



# Tích hợp dữ liệu GNSS/Leveling và mô hình thế trọng trường toàn cầu xác định hệ thống độ cao gốc tại một số khu vực ở Việt Nam

Nguyễn Dũng Dương

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Email tác giả liên hệ: [ndduong.ph@hunre.edu.vn](mailto:ndduong.ph@hunre.edu.vn)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18186656>

## Tóm tắt:

Việc tích hợp dữ liệu GNSS và đo thủy chuẩn để xác định độ cao ở Việt Nam đòi hỏi một mô hình geoid chính xác. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu GNSS và hệ thống mốc thủy chuẩn chuẩn độ cao để hiệu chỉnh các mô hình thế trọng trường toàn cầu phù hợp với hệ quy chiếu độ cao quốc gia (VN-2000). Chúng tôi đã lựa chọn 18 mốc chuẩn độ cao hạng I tập trung ở vùng đồng bằng Bắc Bộ và tính toán dị thường độ cao thực tế  $N_{TC}$  dựa trên kết quả GNSS ( $h$ ) và độ cao thủy chuẩn ( $H$ ). Dị thường độ cao theo 5 mô hình toàn cầu (EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-2, XGM2019e\_2159) được tính dựa trên tham số gravimetry toàn cầu. Sự khác biệt giữa  $N_{TC}$  và  $N_G$  (mô hình) được hiệu chỉnh bằng phương pháp Molodensky 3 chiều và đa thức bậc hai. Kết quả đánh giá cho thấy mô hình XGM2019e\_2159 khi chưa hiệu chỉnh có sai số nhỏ nhất có với độ lệch chuẩn STD 12.1 cm, tương tự như kết quả nghiên cứu trước đó tại Việt Nam. Sau khi hiệu chỉnh, tất cả mô hình đều đạt độ chính xác tương đương với sai số RMSE khoảng 4–7 cm trên các điểm kiểm tra. Mô hình XGM2019e\_2159 đạt sai số RMSE thấp nhất ( $\approx 0,047$  m). Nghiên cứu chứng minh rằng các mô hình Geoid toàn cầu bậc cao, sau khi hiệu chỉnh sang hệ quy chiếu độ cao VN-2000, có thể sử dụng hiệu quả cho việc xác định độ cao dựa trên GNSS tại Việt Nam.

**Từ khóa:** GNSS; thủy chuẩn chính xác; geoid; độ cao elip; độ cao chính (orthometric); hiệu chỉnh mô hình; hệ thống độ cao.

Ngày nhận bài: 23/10/2025 Ngày sửa lại: 10/11/2025 Ngày chấp nhận đăng: 14/11/2025 Ngày xuất bản: 31/12/2025

## The Integration of GNSS/Leveling Data with Global Geopotential Models to Define the Height Reference System in Several Regions of Vietnam

Nguyen Dung Duong

Hanoi University of Natural Resources and Environment

Corresponding Author Email: [\\_ndduong.ph@hunre.edu.vn](mailto:_ndduong.ph@hunre.edu.vn)

## Abstract:

Integrating GNSS and leveling data for height determination in Vietnam requires an accurate geoid model. This study uses GNSS observations and precise leveling benchmarks to adjust global geopotential models to the Vietnamese height datum (VN-2000). We selected 18 first-order leveling benchmarks in the Red River Delta, computing the actual geoid height anomaly  $N_{TC}$  from GNSS ellipsoidal heights ( $h$ ) and orthometric heights ( $H$ ). Geoid undulations  $N_G$  were computed from five global models (EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-2, XGM2019e\_2159). Differences between  $N_{TC}$  and  $N_G$  were minimized using a 3D Molodensky transformation and a second-degree polynomial fit. Results show that XGM2019e\_2159 had the smallest initial residuals, consistent with previous findings. After adjustment, all models achieve comparable accuracy (RMSE  $\approx 0.04$ – $0.07$  m) on independent check points. The adjusted XGM2019e\_2159 yields the best performance (RMSE  $\approx 0.047$  m). This demonstrates that high-degree global models, when transformed to the VN-2000 datum, provide an effective solution for GNSS-based height determination in Vietnam.

**Keywords:** GNSS; precise leveling; geoid; ellipsoidal height; orthometric height; model adjustment; height reference system.

Submission received: 23/10/2025

Revised: 10/11/2025

Accepted: 14/11/2025

Published: 31/12/2025

## 1. Mở đầu

Trong đo đạc hiện đại, hệ tọa độ GPS/GNSS cung cấp độ cao elipsoid (độ cao trắc địa)  $h$  rất chính xác, nhưng để có được độ cao chính (orthometric height)  $H$  trên mặt thủy chuẩn thì cần phải biết dị thường độ cao  $N$  của mặt geoid [1]. Ở Việt Nam, hệ quy chiếu độ cao VN-2000 được xác định bởi mạng lưới mốc thủy chuẩn chuẩn độ cao quốc gia. Tuy nhiên, trong thực tế nhiều mốc gốc đã bị hư hại hoặc mất (do đô thị hóa, bão lụt, v.v.), gây khó khăn cho việc chuyển đổi trực tiếp từ độ cao trắc địa  $h$  sang độ cao thủy chuẩn  $H$ . Để khắc phục, các mô hình thế trọng trường toàn cầu (Global Geopotential Models – GGM) như EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, XGM2019e\_2159, SGG-UGM-2... có thể cung cấp giá trị  $N_G$  toàn cầu để tính  $H = h - N$ . Tuy nhiên, các mô hình này thường được xây dựng từ dữ liệu trọng lực toàn cầu và vệ tinh, không trùng khớp với hệ quy chiếu độ cao địa phương [2]. Do vậy, cần phải thực hiện hiệu chỉnh mô hình (datum transformation) để liên kết  $N_G$  với hệ độ cao VN-2000. Các nghiên cứu gần đây tại Việt Nam cho thấy XGM2019e\_2159 có độ chính xác cao nhất và EGM2008 thấp nhất đối với dữ liệu GNSS/leveling [3]. Nghiên cứu này trình bày việc



sử dụng các mốc GNSS/leveling chuẩn để hiệu chỉnh và đánh giá các GGM nói trên tại Việt Nam, so sánh hai phương pháp hiệu chỉnh phổ biến: biến đổi Molodensky 3 chiều và đa thức bậc hai.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Trong GNSS/leveling, độ cao đo được  $h$  là độ cao elipsoid (WGS84) của điểm, còn độ cao chính  $H$  là chiều cao trên mặt geoid (thủy chuẩn). Hai hệ độ cao này liên quan với nhau qua dị thường độ cao  $N$  theo công thức:

$$H = h - N \quad (1)$$

Công thức (1) cho biết dị thường độ cao  $N$  là độ lệch giữa mặt elipsoid và mặt geoid tại điểm xác định. Độ cao  $h$  thu được từ kết quả đo GNSS có độ chính xác cao vì vậy độ chính xác của việc chuyển đổi này phụ thuộc chủ yếu vào giá trị  $N$  lấy từ mô hình geoid.

Trong các mô hình geoid toàn cầu, mặt geoid được xác định thông qua thế trọng trường toàn cầu  $W = V + \Omega$ , trong đó thế hấp dẫn  $V$  được khai triển thành cấp bậc cầu (spherical harmonics) với các hệ số  $C_{nm}, S_{nm}$  thu được từ dữ liệu trọng lực vệ tinh và trọng lực mặt đất [4] (tương tự các công thức chuẩn trong địa không gian). Ví dụ, các mô hình mới nhất như EGM2008 (bậc 2190), EIGEN-6C4, GECO, XGM2019e\_2159, SGG-UGM-2 (đều bậc cao ~2190) được cung cấp miễn phí bởi GFZ-Potsdam, sử dụng kết hợp dữ liệu vệ tinh GOCE/GRACE và đo trọng lực mặt đất. Thông số một số mô hình GGM bậc cao hiện nay được ứng dụng phổ biến trên thế giới được chỉ ra trong bảng 1.

Bảng 1: Danh sách một số mô hình Geoid toàn cầu, được cung cấp miễn phí tại GFZ-Potsdam

Model	n-max	Data used	Year
EGM2008	2190	Satellite (Grace) + terrestrial gravity + altimetry	2008
EIGEN-6C4	2190	Satellite (Goce, Grace, Lageos) + terrestrial gravity + altimetry	2014
GECO	2190	altimetry	2015
XGM2019e_2159	2190	Satellite (Goce, Grace) + terrestrial gravity + altimetry	2019
SGG-UGM-2	2190	S(GOCO06s), Satellite (Grace) + terrestrial gravity + altimetry EGM2008, Satellite (Goce, Grace)	2020

Tuy nhiên, các mô hình này “không phù hợp hoàn toàn với hệ quy chiếu độ cao (datum) địa phương” do định nghĩa datum khác nhau [3]. Do đó, để ứng dụng ở Việt Nam với hệ độ cao VN-2000, giá trị  $N_G$  tính từ GGM cần phải được hiệu chỉnh.

### 2.1. Hiệu chỉnh mô hình Geoid toàn cầu

Một trong những phương pháp hiệu chỉnh mô hình thường được áp dụng ở những khu vực vừa và nhỏ là biến đổi tọa độ ba chiều Molodensky: cho phép điều chỉnh tham số (3 tịnh tiến  $dX, dY, dZ$ , 2 góc xoay  $r_x, r_y$ , và tỉ lệ  $m$ ) để nối mốc GNSS với hệ độ cao thủy chuẩn. Theo phép biến đổi không gian 3 chiều Molodensky, thành phần  $N_{TC}$  và  $N_G$  có thể được biểu diễn dưới dạng công thức (2). Phương pháp này tính toán các tham số theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất sao cho  $N_G$  sau hiệu chỉnh khớp nhất với giá trị  $N_{TC}$  đo được (từ GNSS/leveling).

$$N_{TC} = N_G + \cos\varphi\cos\lambda. dX + \cos\varphi\sin\lambda. dY + \sin\varphi. dZ + R_N e^2 \sin\varphi\cos\varphi(-\sin\lambda. r_x + \cos\lambda. r_y) + (H + a)\Delta m \quad (2)$$

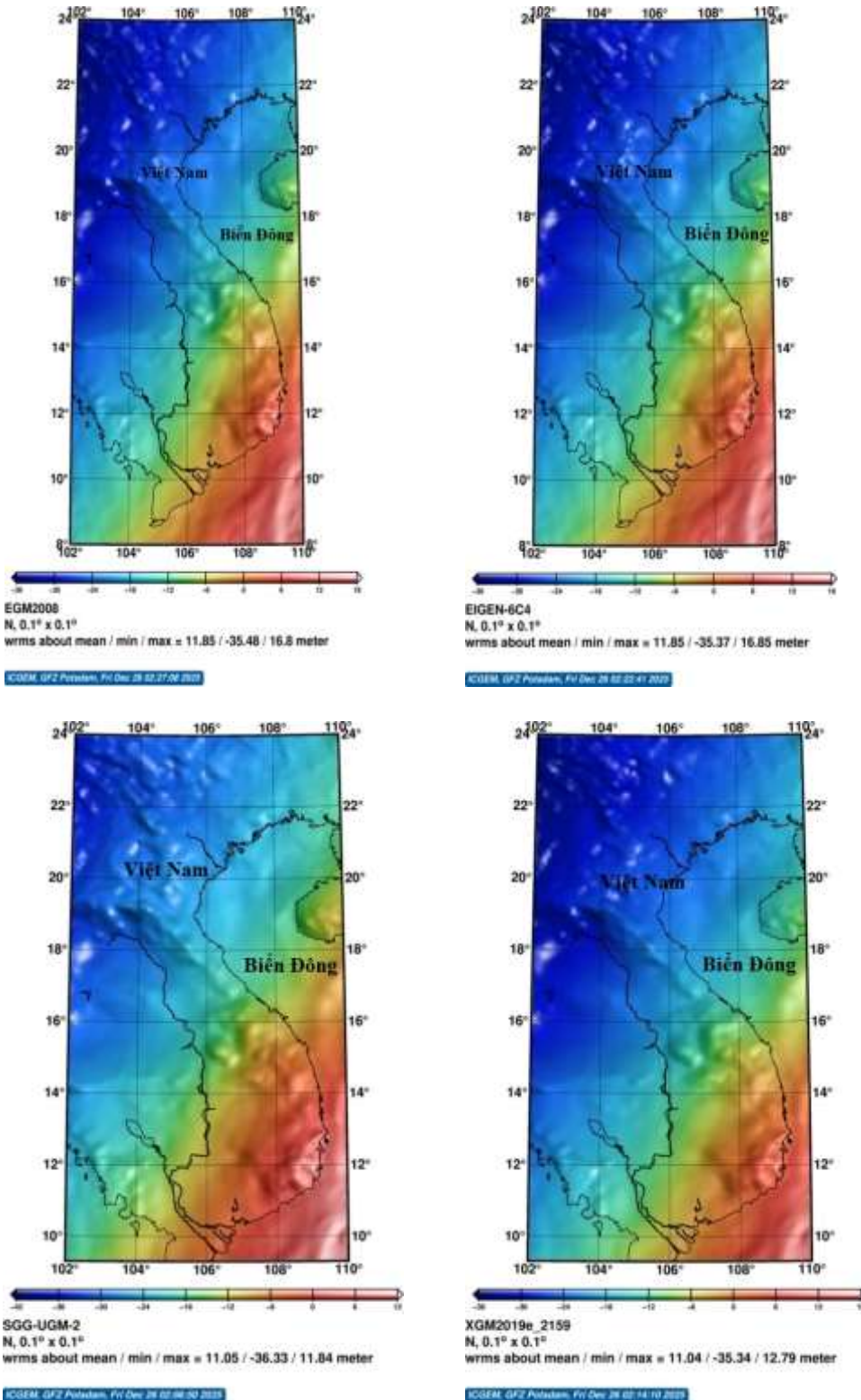
Trong đó các ẩn số bao gồm: 3 giá trị tịnh tiến ( $dX, dY, dZ$ ), 2 góc xoay ( $r_x, r_y$ ) và tỷ lệ  $\Delta m$ . Các giá trị  $\varphi, \lambda, H$  là tọa độ GNSS thu được từ kết quả đo GNSS,  $a$  là bán trục lớn của Elipsoid,  $e^2$  là độ lệch tâm bình phương.  $R_N$  được xác định theo công thức:

$$R_N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}} \quad (3)$$

Ngoài ra, có thể sử dụng mô hình đa thức bậc hai 2 biến (độ dài, vĩ độ hoặc tọa độ mặt phẳng) để xấp xỉ mối quan hệ giữa  $N_{TC}$  và  $N_G$  sao cho sai số tối thiểu (phương pháp phổ biến trong các khu vực nhỏ)[5], công thức (3). Sau khi hiệu chỉnh, sẽ thu được các tham số chuyển và có thể tính  $N_G$  hiệu chỉnh cho bất kỳ điểm nào trong khu vực.

$$N_{Tc} = N_G + a_0 + a_1\Delta\varphi + a_2\Delta\lambda + a_3\Delta\varphi\Delta\lambda + a_4\Delta\varphi^2 + a_5\Delta\lambda^2 \quad (4)$$

Trong công thức các ẩn số cần phải xác định là  $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ .  
 $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0, \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$



Hình 1: Một số mô hình Geoid toàn cầu

## 2.2. Phương pháp tính toán và đánh giá

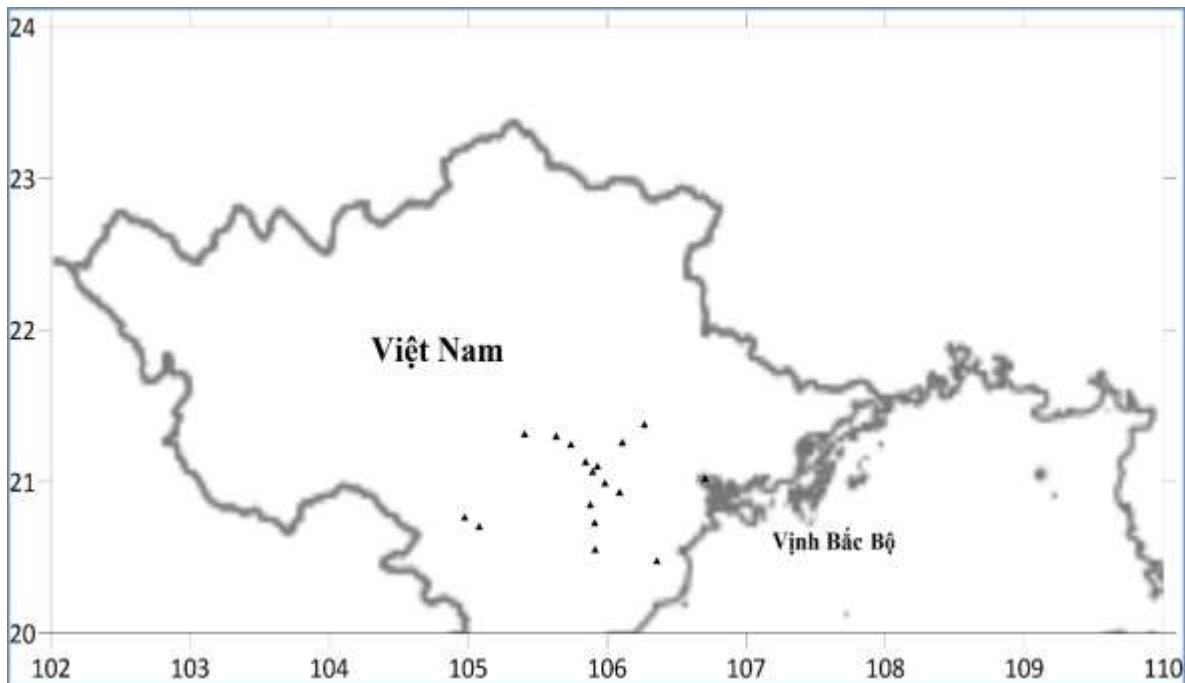
Đầu tiên, dựa vào công thức (1), ta tính được  $N_{TC} = h - H$  cho mỗi mốc GNSS/leveling. Sau đó, các điểm này cũng được tính  $N_G$  trên từng GGM. Sai số ban đầu của mỗi mô hình được đánh giá qua thống kê chênh lệch  $N_G - N_{TC}$  (Min, Max, trung bình- Meam, độ lệch chuẩn- STD). Tiếp theo, chia tập mốc thành hai phần: một phần dùng để hiệu chỉnh (điều hòa mô hình) và phần còn lại dùng để kiểm tra độc lập. Sau khi hiệu chỉnh (Molodensky hoặc đa thức), ta tính lại  $N_G^{(\text{hiệu chỉnh})}$  cho các điểm và so sánh với  $N_{TC}$  thực đo để đánh giá sai số cuối cùng.

## 3. Kết quả tính toán

Dữ liệu sử dụng gồm 18 mốc thủy chuẩn chuẩn độ cao Hạng I của hệ VN-2000, chủ yếu phân bố ở vùng Đồng bằng Bắc Bộ (Hình 1). Những mốc này đều có độ cao chính  $H$  đo bằng phương pháp thủy chuẩn và cũng đã được đo GNSS để xác định tọa độ và độ cao elipsoid  $h$ . Từ số liệu thu được, ta tính dị thường độ cao thực tế  $N_{TC} = h - H$  theo công thức (1). Song song đó, giá trị dị thường  $N_G$  của các điểm này được tính toán bằng năm mô hình geoid toàn cầu miễn phí (EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-2, XGM2019e\_2159) do GFZ-Potsdam cung cấp. Kết quả sai lệch ban đầu giữa các mô hình được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. Sai số  $N_G - N_{TC}$  ban đầu của các mô hình geoid toàn cầu

Mô hình geoid	Min (m)	Max (m)	Mean (m)	STD (m)	RMS (m)
EGM2008	0.502	1.230	0.951	0.256	0.983
EIGEN-6C4	0.184	0.829	0.576	0.173	0.600
GECO	0.332	0.863	0.539	0.142	0.555
SGG-UGM-2	0.212	0.780	0.568	0.155	0.588
XGM2019e_2159	0.314	0.655	0.513	0.121	0.522



Hình 2. Các điểm được sử dụng trong nghiên cứu

Bảng 2 chỉ ra rằng mô hình XGM2019e\_2159 cho kết quả tốt nhất với độ lệch chuẩn STD khoảng 0,121 m, nhỏ hơn đáng kể so với EGM2008 (STD  $\approx$  0,256 m). Các giá trị chênh lệch của XGM2019e\_2159 dao động khoảng 0,31–0,66 m, trong khi EGM2008 là 0,50–1,23 m. Kết quả này phù hợp với Phạm và cộng sự (2023) nhận xét rằng XGM2019e\_2159 có độ chính xác vượt trội và EGM2008 thấp nhất [3].

Tiếp theo, tập dữ liệu được chia thành 10 mốc gốc để hiệu chỉnh mô hình và 8 mốc còn lại dùng làm điểm kiểm tra (đa thức Molodensky chỉ cần  $\geq 6$  điểm để xác định các tham số). Hai phương pháp hiệu chỉnh (Molodensky 3D và đa thức bậc 2) cho kết quả rất tương tự nhau, nên ở đây chỉ báo cáo kết quả của phép Molodensky. Sau khi khớp, chênh lệch sau hiệu chỉnh trên 10 mốc gốc được liệt kê trong Bảng 3. Tất cả mô hình có sai số tương đối nhỏ, dao động trong khoảng  $\pm 0,08$  m, với RMSE  $\sim 0,03-0,04$  m.

Bảng 3. Sai số  $N_G - N_{TC}$  sau hiệu chỉnh (dựa trên 10 mốc gốc)

Mô hình geoid	Min (cm)	Max (cm)	RMSE (cm)
EGM2008	-5.1	8.26	4.0
EIGEN-6C4	-7.6	6.1	3.8
GECO	-7.1	6.5	3.3
SGG-UGM-2	-6.0	6.3	3.0
XGM2019e_2159	-6.9	7.2	4.3

Các tham số hiệu chỉnh từ 10 mốc gốc được áp dụng để tính toán cho 8 điểm kiểm tra độc lập. Bảng 4, trình bày sai số của các điểm này sau hiệu chỉnh. Có thể thấy mô hình XGM2019e\_2159 vẫn cho kết quả tốt nhất: sai số từ  $-7.7$  đến  $+1.8$  cm (RMSE  $\approx 4.7$  cm). Trong khi đó, các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-2 có sai số lớn hơn (đến  $\sim \pm 0.14$  m) và RMSE khoảng 5.6–7.0 cm, gấp khoảng 1.5 lần so với XGM2019e\_2159.

Bảng 4. Sai số  $N_G - N_{TC}$  sau hiệu chỉnh trên các điểm kiểm tra.

Mô hình geoid	Min (cm)	Max (cm)	RMSE (cm)
EGM2008	-11.5	2.8	6.6
EIGEN-6C4	-13.7	4.2	7.0
GECO	-14.3	4.3	6.7
SGG-UGM-2	-11.7	2.1	5.6
XGM2019e_2159	-7.7	1.8	4.7

Như vậy, sau khi hiệu chỉnh, tất cả các mô hình bậc cao đều đạt độ chính xác tương đương ở mức  $\sim 0,04-0,07$  m, trong số các mô hình được đưa vào thử nghiệm và tính toán, XGM2019e\_2159 sau hiệu chỉnh cho kết quả tổng thể tốt nhất. Kết quả cũng gợi ý rằng độ chính xác của các điểm kiểm tra khi sử dụng XGM2019e\_2159 khá tương đồng với độ chính xác của các điểm mốc dùng để hiệu chỉnh mô hình, trong khi đó các mô hình còn lại cho độ tin cậy giảm đáng kể khoảng 2 lần.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định và thử nghiệm thành công quá trình hiệu chỉnh các mô hình Geoid toàn cầu để xác định hệ quy chiếu độ cao tại Việt Nam bằng dữ liệu GNSS/leveling. Mô hình geoid XGM2019e\_2159 có sai số thấp nhất so với mốc thủy chuẩn chuẩn STD 12.1 cm, trong khi EGM2008 có sai số lớn nhất với STD 25.6 cm, kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu khác tại Việt Nam [3]. Sau khi áp dụng phép biến đổi Molodensky hoặc đa thức bậc 2, sai số của tất cả các mô hình giảm đáng kể. Trên các điểm kiểm tra độc lập, mô hình XGM2019e\_2159 hiệu chỉnh đạt RMSE  $\approx 0,047$  m, trong khi các mô hình còn lại RMSE  $\approx 0,056-0,070$  m. Kết quả này cho thấy các mô hình địa toàn cầu bậc cao, sau khi được hiệu chỉnh về hệ quy chiếu độ cao VN-2000, có thể sử dụng để xác định độ cao chính từ kết quả GNSS với sai số chỉ vài cm. Phương pháp tích hợp GNSS/leveling và hiệu chỉnh mô hình là cách tiếp cận hiệu quả để hiện đại hóa hệ thống độ cao ở Việt Nam, giúp thay thế dần đo thủy chuẩn truyền thống. Trong tương lai, có thể mở rộng nghiên cứu bằng cách sử dụng thêm điểm GNSS/leveling và số liệu trọng lực chi tiết để xây dựng mô hình geoid khu vực (quasi-geoid) có độ chính xác cao hơn.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Phạm, H.T., Claessens, S., Kuhn, M., & Awange, J. (2023). *Performance evaluation of high/ultra-high-degree global geopotential models over Vietnam using GNSS/leveling data*. Geodesy and Geodynamics, 14(5), 500–512.



- [2] Erol, B. & Erol, S. (2013). *Evaluation of global geopotential models using GPS/levelling data*. Survey Review, 45(333), 355–364.
- [3] Younis, G. (2018). *The integration of GNSS/leveling data with global geopotential models to define the height reference system of Palestine*. Arab J. Sci. Eng., 43(5), 3639–3645.
- [4] Heiskanen, W.A. & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy*. W.H. Freeman.
- [5] Fotopoulos, G. (2003). *An analysis on the optimal combination of geoid, orthometric and ellipsoidal height data*. PhD Thesis, Univ. of Calgary.

[Article © 2025 by Magazine of Geodesy - Cartography is licensed under CC BY 4.0](#)

