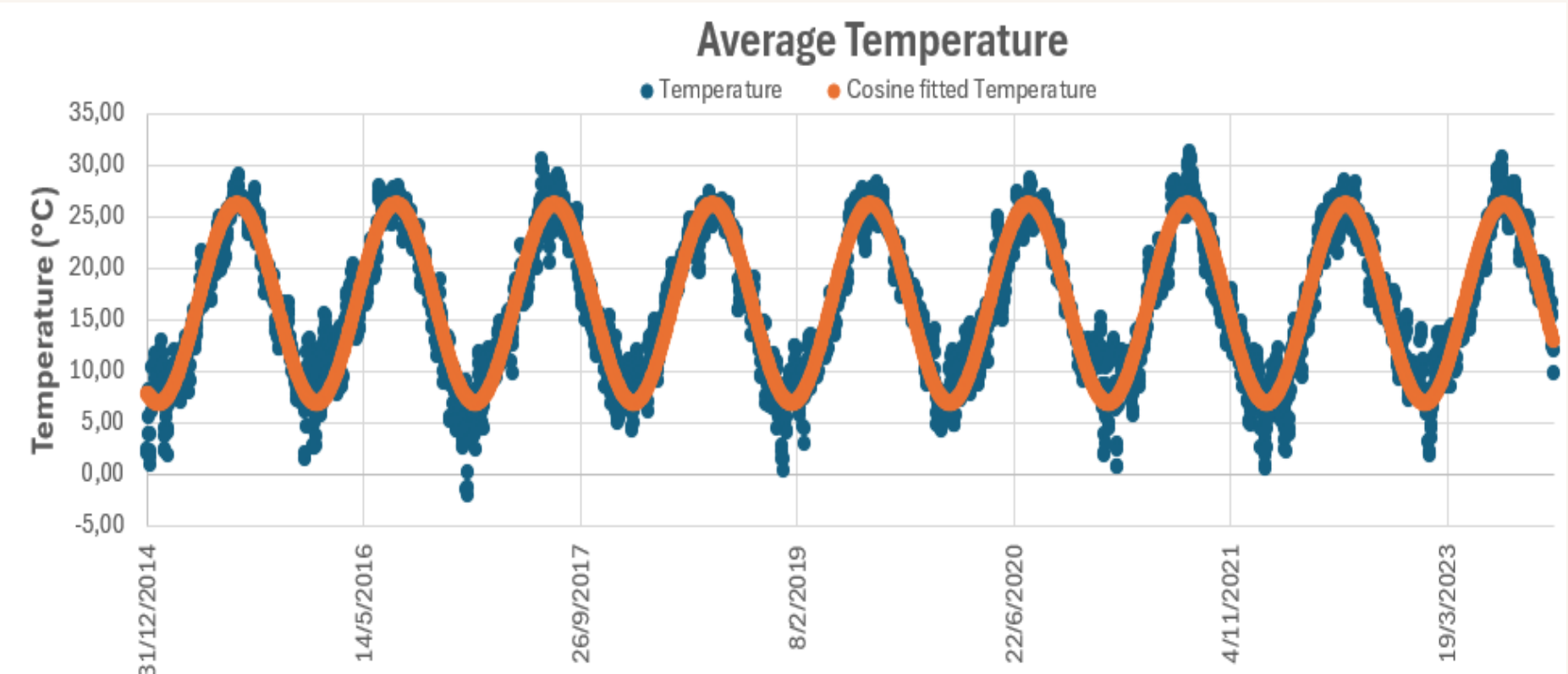
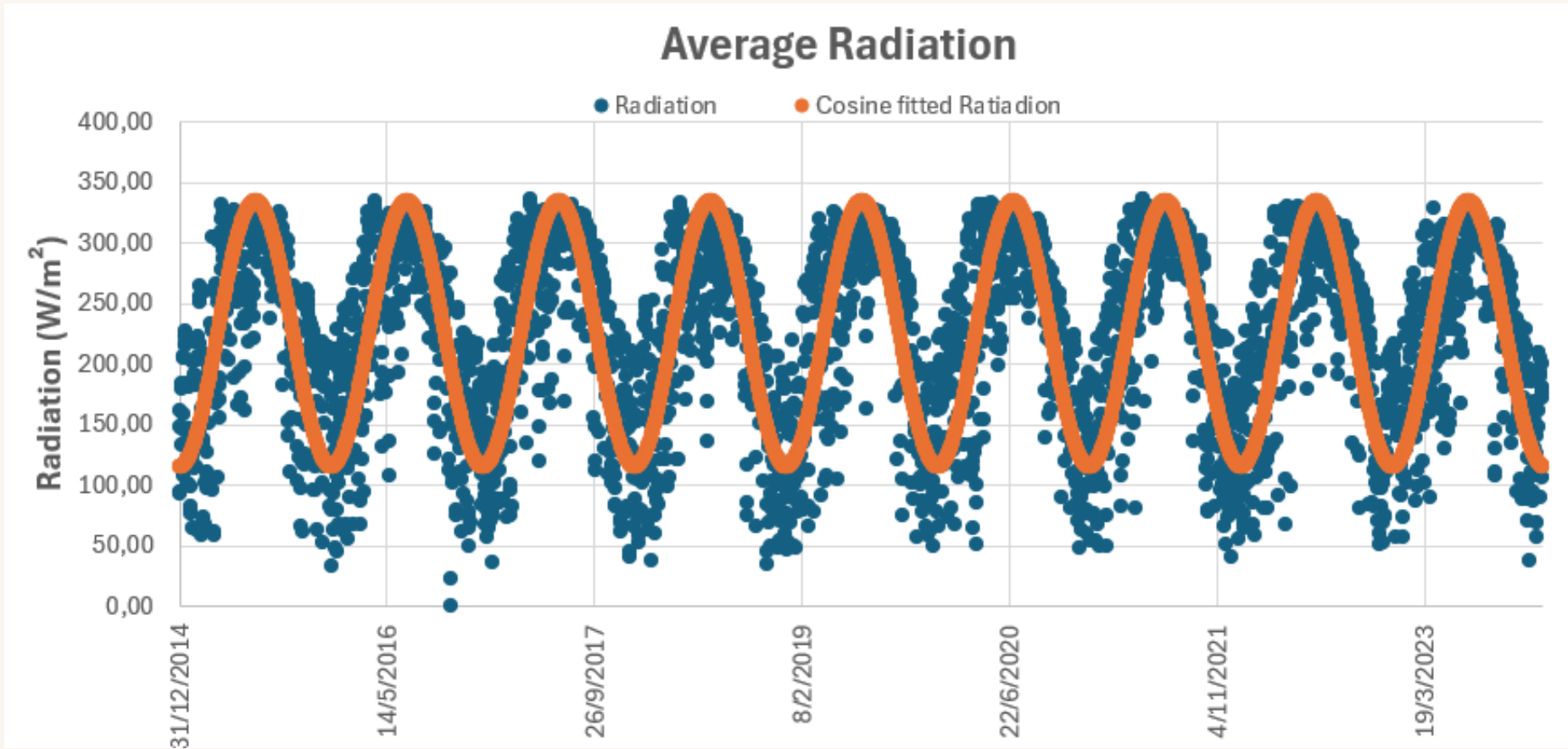
r : συντελεστής Pearson

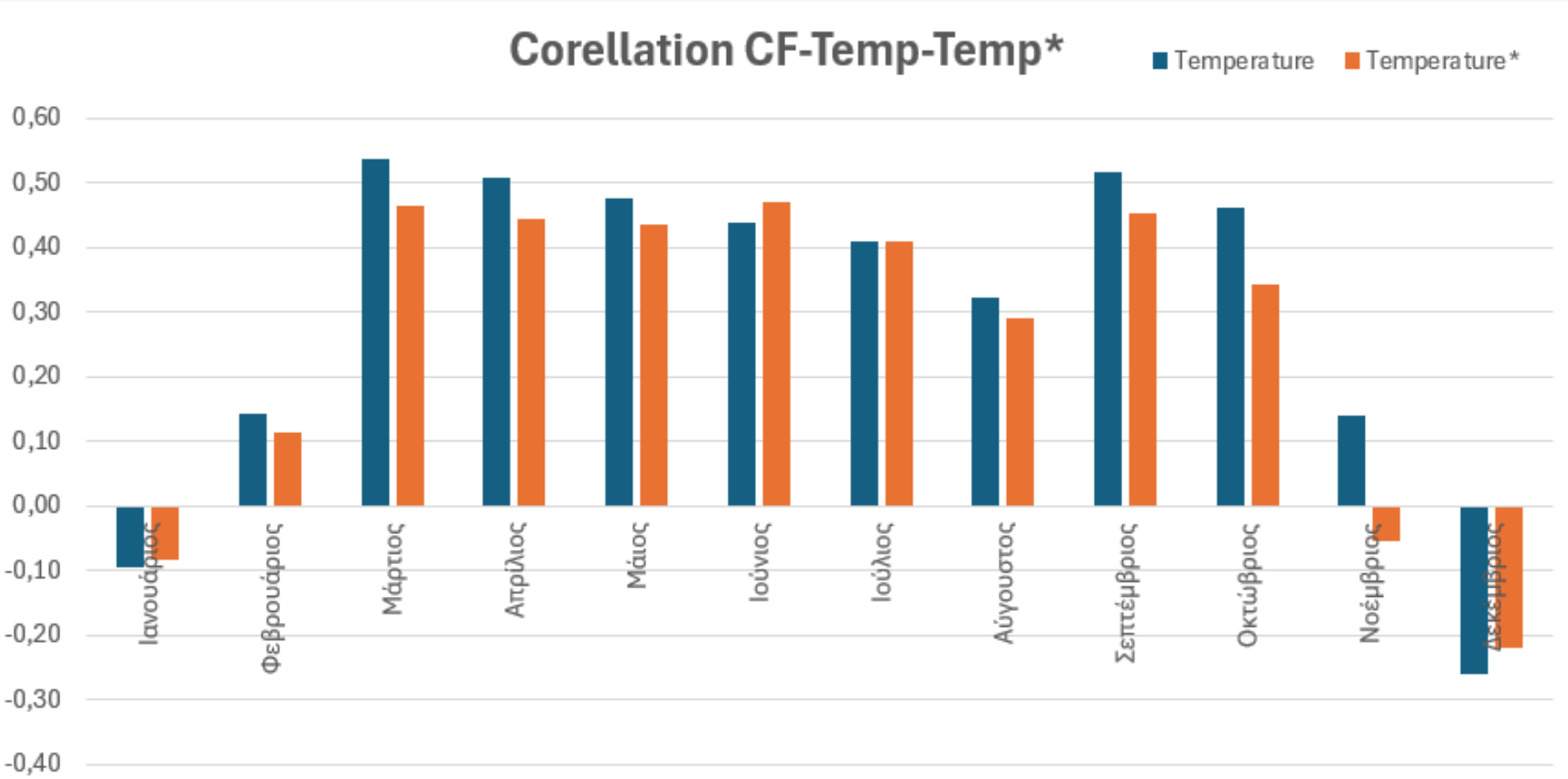
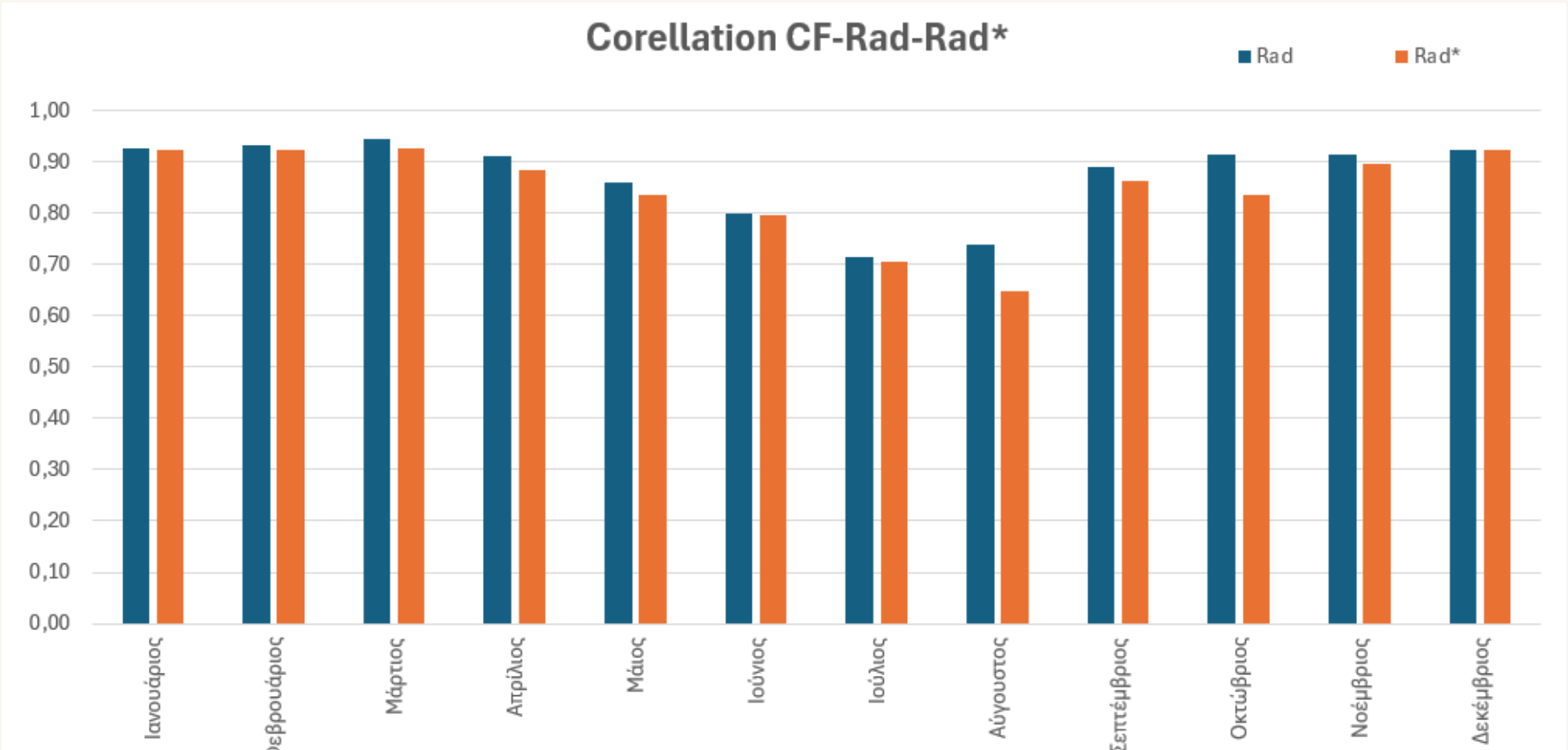
$\alpha = \frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}}$, τυπικές αποκλίσεις προσομοιωμένης και παρατηρημένης χρονοσειράς

$\beta = \frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}}$, μέσες τιμές προσομοιωμένης και παρατηρημένης χρονοσειράς

Μετά την βαθμονόμηση παρουσιάζεται η απόκλιση της διεργασίας x

$$\Delta x(t) = x(t) - x^*(t)$$





Βέλτιστη συσχέτιση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας εκ των 40 σημείων που επιλέχθηκαν προσφέρει ο μέσος όρος τους (ακτινοβολία $r=0,95371$ και θερμοκρασία $r=0,70644$)

Η ανάλυση πραγματοποιείται σε μηνιαία κλίμακα για τα έτη 2015-2023 καθώς η επίδραση της θερμοκρασίας είναι αισθητή από χειμερινούς σε καλοκαιρινούς μήνες και η απόδοση του μοντέλου μειώνεται

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας συσχετίστηκαν με τον συντελεστή δυναμικότητας στην ημέρα n (ίδιο βήμα)

Γενική μορφή

$$CF_t = aRad_t + bTemp_t$$

CF_t : οι προσομοιωμένες τιμές του συντελεστή δυναμικότητας που υπολογίζονται

Rad_t : οι πραγματικές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας

$Temp_t$: οι πραγματικές τιμές θερμοκρασίας

a, b : συντελεστές όρων εξίσωσης

Οι συντελεστές a και b εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης, με στόχο την μείωση του τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ της πραγματικής και της προσομοιωμένης τιμής του Συντελεστή Δυναμικότητας.

Βέλτιστη συσχέτιση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας εκ των 40 σημείων που επιλέχθηκαν προσφέρει ο μέσος όρος τους (ακτινοβολία $r=0,95371$ και θερμοκρασία $r=0,70644$)

Η ανάλυση πραγματοποιείται σε μηνιαία κλίμακα για τα έτη 2015-2023 καθώς η επίδραση της θερμοκρασίας είναι αισθητή από χειμερινούς σε καλοκαιρινούς μήνες και η απόδοση του μοντέλου μειώνεται

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας συσχετίστηκαν με τον συντελεστή δυναμικότητας στην ημέρα n (ίδιο βήμα)

Γενική μορφή

$$CF_t = a(Rad_t^b)(Temp_t + T_0)^c$$

CF_t : προβλεπόμενη τιμή συντελεστή δυναμικότητας για ημέρα t

Rad_t : ηλιακή ακτινοβολία για ημέρα t (πραγματικό δεδομένο)

$Temp_t$: θερμοκρασία για ημέρα t (πραγματικό δεδομένο)

a, b, c, T_0 : συντελεστές των όρων της εξίσωσης

Οι συντελεστές a, b και c εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης, με στόχο την μείωση του τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ της πραγματικής και της προσομοιωμένης τιμής του Συντελεστή Δυναμικότητας.

Βέλτιστη συσχέτιση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας εκ των 40 σημείων που επιλέχθηκαν προσφέρει ο μέσος όρος τους (ακτινοβολία $r=0,757421$ και θερμοκρασία $r=0,656$)

Η ανάλυση πραγματοποιείται σε μηνιαία κλίμακα για τα έτη 2015-2023 καθώς η επίδραση της θερμοκρασίας είναι αισθητή από χειμερινούς σε καλοκαιρινούς μήνες και η απόδοση του μοντέλου μειώνεται

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας συσχετίστηκαν με τον συντελεστή δυναμικότητας στην ημέρα n και $n+1$ (βήμα +1)

Γενική μορφή

$$CF_t = aRad_{t-1} + bTemp_{t-1} + cCF_{t-1}$$

Οι συντελεστές a , b και c εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης, με στόχο την μεγιστοποίηση του συντελεστή NSE

Nash- Sutcliffe Efficiency (Persistence)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (O_t - P_t)^2}{\sum_{t=1}^N (O_t - O_{t-1})^2}$$

O_t : οι παρατηρούμενες τιμές (πραγματικά δεδομένα) την χρονική στιγμή t

P_t : οι προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου την χρονική στιγμή t

O_{t-1} : οι παρατηρούμενες τιμές (πραγματικά δεδομένα) την χρονική στιγμή $t-1$

N : πλήθος δεδομένων

Βέλτιστη συσχέτιση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας εκ των 40 σημείων που επιλέχθηκαν προσφέρει ο μέσος όρος τους (ακτινοβολία $r=0,757421$ και θερμοκρασία $r=0,656$)

Η ανάλυση πραγματοποιείται σε μηνιαία κλίμακα για τα έτη 2015-2023 καθώς η επίδραση της θερμοκρασίας είναι αισθητή από χειμερινούς σε καλοκαιρινούς μήνες και η απόδοση του μοντέλου μειώνεται

Τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας συσχετίστηκαν με τον συντελεστή δυναμικότητας στην ημέρα n και $n+1$ (βήμα +1)

Γενική μορφή

$$CF_t = a(Rad_{t-1}^b)(Temp_{t-1} + T_0)^c(CF_{t-1})^d$$

CF_t : προβλεπόμενη τιμή συντελεστή δυναμικότητας για ημέρα t

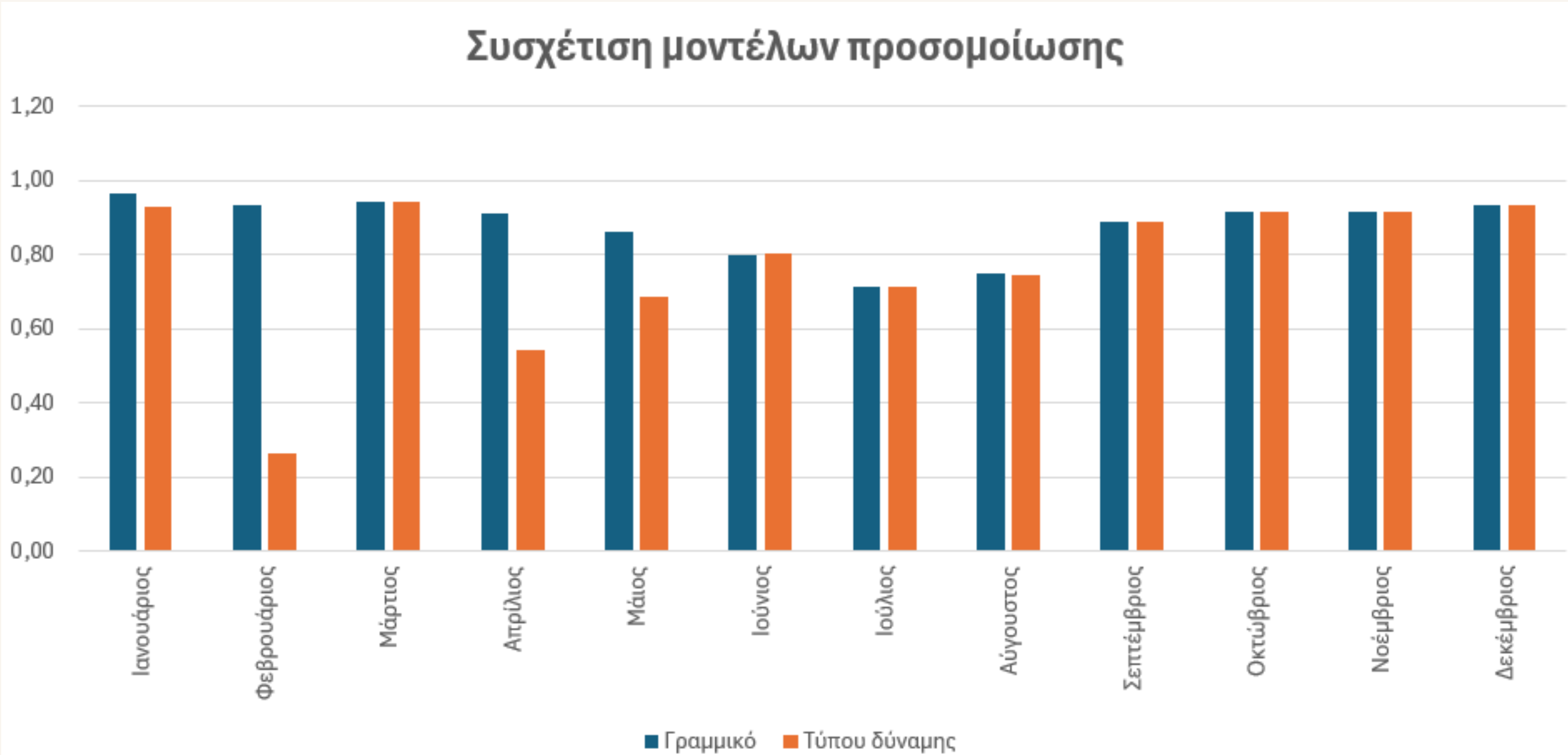
CF_{t-1} : συντελεστής δυναμικότητας για ημέρα $t-1$ (πραγματικό δεδομένο)

Rad_{t-1} : ηλιακή ακτινοβολία για ημέρα $t-1$ (πραγματικό δεδομένο)

$Temp_{t-1}$: θερμοκρασία για ημέρα $t-1$ (πραγματικό δεδομένο)

a, b, c, d, T_0 : συντελεστές των όρων της εξίσωσης

Οι συντελεστές a, b, c και d εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης, με στόχο την μεγιστοποίηση του συντελεστή NSE



Γραμμικό

Ικανοποιητική απόδοση, ειδικά τους χειμερινούς μήνες πλειονότητα συντελεστών δίνουν συσχέτιση μεγαλύτερη από 0,90, δηλαδή οι τάσεις του Σ.Δ ακολουθούνται με συνέπεια

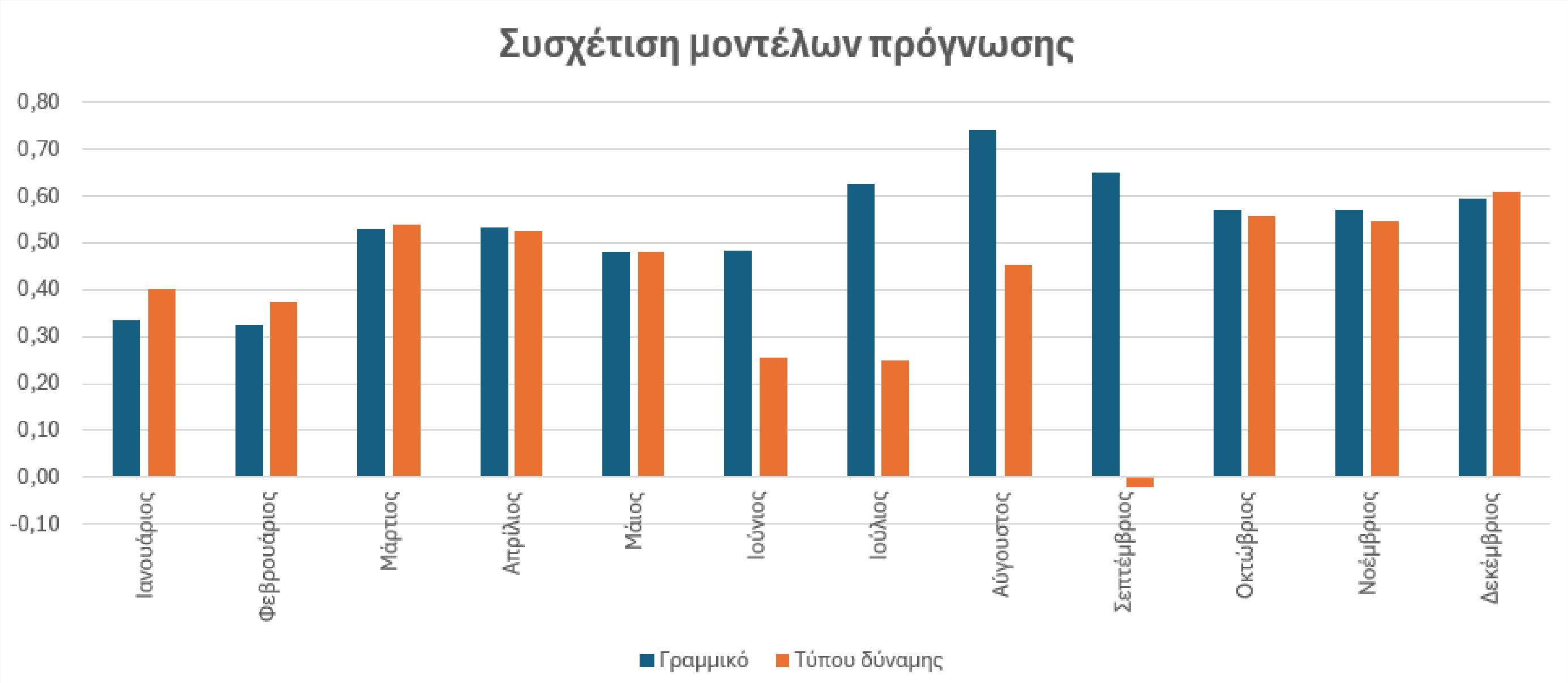
Το καλοκαίρι η ελαφρώς μικρότερη συσχέτιση οφείλεται στην υπέρμετρη άνοδο της θερμοκρασίας

Τύπου Δύναμης

Ικανοποιητική απόδοση σε αρκετούς μήνες

Αισθητά χαμηλότερη απόδοση τον Φεβρουάριο και τον Απρίλιο, λόγω αυξημένης μεταβλητότητας καιρικών συνθηκών και στη μη γραμμική επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων στον Σ.Δ.

Αρκετά ευαίσθητο σε μεταβολές, λιγότερο ικανοποιητικό



Γραμμικό

Χαμηλή συσχέτιση τους χειμερινούς μήνες λόγω της μεταβλητότητας των καιρικών και μετεωρολογικών παραγόντων

Γενικευμένη χαμηλή απόδοση μοντέλου

Τύπου Δύναμης

Ελάχιστα καλύτερη απόδοση τον χειμώνα και ελαφρώς καλύτερη συσχέτιση

Το καλοκαίρι η απόδοση μειώνεται σημαντικά κάτι που σημαίνει αδυναμία στην πρόβλεψη σε σταθερές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας

Διόρθωση συντελεστή δυναμικότητας

Προτείνεται η διόρθωση του συντελεστή δυναμικότητας λαμβάνοντας υπόψη τις **δυνητικές ώρες ηλιοφάνειας** και όχι ολόκληρο το 24ωρο, ώστε να αποτυπώνεται η πραγματική απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Ο συντελεστής δυναμικότητας επηρεάζεται από:

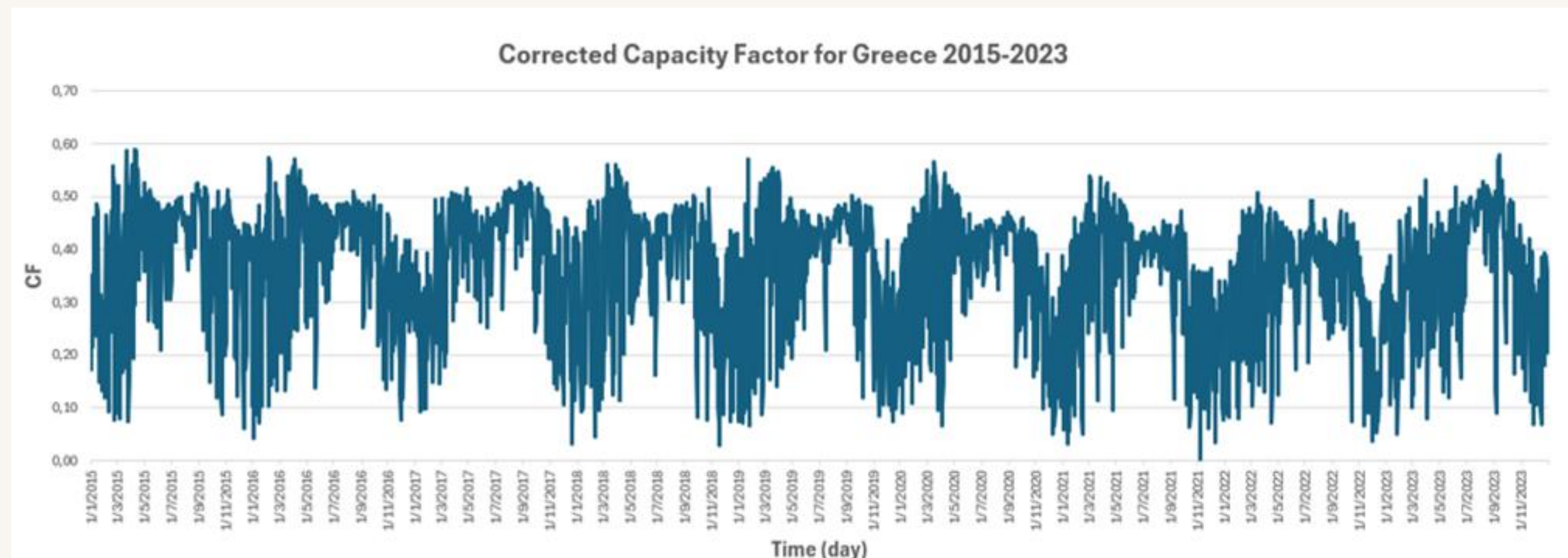
- ηλιοφάνεια
- καιρικές συνθήκες
- γωνία πρόσπτωσης ακτινοβολίας

Η αστρονομική διάρκεια ημέρας εξαρτάται από:

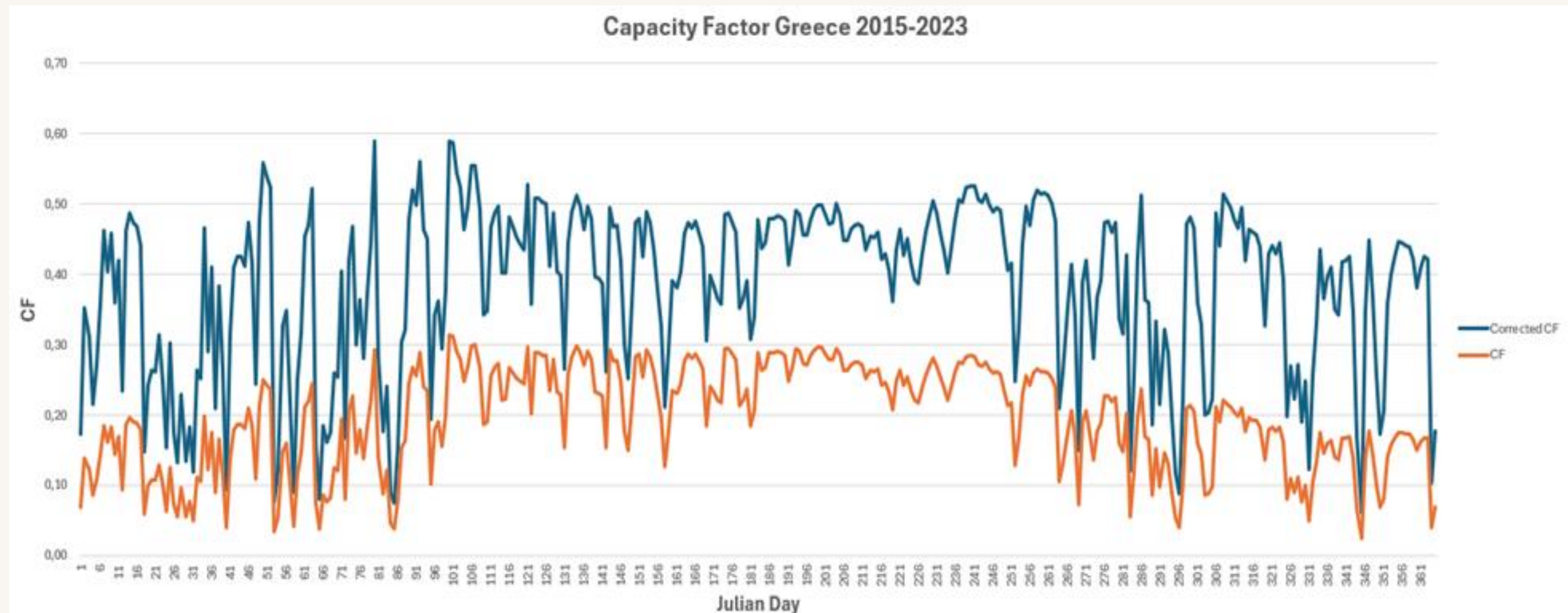
- την Ιουλιανή ημέρα
- το γεωγραφικό πλάτος

Έτσι καθορίζεται το διαθέσιμο εύρος ακτινοβολίας

Ακόμα και στις ώρες καθαρής ηλιοφάνειας το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να δεχτεί περιορισμένη ακτινοβολία. Η πραγματική ένταση της δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας είναι συχνά μικρότερη από τα 1000 W/m^2



Διόρθωση συντελεστή δυναμικότητας



Παράδοξο

Ενώ οι μέγιστες τιμές του συντελεστή δυναμικότητας αναμένονται τους καλοκαιρινούς μήνες, κατόπιν διόρθωσης οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται την άνοιξη.

Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο ότι την άνοιξη υπάρχει περίσσεια ηλιοφάνεια και σχετικά υψηλή θερμοκρασία χωρίς όμως να επηρεάζονται και να δυσλειτουργούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ομοίως για τις ελάχιστες τιμές, ενώ θα ήταν λογικό να παρουσιάζονται τον χειμώνα παρατηρούνται αρκετές κατά το φθινόπωρο.

- Ο συντελεστής δυναμικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάλυση της απόδοσης των Φ/Β έργων σε διάφορες χρονικές κλίμακες, καθώς και για επιχειρησιακούς σκοπούς.
- Η αύξηση της παραγωγής από ηλιακή ενέργεια δεν συνεπάγεται και αύξηση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Ο ημερήσιος συντελεστής δυναμικότητας στην Ελλάδα μπορεί να προσομοιωθεί με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια από γραμμικές σχέσεις παλινδρόμησης, με μηνιαία μεταβαλλόμενες παραμέτρους, συναρτήσει της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, που εκτιμώνται μέσω των δεδομένων του PVGIS, σε ένα δείγμα αντιπροσωπευτικών σημείων στη χώρα.
- Παρόμοιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την πρόγνωση της επόμενης ημέρας (θέτοντας ως επεξηγηματική μεταβλητή και την τρέχουσα γνωστή τιμή του $\Sigma\Delta$), αλλά με χαμηλότερη απόδοση.
- Η Λάρισα έχει την ισχυρότερη θετική συσχέτιση ηλιοφάνειας-δυναμικότητας και δύναται να χρησιμοποιηθεί για επιχειρησιακούς σκοπούς ως αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον $\Sigma\Delta$ όλης της χώρας.
- Η ευαισθησία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η μείωση της αποδοτικότητάς τους λόγω αύξησης της θερμοκρασίας εξηγείται καλύτερα μέσω της διόρθωσης του συντελεστή δυναμικότητας.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Χρήση σύνθετων αλγόριθμων μηχανικής μάθησης (π.χ. νευρωνικά δίκτυα) για βελτιστοποίηση ακρίβειας των προβλέψεων
- Χρήση περισσότερων μεταβλητών στη μοντελοποίηση, όπως υγρασία, άνεμος και άλλες παράμετροι που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες
- Εκτενέστερη ανάλυση και προσομοίωση, με εφαρμογή του διορθωμένου συντελεστή δυναμικότητας



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!