

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.105

## PHÂN TÍCH CÁC NGUỒN DỊ THƯỜNG TỪ LIÊN KỀ Ở RẠCH GIÁ-KIÊN GIANG SỬ DỤNG BIẾN ĐỔI WAVELET 2-D VÀ SỰ CHUẨN HÓA THAM SỐ TỈ LỆ

Dương Quốc Chánh Tín<sup>1\*</sup>, Cao Thị Yến Phương<sup>2</sup> và Dương Hiếu Đầu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Sư Phạm, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup>Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Dương Quốc Chánh Tín (email: dqctin@ctu.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 14/05/2022

Ngày nhận bài sửa: 02/06/2022

Ngày duyệt đăng: 16/07/2022

### Title:

Magnetic anomaly analysis of adjacent sources in Rach Gia - Kien Giang using 2-D wavelet transform and scale normalization

### Từ khóa:

Biến đổi wavelet hai chiều, chuẩn hóa tham số tỉ lệ, dị thường từ, nguồn liên kề

### Keywords:

Adjacent sources, magnetic anomaly, scale normalization, 2-D wavelet transform

### ABSTRACT

Wavelet transform is one of the effective methods in analyzing potential field because of the good multi-resolution for time-frequency uncertainty principle. This feature is very important for the analysis of non-static signals. For the sources that close to each other with overlapping of magnetic anomalies, it is rather difficult to determine the locations of sources. In this study, two - dimensional continuous wavelet transform using Poisson – Hardy complex wavelet function was applied to analyze adjacent magnetic anomaly sources. Using parameter of scale normalization  $a^n$  in the wavelet transform can improve the multi-resolution, for separating adjacent magnetic sources easily in the scalogram with better accuracy. First, the method is applied to study the model in which three forms of sources including sphere, prism and thin plate were located near by. After verifying its reliability and feasibility, this method can be applied for actual magnetic data in Rach Gia – Kien Giang.

### TÓM TẮT

Biến đổi wavelet là một trong những phương pháp hiệu quả trong phân tích dữ liệu trường thế bởi sự đa phân giải về thời gian và tần số rất tốt. Tính năng này rất quan trọng đối với việc phân tích các tín hiệu không tĩnh. Với các nguồn liên kề, có sự chồng chập của các dị thường từ thì việc định vị chính xác các nguồn còn khó khăn. Trong nghiên cứu này, biến đổi wavelet liên tục hai chiều sử dụng hàm wavelet phức Poisson – Hardy được sử dụng để phân tích các nguồn dị thường từ liên kề. Việc chuẩn hóa tham số tỉ lệ  $a^n$  trong phép biến đổi wavelet góp phần cải thiện độ phân giải, để tách biệt các nguồn dị thường từ gần nhau trong tỉ lệ đồ giúp việc phân tích tín hiệu chính xác hơn. Đầu tiên, phương pháp được áp dụng để phân tích trên mô hình trong đó có ba dạng nguồn từ là quả cầu, lăng trụ và vỉa mỏng phân bố rất gần nhau, nhằm kiểm chứng độ tin cậy và tính khả thi của nó. Sau đó, phương pháp được áp dụng phân tích dữ liệu từ thực tế ở Rạch Giá-Kiên Giang.

## 1. GIỚI THIỆU

Việc giải bài toán ngược thăm dò từ, bao gồm định vị cũng như xác định các thuộc tính của các

nguồn dị thường đóng vai trò rất quan trọng. Đặc biệt, với các nguồn dị thường liên kề, chúng luôn chồng lên nhau không chỉ trong miền không gian mà

còn cả trong miền số sóng, gây khó khăn cho việc định vị chính xác các nguồn này (Kumar & Foufoula, 1997). Để giải quyết bài toán trên, đã có nhiều phương pháp được đưa ra, trong đó có phép biến đổi wavelet (Yang et al., 2010).

Gần đây, phép biến đổi wavelet liên tục (Continuous Wavelet Transform, CWT) sử dụng hàm wavelet phức Morlet đã được Yang et al. (2010) sử dụng để xác định độ sâu của các nguồn trường gần nhau thông qua việc xây dựng mối tương quan xấp xỉ tuyến tính giữa độ sâu của nguồn và số sóng giả (pseudo-wavenumber), đồng thời tham số tỉ lệ chuẩn hóa  $a^{-n}$  được đưa vào nhằm tăng khả năng phân loại số sóng trong trường hợp khảo sát dị thường tạo ra bởi các vật thể gần nhau. Tiếp đến, Tín và ctv. (2017) đã sử dụng CWT với hàm wavelet phức Farshard-Sailhac có bổ sung tham số chuẩn hóa  $a^{-n}$  để phân tích các nguồn dị thường từ liên kết cho kết quả khả quan.

Trong bài báo này, hàm wavelet phức Poisson-Hardy có bổ sung tham số chuẩn hóa  $a^{-n}$  để phân tích các nguồn dị thường từ liên kết. Qua các mô hình lý thuyết, mối tương quan giữa độ sâu của nguồn dị thường từ và tham số tỉ lệ có chuẩn hóa  $a^{-n}$  sử dụng hàm wavelet phức Poisson-Hardy sẽ được thiết lập. Sau đó, áp dụng để phân tích một số tuyến đo từ ở Rạch Giá – Kiên Giang.

**2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1. Phép biến đổi wavelet liên tục**

Phép biến đổi wavelet liên tục một chiều (1-D CWT) của tín hiệu  $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$  cho bởi:

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \overline{\psi_{a,b}(x)} dx = \langle f(x) | \psi_{a,b}(x) \rangle, \quad (1)$$

trong đó,  $\psi_{a,b}(x)$  là hàm wavelet con ở tỉ lệ  $a$  và dịch chuyển  $b$ ,

$$\text{với } \psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right). \quad (2)$$

$W(a, b)$ : hệ số biến đổi wavelet liên tục của tín hiệu  $f(x)$ ;  $a \in \mathbb{R}^+$ : tham số tỉ lệ;  $b$ : tham số dịch chuyển, cung cấp thông tin về vị trí của cửa sổ wavelet được tịnh tiến;  $\frac{1}{\sqrt{a}}$ : hệ số chuẩn hóa.

Phép biến đổi wavelet liên tục hai chiều (2-D CWT) được cho bởi công thức:

$$W(a, b_x, b_y) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \overline{\psi\left(\frac{x-b_x}{a}, \frac{y-b_y}{a}\right)} dx dy. \quad (3)$$

Với  $b_x, b_y$  là tham số dịch chuyển theo phương  $x$  và phương  $y$ ; hệ số  $\frac{1}{a}$  dùng để chuẩn hóa năng lượng của hàm sóng wavelet 2-D được suy ra từ trường hợp 1-D. Tín hiệu  $f(x, y)$  là hàm hai biến không gian  $x$  và  $y$ .

Trong trường hợp đặc biệt, nếu  $\psi(x, y) = \psi(x) \cdot \psi(y)$  thì biểu thức (3) có thể biểu diễn dưới dạng:

$$W(a, b_x, b_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \frac{1}{\sqrt{a}} \overline{\psi\left(\frac{x-b_x}{a}\right)} dx \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \overline{\psi\left(\frac{y-b_y}{a}\right)} dy \quad (4)$$

Biểu thức (4) sẽ được thỏa mãn khi áp dụng phép biến đổi wavelet liên tục 1-D trên hai phương  $x, y$  riêng biệt (Yang et al., 2010).

**2.2. Phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet**

Trong xử lý ảnh, xác định biên là một bước rất quan trọng. Theo lý thuyết xử lý ảnh, biên của ảnh là những vùng mà tại đó cường độ sáng có sự thay đổi đột ngột hoặc màu sắc có sự tương phản mạnh. Với những tín hiệu biến đổi theo không gian giống như dữ liệu trọng lực, hay dữ liệu địa từ, hoặc dữ liệu sóng địa chấn, ... những điểm mà biên độ của tín hiệu thay đổi nhanh hoặc đột ngột được xem là biên của tín hiệu. Phương pháp xác định biên sử dụng biến đổi wavelet dựa trên việc tìm vị trí trên tỉ lệ đồ mà tại đó hệ số biến đổi wavelet đạt cực đại. Do đó kỹ thuật xác định biên bằng phép biến đổi wavelet (Mallat & Hwang, 1992) còn được gọi là phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet (WTMM – Wavelet Transform Modulus Maxima). Ứng dụng phương pháp này, phân tích dữ liệu địa từ giúp xác định vị trí, kích thước và độ sâu của các nguồn dị thường.

**2.3. Hàm wavelet phức Poisson-Hardy**

Hàm wavelet phức Poisson-Hardy (Đầu, 2013) có dạng:

$$\psi^{(PH)}(x) = \psi^{(P)}(x) + i\psi^{(H)}(x), \quad (5)$$

trong đó,

$$\psi^{(P)}(x) = -\frac{2}{\pi} \times \frac{1-3x^2}{(1+x^2)^3}, \quad (6)$$

và  $\psi^{(H)}(x)$  là biến đổi Hilbert của  $\psi^{(P)}(x)$  :

$$\psi^{(H)}(x) = \text{Hilbert}\left(\psi^{(P)}(x)\right) = \frac{2}{\pi} \times \frac{-3x + x^3}{(1+x^2)^3}. \quad (7)$$

Hàm wavelet phức Poisson-Hardy được sử dụng trong phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet để xác định vị trí, chỉ số cấu trúc, độ sâu và kích thước của nguồn dị thường từ.

**2.4. Xác định chỉ số cấu trúc**

Khái niệm chỉ số cấu trúc xuất hiện lần đầu tiên trong phương trình thuần nhất trong phương pháp giải chấp Euler và sau đó được nhiều tác giả như Thompson (1982), Reid et al. (1990) và Barbosa et al. (1999) sử dụng để phân tích dị thường từ. Phương trình thuần nhất có dạng sau:

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(T_0 - T), \quad (8)$$

trong đó  $(x_0, y_0, z_0)$  là vị trí của nguồn dị thường,  $T$  là cường độ từ toàn phần đo tại tọa độ  $(x, y, z)$ ,  $T_0$  là trường từ toàn phần khu vực và  $N$  là chỉ số cấu trúc của nguồn dị thường.

Theo Sailhac and Gibert (2003), với các vật thể có từ tính thì mối liên hệ giữa bậc đồng nhất của nguồn trường  $\beta$ , đạo hàm bậc  $\gamma$  theo phương ngang của hàm làm tròn tín hiệu và chỉ số cấu trúc  $N$  thể hiện tương quan là

$$N = -\beta - \gamma - 1 \quad (9)$$

Trong thực hành  $\beta$  được xác định từ hệ số góc của đường thẳng:

$$Y = \beta.X + c \quad (10)$$

ở đây,  $Y = \log\left(\frac{W_2(x, a)}{a^2}\right)$  và  $X = \log(a + z_0)$ .

Trong bài báo này, chỉ số cấu trúc  $N$  của nguồn dị thường được xác định bởi hàm wavelet liên tục Poisson-Hardy. Vì phần thực của wavelet này là  $\psi^{(P)}(x)$  trong biểu thức (6) được tạo thành từ đạo hàm bậc hai theo phương ngang của nhân Poisson nên  $\gamma = 2$ . Từ đó, biểu thức (9) được viết lại là

$$N = -\beta - 3. \quad (11)$$

Việc xác định chỉ số cấu trúc giúp ta ước lượng được hình dạng tương đối của nguồn trường (Thompson, 1982).

**2.5. Mối quan hệ giữa tham số tỉ lệ và độ sâu của nguồn dị thường từ**

Trong biến đổi wavelet, tham số tỉ lệ có liên quan đến độ sâu của nguồn. Tuy nhiên, tham số tỉ lệ không phải độ sâu và cũng không cho biết thông tin trực tiếp về độ sâu. Bằng việc phân tích hình ảnh trong mặt phẳng tỉ lệ đồ qua các mô hình lý thuyết với nguồn trường được tạo ra từ các vật thể có hình dạng khác nhau để xây dựng hàm tương quan giữa độ sâu của nguồn với tích giữa bước đo và tham số tỉ lệ  $a_m$  (tại đó hệ số biến đổi wavelet cực đại). Trong nghiên cứu này, hàm tương quan giữa độ sâu của nguồn với tích giữa bước đo và tham số tỉ lệ  $a_m$  cũng được thiết lập dựa trên 2-D CWT sử dụng hàm wavelet Poisson-Hardy. Qua phân tích, mối tương quan giữa độ sâu của nguồn với tích số giữa tỉ lệ  $a_m$  và bước đo ( $\Delta$ ) được thể hiện qua biểu thức:

$$z = k \times (a_m \cdot \Delta) + c \text{ (km)}. \quad (12)$$

trong đó,  $c$  là hệ số tự do trong hàm tương quan giữa độ sâu ( $z$ ) và tham số tỉ lệ tại đó hệ số biến đổi wavlet cực đại ( $a_m$ ).

Hệ số  $k$  ở đây phụ thuộc vào chỉ số cấu trúc của nguồn trường.

Kết quả xác định hệ số  $k$  và  $c$  khi khảo sát các vật thể có dạng quả cầu, lăng trụ, vỉa mỏng tương ứng được trình bày ở Bảng 1.

**Bảng 1. Chỉ số cấu trúc  $N$  và tham số  $k$  tương ứng**

Hình dạng	Chỉ số cấu trúc	$k$	$c$
Quả cầu	3	0,76421	-0,17113
Lăng trụ	2	0,62516	-0,51379
Vỉa mỏng	1	0,20442	-0,80445

**2.6. Sự chuẩn hóa tham số tỉ lệ**

Thực tế, với các nguồn trường phân bố gần nhau, sự chồng chập trường dị thường liên quan đến nhiều yếu tố khác nhau như: vec-tơ từ hóa, vị trí, độ sâu và kích thước các nguồn thành phần. Khi đó, trường hệ số biến đổi wavelet của các nguồn này cũng chồng chập lên nhau làm cho việc định vị chính xác các nguồn này càng trở nên khó khăn hơn. Để giải quyết vấn đề này, tham số tỉ lệ  $a$  sẽ được chuẩn hóa nhằm rút ngắn khoảng cách về độ lớn của hệ số biến đổi wavelet trong tỉ lệ đồ giữa các nguồn liền kề. Để phân tích nguồn dị thường từ phân bố rất gần nhau trong mặt phẳng tỉ lệ đồ, phép biến đổi wavelet 1-D trong biểu thức (1) và phép biến đổi wavelet 2-D trong biểu thức (3) được bổ sung tham số chuẩn hóa tỉ lệ  $a^{-n}$  (Yang et al., 2010) khi đó có thể viết lại như sau:

$$W'(a, b) = a^{-n} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{a}} \left( \frac{x-b}{a} \right) dx. \quad (13)$$

$$W'(a, b_x, b_y) = a^{-n} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{x-b_x}{a} \right) dx \times \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{y-b_y}{a} \right) dy. \quad (14)$$

với n là hằng số dương, khi n = 0, tham số tỉ lệ xem như chưa được chuẩn hóa, phương trình (13) sẽ trở về (1) và phương trình (14) trở về (3). Trong nghiên cứu của Yang et al. (2010), các tác giả sử dụng hàm wavelet phức Morlet, qua phân tích các mô hình lý thuyết và thực nghiệm, n chỉ nhận giá trị từ 0 đến 2,5 và a<sup>-2.0</sup> được chọn làm tham số chuẩn hóa để minh giải dữ liệu từ trên thực tế.

Trong bài báo này, qua việc phân tích một số mô hình dị thường từ đơn giản bằng hàm wavelet phức Poisson-Hardy, giá trị n có thể thay đổi từ 0 đến 0,9 điều kiện hội tụ của các đường đẳng trị đều được đảm bảo. Khi n = 0,9 các điểm cực đại độ lớn hệ số biến đổi wavelet cho phép xác định độ sâu đến tâm của các nguồn dị thường có giá trị xấp xỉ bằng nhau và phù hợp với độ sâu thiết kế của mô hình. Với các giá trị n < 0,9 việc xác định độ sâu chưa đạt kết quả phù hợp. Khi n > 0,9 thì điều kiện hội tụ không được đảm bảo. Trong bài báo này, giá trị n = 0,9 (độ phân giải cao nhất) được chọn để phân tích các nguồn dị thường từ liên kế trong các mô hình lý thuyết và dữ liệu thực tế.

Khi chuẩn hóa tham số tỉ lệ thì hàm tương quan giữa độ sâu (z) và tham số tỉ lệ a<sub>m</sub> trong (12) được thay bằng tham số tỉ lệ đã chuẩn hóa a'<sub>m</sub>.

$$z = k' \times (a'_m \cdot \Delta) + c' \quad (\text{km}) \quad (15)$$

Chỉ số cấu trúc N và hệ số k' và c' tương ứng của các nguồn có dạng hình học đơn giản khác khi đã áp dụng tham số tỉ lệ đã chuẩn hóa, được mô tả trong Bảng 2.

**Bảng 2. Chỉ số cấu trúc N ứng với tham số k'**

Hình dạng	Chỉ số cấu trúc	k'	c'
Quả cầu	3	1,75020	-0,36708
Lăng trụ	2	1,50320	-0,58390
Via mỏng	1	0,69813	0,17292

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kiểm chứng trên mô hình lý thuyết

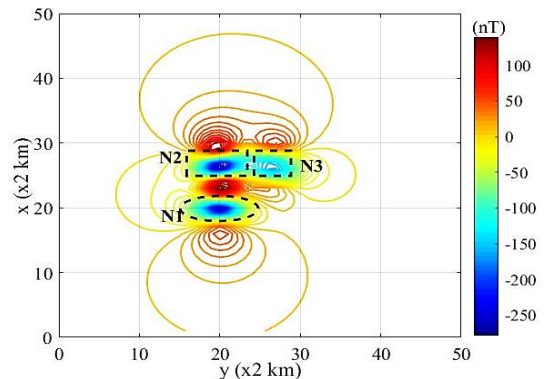
Trong mô hình này, trường từ toàn phần được tạo ra bởi ba vật liền kề nhau là quả cầu, lăng trụ và via mỏng nằm ngang, được biểu diễn trong hệ tọa độ ba chiều x, y, z (km). Các thông số của mô hình được mô tả như Bảng 3.

**Bảng 3. Các thông số của các nguồn dị thường từ**

Số hiệu	Vật thể	Tọa độ x (km)	Tọa độ y (km)	Tọa độ z (km)	Góc phương vị (°)
N1	Quả cầu	36 - 44	36 - 44	3 - 9	0
N2	Lăng trụ	50 - 56	37 - 43	2 - 7	15
N3	Via mỏng	49 - 57	49 - 57	3 - 5	-15

Trường địa từ có góc từ khuynh I<sub>0</sub> = 4°; góc phương vị λ<sub>0</sub> = 0°. Vec-tơ từ hóa của các vật thể có cùng cường độ J = 2,6 A/m, cùng góc từ khuynh I = 4°, nhưng góc phương vị λ khác nhau. Mạng lưới quan sát: x = 0:2:100; y = 0:2:100; z = 0 (kích thước ô lưới Δx = Δy = Δz = 2,0 km). Như vậy, tọa độ các điểm đo lần lượt là 0; 2; 4; ...; 100 km.

Hình 1 mô tả dị thường từ toàn phần của ba vật thể có dạng hình học khác nhau (N1, N2 và N3) trên mặt phẳng quan sát. Dị thường có hai phần rõ rệt: Phần 1, do hai vật thể phân bố gần nhau (N1 và N2) theo phương kinh tuyến (đọc) gây ra, gồm các đới dương (màu đỏ) và đới âm (màu xanh dương) xếp luân phiên nhau. Phần 2, do hai vật thể phân bố gần nhau (N2 và N3) theo phương vĩ tuyến (ngang) tạo nên, gồm một đới âm ở giữa, có dạng elip dẹt kéo dài theo phương ngang, hai bên là hai đới dương. Các vật thể phân bố gần nhau, các nguồn chịu ảnh hưởng trường từ lẫn nhau nên rất khó phân định giới hạn, kích thước của các vật thể gây từ cũng như xác định chính xác tâm nguồn của chúng.



**Hình 1. Dị thường từ toàn phần**

Áp dụng phép biến đổi wavelet 2-D, hàm wavelet Poisson-Hardy được sử dụng trên tín hiệu dị thường từ toàn phần của mô hình trên. Kết quả về đẳng trị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet ở các tỉ lệ khác nhau được biểu diễn trong Hình 2 cho phép xác định tọa độ tâm của ba nguồn được thiết kế trong mô hình. Việc xác định điểm có độ lớn hệ số biến đổi

wavelet cực đại được thực hiện bằng cách sử dụng lệnh find (max) trong Matlab.

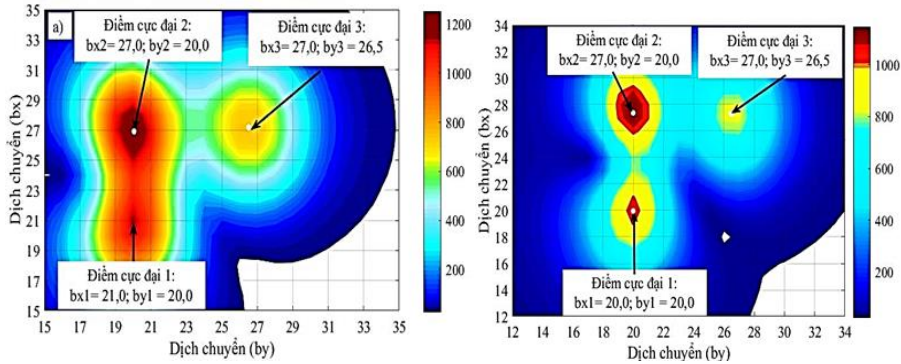
Để xác định độ sâu của nguồn, dữ liệu dọc theo tuyến  $y_1 = y_3 = 40,0$  km (đi qua tâm của N1 và N2) và tuyến  $y_2 = 54,0$  km (đi gần tâm N3) lần lượt được trích xuất để phân tích định lượng (Hình 3).

Áp dụng phép biến đổi wavelet 1-D, hàm Poisson-Hardy được sử dụng trên dữ liệu dị thường từ toàn phần dọc theo hai tuyến đã chọn. Kết quả được thể hiện trong Hình 4 cho thấy tồn tại ba điểm

cực đại tương ứng với vị trí các tâm nguồn:  $a_1 = 3,0 = a_{1m}$ ;  $a_2 = 3,12 = a_{2m}$ ;  $a_3 = 4,98 = a_{3m}$ . Từ đó, độ sâu ba nguồn được ước lượng từ công thức (12) và kết quả tổng hợp được trình bày trong Bảng 4.

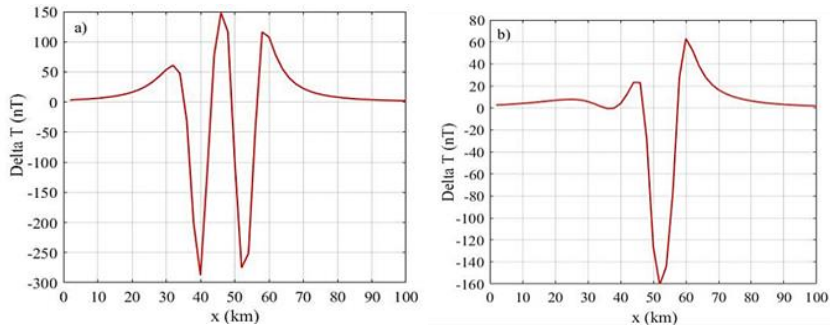
**Bảng 4. Kết quả ước lượng độ sâu của ba nguồn khi chưa chuẩn hóa tham số tỉ lệ**

Nguồn	Hình dạng	Độ sâu (km)	Sai lệch (%)
N1	Quả cầu	4,40	26,6
N2	Lăng trụ	5,89	30,8
N3	Via mỏng	3,00	25,1



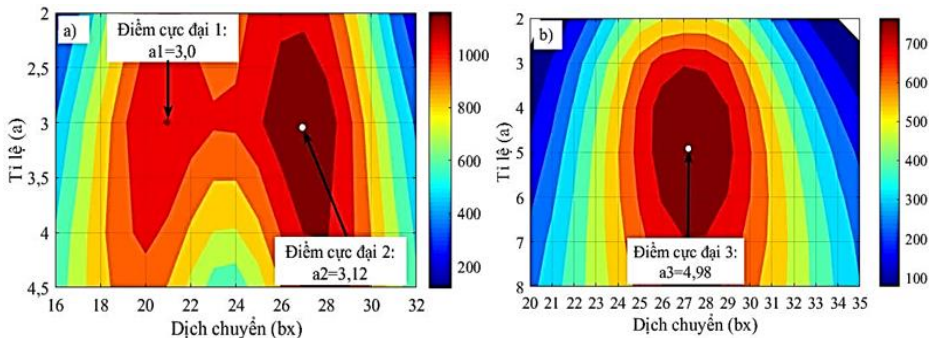
**Hình 2. Đăng trị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet 2-D trên dữ liệu dị thường từ**

a) Tỉ lệ  $a = 3$ ; b) Tỉ lệ  $a = 4$



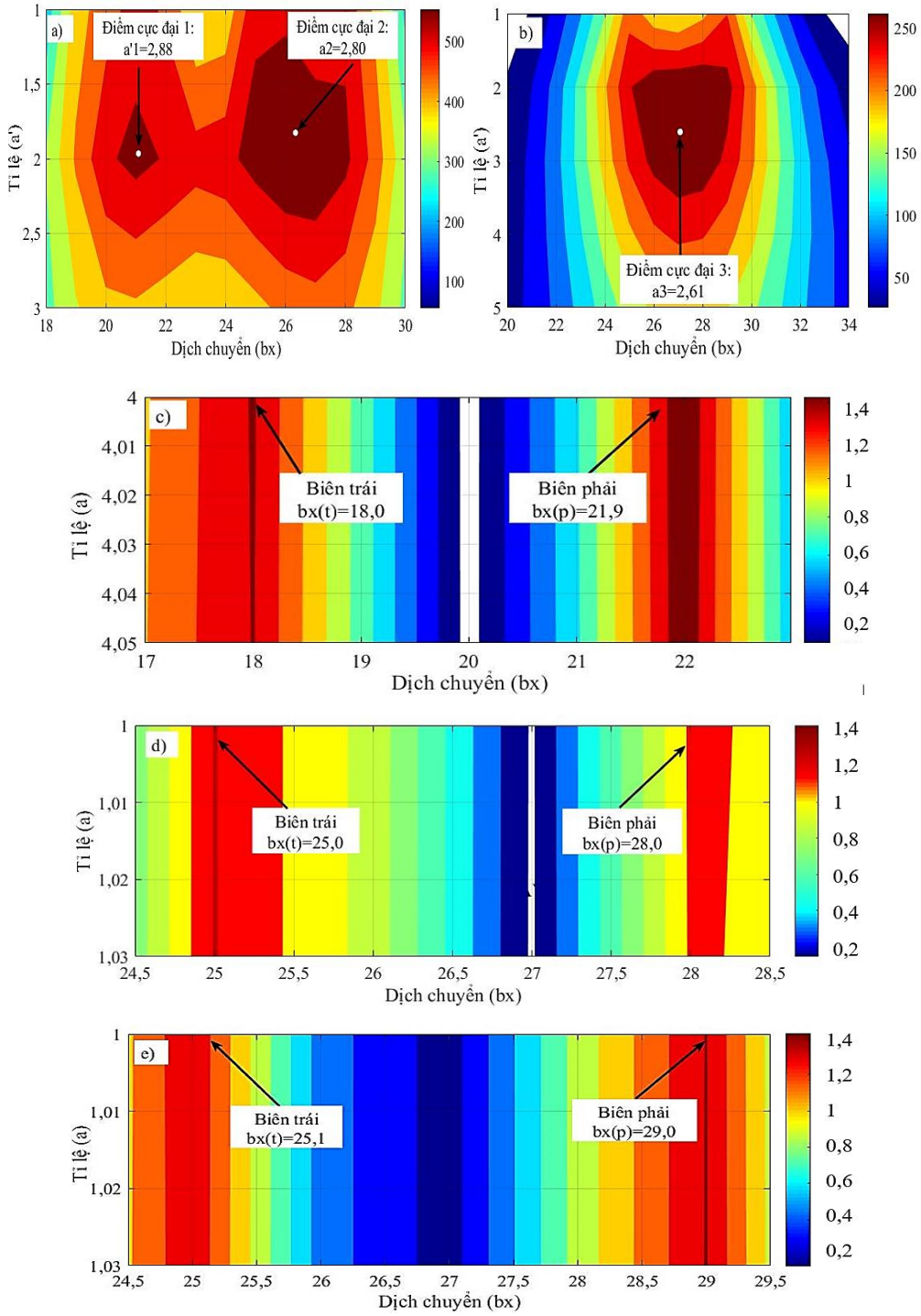
**Hình 3. Dị thường từ toàn phần dọc theo tuyến được chọn**

a) Tuyến  $y_1 = y_2 = 40,0$  km; b) Tuyến  $y_3 = 54,0$  km



**Hình 4. Đăng trị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường theo tuyến đã chọn**

a) Tuyến  $y_1=y_2=40,0$  km; b) Tuyến  $y_3=54,0$  km



**Hình 5. Các đồ thị thể hiện kết quả phân tích dữ liệu dị thường từ trên các mô hình có áp dụng tham số tỉ lệ chuẩn hóa  $a^{-0,9}$**

a), b) Đồ thị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường từ của tuyến; c), d), e) Đồ thị của hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường từ của tuyến đã chọn

Từ Bảng 4 cho thấy độ lệch khi dùng biến đổi wavelet Poisson-Hardy để phân tích các nguồn từ liên kế là khá lớn nếu không có sự chuẩn hóa tham số  $a^{-n}$ . Vì thế, khi tái chuẩn hóa ( $n = 0,9$ ) kết quả phân tích dị thường là khá chính xác, thể hiện trong Hình 5a, 5b cho phép xác định giá trị của tham số tỉ lệ ( $a'_m$ ) tại đó độ lớn hệ số biến đổi wavelet cực đại là:  $a'_1 = 1,88 = a'_1_m$ ;  $a'_2 = 1,8 = a'_2_m$ ;  $a'_3 = 2,61 = a'_3_m$ . Ngoài ra, dựa trên đẳng pha của hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường của tuyến được chọn, giá trị biên trái và biên phải được xác định trên Hình 5c, 5d, 5e cho phép ước lượng kích thước của nguồn theo công thức:

$$D_x \approx [bx(p) - bx(t)] \times \Delta x \quad (16a)$$

$$D_y \approx [by(p) - by(t)] \times \Delta y \quad (16b)$$

**Bảng 5. Kết quả phân tích độ sâu và kích thước của các nguồn liên kế N1, N2, N3**

Nguồn	Chỉ số cấu trúc	Hình dạng	Kích thước		Độ sâu	
			D (km)	Sai lệch (%)	z (km)	Sai lệch (%)
N1	3	Quả cầu	7,8	2,5	6,21	3,50
N2	2	Lăng trụ	6,0	0	4,81	6,89
N3	1	Via mỏng	7,8	2,5	3,82	4,50

**3.2. Phân tích dữ liệu từ ở Rạch Giá – Kiên Giang**

Sử dụng bản đồ dị thường từ toàn phần vùng đồng bằng sông Cửu Long với tỉ lệ 1/200.000 của Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. Khu vực được chọn để phân tích chi tiết có tọa độ trong khoảng 10,19° – 10,50° vĩ độ Bắc và 104,92° – 105° kinh độ Đông, thuộc địa phận Rạch Giá - Hòn Đất (Kiên Giang) và Núi Cấm (An Giang). Trong khu vực, trên phương kinh tuyến gần nhau, tồn tại các nguồn dị thường M14, M15 và M16 (Hình 6).

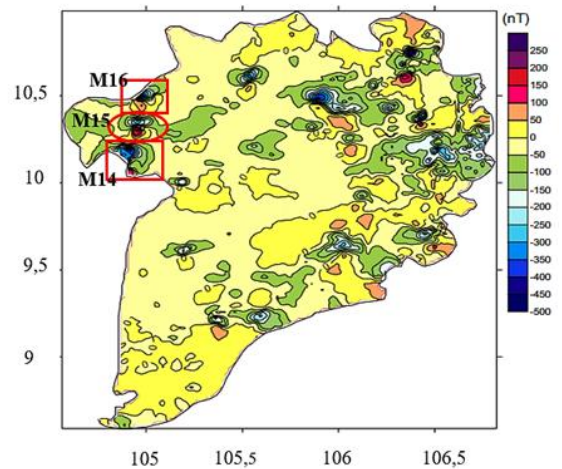
Áp dụng 2-D CWT, hàm wavelet phức Poisson-Hardy được sử dụng trên dữ liệu dị thường từ ở khu vực nghiên cứu. Dựa vào các điểm cực đại địa phương hệ số biến đổi wavelet, tọa độ tâm của các nguồn dị thường được xác định. Để ước lượng độ sâu và kích thước của vật thể gây ra dị thường từ M14, một tuyến dữ liệu dọc theo kinh tuyến 104,92° (K14) và một tuyến dữ liệu dọc theo vĩ tuyến 10,19° (V14) đi qua tâm nguồn M14 được trích xuất từ bản đồ dị thường từ toàn phần. Khoảng cách giữa các điểm đo trên tuyến đều bằng nhau  $\Delta = 2,0$  km.

Công thức (16a) sử dụng khi phân tích dữ liệu theo phương x; công thức (16b) áp dụng khi phân tích dữ liệu theo phương y. Kết quả tổng hợp thể hiện trong Bảng 5.

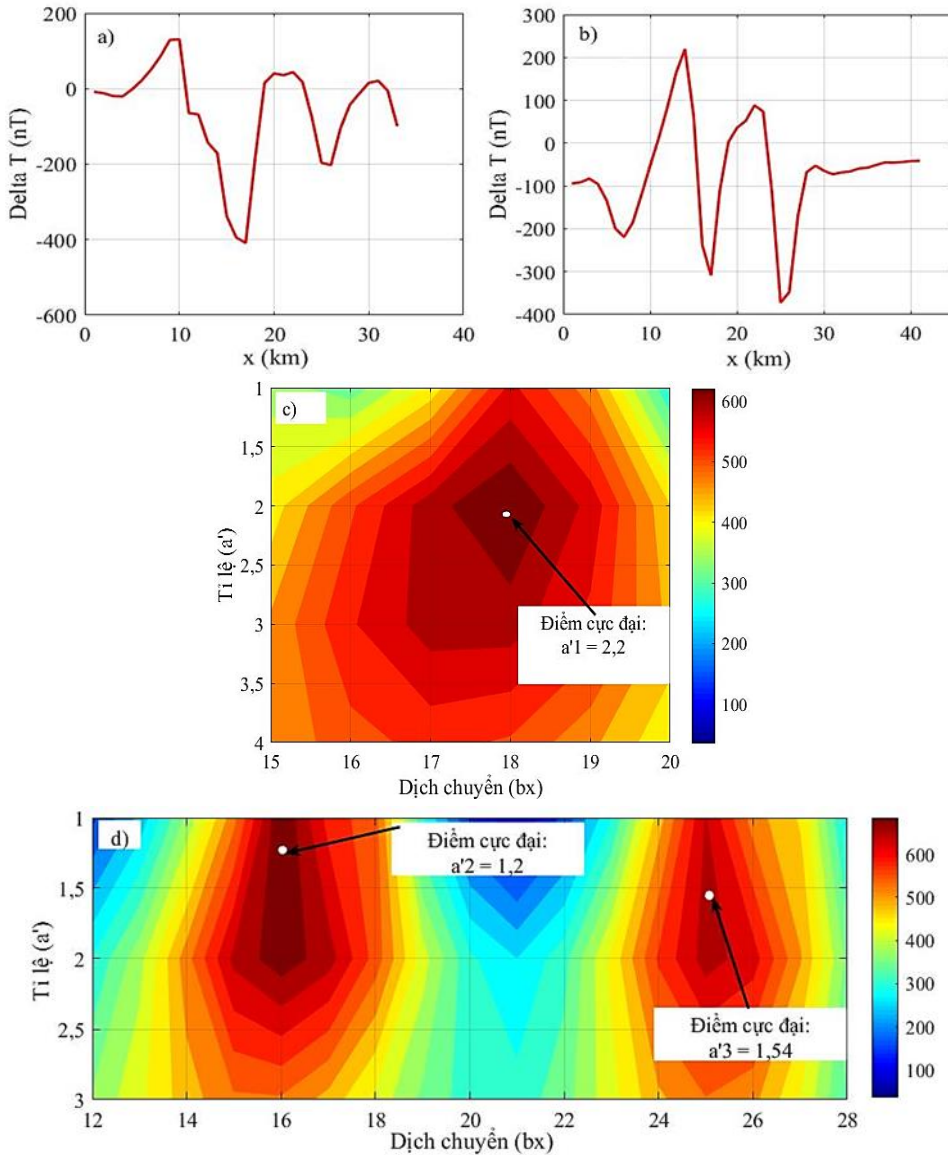
Như vậy, khi dị vật phân bố liên kế cần phối hợp phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet 2-D và sự tái chuẩn hóa tham số  $a^{-n}$  để cải thiện độ phân giải cho khu vực cận biên làm tăng độ chính xác khi xác định vị trí và độ sâu các nguồn trên mặt phẳng quan sát.

Bằng phép biến đổi wavelet 1-D, dữ liệu được trích xuất dọc theo các tuyến đi qua tâm nguồn (gần tâm nguồn) để phân tích định lượng cho phép ước lượng kích thước và độ sâu của nguồn. Kết quả tính toán ở Bảng 5 cho thấy độ tin cậy cao của phương pháp (sai lệch < 7%).

Tương tự, với các nguồn dị thường M15, M16 dữ liệu dọc theo kinh tuyến 104,96° (K15); vĩ tuyến 10,36° (V15) và vĩ tuyến 10,50° (V16) được chọn để phân tích định lượng bằng phép biến đổi wavelet 1-D.



**Hình 6. Bản đồ dị thường từ vùng Đồng bằng sông Cửu Long (đường đẳng trị cách nhau 50 nT)**



**Hình 7. Kết quả phân tích các tuyến đo từ thực tế trích xuất từ bản đồ dị thường từ khu vực Rạch Giá - Kiên Giang**

a) Dị thường từ toàn phần dọc theo tuyến K14; b) Dị thường từ toàn phần dọc theo tuyến K15; c) Đẳng trị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường từ tuyến K14; d) Đẳng trị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường từ tuyến K15

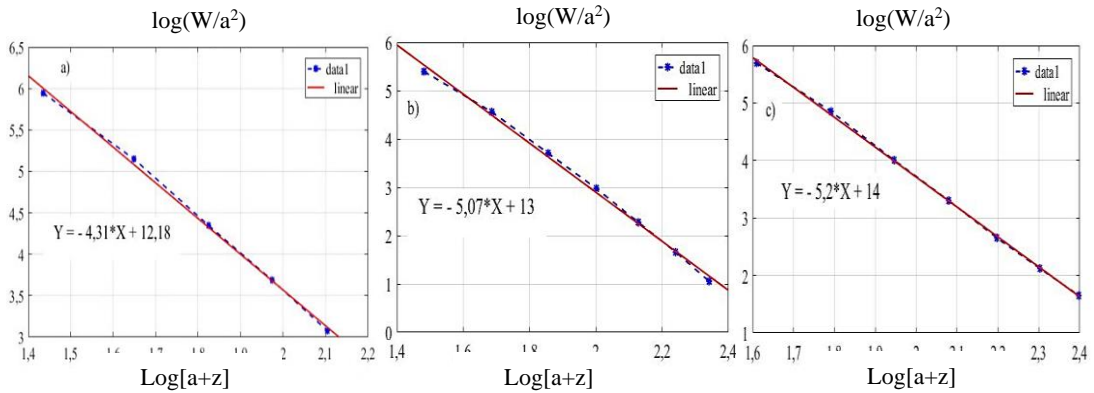
Kết quả đẳng trị của độ lớn hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường từ tuyến đã chọn ở Hình 7c (tuyến K14) cho phép xác định chính xác tâm nguồn M14:  $a'1 = 2,2 = a'1_m$ . Hình 7d (tuyến K15) cho thấy có hai nguồn dị thường từ đồng dạng, tâm nguồn  $a'2 = 1,2$  tương ứng với nguồn dị thường M15 và tâm nguồn  $a'3 = 1,54$  ứng với nguồn M16. Đồ thị biểu diễn  $\log(W/a^2)$  theo  $\log(a+z)$  của các nguồn dị thường M14 được vẽ trong Hình 8a cho phép xác định chỉ số cấu trúc N của nguồn. Dựa trên

phương trình đường thẳng:  $Y = -4,31.X + 12,18$  bậc đồng nhất của nguồn trường  $\beta = -4,31$  được xác định. Từ công thức (11), chỉ số cấu trúc của nguồn trường M14 là  $N14 = -(-4,31) - 3 = 1,31 \approx 1$ . Như vậy, nguồn M14 có dạng vỉa mỏng, vì thế  $k'14 = 0,69813$  và  $c'14 = 0,17292$ . Theo công thức (15) độ sâu của nguồn M14 được ước lượng:  $z14 = 0,69813 \times (2,2 \times 2) + 0,17292 \approx 3,3$  km. Đồng thời, biên trái và biên phải của nguồn M14 trên các tuyến khảo sát cũng được xác định qua đồ thị đẳng pha



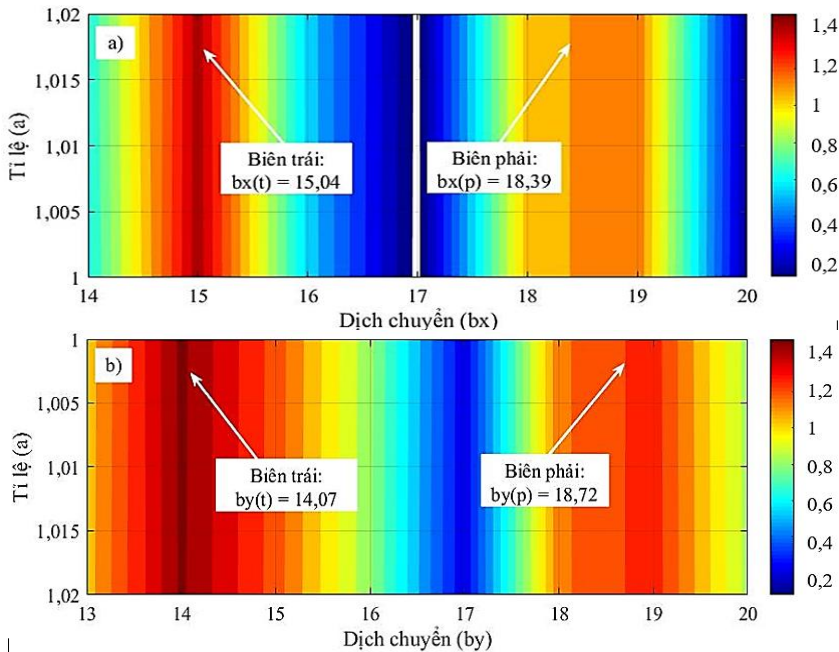
(Hình 9). Từ đó, kích thước theo phương ngang và dọc của nguồn cũng được ước lượng theo công thức (16a) và (16b). Phân tích và tính toán tương tự cho các nguồn M15 và M16, kết quả tính toán được tổng hợp trong Bảng 6.

So với công bố gần đây (Bảng 7, Tín, 2019), kết quả phân tích trong bài báo có sự phù hợp tương đối về hình dạng, kích thước và độ sâu của nguồn dị thường M14, M15, M16.



Hình 8. Đường biểu diễn  $\log(W/a^2)$  theo  $\log(a+z)$  nguồn dị thường từ.

a) Tuyến K14; b) Tuyến K15; c) Tuyến K16



Hình 9. Đẳng pha của hệ số biến đổi wavelet trên tín hiệu dị thường từ qua các tuyến.

a) Tuyến K14; b) Tuyến V14

Bảng 6. Tổng hợp kết quả phân tích nguồn dị thường M14, M15, M16

Số hiệu	Tâm nguồn		Chỉ số cấu trúc N	Hình dạng	Độ sâu (km)	Kích thước	
	Kinh độ (°)	Vĩ độ (°)				Ngang (km)	Dọc (km)
M14	104,92	10,19	1	Via mỏng	3,3	9,3	6,7
M15	104,96	10,36	2	Lăng trụ	3,02	5,7	7,2
M16	104,98	10,50	2	Lăng trụ	4,05	3,9	13,9

**Bảng 7. Kết quả phân tích nguồn dị thường M14-M16 trong công bố gần đây (Tín, 2019)**

Số hiệu	Tâm nguồn		Chỉ số cấu trúc N	Hình dạng	Độ sâu (km)	Kích thước	
	Kinh độ (°)	Vĩ độ (°)				Ngang (km)	Dọc (km)
M14	104,92	10,20	1,0	Via mỏng	3,7	9,0	5,4
M15	104,96	10,36	2,1	Lăng trụ	3,6	7,6	8,4
M16	104,98	10,50	2,0	Lăng trụ	3,7	5,4	15,6

**4. KẾT LUẬN**

Trong bài báo, phép biến đổi wavelet liên tục hai chiều, hàm wavelet phức Poisson-Hardy được sử dụng với tham số chuẩn hóa tỉ lệ đã được áp dụng để phân tích tuyến đo từ ở Rạch Giá - Kiên Giang nhằm tách biệt các nguồn dị thường từ trên tỉ lệ đồ, giúp xác định chính xác tâm nguồn. Đồng thời, dữ liệu dị thường dọc theo kinh tuyến, vĩ tuyến đi qua tâm nguồn được trích xuất để phân tích định lượng bằng phép biến đổi wavelet 1-D; mối tương quan

giữa độ sâu của nguồn dị thường từ và tham số tỉ lệ có chuẩn hóa  $a^{-n}$  được thiết lập để xác định độ sâu đến tâm nguồn. Sau khi kiểm chứng tính khả thi và độ tin cậy, phương pháp đề xuất được áp dụng để minh giải dữ liệu từ ở Rạch Giá - Kiên Giang có cấu trúc dị vật như mô hình lý thuyết. Từ kết quả phân tích thực tế, phương pháp CWT sử dụng hàm wavelet phức Poisson-Hardy có chuẩn hóa tham số tỉ lệ đã thể hiện rõ khả năng tách biệt các nguồn dị thường từ liên kề trên tỉ lệ đồ cho phép xác định chính xác hơn độ sâu đến tâm nguồn.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

Barbosa, V. C., Silva, J. B., & Medeiros, W. E. (1999). Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution. *Geophysics*, 64(1), 48-60. <https://doi.org/10.1190/1.1444529>

Đầu, D. H. (2013). *Phân tích tài liệu từ và trọng lực sử dụng biến đổi wavelet liên tục*. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh.

Kumar, P., & Foufoula, G. E. (1997). Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of Geophysics*, 35(4), 385-412. <https://doi.org/10.1029/97RG00427>

Mallat, S., & Hwang, W. L. (1992). Singularity Detection and Processing with Wavelets. *IEEE Transactions on information Theory*, 38(2), 617-643. <https://doi.org/10.1109/18.119727>

Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. T., & Somerton, I. W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55(1), 80-91. <https://doi.org/10.1190/1.1442774>

Sailhac, P., & Gibert, D. (2003). Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: Two-dimensional wavelets and multipolar approximations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B5), 2262, EPM 10(1) - EPM 10(12). <https://doi.org/10.1029/2002JB002021>

Thompson, D. T. (1982). EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47(1), 31-37. <https://doi.org/10.1190/1.1441278>

Tín, D. Q. C., Đầu, D. H., & Tân, N. M. (2017). Xác định các nguồn dị thường từ liên kề bằng phương pháp cực đại wavelet và sự chuẩn hóa tham số tỉ lệ. *Tạp chí phát triển Khoa học Công nghệ, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh*, 20(T6-2017), 273-287.

Tín, D. Q. C. (2019). *Sử dụng phép biến đổi wavelet đa phân giải để xử lý dữ liệu từ, trọng lực và ra đa xuyên đất*. (Luận án tiến sĩ Vật lý địa cầu). Trường đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

Yang, Y., Li, Y., & Liu, T. (2010). Continuous wavelet transform, theoretical aspects and application to aeromagnetic data at the Huanghua Depression, Dagang Oilfield, China. *Geophysical Prospecting*, 58(4), 669-684. <https://doi.org/10.1111/j.13652478.2009.00847.x>