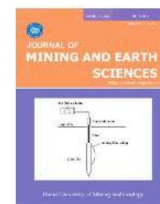




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Determining the displacement velocity of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam in the period 2019÷2024 using the Precise Point Positioning method



Lau Ngoc Nguyen^{1,2*}, Vu Dinh Trinh^{1,2}

¹ Department of Geomatics Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

² Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16th Apr. 2025

Revised 29th Jul. 2025

Accepted 18th Aug. 2025

Keywords:

CORS,
GNSS,
PPP,
Tectonic velocities,
Vietnam.

ABSTRACT

Precise knowledge of tectonic motion allows us to better understand the mechanism of Earth's crustal deformation and dynamics. The modern method commonly used to determine the velocity of tectonic plate movement today is Precise Point Positioning (PPP). We use the online service of the Canadian Ministry of Natural Resources CSRS - PPP to process GNSS data of 12 Continuously Operating Reference Stations (CORS) in Vietnam during the period 2019÷2024. These CORSs are managed by Tuong Anh Company and are evenly distributed throughout the territory. The PPP processing results show that the time series of the North, East and Up components of the CORS stations fluctuate with a period of approximately 1 year. After modeling this variation with a sine function with a fixed period of 351.6 days, we calculated the average displacement velocity of the stations as (-8.8, +29.6, -3.1) mm/year in the North, East and Up components. Compared to the period 2019÷2022, the displacement velocity of the tectonic plate is almost unchanged in direction and magnitude. The deviation in the horizontal components is 1 mm/year and the Up is 1.6 mm/year. In order to avoid possible effects due to the conversion of the ITRF 2014 to ITRF 2020 on November 27, 2022, we calculated the displacement velocity for the period 12/2022÷9/2024. This result gives an average deviation compared to the period 2019÷2024 in the horizontal and up components of 1mm/year and 3mm/year. It proves the model fit and the correctness of the applied coordinate transformation parameter set.

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nnlau@hcmut.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(5).08



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Xác định vận tốc chuyển dịch của một số trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) tại Việt Nam giai đoạn 2019÷2024 bằng phương pháp định vị điểm chính xác

Nguyễn Ngọc Lâu^{1,2*}, Trịnh Đình Vũ^{1,2}

¹ Bộ môn Địa Tin Học, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 16/4/2025

Sửa xong 29/7/2025

Chấp nhận đăng 18/8/2025

Từ khóa:

CORS,

GNSS,

PPP,

Vận tốc mảng kiến tạo,

Việt Nam.

Hiểu biết về chuyển dịch mảng kiến tạo giúp chúng ta nắm bắt cơ chế vận động và biến dạng của vỏ Trái Đất. Phương pháp hiện đại thường dùng để xác định tốc độ chuyển dịch mảng là định vị điểm chính xác cao (PPP - Precise Point Positioning). Trong bài báo, dịch vụ trực tuyến CSRS - PPP của Bộ Tài nguyên Canada được sử dụng để xử lý dữ liệu GNSS (Global Navigation Satellite System) của 12 trạm tham chiếu hoạt động liên tục (Continuously Operating Reference Station - CORS) tại Việt Nam trong giai đoạn 2019÷2024. Các trạm CORS này, do Công ty Tường Anh quản lý, được phân bố đều trên toàn lãnh thổ. Kết quả xử lý PPP cho thấy chuỗi thời gian của các thành phần Bắc, Đông và Độ cao của các trạm CORS dao động với chu kỳ khoảng 1 năm. Sau khi lập mô hình biến thiên bằng hàm sin với chu kỳ 351,6 ngày, chúng tôi tính được vận tốc dịch chuyển trung bình của các trạm là (-8,8; +29,6; -3,1) mm/năm theo các thành phần Bắc, Đông và Độ cao. So với giai đoạn 2019÷2022, vận tốc chuyển dịch mảng kiến tạo gần như không thay đổi về hướng và độ lớn, với độ lệch 1 mm/năm ở mặt bằng và 1,6 mm/năm ở độ cao. Để tránh ảnh hưởng do chuyển đổi hệ tọa độ ITRF2014 sang ITRF2020 vào 27/11/2022, nhóm tác giả tính thêm vận tốc chuyển dịch cho giai đoạn 12/2022÷9/2024. Kết quả này có độ lệch trung bình so với giai đoạn 2019÷2024 là 1 mm/năm ở mặt bằng và 3 mm/năm ở độ cao. Điều này chứng minh sự phù hợp của mô hình và tính đúng đắn của bộ tham số chuyển đổi tọa độ đã áp dụng.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Mảng kiến tạo là lý thuyết khoa học được chấp nhận rộng rãi cho rằng thạch quyển của trái

đất bao gồm một số mảng kiến tạo lớn đã di chuyển chậm từ khoảng 3,4 tỷ năm trước (Bird, 2003). Theo lý thuyết này, bề mặt Trái đất được chia thành nhiều mảng lớn và nhỏ, luôn dịch chuyển tương đối so với nhau với vận tốc từ vài milimet (mm) đến vài chục milimet mỗi năm. Những chuyển động này là nguyên nhân chính dẫn đến các hiện tượng địa chất lớn như động đất,

*Tác giả liên hệ

E - mail: nnlau@hcmut.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(5).08

núi lửa, lở đất và hình thành các dãy núi. Theo các mô hình kiến tạo mảng hiện tại, Việt Nam nằm gần ranh giới của Á-Âu với tốc độ dịch chuyển lên tới 30 mm/năm theo mặt bằng (Nguyễn và nnk., 2020).

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu định vị vệ tinh (GNSS - Global Navigation Satellite System) để đo vận tốc dịch chuyển của các trạm tham chiếu qua đó mô hình hóa sự vận động của các mảng kiến tạo. Một trong những phương pháp hiện đại được sử dụng rộng rãi là phương pháp Định vị điểm chính xác (PPP - Precise Point Positioning). PPP cho phép xác định vị trí tuyệt đối với độ chính xác cao đến cấp độ centimet (cm), mà không cần các trạm tham chiếu lân cận như trong phương pháp tương đối. Phương pháp PPP xác định vận tốc mảng kiến tạo đóng vai trò quan trọng trong việc hiểu và dự báo các hiện tượng địa chất nguy hiểm, đồng thời phục vụ công tác quy hoạch, xây dựng và phát triển bền vững cơ sở hạ tầng.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về vận tốc kiến tạo mới được chú trọng trong khoảng hơn vài thập kỷ trở lại đây. Một số công trình nổi bật sử dụng phương pháp định vị tương đối độ chính xác cao (Phan và nnk., 2012; Nguyễn, 2007) và phương pháp PPP (Nguyễn và nnk., 2020; Nguyễn và Trịnh, 2024; Nguyễn và Trịnh, 2024) đã bước đầu xác định được vận tốc dịch chuyển tại một số trạm trên toàn quốc, với độ chính xác tương đồng nhau. Tuy nhiên, các nghiên cứu còn hạn chế về mặt không gian (số lượng trạm phân bố chưa đồng đều) và thời gian (chuỗi dữ liệu GNSS chưa đủ dài). Thêm vào đó, trong chu kỳ này từ tháng 11/2022 có việc thay đổi hệ tọa độ từ ITRF2014 sang ITRF2020 và bộ tham số chuyển đổi tọa độ mà IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) công bố không phù hợp ở Việt Nam (Nguyễn và nnk., 2024). Vì vậy cần có dữ liệu quan sát dài hơn sau 2022 để khẳng định sự phù hợp của bộ tham số mới được đề xuất bởi Nguyễn và Trịnh (2024).

Tính đến thời điểm hiện tại, Việt Nam đã xây dựng được mạng lưới CORS (Continuously Operating Reference Stations) phủ khắp cả nước cả ở cơ quan nhà nước và công ty tư nhân. Trong đó 12 trạm do công ty Tường Anh vận hành được duy trì hoạt động liên tục và ổn định từ năm 2019. Đây là điều kiện thuận lợi để tiếp cận các phương pháp phân tích hiện đại như PPP nhằm đánh giá

một cách toàn diện vận tốc dịch chuyển mảng kiến tạo trên phạm vi toàn quốc.

Bài báo này tiếp tục kế thừa và mở rộng kết quả các nghiên cứu trước bằng cách sử dụng kỹ thuật PPP để xử lý dữ liệu GNSS thu thập từ 12 trạm CORS trong giai đoạn 2019÷2024. Mục tiêu của nghiên cứu là xác định chính xác vận tốc dịch chuyển của các trạm theo ba thành phần (Bắc, Đông và Độ cao) để loại bỏ tác động nhiễu có chu kỳ ngắn đồng thời đánh giá sự ổn định và phù hợp của mô hình chuyển đổi hệ tọa độ (từ ITRF2014 sang ITRF2020). Kết quả này không chỉ cung cấp thông tin có giá trị khoa học mà còn có ý nghĩa thực tiễn trong giám sát biến dạng vỏ Trái đất, phục vụ cảnh báo địa chất và quy hoạch hạ tầng kỹ thuật tại Việt Nam.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp PPP để xử lý chuỗi dữ liệu GNSS thu được từ các trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) tại Việt Nam. Phương pháp PPP là một kỹ thuật định vị tuyệt đối, khai thác các trị đo pha và mã từ một máy thu GNSS duy nhất kết hợp với các sản phẩm quỹ đạo và đồng hồ vệ tinh chính xác cao. Phương pháp này cho phép xác định vị trí với độ chính xác từ mm đến cm mà không cần mạng lưới trạm tham chiếu cục bộ (Héroux và nnk., 2006; King và nnk., 2002).

Công cụ xử lý dữ liệu là dịch vụ CSRS - PPP (Canadian Spatial Reference System - Precise Point Positioning), một nền tảng trực tuyến do Bộ Tài nguyên thiên nhiên Canada (Natural Resources Canada) cung cấp. Đây là một hệ thống phổ biến và đáng tin cậy trong cộng đồng đo đạc và địa kỹ thuật quốc tế (Héroux và nnk., 2006).

Dữ liệu sử dụng bao gồm chuỗi quan trắc GNSS từ 12 trạm CORS do công ty Tường Anh quản lý, được thu thập liên tục trong giai đoạn từ tháng 01/2019 đến tháng 09/2024. Các trạm này được lựa chọn vì đảm bảo được các yếu tố: phân bố đồng đều trên toàn lãnh thổ Việt Nam; thiết bị đồng nhất về chủng loại: máy thu Trimble NetR9 và ăng-ten TRM55971.00, hỗ trợ đa hệ thống vệ tinh (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS); tần suất ghi dữ liệu là 15 giây/lần, đảm bảo độ dày dữ liệu cao; ăng-ten lắp đặt cố định, tối thiểu hóa sai số do lún hay thay đổi vị trí.

Quy trình nghiên cứu được tiến hành như sau:

Xử lý dữ liệu GNSS cho từng trạm theo từng ngày 24 giờ bằng dịch vụ CSRS - PPP để thu được chuỗi tọa độ theo ba thành phần: Bắc, Đông và Độ cao.

Mô hình hóa chuỗi thời gian tọa độ bằng hàm sin với chu kỳ cố định 351,6 ngày nhằm loại bỏ ảnh hưởng của dao động chu kỳ năm (Hình 1). Hàm mô hình sử dụng có dạng được đề xuất bởi các nghiên cứu nước ngoài (Bogusz và Figurski, 2014; Amiri-Simkooei và nnk., 2007), đã được áp dụng hiệu quả trong các nghiên cứu tương tự tại châu Âu và Việt Nam (Nguyen và nnk., 2020).

Tính toán vận tốc dịch chuyển trung bình tại mỗi trạm theo ba thành phần tọa độ dựa trên phương pháp bình phương cực tiểu.

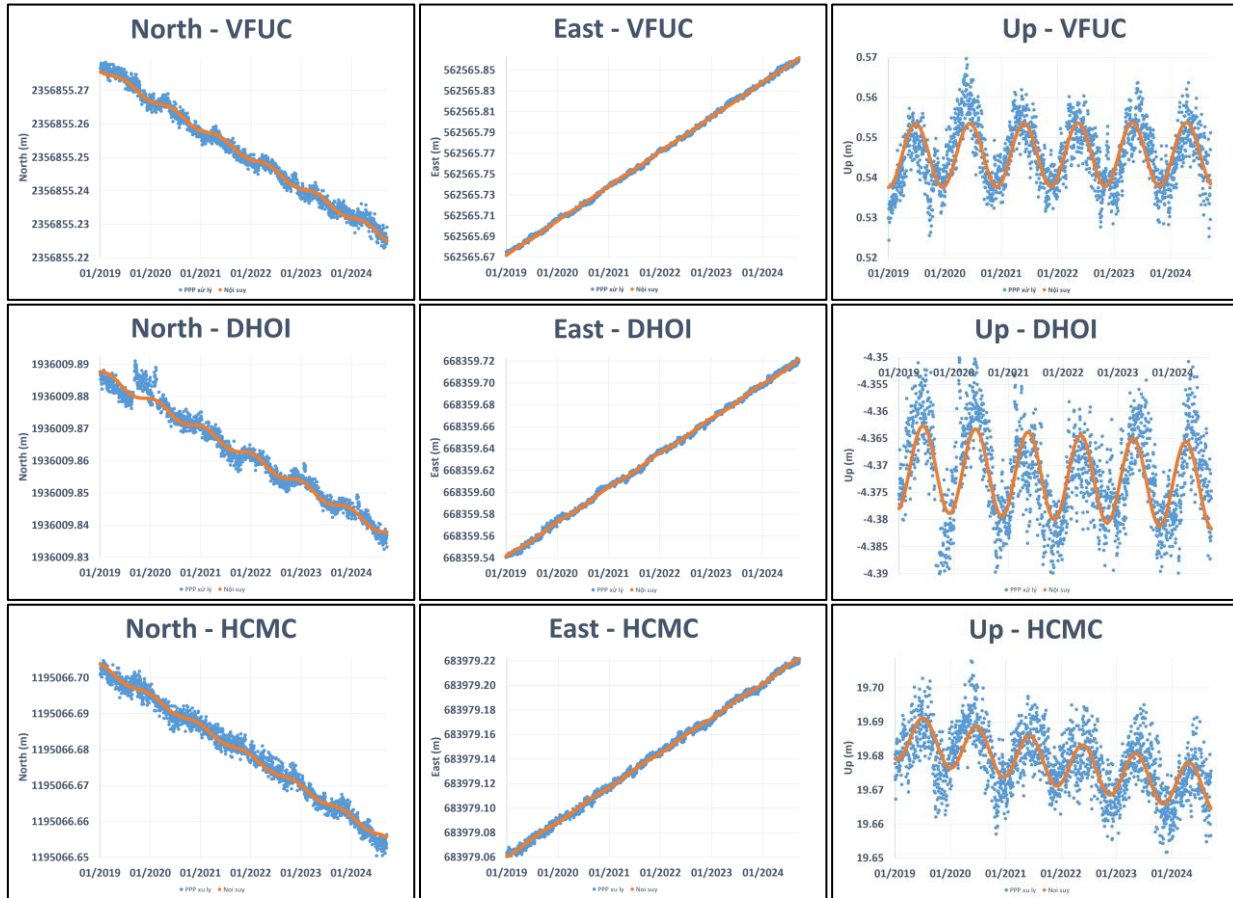
So sánh kết quả giữa các giai đoạn 2019÷2022, 2019÷2024 và 2022÷2024 nhằm đánh giá ảnh hưởng của chuyển đổi hệ tọa độ từ ITRF2014 sang ITRF2020.

Hàm sin được áp dụng để mô hình hóa chuỗi thời gian tọa độ có dạng như sau:

$$y(t) = y_0 + v_y t + A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi\right) \quad (1)$$

Trong đó: y_0 - giá trị ban đầu của tín hiệu; v_y - vận tốc cần xác định của chuỗi thời gian y ; A - biên độ của tín hiệu; T - chu kỳ, cố định bởi giá trị 351,6 ngày (Amiri-Simkooei và nnk., 2007); ϕ - pha khởi đầu. Các tham số y_0 , A , ϕ và v_y được xác định bằng phương pháp bình phương cực tiểu lần lượt cho các thành phần Bắc, Đông và Độ cao theo chuỗi thời gian liên tục và cho mỗi trạm CORS.

Việc chuyển đổi hệ quy chiếu được thực hiện dựa trên bộ tham số dịch chuyển (ΔN , ΔE , ΔU) do chính nhóm nghiên cứu xác định trước đây: (-2,1 mm; -2,8 mm; +18,4 mm) áp dụng cho các dữ liệu trước ngày 27/11/2022 - thời điểm CSRS - PPP chính thức chuyển từ ITRF2014 sang ITRF2020 (Nguyễn và Trịnh, 2024).



Hình 1. Chuỗi thời gian cho các thành phần hướng Bắc, Đông và Độ cao.

3. Nội dung và kết quả đạt được

Sau khi xử lý dữ liệu GNSS của 12 trạm CORS trong giai đoạn 01/2019÷09/2024 bằng dịch vụ CSRS - PPP, nhóm nghiên cứu thu được chuỗi thời gian tọa độ theo ba thành phần Bắc (North), Đông (East) và Độ cao (Up) cho từng trạm. Kết quả quan sát trong Hình 1 (gồm 3 tỉnh thành đại diện 3 miền) cho thấy các chuỗi dữ liệu có xu hướng dao động tuần hoàn với chu kỳ gần 1 năm, phù hợp với các nghiên cứu trước về biến động tọa độ GPS (Bogusz và Figurski, 2016).

Để loại trừ ảnh hưởng của dao động năm, nhóm nghiên cứu tiến hành mô hình hóa chuỗi thời gian bằng một hàm sin có chu kỳ cố định 351,6 ngày. Các tham số của mô hình (biên độ, pha ban đầu, tốc độ dịch chuyển) được xác định bằng

phương pháp bình phương cực tiểu cho từng trạm và từng thành phần tọa độ.

3.1. Kết quả vận tốc trung bình (2019÷2024)

Vận tốc dịch chuyển của các trạm được tính toán dựa trên mô hình hàm sin sau khi loại trừ dao động chu kỳ. Kết quả cho thấy các trạm CORS có vận tốc dịch chuyển trung bình theo hướng Đông Đông Nam, với giá trị $(-8,8, +29,6, -3,1)$ mm/năm tương ứng lần lượt cho các thành phần Bắc - Đông - Độ cao.

Các trạm có vận tốc gần tương đồng nhau về hướng và độ lớn, phản ánh sự chuyển dịch ổn định của mảng kiến tạo khu vực. Hình 2 minh họa hướng dịch chuyển ngang (mũi tên xanh) và vận tốc theo phương thẳng đứng (biểu đồ cột màu đỏ) của các trạm.



Hình 2. Vector chuyển dịch ngang và biểu đồ cột chuyển dịch Độ cao của 12 trạm CORS.

3.2. So sánh với giai đoạn 2019÷2022

Bảng 1 thể hiện kết quả so sánh với 12 trạm đã công bố cho giai đoạn 2019÷2022 (Nguyễn và Trịnh, 2024), độ lệch vận tốc trung bình không đáng kể, lần lượt là (+0,4; +0,1; +1,5) mm/năm với ba thành phần tọa độ tương ứng Bắc - Đông - Độ cao. Bên cạnh đó, hệ số tương quan với giai đoạn 2019÷2022 là (96,3; 97,7; 99,5)% tương ứng với ba thành phần Bắc - Đông - Độ cao.

Điều này chứng tỏ rằng việc kéo dài chuỗi dữ liệu thêm hai năm không làm thay đổi đáng kể đặc điểm chuyển động của các trạm, đồng thời khẳng định tính ổn định của phương pháp xử lý.

3.3. So sánh với giai đoạn 2022÷2024 (ITRF2020 hoàn toàn)

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc chuyển đổi hệ tọa độ từ ITRF2014 sang ITRF2020, nhóm nghiên cứu tính riêng vận tốc cho giai đoạn 12/2022÷09/2024. Kết quả Bảng 2 cho thấy độ lệch trung bình tuyệt đối so với giai đoạn

2019÷2024 lần lượt là (0,8; 1,5; 3,2) mm/năm tương ứng ba thành phần tọa độ Bắc - Đông - Độ cao.

Mặc dù có sự khác biệt nhỏ, kết quả này vẫn nằm trong sai số cho phép và chứng minh rằng bộ tham số chuyển đổi ITRF do nhóm nghiên cứu xây dựng là phù hợp.

Một số trạm có độ lệch lớn hơn độ lệch trung bình phản ánh tác động của sự không ổn định của nền địa chất trong giai đoạn ngắn (ví dụ thành phần độ cao của CTHO trong Hình 3). Khi quan sát thời gian dài hơn, mô hình (1) phản ánh sự dịch chuyển mang tính hệ thống của mảng kiến tạo khu vực.

3.4. Phân tích một số trường hợp đặc biệt

Các trạm như VFUC, VINH, DHOI, NTRA, HCMC có dao động theo phương Độ cao thấp, phản ánh nền móng ổn định.

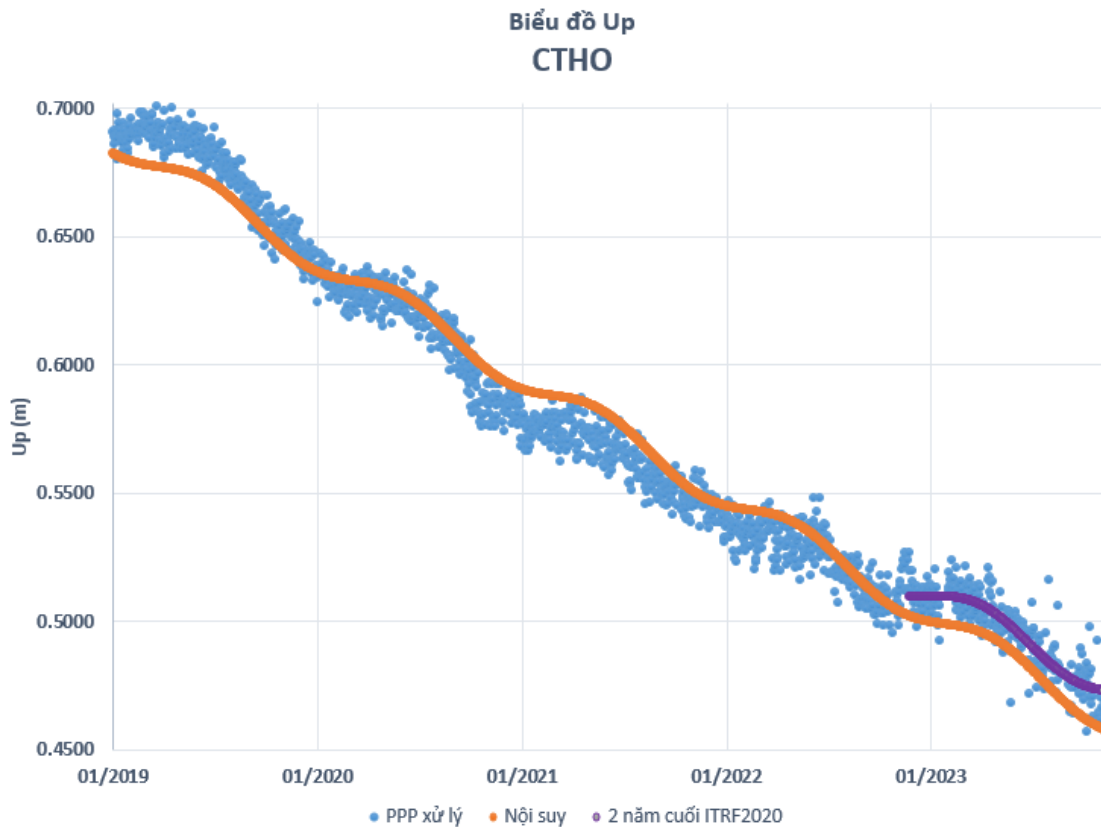
Trạm CTHO và BLIU có vận tốc độ cao âm lớn (lún mạnh), lên đến -46 mm/năm và -51 mm/năm. Trạm CMAU nhỏ hơn -17,3 mm/năm,

Bảng 1. Vận tốc chuyển dịch mảng kiến tạo tại các trạm CORS.

Giai đoạn	Trạm	Vận tốc (mm/năm)			RMS (mm)		
		Bắc	Đông	Cao	Bắc	Đông	Cao
01/2019-11/2022 tham khảo từ Nguyễn và Trịnh (2024)	VFUC	-9,1 ±0,04	+32,7 ±0,04	+1,0 ±0,1	±1,5	±1,5	±5,5
	HPHO	-7,6 ±0,05	+29,0 ±0,04	-9,6 ±0,1	±1,9	±1,8	±6,0
	VINH	-9,0 ±0,03	+31,7 ±0,04	-1,3 ±0,1	±1,4	±1,6	±5,7
	DHOI	-9,0 ±0,07	+31,4 ±0,05	-1,2 ±0,2	±2,8	±2,2	±7,5
	QNGI	-12,0 ±0,07	+32,9 ±0,06	-9,1 ±0,2	±2,6	±2,2	±6,5
	NTRA	-9,3 ±0,06	+31,2 ±0,08	-0,6 ±0,2	±1,8	±2,3	±7,0
	HCMC	-7,9 ±0,05	+28,4 ±0,06	-1,9 ±0,2	±1,9	±2,3	±7,3
	BTRE	-11,8 ±0,06	+24,3 ±0,05	-9,2 ±0,2	±2,6	±1,9	±6,9
	CTHO	-9,24 ±0,06	+25,92 ±0,07	-51,3 ±0,2	±2,4	±2,8	±8,5
	RGIA	-7,7 ±0,05	+24,8 ±0,05	-2,6 ±0,2	±1,7	±1,9	±9,4
	BLIU	-9,99 ±0,05	+34,7 ±0,05	-50,8 ±0,2	±2,0	±2,1	±6,3
	CMAU	-5,3 ±0,04	+29,4 ±0,05	-18,0 ±0,2	±1,7	±2,0	±8,0
01/2019-09/2024	VFUC	-8,8 ±0,02	+33,2 ±0,02	+0,1 ±0,07	±1,5	±1,5	±5,3
	HPHO	-7,2 ±0,03	+29,6 ±0,03	-10,3 ±0,08	±1,7	±1,7	±5,4
	VINH	-9,0 ±0,02	+31,8 ±0,02	-0,19 ±0,07	±1,3	±1,5	±5,5
	DHOI	-8,6 ±0,03	+31,5 ±0,03	-0,6 ±0,10	±2,3	±1,8	±7,1
	QNGI	-10,4 ±0,04	+31,6 ±0,04	-8,26 ±0,10	±2,8	±2,5	±6,9
	NTRA	-9,5 ±0,04	+30,2 ±0,04	+2,0 ±0,14	±2,0	±2,6	±7,9
	HCMC	-8,4 ±0,02	+28,2 ±0,03	-2,73 ±0,09	±1,7	±1,9	±6,4
	BTRE	-11,0 ±0,03	+25,1 ±0,04	-9,4 ±0,08	±2,5	±2,2	±6,0
	CTHO	-9,3 ±0,04	+26,6 ±0,05	-46,2 ±0,19	±2,3	±2,8	±10,6
	RGIA	-7,8 ±0,02	+25,3 ±0,02	-5,0 ±0,12	±1,5	±1,7	±8,5
	BLIU	-9,1 ±0,04	+32,9 ±0,05	-51,4 ±0,10	±2,6	±3,8	±6,9
	CMAU	-5,7 ±0,02	+29,1 ±0,03	-17,3 ±0,11	±1,5	±1,7	±7,0

Bảng 2. Giá trị và độ lệch của vận tốc chuyển dịch các trạm CORS giai đoạn 2022÷2024.

Giai đoạn	Trạm	Vận tốc (mm/năm)			Độ lệch so với 2019÷2024 (mm)		
		Bắc	Đông	Độ cao	Bắc	Đông	Độ cao
12/2022-09/2024	VFUC	-7,7 ±0,11	+32,0 ±0,11	-1,3 ±0,35	-1,2	1,2	1,4
	HPHO	-6,1 ±0,13	+30,4 ±0,12	-11,4 ±0,43	-1,0	-0,9	1,1
	VINH	-8,3 ±0,10	+30,6 ±0,11	+0,3 ±0,32	-0,6	1,2	-0,5
	DHOI	-9,3 ±0,12	+31,4 ±0,11	-1,7 ±0,39	0,7	0,2	1,1
	QNGI	-9,8 ±0,10	+30,6 ±0,11	+9,1 ±0,38	-1,0	0,8	-8,6
	NTRA	-12,2 ±0,15	+31,8 ±0,17	-3,0 ±0,59	2,7	-1,7	5,0
	HCMC	-9,3 ±0,11	+28,0 ±0,11	-5,2 ±0,45	0,9	0,2	2,4
	BTRE	-11,2 ±0,12	+28,0 ±0,11	-10,7 ±0,35	0,2	-2,9	1,3
	CTHO	-9,3 ±0,51	+25,0 ±0,57	-38,2 ±1,78	0,0	1,6	-8,0
	RGIA	-8,2 ±0,11	+25,1 ±0,11	-2,0 ±0,43	0,4	0,2	-3,0
	BLIU	-8,7 ±0,27	+26,0 ±0,34	-47,4 ±0,65	-0,3	6,9	-4,0
	CMAU	-6,7 ±0,16	+29,1 ±0,16	-15,6 ±0,56	1,0	0,1	-1,6
		Trung bình trị tuyệt đối			0,8	1,5	3,2



Hình 3. Thành phần Độ cao của trạm CTHO.

nhưng vẫn lớn hơn so với mức trung bình toàn quốc là -3,1 mm/năm. Điều này có thể do đặc điểm địa chất yếu hoặc ảnh hưởng của lún công trình. Các trạm này thuộc Đồng bằng Sông Cửu Long tiếp tục có xu hướng lún, phù hợp với các kết quả quan sát trước đây (Nguyễn và Trịnh, 2024).

Tổng thể, các kết quả cho thấy mảng kiến tạo tại Việt Nam có xu hướng dịch chuyển rõ ràng theo phương Đông Đông Nam, với vận tốc ổn định qua các năm. Phương pháp PPP kết hợp với mô hình hóa chuỗi thời gian bằng hàm sin cho thấy hiệu quả cao trong việc xác định chuyển động kiến tạo dài hạn.

4. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy xu hướng chuyển dịch ổn định của các trạm CORS tại Việt Nam theo hướng Đông Đông Nam trong suốt giai đoạn 2019÷2024. Sự đồng nhất về vận tốc giữa các trạm phân bố trên toàn quốc phản ánh tính toàn vẹn cấu trúc kiến tạo khu vực và độ tin cậy của phương pháp xử lý PPP.

Việc kéo dài chuỗi dữ liệu thêm 2 năm đã củng cố các kết luận trước đó, đồng thời khẳng định hiệu quả của bộ tham số chuyển đổi đã áp dụng khi chuyển đổi hệ tọa độ từ ITRF2014 sang ITRF2020.

Một điểm đáng lưu ý là sự khác biệt rõ rệt về vận tốc độ cao giữa các trạm. Các trạm như CTHO và BLIU có xu hướng lún mạnh, phản ánh các yếu tố nền địa chất yếu hoặc thay đổi môi trường địa phương. Ngược lại, nhiều trạm cho thấy độ cao ổn định trong nhiều năm, góp phần xác nhận sự ổn định kết cấu của các khu vực tương ứng.

Phương pháp mô hình hóa chuỗi thời gian bằng hàm sin thể hiện khả năng loại bỏ hiệu quả dao động chu kỳ năm từ đó giúp tăng độ chính xác khi tính vận tốc kiến tạo. Phương pháp này tỏ ra đặc biệt phù hợp với dữ liệu GNSS dài hạn và có thể được tiếp tục ứng dụng mở rộng trong các nghiên cứu tương lai.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định chính xác vận tốc dịch chuyển của 12 trạm CORS tại Việt Nam trong giai đoạn 2019÷2024 bằng phương pháp PPP cho thấy xu hướng chuyển dịch rõ ràng theo hướng Đông Đông Nam với độ ổn định cao theo thời gian. Vận tốc trung bình của các trạm là (-8,8; +29,6; -3,1) mm/năm theo các thành phần Bắc, Đông và Độ cao. Mô hình hàm sin được áp dụng hiệu quả trong việc loại bỏ dao động chu kỳ năm, góp phần nâng cao độ tin cậy của kết quả tính toán.

Trong giai đoạn 2019÷2024, có xảy ra sự thay đổi hệ tọa độ từ ITRF2014 sang ITRF2020. Những phân tích của chúng tôi cho thấy nhờ áp dụng bộ tham số hợp lý nên sự ảnh hưởng này nhỏ và không ảnh hưởng đến kết quả chung cuộc.

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy để theo dõi dịch chuyển mảng kiến tạo tại Việt Nam và có thể ứng dụng vào công tác cảnh báo địa chất, quy hoạch hạ tầng kỹ thuật và nghiên cứu môi trường đất yếu. Trong tương lai,

cần mở rộng mạng lưới trạm CORS và kéo dài thời gian quan trắc để nâng cao năng lực giám sát biến dạng vỏ Trái đất trên phạm vi toàn quốc.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn công ty Tường Anh đã cung cấp dữ liệu để chúng tôi thực hiện nghiên cứu trong bài báo này.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Ngọc Lâu - thiết kế khung bài báo, phân tích kết quả, kết luận, viết bài và chỉnh sửa; Trịnh Đình Vũ - thu thập dữ liệu, xử lý PPP, tạo các hình vẽ, viết bài và định dạng.

Tài liệu tham khảo

- Nguyen, N.L., and Trinh, D.V. (2024). Determining the tectonic velocity of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam 2019-2022 using precise point positioning method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1349. 012001. 10.1088/1755-1315/1349/1/012001.
- Nguyễn, N.L., Trịnh, D.V. (2024). Xác định vận tốc chuyển dịch mảng kiến tạo bằng PPP cho một số trạm CORS ở Đồng bằng Sông Cửu Long giai đoạn 2019 - 2023. *Tạp Chí Khoa học Đo đạc Và Bản đồ*, (60), 1-9. <https://doi.org/10.54491/jgac.2024.60.723>.
- Nguyễn, N.L., Trịnh, Đ.V., Phạm, A.D. (2024), Ảnh hưởng của việc thay đổi khung tham chiếu ITRF2014 sang ITRF2020 vào chuỗi tọa độ xác định bằng PPP: Nghiên cứu trên một số trạm CORS ở Việt Nam, *JGAC*, số p.h 59, tr 2-10, tháng 3 2024.
- Nguyen, N.L., Coleman, R., and Ha, M.H. (2020). Determination of tectonic velocities of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam 2016-2018 by using precise point positioning, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 43(1), 1-12.
- Phan, T.T., Ngo, V.L., Tran, D.T., Vy, Q.H., Nguyen, V.H., Hoang, Q.V., Bui, V.T., Nguyen, Q.X., Nguyen, V.T., Bui, T.T. and John, B. (2012). Tốc độ chuyển động kiến tạo hiện đại trên Biển

- Đông và khu vực lân cận theo chu kỳ đo GPS 2007 - 2009. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 11(1), 15-30, doi: 10.15625/1859-3097/11/1/363.
- Nguyễn, T.A. (chủ biên) (2007). Dự án sản xuất thử nghiệm "Xây dựng hệ thống các điểm Trắc địa sử dụng công nghệ GPS độ chính xác cao trong việc quan trắc biến dạng lớp vỏ Trái đất và cảnh báo thiên tai ở khu vực Việt Nam". *Lưu trữ tại Viện Khoa học đo đạc và bản đồ*, Hà Nội.
- Bogusz, J., and Klos, A. (2016). On the significance of periodic signals in noise analysis of GPS station coordinates time series, *GPS Solutions* (2016) 20:655-664, DOI 10.1007/s10291-015-0478-9.
- Bogusz, J., and Figurski, M. (2014). Annual signals observed in regional GPS network, *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 11, No. 2 (174), 125-131.
- Amiri-Simkooei, A. R., C. C. J. M. Tiberius, and P. J. G. Teunissen (2007). Assessment of noise in GPS coordinate time series: Methodology and results, *J. Geophys. Res.*, 112, B07413, doi:10.1029/2006JB004913.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, Volume 4, Number 3, 14 March 2003, 1027, doi:10.1029/2001GC000252.
- King, M., Edwards S., and Clarke, P. (2002). Precise Point Positioning: Breaking the Monopoly of Relative GPS Processing, *Engineering Surveying Showcase* 10/2002, 33-34.
- Héroux, P., Kouba, J., Beck, N., Lahaye, F., Mireault, Y., Tétreault, P., ... & Caissy, M. (2006). Space geodetic techniques and the Canadian spatial reference system evolution, status and possibilities. *Geomatica*, 60(2), 137-150.