



ModernGravNet

Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας
Modernization of the Hellenic Gravity Network

Ημερίδα “Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας”
22 Δεκεμβρίου 2022

Αξιολόγηση υψομέτρων του Ελληνικού Κατακόρυφου Δικτύου και Παγκόσμιων Μοντέλων Υψών σε πιλοτικές περιοχές

Δημήτριος Νατσιόπουλος¹, Βασίλειος Γρηγοριάδης¹,
Βασίλειος Ανδριτσάνος²

¹GravLab, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

²GAEA, Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής



GRAV
LAB

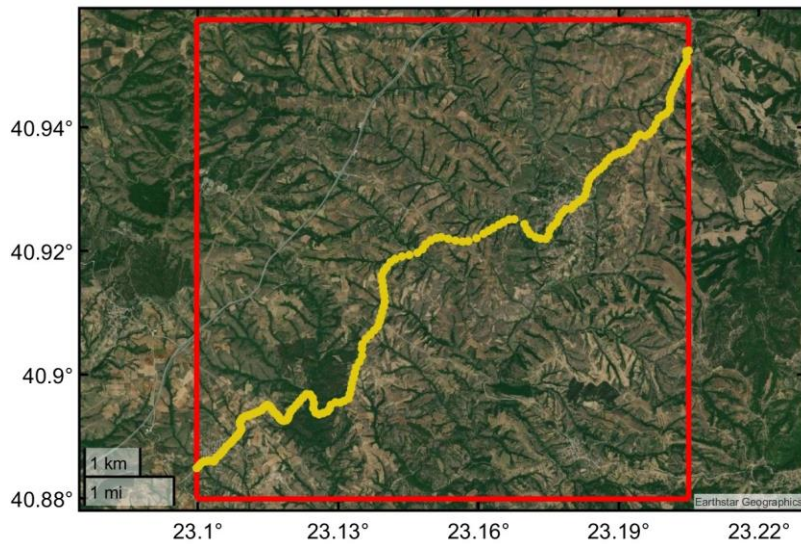


ΕΛΙΔΕΚ.
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

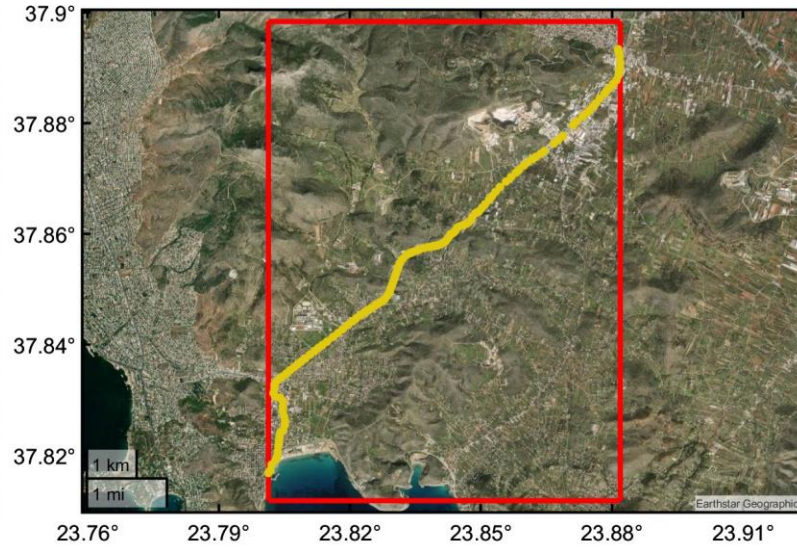
- **Μεθοδολογία/Θεωρία**
- **Διαθέσιμα δεδομένα**
- **Επεξεργασία**
- **Αποτελέσματα**

- **Δορυφορικές μετρήσεις**
- **Τεράστιος όγκος δεδομένων**
- **Μεγαλύτερη ακρίβεια**
- **Μεγάλος αριθμός μοντέλων**
- **Digital Surface Models-DSM/Digital Elevation Models-DEM/Digital Bathymetry Models-DBM**

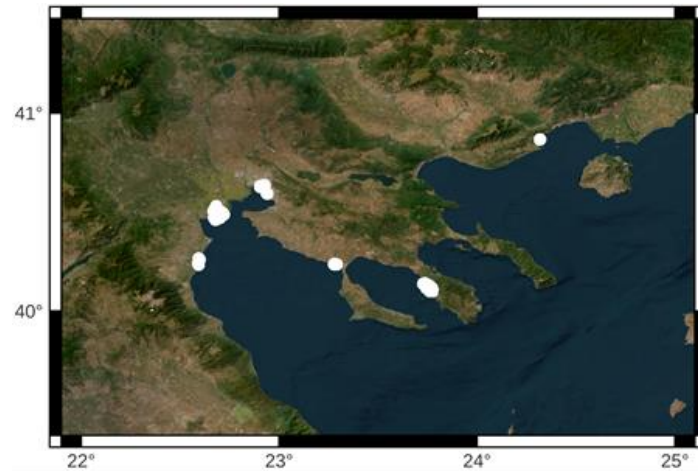
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (1)



(a)



(b)



Για υψομετρία: 2 περιοχές σε Βορρά και Νότο

- Κεντρική Μακεδονία → Δορκάδα → Λαχανάς → Ξυλούπολη
- Αττική → Βάρη → Κορωπί
- Εθνικό επαρχιακό δίκτυο (ασφάλεια μετρήσεων)
- Υπάρξη υψομετρικών αφετηριών

Για βαθυμετρία: 6 περιοχές

- Διαθέσιμα δεδομένα ηχοβολίσεων

Digital Surface Model

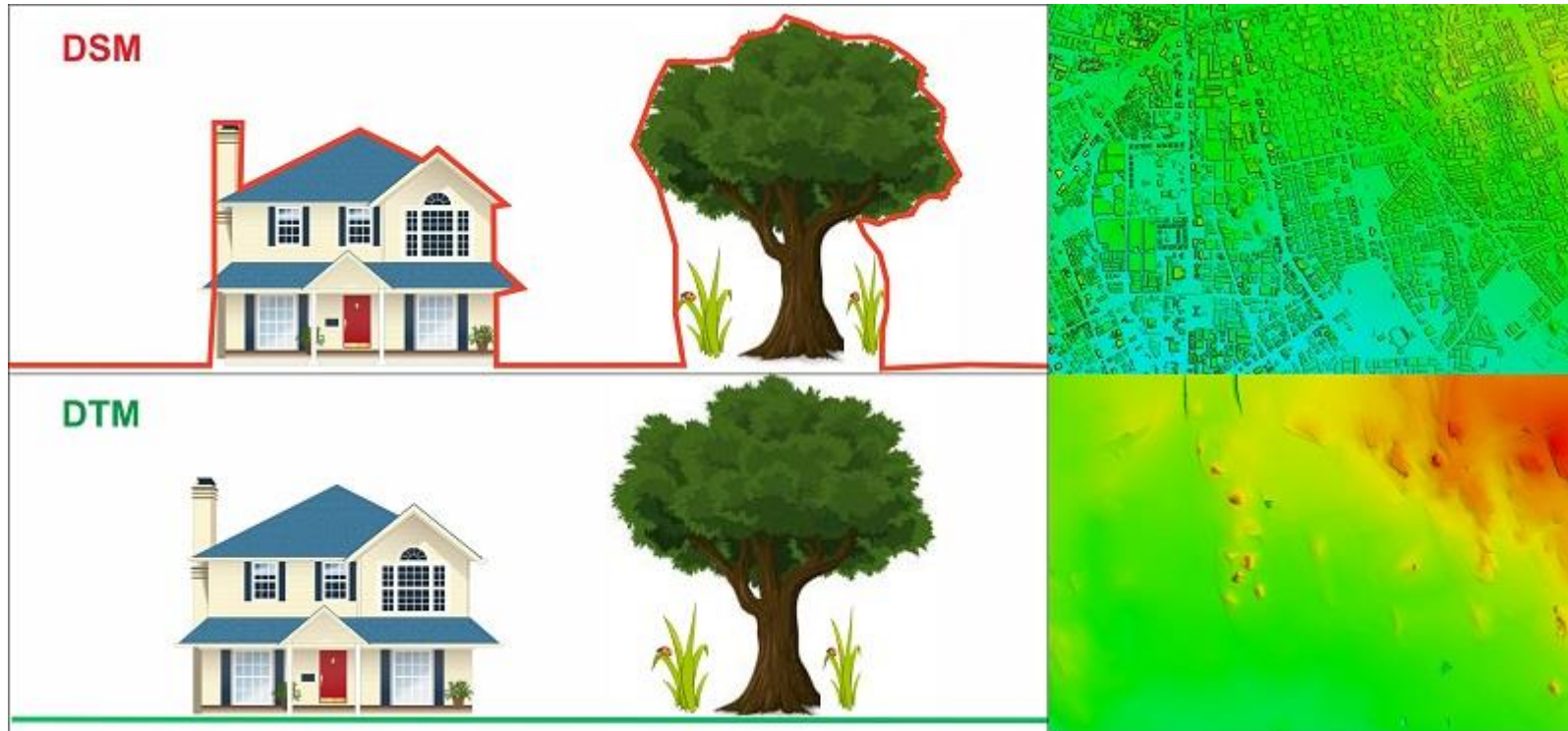
ψηφιακά μοντέλα εδάφους που περιγράφουν μία επιφάνεια λαμβάνοντας υπόψη όλα τα αντικείμενα, όπως και τις φυσικές ή τεχνητές δραστηριότητες που εμφανίζονται επάνω σε αυτή

Digital Elevation Model

υψομετρική πληροφορία με συγκεκριμένη χωρική αναφορά ως προς ένα υψομετρικό datum («γυμνή γη»)

Digital Terrain Model

εκτός από την υψομετρική πληροφορία που αναφέρεται στη «γυμνή» επιφάνεια του εδάφους, επιπλέον χαρακτηριστικά, όπως οι υδάτινες επιφάνειες και οι ακτογραμμές



Model	Resolution (arcsec)	Reference System / ellipsoid	Evaluation
ASTER GDEM v3	1	WGS84	H
AW3D30 DSM v3.2	1	ITRS97/GRS80	H
Copernicus DEM	1	WGS84	H
DTM of the Greek Seas	15	WGS84	D
EU-DEM	25 m	ETRS89-LAEA/GRS80	H
GEBCO 2020	15	WGS84	H/D
NASADEM HGT	1	WGS84	H
SRTM 1arcsec Global	1	WGS84	H
SRTM15+ v2.1	15	WGS84	H/D

ΔΕΔΟΜΕΝΑ GNSS (1)

- 175 σημεία στο Βορρά & 138 στο Νότο
- Topcon Hiper V & Javad Triumph-1
- RTK & τεχνική VRS (GPS & GLONASS)
- Δίκτυο Μόνιμων σταθμών URANUS
- Καταγραφή δεδομένων για τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα μετά την επίλυση της ασάφειας φάσης
- HTRS07 & WGS84 (γεωμετρικά υψόμετρα)



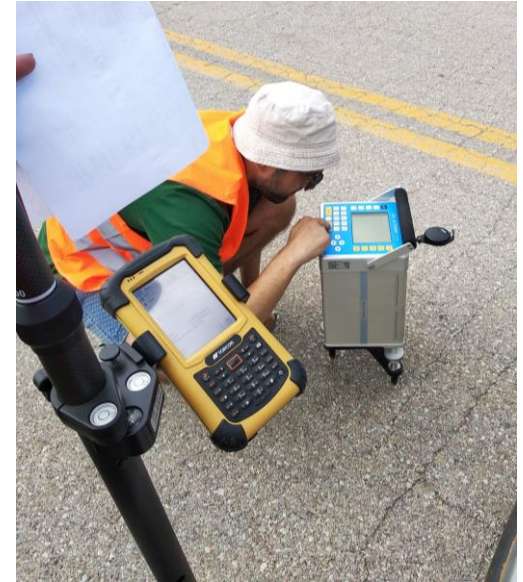
ΔΕΔΟΜΕΝΑ GNSS (2)



Model	Min	Max	Mean	std
Νότος				
HRMS[m]	0.004	0.040	0.009	0.005
VRMS[m]	0.007	0.041	0.011	0.004
PDOP	1.243	3.452	1.681	0.345
HDOP	0.691	2.204	0.866	0.164
VDOP	1.015	3.269	1.435	0.333
Βορράς				
HRMS[m]	0.001	0.039	0.009	0.007
VRMS[m]	0.002	0.064	0.015	0.011
PDOP	1.199	3.322	1.818	0.353
HDOP	0.641	1.758	0.954	0.180
VDOP	1.013	2.819	1.544	0.325

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (1)

- Σχετικές μετρήσεις βαρύτητας με Scintrex CG-5
- Drift 0.02 mGal/ημέρα
- Μετρήσεις 3 ή 5 ή 7 λεπτά
- Διόρθωση για drift $z(t) = z(t_0) + d_1(t - t_0)$



	Min	Max	Mean	Std
Νότος	0.005	0.298	0.038	0.032
Βορράς	0.001	0.314	0.030	0.042 (mGal)

Βορράς:

- 14.3 χλμ Rep. 81871100Γ4, 81871100Α3, 8187110316 & 8187110022
- Leica Sprinter 150m

Νότος:

- 12.6 χλμ Rep. R18020027 & R5018020104
- GEOMAX ZDL-700

- ✓ Σημεία Εθνικού Κατακόρυφου Δικτύου
- ✓ Μετρήθηκε και υλοποιήθηκε από της ΓΥΣ (1963-1986)
- ✓ Διαφορετική επιφάνεια αναφοράς για ηπειρωτική και νησιωτική Ελλάδα
- ✓ Για ηπειρωτική Ελλάδα $\rightarrow H_0=14,66470 \mu$ (λιμάνι Πειραιά)

Ορθομετρική διόρθωση:

$$OC_{AB} = \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} \delta n + \frac{\bar{g}^A - \gamma_0}{\gamma_0} H_A - \frac{\bar{g}^B - \gamma_0}{\gamma_0} H_B$$

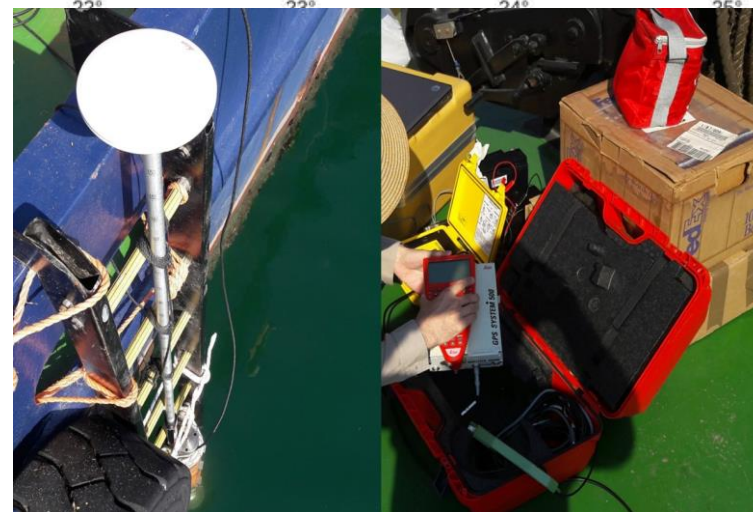
$$\bar{g} = g + 0.0424H \text{ (} g \text{ in gal, } H \text{ in km)}$$

Μετά τις διορθώσεις:

Περιοχή	ΔH Rep.	ΔH χωρ.	Μήκος Χωρ.	Διαφ. Μετ.-Επιστ.
Νότος	5 εκ	1.3 εκ	12.6 χλμ	0.1 εκ
Βορράς	1.2 εκ	1 εκ	14.3 χλμ	0.1 εκ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑΣ (1)

- Μετρήσεις GravLab
- Ηχοβολιστική συσκευή μονής δέσμης
- Διορθώσεις κυματισμού, παλίρροιας κ.ά.
- Μικρά βάθη
- Δέλτα Αξιού
- Καβάλα
- Χαλκιδική

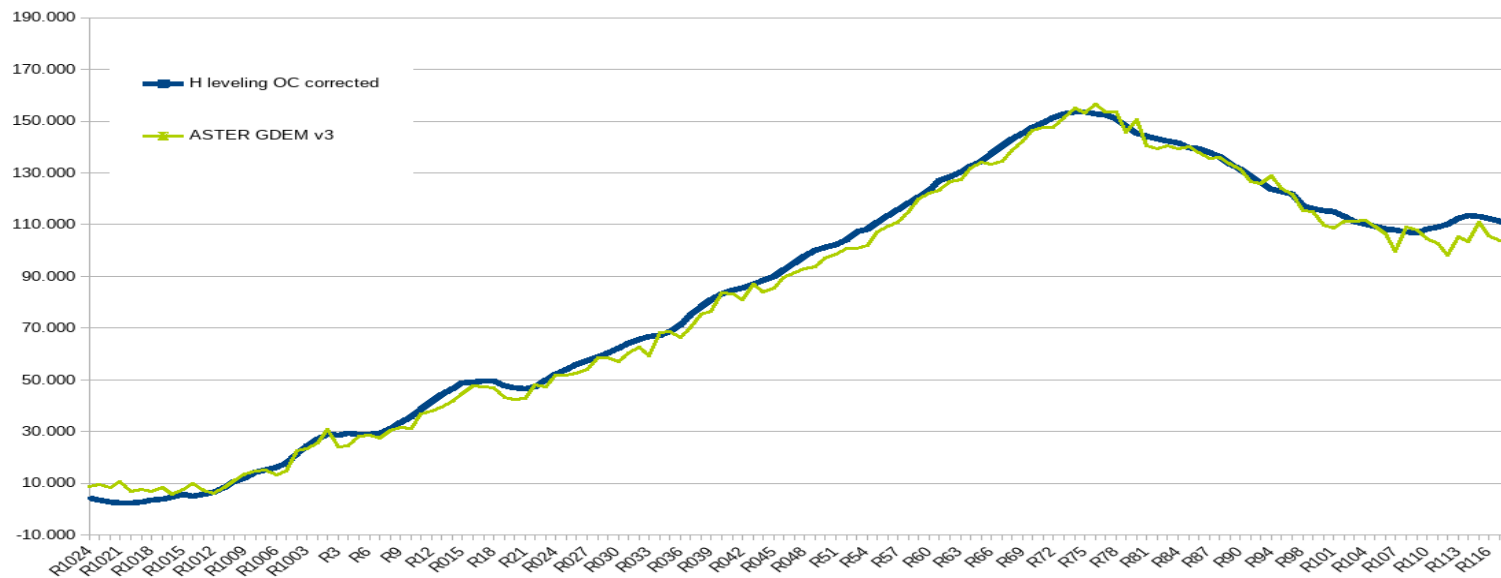


- Ελληνικό Κατακόρυφο Σύστημα Αναφοράς (Greek Vertical Datum)
- ITRF2014
- DEM & DBM → παρεμβολή στα σημεία της χωροστάθμησης
- Matlab

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (1)



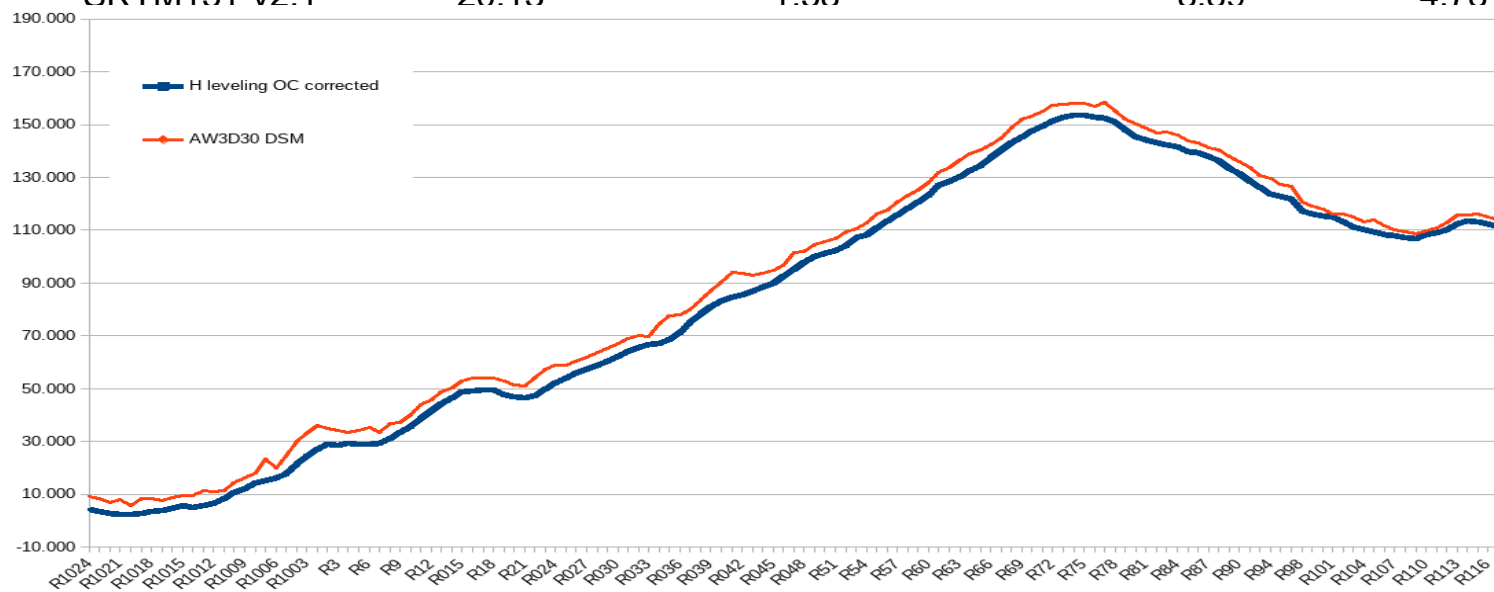
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (2)



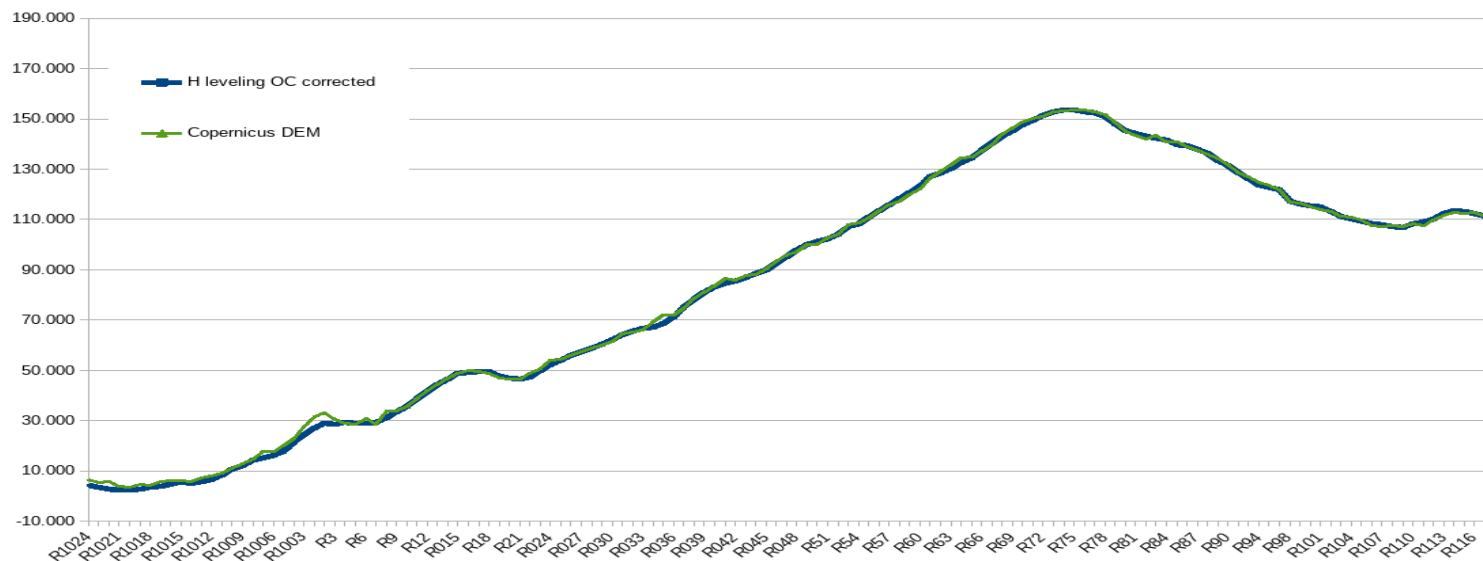
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (3)



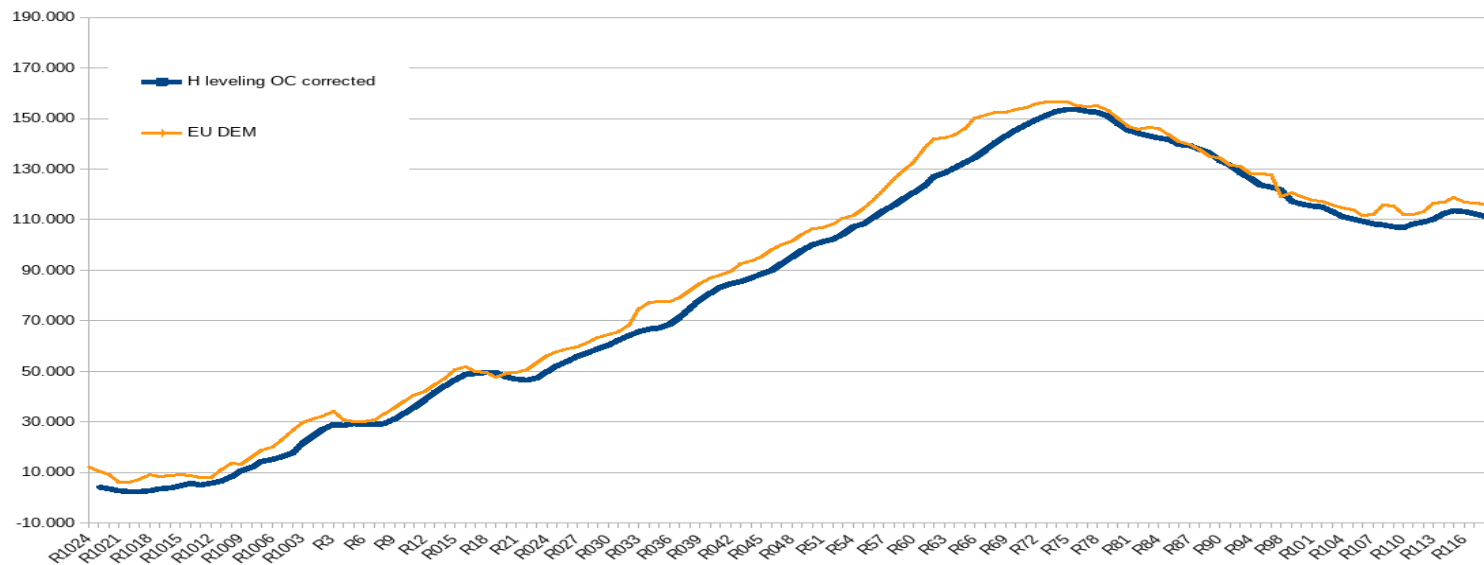
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (4)



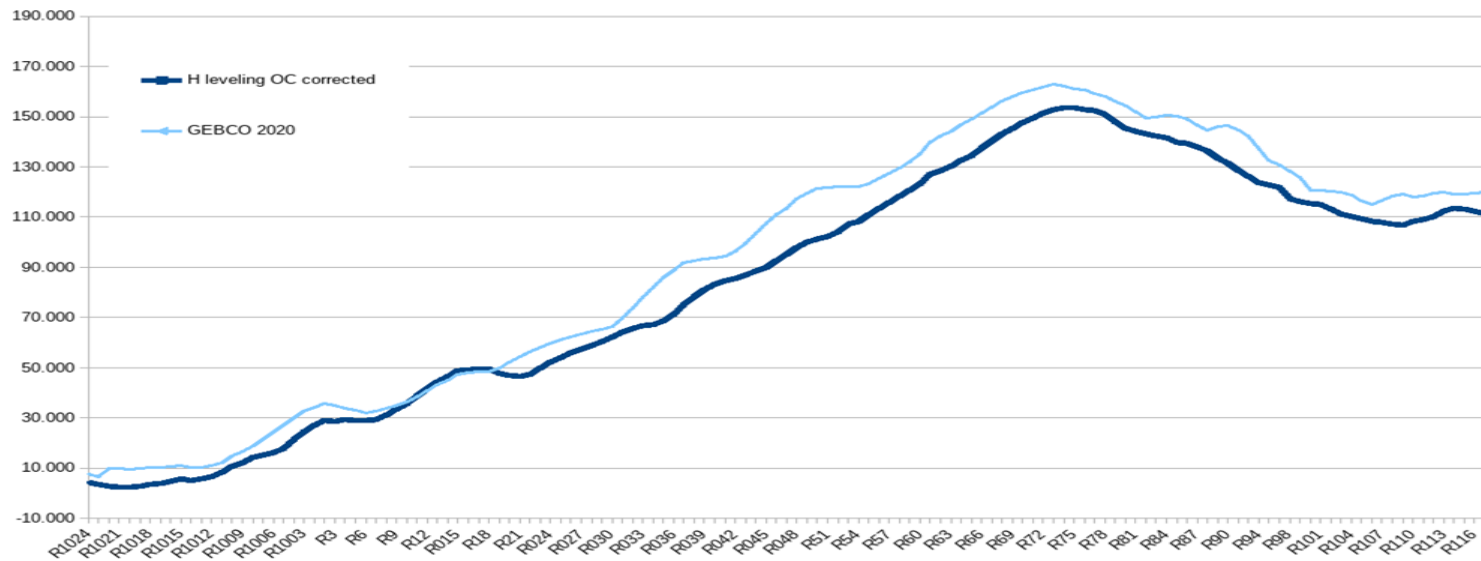
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (5)



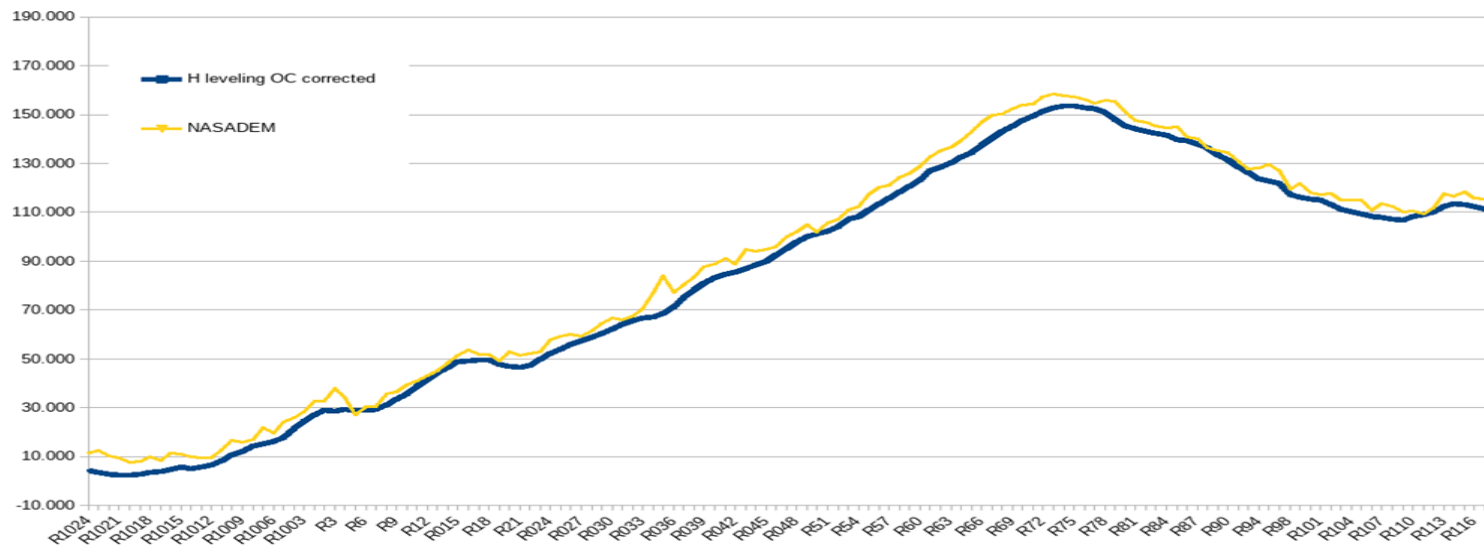
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
FU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (6)



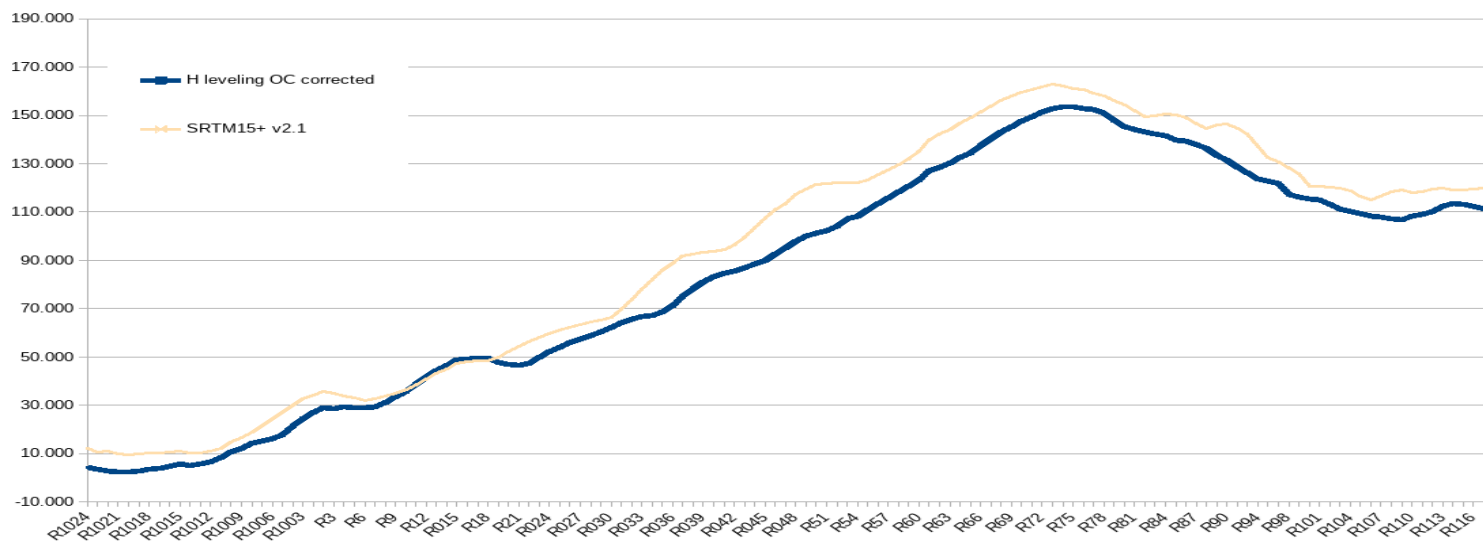
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (7)



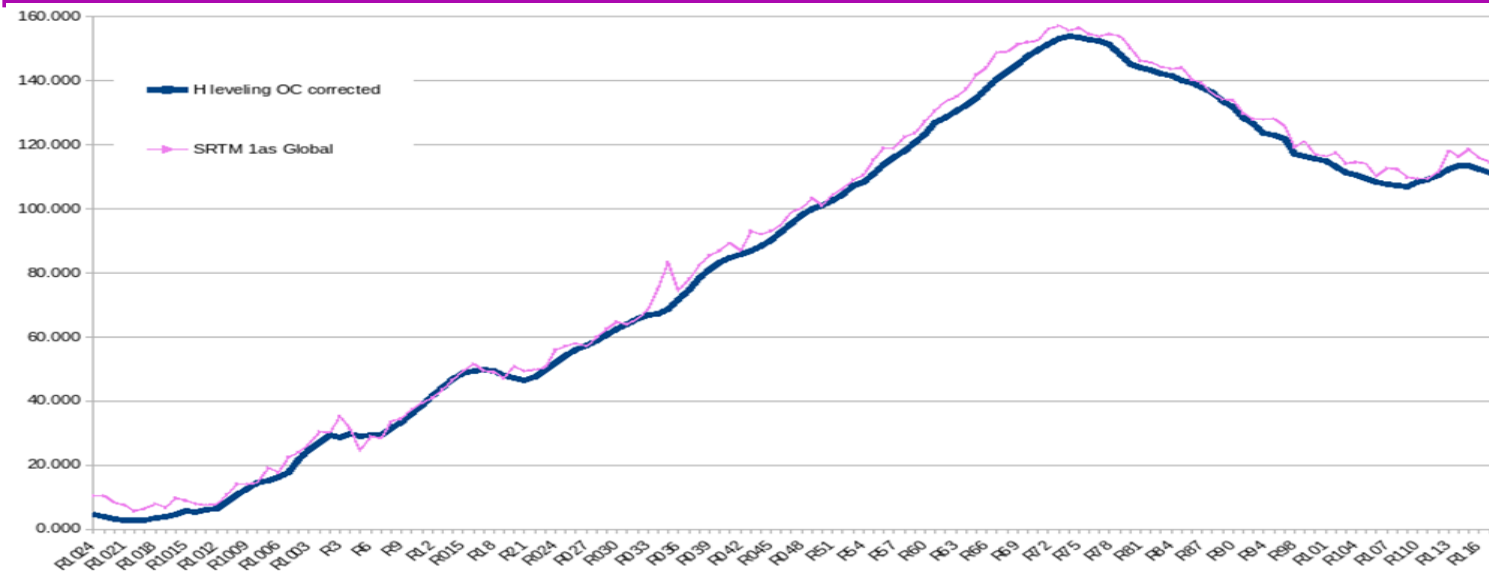
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΝΟΤΟΣ (8)



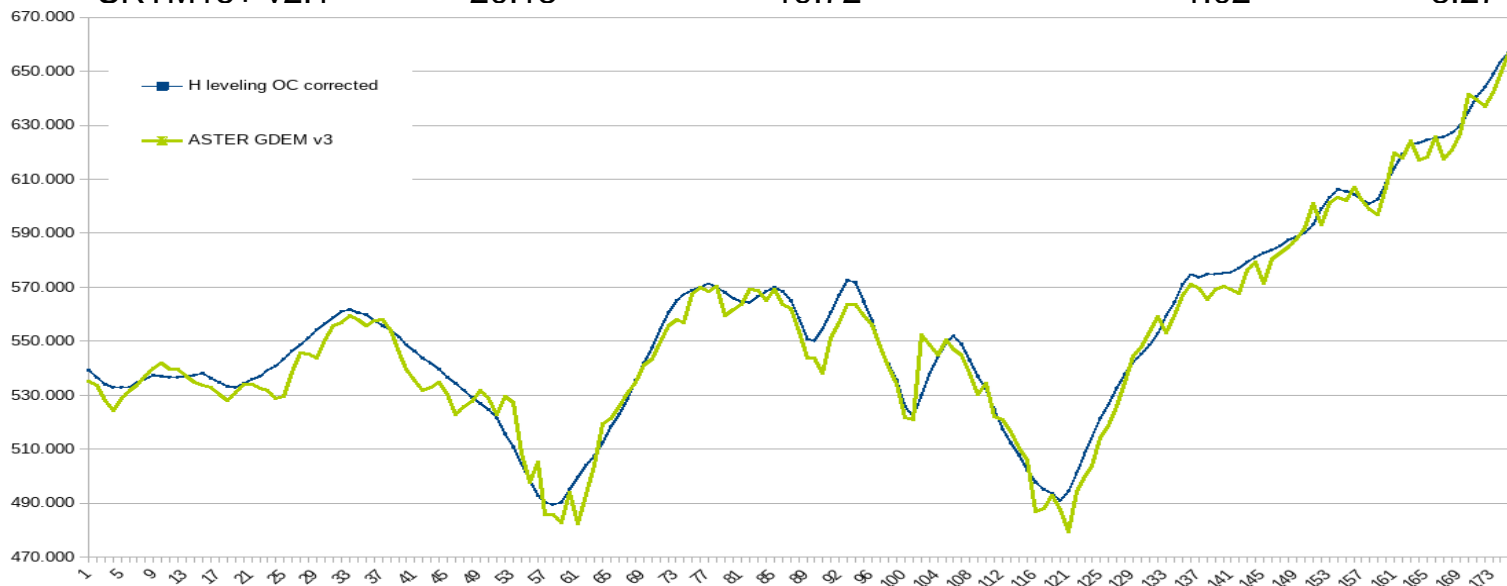
Model	Min	Max	Mean	std
Νότος (μ.)				
ASTER GDEM v3	-8.12	12.02	1.82	3.32
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	-1.21	-4.73	1.48
Copernicus DEM	-4.69	3.452	1.25	1.04
EU-DEM	-13.51	-0.13	-4.34	2.64
GEBCO 2020	-20.13	1.58	-8.82	4.83
NASADEM HGT	-15.15	1.79	-4.51	2.26
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.95	2.24
SRTM15+ v2.1	-20.13	1.58	-8.89	4.78



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (1)

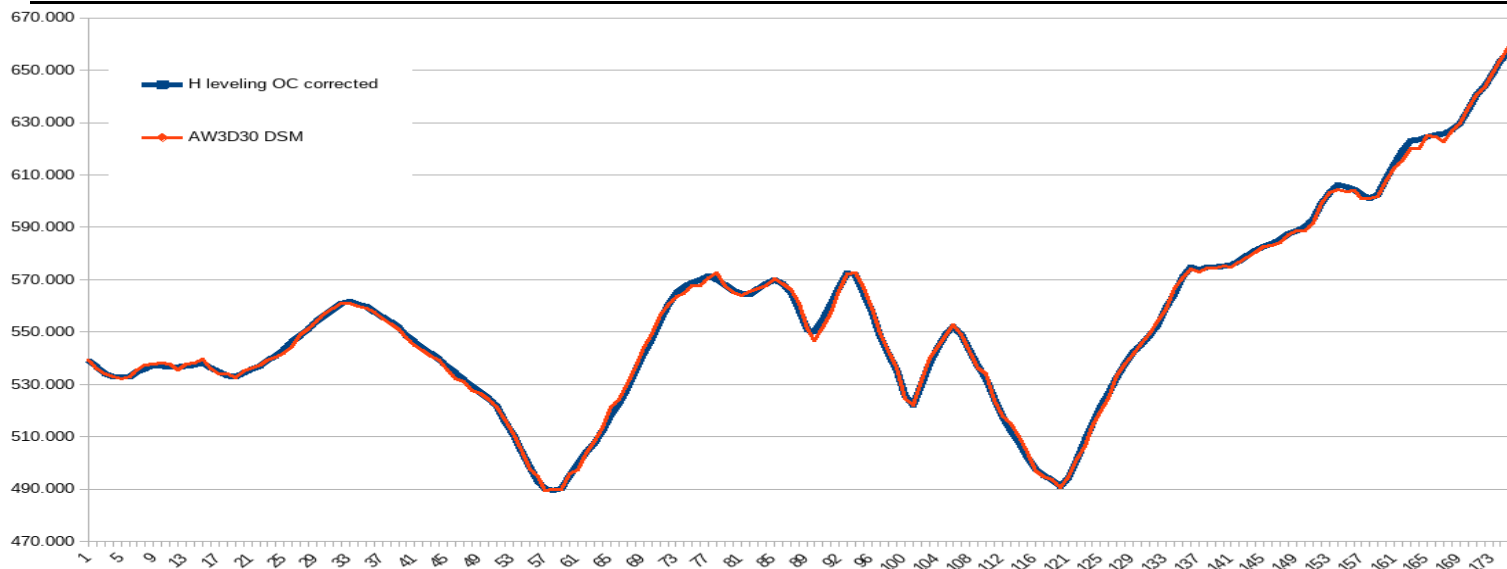


Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (2)

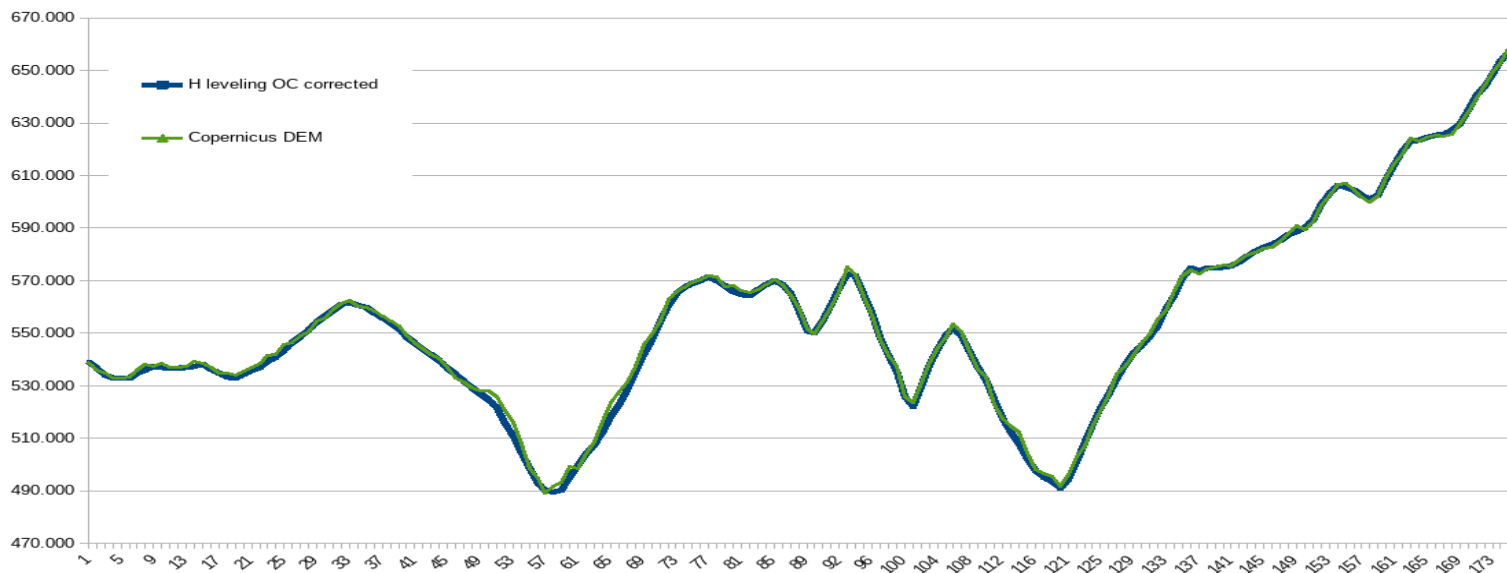
Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (3)



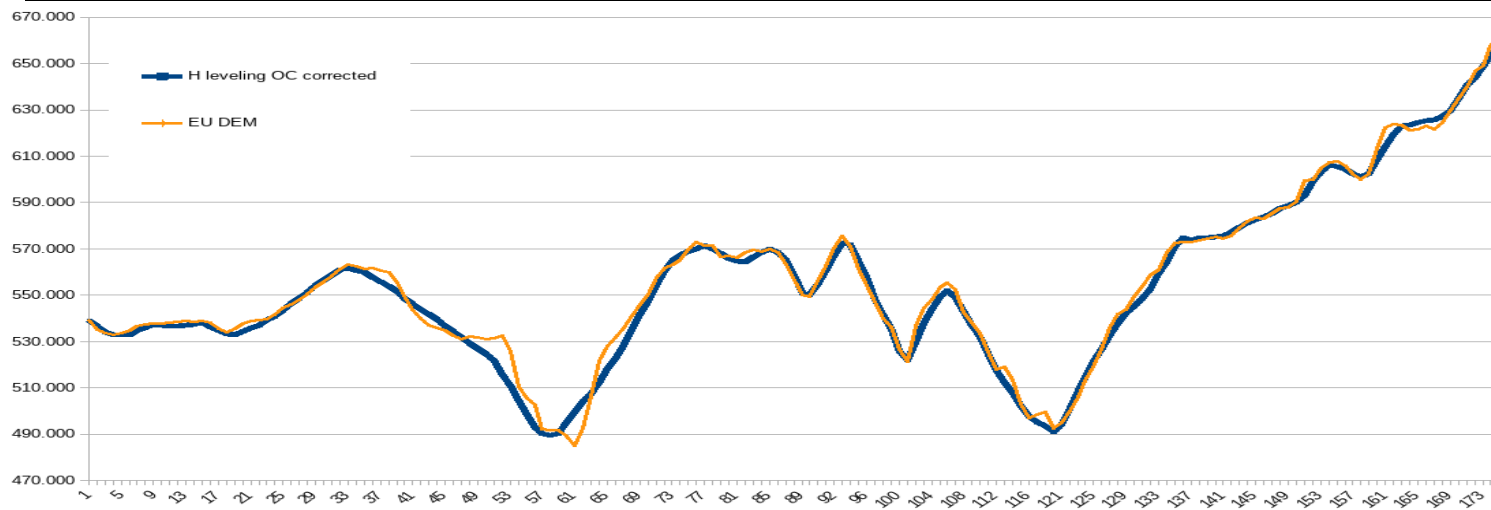
Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (4)



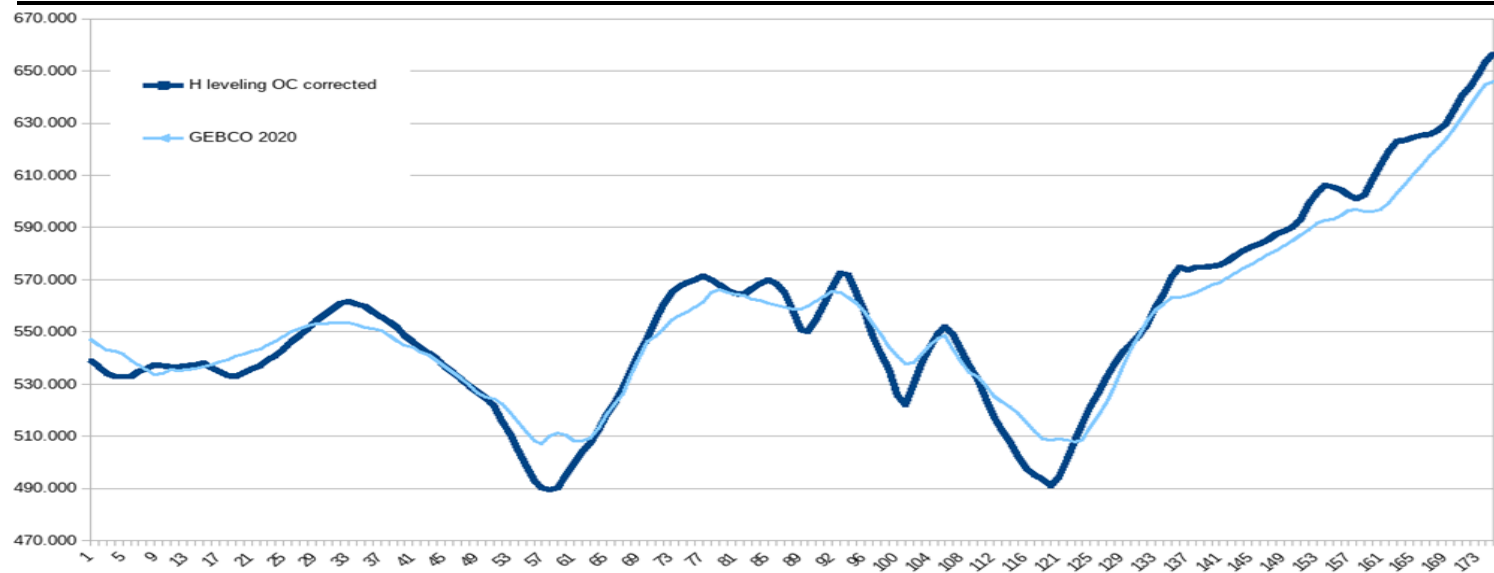
Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (5)



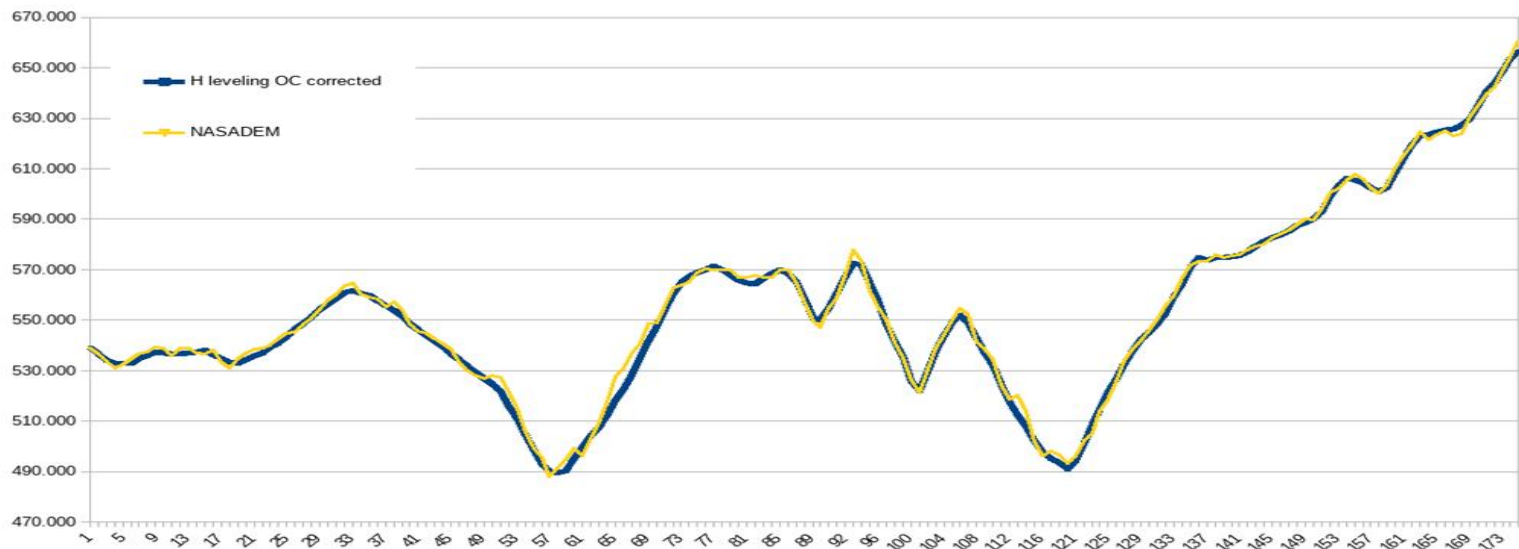
Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (6)



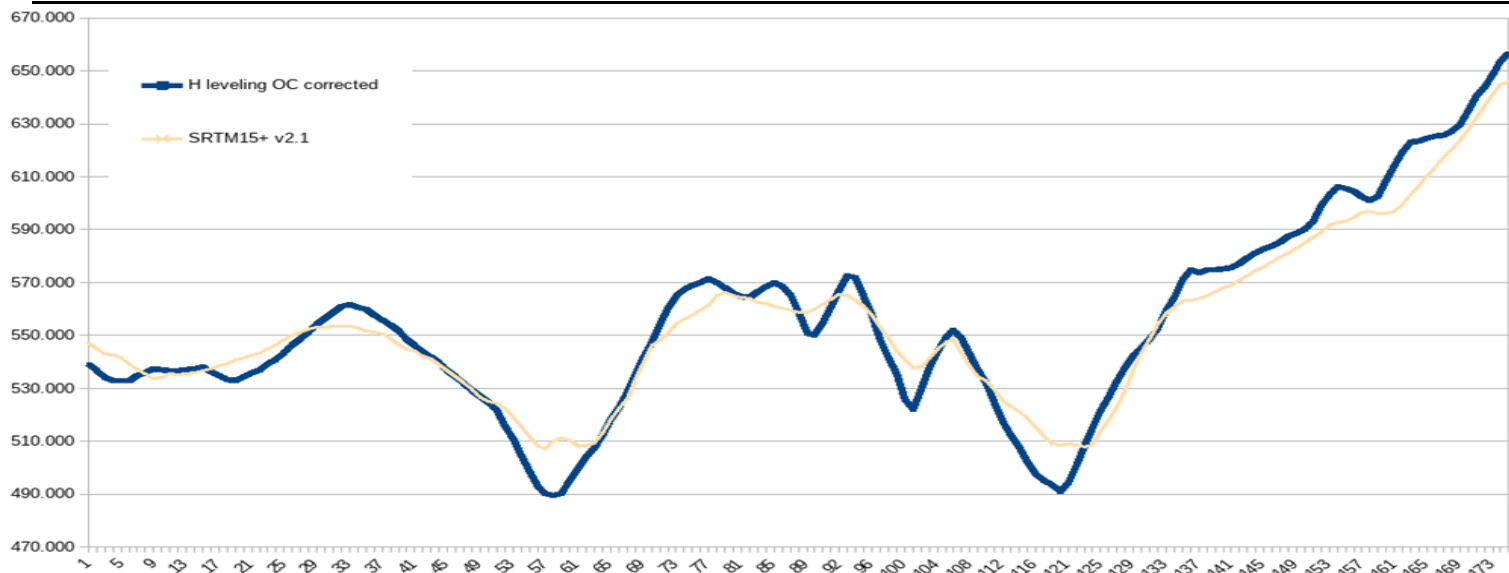
Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (7)

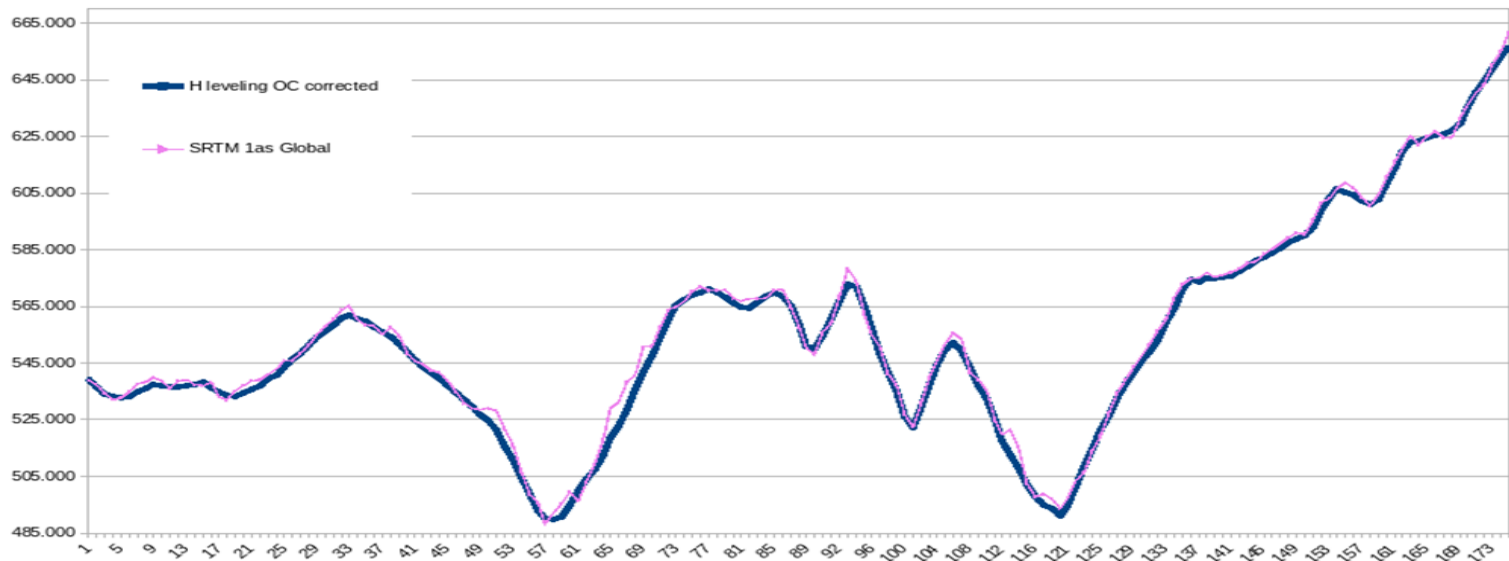


Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΡΡΑΣ (8)

Model	Min	Max	Mean	std
Βορράς (μ)				
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.84	5.65
AW3D30 DSM v3.2	-2.85	3.59	0.14	1.26
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.68	1.38
EU-DEM	-16.82	14.89	-1.36	3.67
GEBCO 2020	-20.83	19.72	1.02	8.27
NASADEM HGT	-9.29	3.7	-0.87	2.26
SRTM 1arcsec Global	-10.63	3.55	-1.55	2.32
SRTM15+ v2.1	-20.13	19.72	1.02	8.27



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ (1)

Model	Number of points	Min	Max	Mean	std
GEBCO2020	72970	-28.68	36.75	-3.79	8.84
SRTM+15 v2.1	72970	-30.08	41.35	-2.52	10.14
EMODnet	72970	-40.73	12.98	-9.71	10.17
HNHS2005	72970	-22.69	29.02	-3.51	6.60

- Η αξιολόγηση των χωροσταθμικών αφετηριών στην πιλοτική περιοχή της βόρειας Ελλάδας, οι οποίες ανήκαν στην ίδια χωροσταθμική όδευση του δικτύου και μετρήθηκαν ή/και συνορθώθηκαν την ίδια χρονική περίοδο, έδειξε πως είναι αξιόπιστες, παρόλο το μεγάλο διάστημα που μεσολάβησε από τη μέτρηση τους μέχρι σήμερα.
- Η αξιολόγηση των χωροσταθμικών αφετηριών στην πιλοτική περιοχή της νότιας Ελλάδας έδειξε ασυμφωνίες μεταξύ των αφετηριών της τάξης των 5 cm, οι οποίες πιθανόν να οφείλονται στη διαφορετική χρονολογία μέτρησης/συνόρθωσής τους ή/και σε μικρομετακινήσεις του εδάφους.

- **AW3D30 DSM v3.2 & Copernicus DEM** → καλύτερη ακρίβεια
- **SRTM 1arcsec** → χειρότερα αποτελέσματα
- **Εύρος τιμών Copernicus 7 μ.** → ικανοποιητική για δορυφορικά μοντέλα
- Το EU-DEM αν και χρονολογικά είναι το τελευταίο μοντέλο που δημοσιεύτηκε δεν είναι τόσο ακριβές

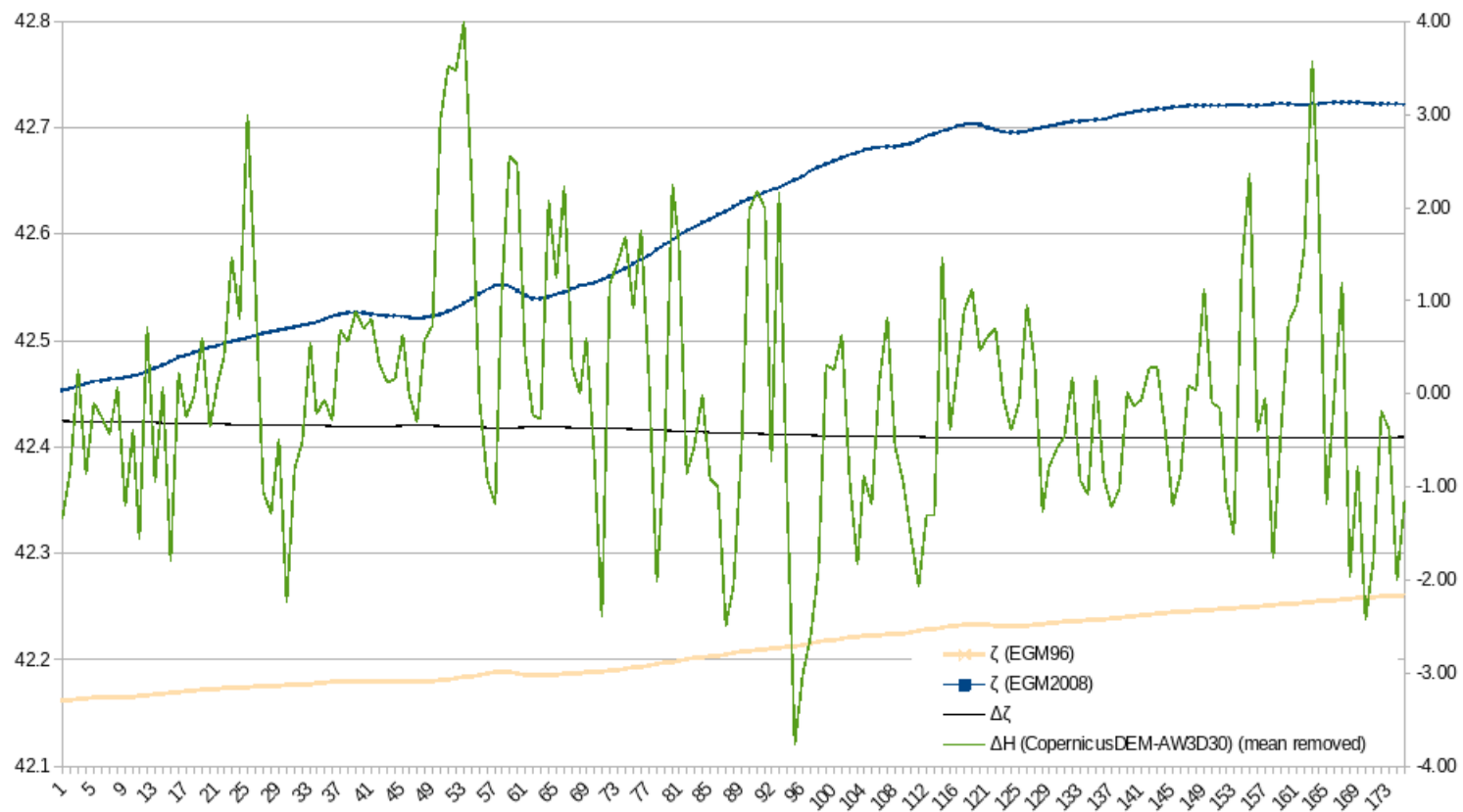
Model	Min	Max	Mean	std
ASTER GDEM v3	-22.44	17.47	2.39	4.79
AW3D30 DSM v3.2	-9.37	3.59	-2.01	2.77
Copernicus DEM	-5.23	2.03	-0.58	1.24
EU-DEM	-16.82	14.89	-2.68	3.57
GEBCO 2020	-20.83	19.72	-3.32	8.50
NASADEM HGT	-15.15	3.7	-2.47	2.89
SRTM 1arcsec Global	-14.43	4.38	-2.17	2.39
SRTM15+ v2.1	-20.83	19.72	-3.35	8.51

Διαφορές → Διαφορετικά μοντέλα γεωειδούς?

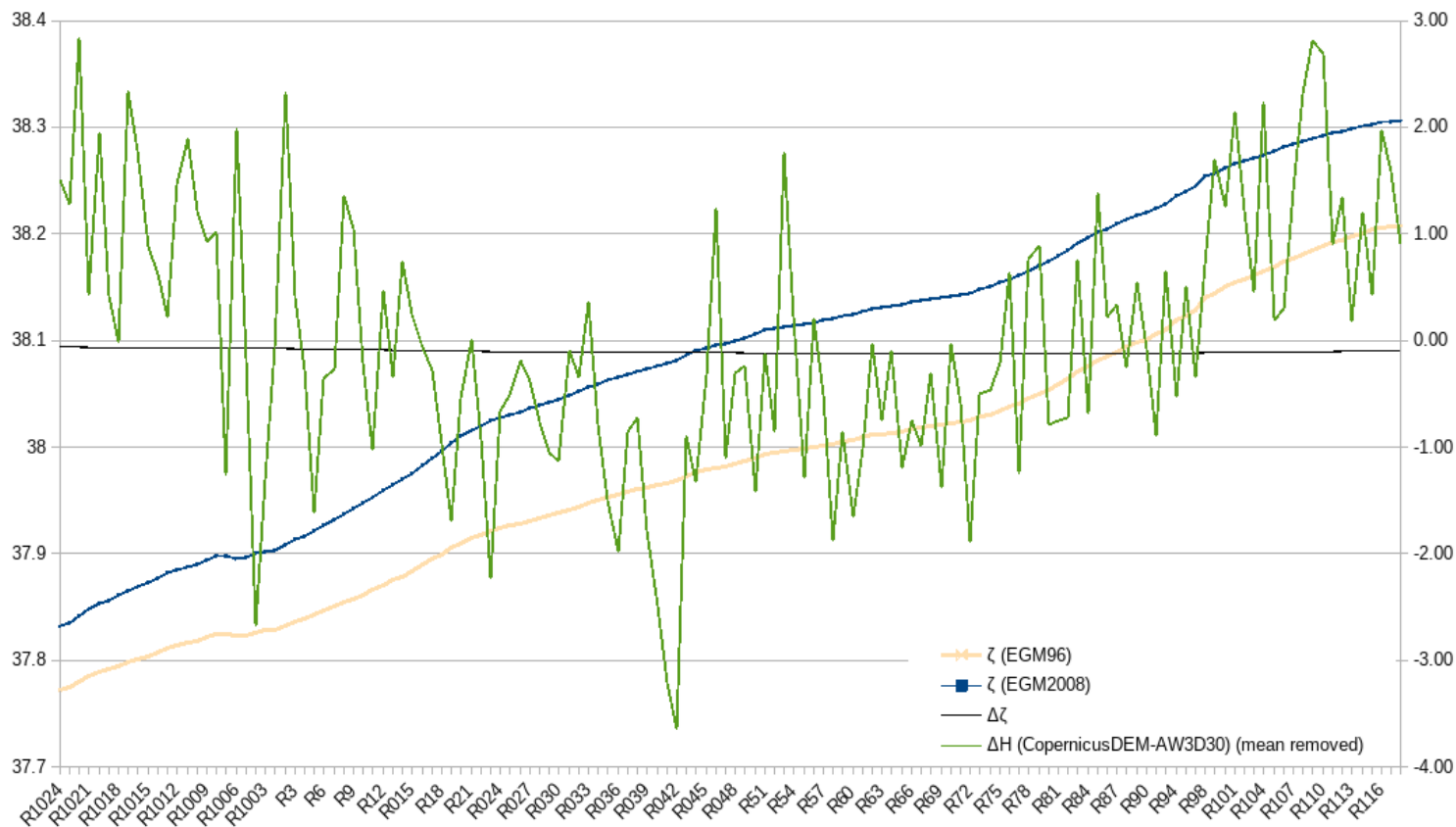
→ EGM96 και EGM2008



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (4)



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (5)



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (6)

- Τα μοντέλα που βασίζονται σε in-situ δεδομένα → τα καλύτερα αποτελέσματα
- Τα μοντέλα που βασίζονται σε αλτιμετρικά δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλες τιμές σφαλμάτων κοντά στην ακτογραμμή

Model	Number of points	Min	Max	Mean	std
GEBCO2020	72970	-28.68	36.75	-3.79	8.84
SRTM+15 v2.1	72970	-30.08	41.35	-2.52	10.14
EMODnet	72970	-40.73	12.98	-9.71	10.17
HNHS2005	72970	-22.69	29.02	-3.51	6.60



ModernGravNet

Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας
Modernization of the Hellenic Gravity Network

*Ημερίδα “Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας”
22 Δεκεμβρίου 2022*

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Το ερευνητικό έργο υποστηρίχτηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου:1550)



ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.

Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας