




Đánh giá và lựa chọn mô hình thế trọng trường toàn cầu phù hợp trên lãnh thổ Việt Nam

Nguyễn Văn Sáng 

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

Email tác giả liên hệ: nguyenvansang@humg.edu.vn

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18787687>

Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá và lựa chọn được mô hình thế trọng trường toàn cầu phù hợp trên lãnh thổ Việt Nam. Trong 2 thập kỷ qua, trên thế giới đã xây dựng được nhiều mô hình thế trọng trường toàn cầu. Từ kết quả so sánh với số liệu GPS-TC tại nhiều nước trên thế giới, chúng tôi đã lựa chọn ra được 6 mô hình tốt nhất. Các mô hình này được so sánh với số liệu đo GPS-TC tại 818 điểm trên lãnh thổ Việt Nam. Kết quả so sánh cho thấy: Các độ lệch đều tuân theo phân bố chuẩn. Tương quan giữa dị thường độ cao tính từ mô hình và số liệu GPS-TC rất tốt. Độ chính xác của 6 mô hình đạt từ $\pm 0,298$ m đến $\pm 0,159$ m. Mô hình XGM2019e là mô hình phù hợp nhất trên lãnh thổ Việt Nam, thể hiện ở độ lệch chuẩn nhỏ nhất, tương quan với số liệu GPS-TC tốt nhất. Các điểm có độ lệch lớn tập trung trên vùng núi Tây Bắc, nơi khó khăn trong công tác đo thủy chuẩn. Kết quả nghiên cứu này có thể tham khảo để lựa chọn mô hình thế trọng trường toàn cầu khi thực hiện các bài toán trắc địa cao cấp.

Từ khóa: Mô hình thế trọng trường toàn cầu, Dị thường độ cao, Đánh giá độ chính xác.

Ngày nhận bài: 20/10/2025 Ngày sửa lại: 10/11/2025 Ngày chấp nhận đăng: 12/11/2025 Ngày xuất bản: 28/02/2026

Evaluation and selection of an appropriate Global Geopotential Model over the Territory of Vietnam

Nguyen Van Sang *

Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Viet Nam

Corresponding Author Email: nguyenvansang@humg.edu.vn

Abstract:

The purpose of this study is to evaluate and select the most suitable Global Geopotential Model (GGM) for the territory of Vietnam. Over the past two decades, many GGMs have been developed worldwide. Based on comparisons with GPS/levelling data in various countries, six of the best-performing models were selected for testing. These models were compared with GPS/levelling data from 818 points across Vietnam. The results show that the deviations follow a normal distribution and that the correlation between model-derived height anomalies and GPS/levelling data is very strong. The accuracy of the six models ranges from ± 0.298 m to ± 0.159 m. Among them, the XGM2019e model is the most suitable for Vietnam, exhibiting the smallest standard deviation and the best correlation with GPS/levelling data. Large deviations are mainly found in the northwestern mountainous region, where levelling measurements are difficult to obtain. The findings of this study can serve as a reference for selecting an appropriate GGM for geodesy applications.

Keywords: GIS, climate change, GNSS. (Time New Roman, 10pt, Bold, Italic)

Submission received: 20/10/2025

Revised: 10/11/2025

Accepted: 12/11/2025

Published: 28/02/2026



1. Giới thiệu

Trong hơn hai thập niên qua, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ vệ tinh đo trọng lực (CHAMP, GRACE, GOCE, GRACE-FO), các mô hình thế trọng trường toàn cầu (Global Gravity Field Models – GGM) đã đạt được bước tiến vượt bậc cả về độ chính xác và độ phân giải không gian. Các mô hình nổi bật như EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, XGM2019e và GGMPPlus được xây dựng bằng cách kết hợp dữ liệu vệ tinh, trọng lực mặt đất, và số liệu đo cao vệ tinh nhằm biểu diễn trường trọng lực Trái đất toàn cầu với độ chính xác cao [1-3].

Các nghiên cứu quốc tế đã chứng minh rằng GGM đóng vai trò nền tảng cho nhiều bài toán trắc địa cao cấp như xác định geoid/quasigeoid, chuyển đổi độ cao GNSS sang độ cao chuẩn, chuẩn hóa hệ độ cao quốc tế và ước tính thế trọng trường chuẩn W0 [4], [5]. Đặc biệt, các mô hình kết hợp như GECO [2] hay XGM2019e [3] đã khắc phục hạn chế phổ trung – cao tần của các mô hình chỉ sử dụng số liệu vệ tinh.

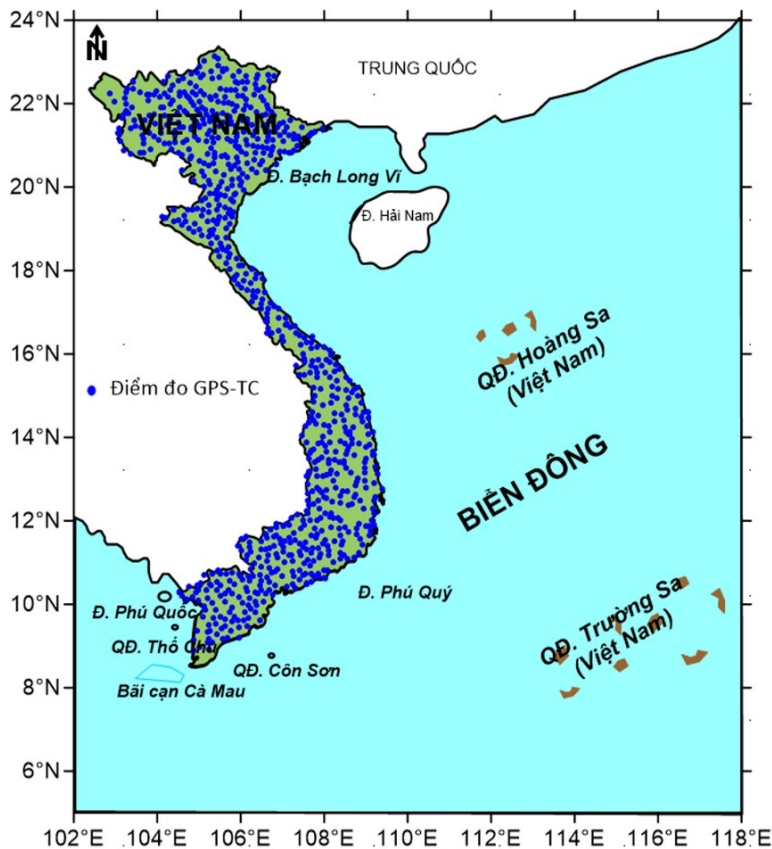
Tuy nhiên, do sự khác biệt rõ rệt về mật độ dữ liệu trọng lực, điều kiện địa hình và phân bố số liệu đo cao vệ tinh, việc đánh giá và lựa chọn mô hình EGM phù hợp cho từng khu vực là yêu cầu bắt buộc trước khi ứng dụng vào trắc địa quốc gia [6]. Sai số mô hình có thể dao động từ vài cm đến hàng chục cm tùy khu vực, và ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả của các bài toán trắc địa cao cấp quốc gia.

Tại Việt Nam, một số công trình đã tiến hành so sánh nhiều mô hình GGM (EGM2008, EIGEN-6C4, XGM2019e ...) với dữ liệu GNSS/thủy chuẩn và trọng lực mặt đất [7], [8]. Kết quả cho thấy, mô hình XGM2019e có hiệu quả tốt hơn ở khu vực đồng bằng và ven biển, trong khi EGM2008 vẫn cho kết quả ổn định tại khu vực miền núi. Nghiên cứu trong tài liệu [9] đã so sánh một số mô hình GGM với số liệu đo GPS-TC và lựa chọn mô hình EIGEN-6C4 để xác định dị thường trọng lực trên Biển Đông từ số liệu đo cao vệ tinh. Luận án tiến sĩ của Nguyễn Thành Lê cũng đã lựa chọn mô hình EIGEN-6C4 để phục vụ kỹ thuật “Loại bỏ - Phục Hồi” trong bài toán xác định dị thường độ cao từ số liệu trọng lực ở Miền Trung Việt Nam [10]. Trong tài liệu [11], các tác giả đã so sánh một số mô hình GGM với số liệu đo trọng lực trực tiếp và lựa chọn được mô hình SGG-UGM-2 phù hợp nhất trên Biển Đông. Từ những nghiên cứu trên thấy rằng chưa có sự thống nhất trong việc lựa chọn mô hình GGM nào phù hợp với lãnh thổ Việt Nam. Bài báo này tập trung nghiên cứu đánh giá một số mô hình GGM mới bằng cách so sánh dị thường độ cao tính từ các mô hình này với dị thường độ cao GPS-TC trên 818 điểm rải đều trên lãnh thổ Việt Nam, từ đó, lựa chọn mô hình GGM phù hợp nhất cho lãnh thổ Việt Nam phục vụ các bài toán Trắc địa cao cấp.

2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Lãnh thổ Việt Nam nằm ở rìa phía Đông của bán đảo Đông Dương, trải dài từ vĩ độ 8°30' đến 23°30' Bắc và kinh độ 102° đến 110° Đông, có diện tích khoảng 331.000 km² (Hình 1). Địa hình Việt Nam đa dạng, gồm vùng núi và cao nguyên chiếm hơn 3/4 diện tích, xen kẽ các đồng bằng lớn như đồng bằng sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long, cùng hơn 3.000 hòn đảo ven bờ. Sự phức tạp của địa hình, sự thay đổi mạnh của mật độ vật chất vỏ Trái đất và ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo khiến trường trọng lực trên lãnh thổ Việt Nam biến đổi đáng kể theo không



gian, đòi hỏi phải đánh giá kỹ lưỡng khi áp dụng các mô hình thế trọng trường toàn cầu [7].

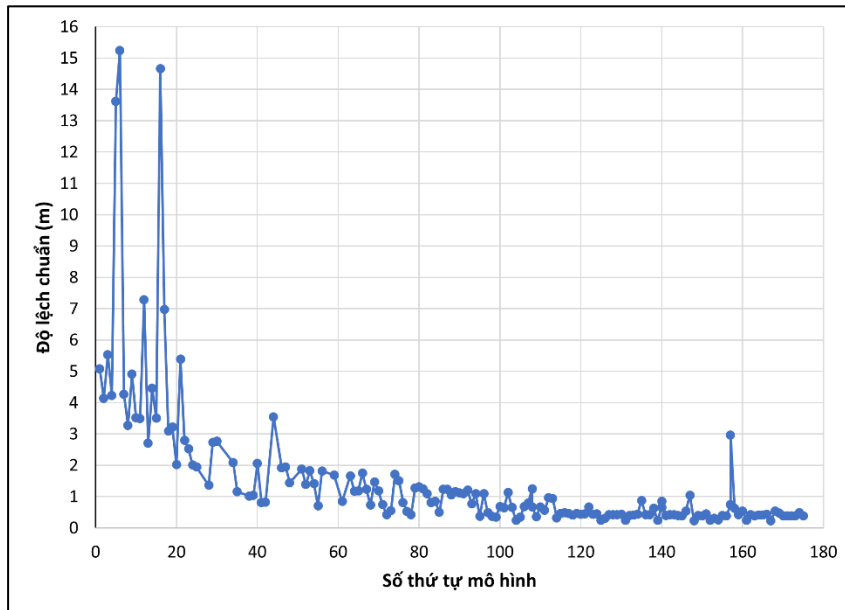
Hình 1. Khu vực nghiên cứu và số liệu nghiên cứu

2.2. Số liệu nghiên cứu

2.2.1. Số liệu mô hình thế trọng trường toàn cầu

Các mô hình thế trọng trường toàn cầu được phát triển bởi các tổ chức khác nhau từ năm 1966 đến nay có đến khoảng 180 mô hình. Số liệu này được cung cấp bảo ICGEM [12]. Các mô hình này đã được đánh giá độ chính xác bằng cách so sánh với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn tại 24014 điểm trên thế giới và tính ra độ lệch

chuẩn. Trong đó: Australia 7224 điểm, Brazil 1154 điểm, Canada 2702 điểm, Europe 1047 điểm, Japan 816 điểm, Mexico 4898 điểm và USA 6169 điểm [12]. Trên hình 3 mô tả độ chính xác của các mô hình.



Hình 2. Độ lệch chuẩn của các mô hình thế trọng trường toàn cầu khi so sánh với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn

Từ kết quả so sánh này chúng tôi chọn ra được 6 mô hình mới, phù hợp tốt nhất với số liệu đo GNSS-thủy chuẩn (xem Bảng 1) để đánh giá trên lãnh thổ Việt Nam.

Bảng 1. Các mô hình thế trọng trường toàn cầu được lựa chọn để đánh giá trên lãnh thổ Việt Nam

TT	Mô hình	Độ lệch chuẩn (m)							
		Australia (7224 điểm)	Brazil (1154 điểm)	Canada (2706 điểm)	Europe (1047 điểm)	Japan (816 điểm)	Mexico (4898 điểm)	USA (6169 điểm)	Tổng (24014 điểm)
1	EGM2008	0,095	0,302	0,140	0,125	0,083	0,212	0,248	0,188
2	EIGEN-6C4	0,091	0,234	0,137	0,121	0,079	0,197	0,247	0,178
3	GECO	0,095	0,233	0,142	0,123	0,080	0,186	0,246	0,176
4	SGG-UGM-1	0,092	0,241	0,141	0,121	0,076	0,189	0,245	0,176

5	XGM2019E	0,097	0,208	0,139	0,127	0,090	0,173	0,248	0,173
6	SGG-UGM-2	0,091	0,234	0,139	0,121	0,074	0,190	0,249	0,178

2.2.2. Số liệu đo GPS-TC

Để đánh giá và lựa chọn mô hình thế trọng trường phù hợp nhất cho khu vực nghiên cứu, tổng cộng 818 điểm đo GPS-TC đã được sử dụng (các điểm màu xanh trong Hình 1). Các điểm này đã được đo cả bằng thủy chuẩn và GPS. Số liệu này có mật độ điểm chưa cao và phân bố chủ yếu ở địa hình thấp, gần đường giao thông, thuận lợi đo thủy chuẩn.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Tính dị thường độ cao từ mô hình thế trọng trường toàn cầu

Đối với mỗi mô hình thế trọng trường Trái Đất toàn cầu, khi đã biết các hệ số điều hòa cầu $\bar{C}_{l,m}$ và $\bar{S}_{l,m}$ ta có thể tính được dị thường độ cao của một điểm N có tọa độ (r, φ, λ) theo công thức [13] – [15]:

$$\zeta_N = \frac{GM}{r\gamma_0} \sum_{l=2}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r}\right)^l \sum_{M=0}^L (\bar{C}_{l,m} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{l,m} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{l,m}(\sin \varphi') \quad (1)$$

Trong đó: GM – là hằng số trọng trường tương ứng với mô hình thế trọng trường Trái Đất sử dụng; r là bán kính địa tâm của điểm xét; φ' là vĩ độ địa tâm của điểm xét; a là bán trục lớn của ellipsoid; φ, λ là vĩ độ và kinh độ của điểm xét; $\bar{P}_{l,m}(\sin \varphi')$ là hàm Legendre kết hợp đã chuẩn hóa; N_{max} là mức tối đa của mô hình thế trọng trường Trái Đất sử dụng; $\bar{C}_{l,m}, \bar{S}_{l,m}$ – các hệ số của hàm điều hòa cầu tương ứng với mức l , hạng m đã chuẩn hóa; và γ_0 trọng lực chuẩn tại mặt ellipsoid tương ứng với điểm N;

3.2. So sánh dị thường độ cao với số liệu đo GNSS-TC

Để đánh giá độ chính xác của mô hình thế trọng trường toàn cầu trên lãnh thổ Việt Nam, chúng tôi so sánh dị thường độ cao tính từ mô hình với dị thường độ cao tại các điểm GPS-TC. Tại các điểm này, chúng ta vừa có dị thường độ cao đo GPS-TC (ζ^{GPS-TC}), vừa có dị thường độ cao tính từ mô hình toàn cầu (ζ^{GGM}). Độ lệch dị thường độ cao được tính bằng công thức [16]:

$$\Delta\zeta_i = \zeta_i^{GGM} - \zeta_i^{GPS-TC}, i = 1, 2, \dots, n; n \text{ là số điểm đo.} \quad (2)$$

Độ lệch trung bình được tính [16]:

$$\Delta\zeta_{TB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta\zeta_i \quad (3)$$

Độ lệch trung phương được tính theo công thức [16]:

$$RMS_{\Delta\zeta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\zeta_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Độ lệch chuẩn được tính bằng công thức [16]:

$$STD_{\Delta\zeta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\zeta_i - \Delta\zeta_{TB})^2}{n-1}} \quad (5)$$

Dị thường độ cao tính từ mô hình GGM cũng có thể được đánh giá theo hệ số tương quan R so với dị thường độ cao GPS-TC. Hệ số tương quan R là thước đo mối tương quan giữa 2 bộ số liệu. R có thể biến đổi từ -1 đến +1. Nếu R = 1, hai bộ số liệu có mối tương quan tuyến tính hoàn toàn. Nếu R = -1, hai bộ số liệu có tương quan phủ định nhau. Nếu R = 0, hai bộ số liệu không có mối tương quan tuyến tính. Như vậy, nếu mô hình GGM phù hợp với số liệu đo trực tiếp thì hệ số tương quan giữa chúng sẽ xấp xỉ bằng 1. Hệ số tương quan R được tính bằng công thức [17]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (\zeta_i^{GPS-TC} - \zeta_{TB}^{GPS-TC}) \cdot (\zeta_i^{EGM} - \zeta_{TB}^{EGM})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\zeta_i^{GPS-TC} - \zeta_{TB}^{GPS-TC})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\zeta_i^{EGM} - \zeta_{TB}^{EGM})^2}} \quad (6)$$

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Kết quả đánh giá độ chính xác của một số mô hình thể trọng trường toàn cầu trên lãnh thổ Việt Nam

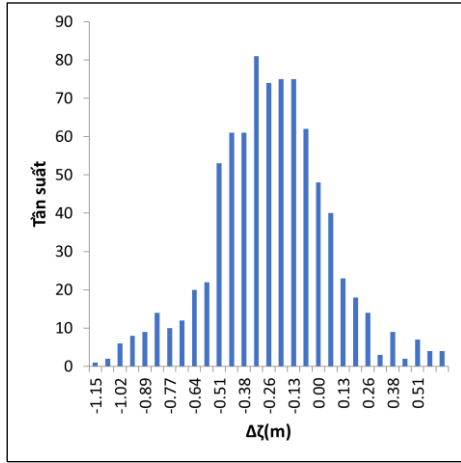
Từ lý thuyết trình bày ở trên, chúng tôi đã tiến hành tính toán dị thường độ cao từ 6 mô hình và so sánh chúng với dị thường độ cao GPS-TC tại 818 điểm. Kết quả thống kê vẫn tắt được trình bày trên Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả so sánh dị thường độ cao của 6 mô hình với số liệu GPS-TC

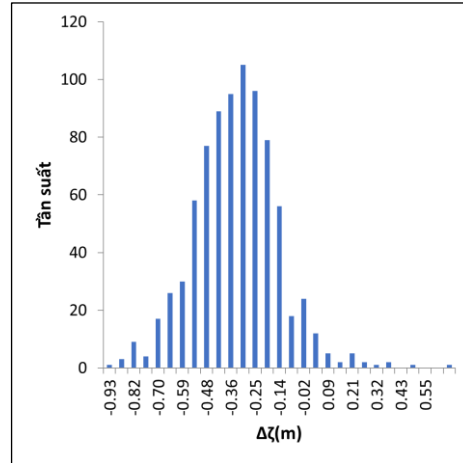
STT	Mô hình	Năm xây dựng	$\Delta\zeta_{\max}$ (m)	$\Delta\zeta_{\min}$ (m)	$\Delta\zeta_{TB}$ (m)	$RMS_{\Delta\zeta}$ (m)	$STD_{\Delta\zeta}$ (m)
1	EGM2008	2008	0,639	-1,150	-0,280	0,409	0,298
2	EIGEN6-C4	2014	0,660	-0,931	-0,366	0,416	0,197
3	GECO	2015	0,732	-1,063	-0,353	0,403	0,194
4	SGG-UGM-1	2018	0,710	-0,951	-0,336	0,391	0,199
5	XGM2019E	2019	-0,777	-1,830	-1,303	1,313	0,159
6	SGG-UGM-2	2020	0,688	-0,922	-0,351	0,401	0,194

Trong các kết quả thống kê thì độ lệch trung bình ($\Delta\zeta_{TB}$) có chứa độ lệch hệ thống giữa geoid quốc gia và quốc tế. Giá trị này cũng phản ánh vào giá trị độ lệch trung phương RMS. Do đó, Độ lệch chuẩn là yếu tố quan trọng nhất để đánh giá độ chính xác mô hình. Theo kết quả thống kê ở trên Bảng 2 thì mô hình XGM2019e phù hợp với số liệu GPS-TC trên lãnh thổ Việt Nam nhất.

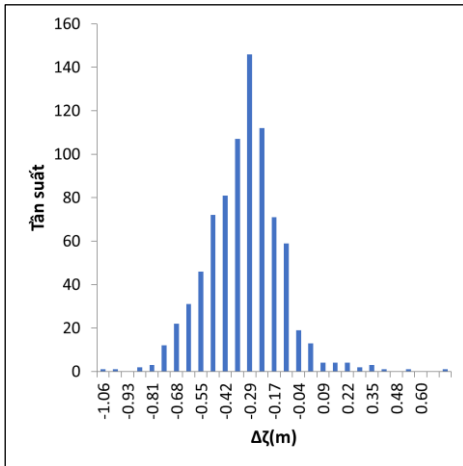
Tần suất xuất hiện của các độ lệch của các mô hình được thống kê và trình bày trên Hình 3. Hình này cho thấy: các độ lệch cơ bản đều tuân theo phân bố chuẩn, chứng tỏ các độ lệch có tính chất ngẫu nhiên.



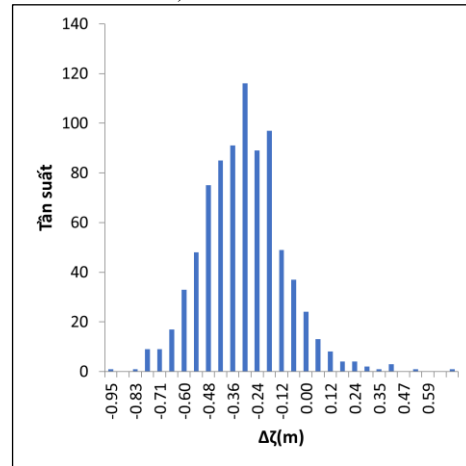
a) EGM2008



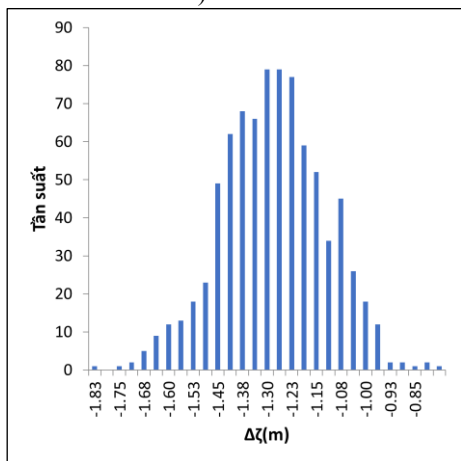
b) EIGEN6-C4



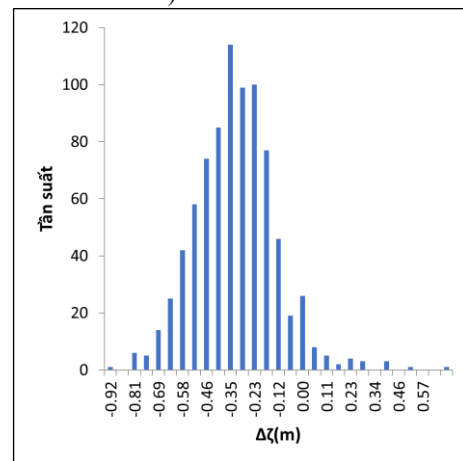
c) GECO



d) SGG-UGM-1



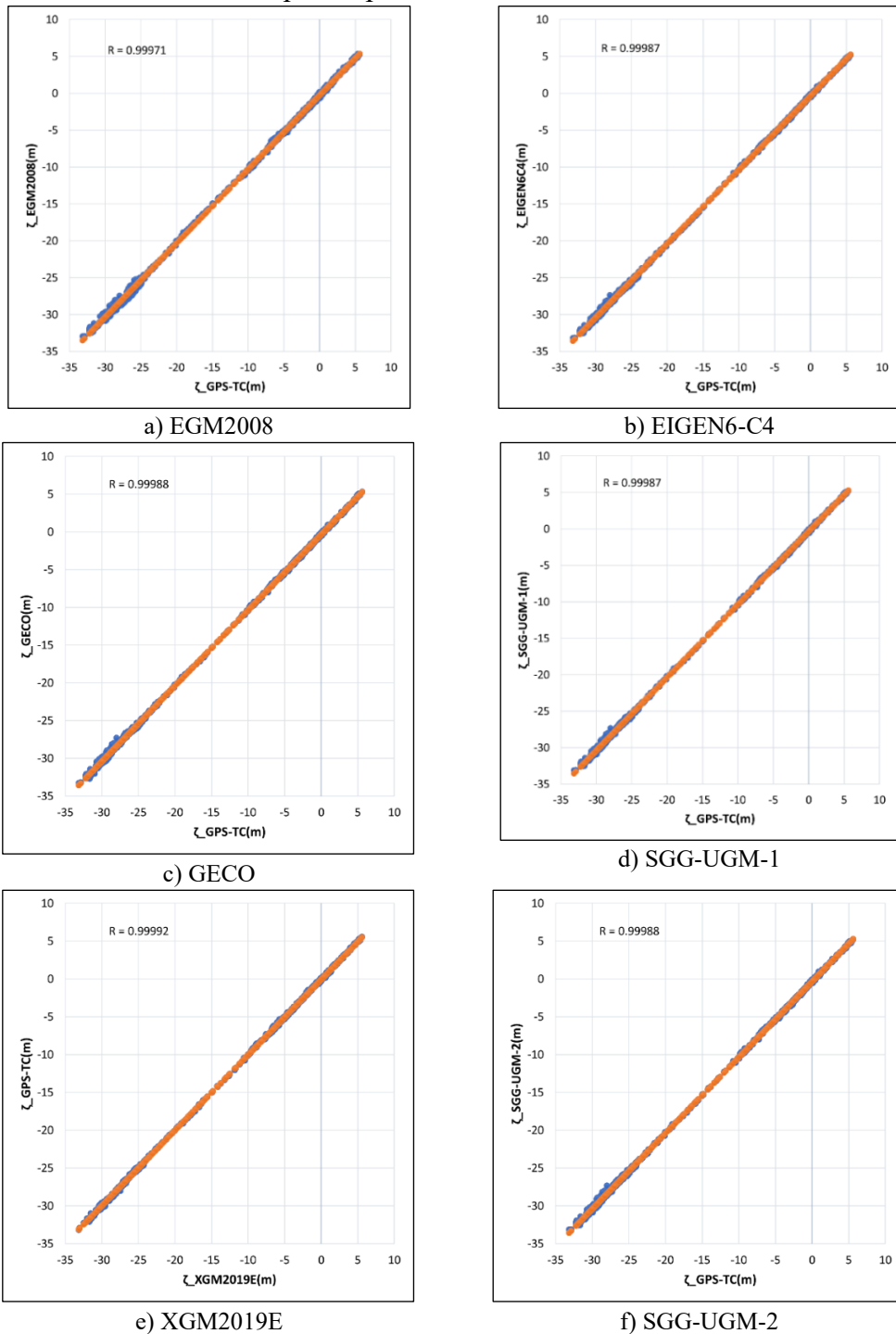
e) XGM2019E



f) SGG-UGM-2

Hình 3. Biểu đồ tần suất độ lệch của 06 mô hình

Tương quan giữa dữ thường độ cao tính từ các mô hình so với dữ thường độ cao GPS-TC cũng được trình bày trên Hình 4. Hình này cho thấy: tương quan này rất tốt, hệ số tương quan lớn, gần bằng 1. Mô hình XGM2019E có tương quan tốt nhất với số liệu GPS-TC. Hệ số tương quan lớn nhất. Điều này một lần nữa khẳng định mô hình XGM2019E phù hợp nhất với số liệu GPS-TC.

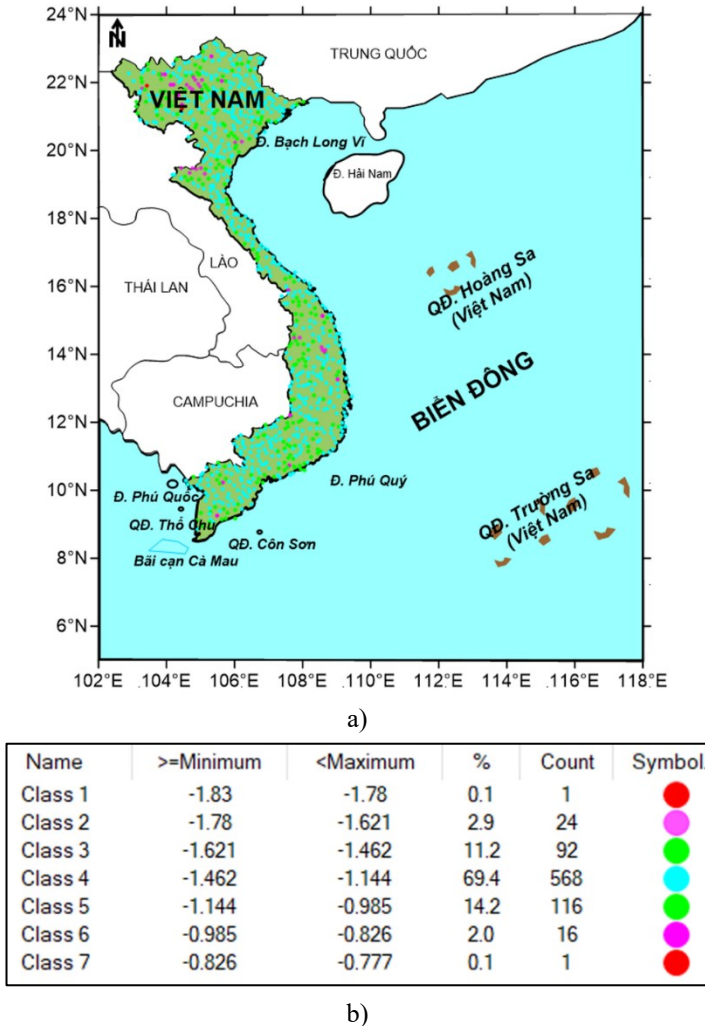


Hình 4. Tương quan giữa dữ thường độ cao GPS-TC và 06 mô hình

Để biết được vị trí và tỷ lệ của độ lệch của mô hình XGM2019e theo độ lệch trung bình và độ lệch chuẩn, chúng tôi phân loại độ lệch và trình bày trên Hình 5 theo các khoảng:

- Class 1 ($\Delta\zeta_i < \Delta\zeta_{TB} - 3*STD_{\Delta\zeta}$);
- Class 2 ($\Delta\zeta_{TB} - 3*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} - 2*STD_{\Delta\zeta}$);
- Class 3 ($\Delta\zeta_{TB} - 2*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} - 1*STD_{\Delta\zeta}$);
- Class 4 ($\Delta\zeta_{TB} - 1*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} + 1*STD_{\Delta\zeta}$);
- Class 5 ($\Delta\zeta_{TB} + 1*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} + 2*STD_{\Delta\zeta}$);
- Class 6 ($\Delta\zeta_{TB} + 2*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} + 3*STD_{\Delta\zeta}$);
- Class 7 ($\Delta\zeta_i > \Delta\zeta_{TB} + 3*STD_{\Delta\zeta}$);

Từ Hình 5 cho thấy: các độ lệch phần lớn nằm trong khoảng ($\Delta\zeta_{TB} - 2*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} + 2*STD_{\Delta\zeta}$). Các điểm lệch lớn phân bố phần lớn ở vùng núi Tây Bắc - nơi khó khăn trong công tác đo thủy chuẩn.



Hình 5. Vị trí và tỷ lệ của độ lệch

5. Kết luận

Bài báo trình bày phương pháp đánh giá mô hình thể trọng trường bằng cách so sánh dị thường độ cao tính từ các mô hình này với số liệu GPS-TC. Kết quả thực nghiệm so sánh với 818 điểm GPS-TC cho thấy mô hình XGM2019e phù hợp nhất với lãnh thổ Việt Nam. Độ lệch chuẩn của mô hình này đạt $\pm 15,9$ cm. Tương quan giữa dị thường độ cao của mô hình với số liệu GPS-TC rất tốt. Các độ lệch tuân theo quy luật ngẫu nhiên. Phần lớn các độ lệch nằm trong khoảng $(\Delta\zeta_{TB} - 2*STD_{\Delta\zeta} \leq \Delta\zeta_i \leq \Delta\zeta_{TB} + 2*STD_{\Delta\zeta})$. Các điểm có độ lệch lớn tập trung trên vùng núi Tây Bắc, nơi khó khăn trong công tác đo thủy chuẩn.

Cam kết của các tác giả

Các tác giả có tên trong bài báo cam kết đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. H. Pavlis, S. A. Holmes, S. C. Kenyon, and J. K. Factor, “The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008),” *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 117, B04406, 2012.
- [2] M. Gilardoni, M. Reguzzoni, and D. Sampietro, “GECO: A global gravity model by locally combining GOCE data and EGM2008,” *J. Geod.*, vol. 90, pp. 933–947, 2016.
- [3] R. Pail *et al.*, “The combined global gravity field model XGM2019e,” *J. Geod.*, vol. 95, no. 3, pp. 1–19, 2021.
- [4] M. van der Meijde, A. E. Slobbe, and R. Klees, “GOCE data, models, and applications: A review,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 35, pp. 4–15, 2015.
- [5] W. E. Featherstone and J. F. Kirby, “The reduction of aliasing in gravity anomalies and geoid heights using digital terrain data,” *Geophys. J. Int.*, vol. 141, pp. 204–212, 2000.
- [6] Z. Hirt, M. Kuhn, W. Featherstone, and M. Claessens, “Evaluation of ultra-high-degree global geopotential models,” *J. Geod.*, vol. 87, pp. 409–424, 2013.
- [7] D. T. Vu, S. Bruinsma, and S. Bonvalot, “A high-resolution gravimetric quasigeoid model for Vietnam,” *Earth Planets Space*, vol. 71, p. 65, 2019.
- [8] H. T. Pham, “Performance evaluation of high-degree global gravity models over Vietnam,” *Eur. Phys. J. Plus*, vol. 138, no. 7, p. 624, 2023.
- [9] N. V. Sang, P. V. Tuyen, N. V. Lam, O. B. Andersen, R. Forsberg, and B. T. Dieu, “Marine gravity anomaly mapping for the Gulf of Tonkin area (Vietnam) using CryoSat-2 and SARAL/AltiKa satellite altimetry data,” *Adv. Space Res.*, vol. 66, no. 3, pp. 505–519, 2020, doi: 10.1016/j.asr.2020.04.051.
- [10] N. T. Lê, “Nghiên cứu xác định dị thường độ cao trên cơ sở kết hợp các dữ liệu mặt đất và vệ tinh, áp dụng cho khu vực miền Trung Việt Nam,” *Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật*, Trường Đại học Mở - Địa chất, 2023.
- [11] D. V. Mong, N. V. Sang, T. T. Dung, N. T. Le, K. V. Long, N. D. Hai, T. M. Cuong, N. T. Dai, and T. T. Duong, “Evaluation of the precision of some new global Earth gravitational models in the East Vietnam Sea,” *Vietnam J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 23, no. 3, pp. 265–277, 2023, doi: 10.15625/1859-3097/18635.
- [12] E. S. Ince, F. Barthelmes, S. Reißland, K. Elger, C. Förste, F. Flechtner, and H. Schuh, “ICGEM—15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans,” *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 11, pp. 647–674, 2019, doi: 10.5194/essd-11-647-2019.
- [13] United States Defense Mapping Agency, *Department of Defense World Geodetic System 1984: Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*, Tech. Rep. 8350, 1987.
- [14] F. Barthelmes, “Definition of functionals of the geopotential and their calculation from spherical harmonic models: Theory and formulas used by the calculation service of the



International Centre for Global Earth Models (ICGEM),” GFZ German Research Centre for Geosciences, 2009.

- [15] B. Hofmann-Wellenhof and H. Moritz, *Physical Geodesy*, 2nd ed. Vienna, Austria: Springer Wien New York, 2006.
- [16] Đ. N. Chinh, N. X. Bắc, B. T. H. Thám, T. T. T. Trang, and N. T. K. Anh, *Giáo trình Lý thuyết sai số*. Hà Nội, Việt Nam: Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 2015.
- [17] J. W. McKean and S. J. Sheather, “Statistic, nonparametric,” in *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 3rd ed., R. A. Meyers, Ed. New York, NY, USA: Academic Press, 2003, pp. 891–914.

Article © 2026 by Magazine of Geodesy - Cartography is licensed under CC BY 4.0

