



## Nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ Trái đất khu vực Kon Tum và lân cận bằng phương pháp xác định biên và giải ngược 3D từ số liệu trọng lực

Phạm Nam Hưng\*, Nguyễn Ánh Dương, Thái Anh Tuấn,  
Cao Đình Trọng, Mai Xuân Bách, Dương Văn Thành

*Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam*

*Email tác giả liên hệ: [pnhungigp@yahoo.com](mailto:pnhungigp@yahoo.com)*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18788274>

### **Tóm tắt:**

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu ứng dụng của phương pháp gradient cực đại, phương pháp tín hiệu giải tích trong việc xác định hệ thống đứt gãy. Quy trình phân tích và giải bài toán mô hình hóa 2D được sử dụng làm dữ liệu đầu vào để xây dựng mô hình 3D ban đầu và giải ngược 3D để xác định độ sâu mặt móng kết tinh và mặt Moho. Kết quả đạt được cho thấy: Hệ thống đứt gãy khu vực nghiên cứu là khá phức tạp, bao gồm hệ thống đứt gãy Tây bắc - Đông nam, á kinh tuyến và Đông bắc - Tây nam. Đã xác định và nhận dạng được các đứt gãy sâu và lớn như: Sông Pô Cô, Ba Tơ - Kon Tum, Sông Ba, Hung Nhượng - Ta Vi; Độ sâu mặt móng kết tinh trong khu vực dao động từ 1km đến 3,4 km, với vị trí mặt móng đạt độ sâu lớn nằm ở phía Tây bắc và Đông nam khu vực; Độ sâu mặt Moho thay đổi liên tục từ 27 km đến 35 km. Vị trí sâu nhất của Moho nằm về phía Tây bắc và có xu hướng nâng dần lên về phía Đông. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả và độ tin cậy cao của việc áp dụng quy trình tính toán và kết hợp đa phương pháp phân tích.

**Từ khóa:** Trọng lực, mô hình 2D, mô hình ngược 3D, đứt gãy, mặt kết tinh, mặt Moho.

Ngày nhận bài: 24/11/2025 Ngày sửa lại: 06/12/2025 Ngày chấp nhận đăng: 08/12/2025 Ngày xuất bản: 28/02/2026

## Study of the Earth's crustal structure in the Area of Kon Tum and It's adjacent using boundary determination method and 3D inversion from gravity data

Pham Nam Hung, Nguyen Anh Duong, Thai Anh Tuan  
Cao Dinh Trong, Mai Xuan Bach, Duong Van Thanh

*Institute of Earth Sciences, VAST*

*Corresponding Author Email: [pnhungigp@yahoo.com](mailto:pnhungigp@yahoo.com)*

### **Abstract:**

This paper presents researching results of the application of maximum horizontal gradient of gravity anomaly and analytic signal to determining fault systems. The analytical workflow of the 2D modeling problem is used as input data for constructing an initial 3D model and performing 3D inversion to determine the depths of the crystalline basement and the Moho surface. The results have shown that: The fault system in the study area is quite complex, including the Northwest - Southeast, sub-meridian and Northeast - Southwest fault systems. Large and deep faults have been identified and recognized such as: Song Po Co, Ba To - Kon Tum, Song Ba, Hung Nhuong - Ta Vi; The depth of the crystalline basement in the area ranges from 1km to 3.4km, with the location of the basement reaching great depths in the Northwest and Southeast of the area; The depth of the Moho surface changes continuously from 27km to 35km. The deepest location of the Moho is in the Northwest and tends to gradually rise towards the East.

**Keywords:** Gravity; 2D modeling; 3D inversion; Fault; Crystalline basement surface; Moho surface.

Submission received: 24/11/2025

Revised: 06/12/2025

Accepted: 08/12/2025

Published: 28/02/2026

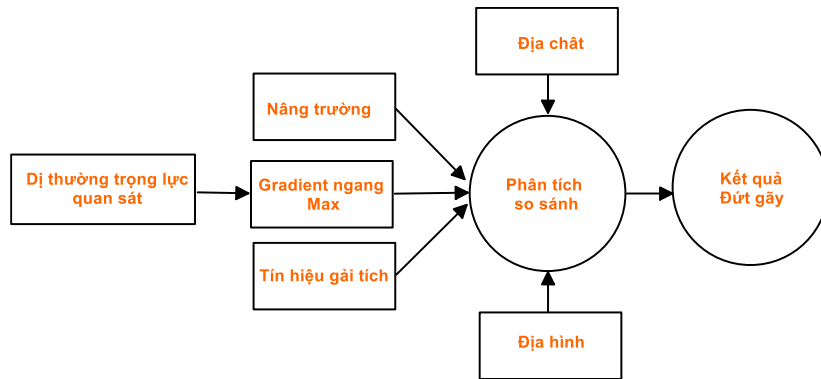


## 1. Giới thiệu

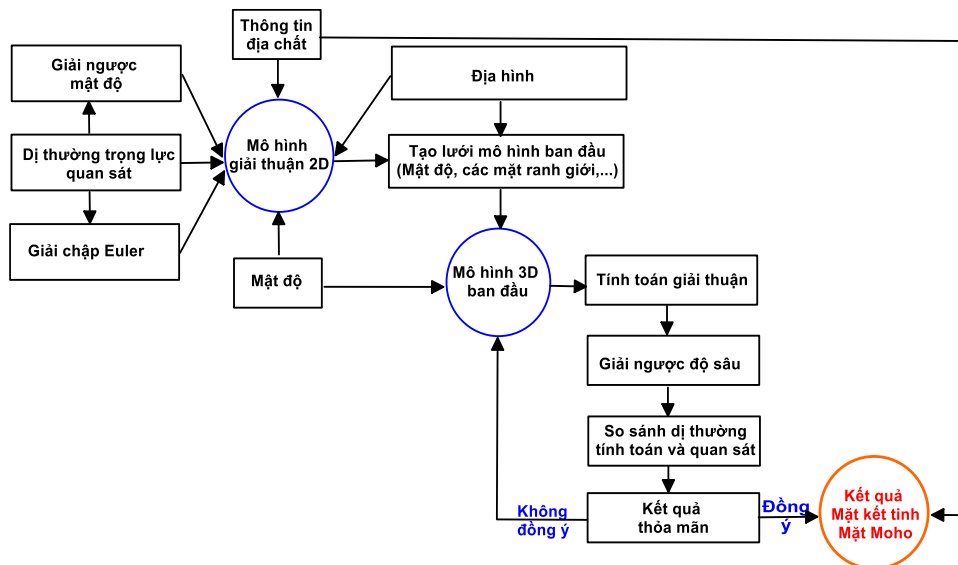
Ở nước ta nghiên cứu cấu trúc vỏ Trái đất trên cơ sở tài liệu địa vật lý đã được tiến hành trong nhiều năm qua. Tuy nhiên nguồn số liệu sử dụng không đồng bộ, nhiều vùng còn thiếu vắng các loại tài liệu có tính định lượng cao nên kết quả nghiên cứu không đồng đều cả về mức độ chi tiết lẫn độ tin cậy. Các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung phần phía bắc Việt Nam nơi có điều kiện địa chất phức tạp và có cơ chế hoạt động động đất mạnh nhất cả nước [1-3]. Ngoài ra, cũng có một số các tác giả nghiên cứu cấu trúc vỏ Trái đất khu vực biển Đông và lân cận dựa trên phương pháp giải ngược 3D [4,5].

Khu vực Kon Tum và lân cận nằm trong vùng có nhiều đới đứt gãy kiến tạo đang hoạt động, gây ra các hiện tượng địa chất bất thường như động đất, sụt lún đất và nứt đất thường xuyên, nhất là sau năm 2021 khi các hồ thủy điện (Thượng Kon Tum, Đrăk Đring) tích nước, làm tăng tần suất và cường độ động đất kích thích đòi hỏi nghiên cứu, đánh giá nguy hiểm động đất. Nghiên cứu về cấu trúc sâu vỏ Trái đất ở Việt Nam đã có một số công trình công bố [6-8]. Do chưa có các nghiên cứu riêng nên cấu trúc khu vực Kon Tum chỉ được phản ánh sơ lược trong các công trình nghiên cứu sơ lược vừa nêu trên. Do vậy, việc nghiên cứu xác định đặc điểm cấu trúc sâu vỏ Trái đất khu vực Kon Tum và lân cận là một trong những nhiệm vụ quan trọng, phục vụ đánh giá độ động đất và tai biến động đất.

Bài báo này trình bày sự kết hợp phương pháp xử lý, phân tích 2D và 3D với tài liệu trọng lực nhằm nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ Trái đất áp dụng cho khu vực Kon Tum và lân cận. Các phương pháp gradient ngang cực đại, tín hiệu giải tích, phương pháp nâng trường được sử dụng để xác định hệ thống đứt gãy chính trong khu vực nghiên cứu. Các phương pháp giải ngược mật độ, giải chập Euler được sử dụng làm cơ sở để xây dựng mô hình 2D ban đầu. Sau đó giải ngược 2D để nhận được kết quả về mật độ và độ sâu các mặt ranh giới (mặt móng kết tinh và mặt Moho), sẽ được sử dụng để làm đầu vào cho bài toán giải ngược 3D. Việc kết hợp các phương pháp xử lý, phân tích trên sẽ giúp tăng độ tin cậy của mô hình 3D ban đầu, khi mà khu vực nghiên cứu thiếu vắng tài liệu tựa như: Địa chấn, từ Tellua,... Quy trình tính toán, xử lý và phân tích tài liệu trọng lực đối với xây dựng sơ đồ hệ thống đứt gãy được thể hiện trong Hình 1 và xây dựng sơ đồ độ sâu các bề mặt ranh giới cơ bản được thể hiện trong Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ quy trình xác định đứt gãy



Hình 2. Sơ đồ quy trình mô hình trọng lực 2D và giải ngược trọng lực 3D

## 2. Cơ sở dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Cơ sở dữ liệu

#### 2.1.1. Dữ liệu trọng lực và giá trị mật độ đất đá

- Dữ liệu dị thường trọng lực khu vực nghiên cứu:

+ Bản đồ dị thường dị thường trọng lực Bouguer phần đất liền lãnh thổ Việt Nam, tỷ lệ 1:500.000 thành lập năm 2011 được thành lập bởi Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam trước đây [9].

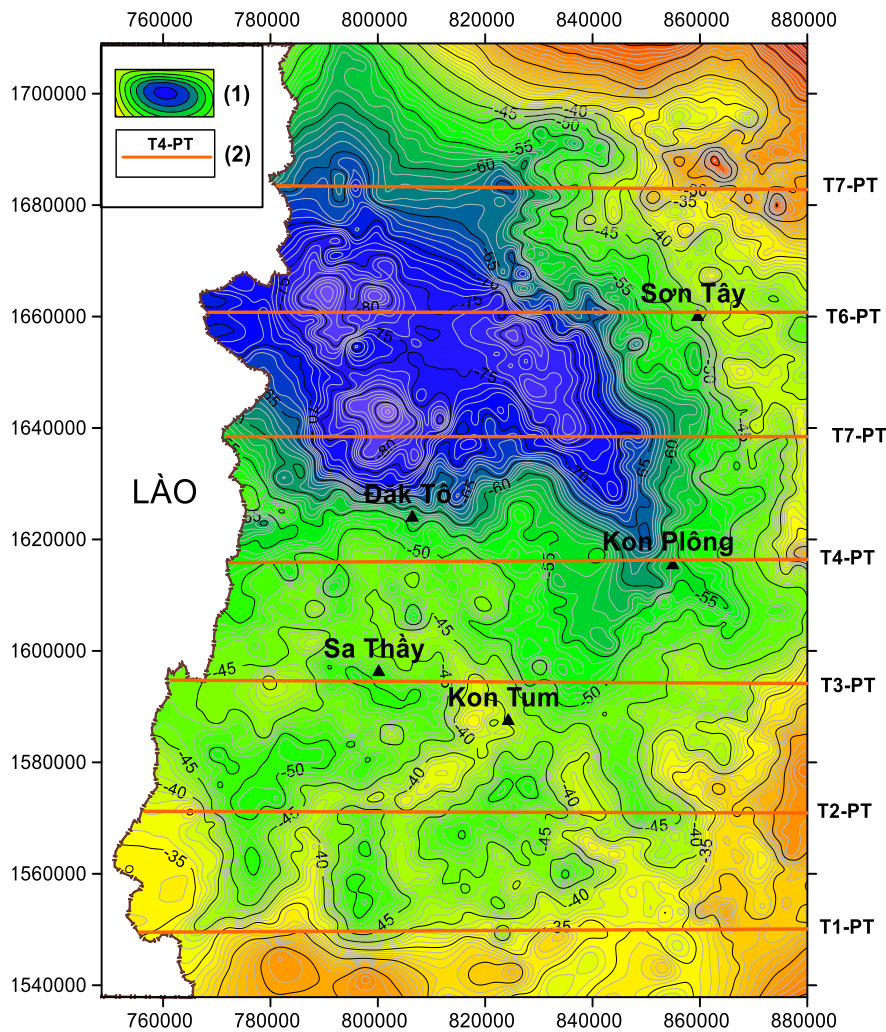
+ Tài liệu trọng lực thu thập từ các phương án đo trọng lực vùng Quảng Ngãi, Ba Tơ, Kon Tum,... ở tỷ lệ từ 1: 200.000 đến 1:50.000 do Liên đoàn Vật lý Địa chất thực hiện. Ngoài ra, còn sử dụng các tài liệu trọng lực có được tại Viện

Vật lý Địa cầu đã triển khai các đề tài trước đây.

- Thông số về mật độ của các lớp được tham khảo từ thông số mật độ đất đá ở Việt Nam [8,10] (xem trong Bảng 1).

Bảng 1. Thông số mật độ cho các lớp đất đá

STT	Lớp	Mật độ ( $\text{g/cm}^3$ )	Mật độ trung bình ( $\text{g/cm}^3$ )
1	Vỏ trầm tích	2.60 - 2.65	2.63
2	Vỏ kết tinh	2.80 - 2.88	2.84
3	Manti trên	3.10 - 3.33	3.20



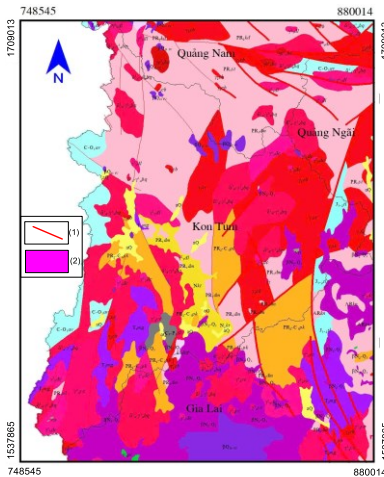
Ghi chú: (1-đị thường trọng lực) và (2- tuyến phân tích trọng lực)

Hình 3. Đị thường trọng lực Bouguer khu vực Kon Tum và lân cận

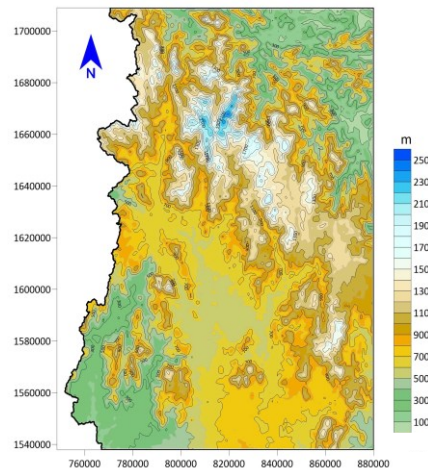
### 2.1.2. Dữ liệu địa chất và địa hình

- Bản đồ địa chất tỷ lệ 1:500.000 được thành lập bởi Tổng cục địa chất và khoáng sản Việt Nam năm 2004 [11]. (Hình 4).

- Dữ liệu độ cao địa hình được lấy từ nguồn ASTER-GDEM với độ phân giải là 30 m. Đây là một chương trình hợp tác giữa NASA và chính phủ Nhật Bản đã tạo nên hệ thống mô hình số độ cao ở quy mô toàn cầu (Hình 5).



Hình 4. Bản đồ địa chất khu vực Kon Tum và lân cận



Hình 5. Độ cao địa hình khu vực Kon Tum và lân cận

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Gradient ngang cực đại

Phương pháp gradient ngang cực toàn phần cực đại lần đầu tiên được Blakely và Simpson (1986) đề xuất để xác định ranh giới giữa các khối địa chất có mật độ khác nhau. Gradient ngang toàn phần (G) trên lưới số liệu dị thường trọng lực Bouguer (hay từ) được tính theo công thức [12]:

$$G(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

với  $\Delta g(x, y)$  biến thiên Bouguer. Tổng giá trị gradient ngang tại điểm trung tâm được so sánh với giá trị của tám điểm gần nhất theo bốn hướng (dọc theo hàng, cột và cả hai đường chéo). Nếu tồn tại giá trị lớn nhất thì nó phải thỏa mãn ít nhất hai bất đẳng thức sau:



$$\begin{aligned} G_{i-1,j} < G_{i,j} > G_{i+1,j}, \\ G_{i,j-1} < G_{i,j} > G_{i,j+1}, \\ G_{i+1,j-1} < G_{i,j} > G_{i-1,j+1}, \\ G_{i-1,j-1} < G_{i,j} > G_{i+1,j+1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Giá trị lớn nhất của  $G_{i,j}$  được tính bằng một hàm đa thức bậc hai, ví dụ:

Nếu  $G_{i-1,j} < G_{i,j} > G_{i+1,j}$ , thì vị trí giá trị lớn nhất của  $G_{i,j}$  là  $x_{\max} = \frac{-b}{2a}$ , với

$$a = \frac{(G_{i-1,j} - 2G_{i,j} + G_{i+1,j})}{2d^2}, b = \frac{(G_{i+1,j} - G_{i-1,j})}{2d}; d = \text{Khoảng cách đến hai điểm gần nhất.}$$

Giá trị lớn nhất tại vị trí  $x_{\max}$  được tính theo công thức:

$$G_{\max} = ax_{\max}^2 + bx_{\max} + G_{i,j} \quad (3)$$

$G_{\max}$  phân bố theo dạng tuyến sẽ phản ánh sự tồn tại của đứt gãy [8, 13].

### 2.2.2. Phương pháp tín hiệu giải tích

Độ lớn tín hiệu giải tích (ASM) theo [14,15] được tính bằng căn bậc hai của tổng bình phương của đạo hàm theo phương thẳng đứng và phương ngang của trường từ (trọng lực) như sau:

$$|ASM(x,y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (4)$$

Ưu điểm của phương pháp không cần bất kỳ giả định nào về hướng của vật thể từ hóa [16]. Cũng giống như phương pháp gradient cực đại, phân tích cực đại của tín hiệu giải tích cũng được sử dụng để phát hiện các ranh giới cấu trúc đứt gãy trong khu vực nghiên cứu.

### 2.2.3. Giải chấp Euler

Phương pháp giải chấp Euler được đề xuất thực hiện bởi Thompson (1982) [17], sau đó được Reid và cộng sự (1990) [18] phát triển thêm. Nhằm xác định biên và độ sâu tới nguồn gây dị thường.

Chúng ta xét hàm  $f(x,y,z)$  trong hệ tọa độ vuông góc X, Y, Z. Hàm  $f(x,y,z)$  được gọi là đồng nhất bậc n nếu:

$$f(tx,ty,tz) = tn.f(x,y,z) \quad (5)$$

Trong trường hợp này hàm  $f$  thỏa mãn phương trình sau:

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = nf \quad (6)$$

Phương trình (6) được gọi là phương trình đồng nhất Euler. Xét tập hợp các hàm  $f(x,y,z)$  có dạng [17, 19]:

$$f(x, y, z) = \frac{G}{r^N} \quad (7)$$

Ở đây  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ,  $N = 1, 2, 3, \dots$ ; và  $G$  là hằng số không phụ thuộc vào  $x, y$  và  $z$ . Trong thực tế người ta tính đến độ lệch của trường dị thường địa phương gây ra bởi trường có nguồn gốc sâu hơn mà ta coi là hằng số và ký hiệu là  $B$ , ta sẽ có phương trình đồng nhất Euler:

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

Ở đây  $(x_0, y_0, z_0)$  là tọa độ của nguồn từ (hay trọng lực),  $T$  là giá trị trường quan sát tại điểm  $(x, y, z)$ ,  $B$  là giá trị trường khu vực và  $N$  là chỉ số cấu trúc. Đối với các nguồn từ tính (chẳng hạn như quả cầu từ hoá đồng nhất, dipol từ,...) thì giá trị của chỉ số cấu trúc biến đổi từ 0 đến 3, còn đối với tài liệu trọng lực thì giá trị chỉ số cấu trúc biến đổi từ 0 đến 2. Khi tính toán người ta có thể dùng giá trị thực của chỉ số cấu trúc. Nguyên tắc chính của phương pháp giải chập Euler (Euler Deconvolution) là giải phương trình (8) với chỉ số cấu trúc  $N$  cho trước và cần xác định 4 ẩn số là:  $x_0, y_0, z_0$  và  $B$ .

#### 2.2.4. Giải ngược mật độ có giới hạn

Bài toán giải ngược hai chiều có giới hạn được ứng dụng trong phân tích tài liệu trọng lực bởi Guillen và Menichetti (1984) [20], nhằm xác định các ranh giới giữa các cấu trúc địa chất có giá trị mật độ khác nhau. Mặt cắt cấu trúc có chứa các nguồn dị thường được chia thành các lăng kính hình chữ nhật trong hệ trục  $x$  và  $z$  (chiều dài vật thể theo trục  $y$  được xem như vô tận, tức là trường hợp 2D), sự tương phản mật độ là không đổi bên trong mỗi lăng kính và có thể khác nhau. Sử dụng ký hiệu ma trận, vectơ dị thường trọng lực  $d = [d_i]$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$  ( $N$  là số lượng dữ liệu) được cho bởi hàm:

$$d = G.m \quad (9)$$

Trong đó,  $G = [g_{ij}]$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, M$  là ma trận nhân (Kernel Matrix) với  $g_{ij}$  là đóng góp của lăng kính thứ  $j$  vào giá trị trọng lực trên điểm quan sát thứ  $i$ . Vectơ tham số mô hình đại diện cho độ tương phản mật độ của lăng kính là  $m = [m_j]$ ;  $j = 1, 2, \dots, M$ ;  $M$  là số lượng tham số mô hình (là số lượng lăng kính theo hướng của trục  $x$  và  $z$ ). Thành phần trọng lực của một lăng kính cơ sở là lực



hấp dẫn trọng lực của một đa giác trong bài toán 2D. Trong trường hợp này, đa giác có bốn cạnh vuông góc trùng với lưới mô hình.

Giá trị  $m$  có thể được xác định theo công thức [14,21]:

$$m = G^T[GG^T + \lambda I]^{-1}d \quad (10)$$

Trong đó  $\lambda$  là hệ số giảm trừ (Damping Factor),  $I$  là ma trận đơn vị (Unitary Matrix) và  $T$  là ma trận chuyển vị (Matrix Transposition). Phép giải lặp được tiến hành trong nghịch đảo có điều kiện 2D nhằm mục đích xác định tham số mật độ [22,23]. Các giá trị mật độ dương lớn nhất và âm nhỏ nhất sẽ được quan tâm do nó thể hiện các khối cấu trúc. Phương pháp này không chỉ sử dụng cho phân tích 2D trọng lực và từ mà còn cho cả tiếp cận 3D với các tài liệu địa vật lý khác, ví dụ như điện trở suất,...

Phương pháp này thể hiện được mặt cắt mật độ dư theo tuyến. Phục vụ cho việc xác định mật độ dư của khối vật thể địa chất so với môi trường xung quanh. Qua đó, giúp chúng ta xác định được các ranh giới thẳng đứng phân chia các khối cấu trúc địa chất có giá trị mật độ khác nhau.

#### 2.2.5. Giải bài toán ngược trọng lực 2D

Sử dụng bài toán của Talwani và nkk (1959) [24], bằng cách chia cấu trúc vật thể là đa giác  $n$  cạnh, chia mỗi cạnh thành một tích phân đường để tính cho vật thể đó, rồi lấy tổng hiệu ứng của từng vật thể nhỏ để nhận được trường dị thường trọng lực của toàn vật thể gây ra.

Công thức thành phần thẳng đứng dị thường trọng lực được xác định theo công thức dựa trên công trình nghiên cứu [24] và được biểu thị đơn giản dưới dạng biểu thức (11):

$$\Delta g_z = 2G\rho \sum_{j=1}^m z_j \quad (11)$$

Trong đó:  $G$ - hằng số trọng trường;  $\rho$ - là mật độ của đa giác.

Để tìm nghiệm bài toán ngược ta thiết lập hàm:

$$F = \sum_{i=1}^n [\Delta g_m(x_i, y_i) - \Delta g_t(x_i, y_i)]^2 \rightarrow \text{Min} \quad (12)$$

ở đây:  $\Delta g_m(x_i, y_i)$  và  $\Delta g_t(x_i, y_i)$  - Hàm quan sát và tính toán

Quá trình giải bài toán mô hình 2D được thực hiện trên công cụ GMSYS-2D và được tích hợp trong phần mềm Oasis Montaj.

### 2.2.6. Giải bài toán ngược trọng lực 3D

Cơ sở lý thuyết của phương pháp dựa trên mối quan hệ giữa biến đổi Fourier của dị thường trọng lực và tổng biến đổi Fourier của các lũy thừa độ sâu ranh giới phân chia mật độ. Theo Parker (1973) biến đổi Fourier của dị thường trọng lực gây bởi ranh giới phân chia mật độ  $h$  được xác định theo biểu thức [25]:

$$F(\Delta g) = -2\pi G \rho e^{(-kz_0)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^{n-1}}{n!} F[h^n(x)] \quad (13)$$

Trong đó:  $F[]$  là biến đổi Fourier của các biến trong ngoặc vuông,  $\Delta g$  là dị thường trọng lực,  $G$  là hằng số hấp dẫn,  $\rho$  là mật độ dư ( $\rho = \rho_{\text{dưới}} - \rho_{\text{trên}}$ ),  $k = (k_x^2 + k_y^2)^{1/2}$  với  $k_x$  và  $k_y$  là các số sóng dọc theo trục  $x$  và  $y$  tương ứng,  $z_0$  độ sâu trung bình của độ sâu ranh giới phân chia mật độ.

Trong công trình nghiên cứu Oldenburg (1974) đã sắp xếp lại biểu thức (13) để tính toán độ sâu cho mặt ranh giới từ giá trị dị thường trọng lực bằng một quá trình lặp lại và được đưa ra bởi [26]:

$$F[h(x)] = -\frac{F[\Delta g(x)]e^{(-kz_0)}}{2\pi G \rho} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{k^{n-1}}{n!} F[h^n(x)] \quad (14)$$

Biểu thức này cho phép chúng ta xác định độ sâu bề mặt bằng quy trình giải ngược lặp đi lặp lại thông qua công cụ GMSYS-3D được tích hợp trong phần mềm Oasis Montaj, giúp quá trình tính toán và xử lý được thuận tiện hơn. Trong quy trình này, chúng ta giả định độ sâu trung bình của bề mặt là  $z_0$  và độ tương phản mật độ là  $\rho$ . Dị thường trọng lực được xác định trước khi tính toán phép biến đổi Fourier. Sau đó, số hạng đầu tiên của phương trình (13) được tính bằng cách gán  $h(x) = 0$ . Phép biến đổi Fourier ngược cho phương trình (14) sẽ cung cấp giá trị xấp xỉ đầu tiên của bề mặt,  $h(x)$ . Giá trị  $h(x)$  này, sau đó được sử dụng trong phương trình (14) để tính toán một giá trị độ sâu mới của  $h(x)$ . Quá trình này được tiếp tục cho đến khi đạt được một giá trị hợp lý và sẽ dừng lại khi sai số bình phương tối thiểu giữa giá trị dị thường trọng lực của mô hình với giá trị dị thường trọng lực thực tế giảm xuống dưới một giá trị cho trước hoặc vượt quá số vòng lặp cho phép.

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

#### 3.1. Xác định hệ thống đứt gãy

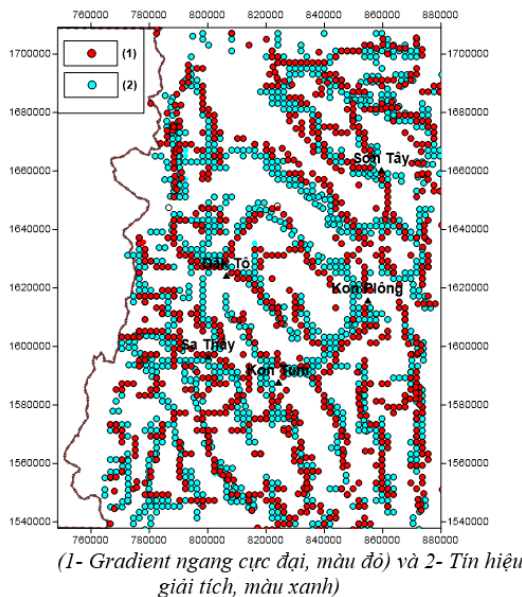
Để xác định vị trí hệ thống các đứt gãy chúng tôi đã tính gradient ngang cực đại dị thường trọng lực và biên độ giá trị tín hiệu giải tích được tính cho các mức nâng trường khác nhau. Chúng ta thấy bản đồ gradient ngang cực đại dị thường trọng lực và giá trị tín hiệu giải tích có mối tương đồng rất cao: đều thể hiện được các ranh giới theo phương Tây bắc - Đông nam, Đông bắc - Tây nam và á vĩ tuyến. Để thấy được quy mô của các ranh giới này, chúng tôi tiến hành tính gradient ngang dị thường trọng lực đến các mức nâng trường đến 20 km và thấy là những hệ thống các ranh giới chính theo phương Tây bắc - Đông nam, Đông bắc - Tây nam và á vĩ tuyến vẫn còn được thể hiện. Hình 6 là kết quả tính gradient ngang cực đại của dị thường trọng lực và biên độ tín hiệu giải tích ở mức nâng trường 2 km. Tổng hợp các kết quả tính toán ở trên cho phép chúng ta xây dựng được sơ đồ phân bố hệ thống đứt gãy như trên hình 7. Hệ thống đứt gãy được xác định trên cơ sở tiêu chí:

- Dải dị thường (âm hay dương) cục bộ tạo thành chuỗi dạng tuyến tính kéo dài.
- Xuất hiện gập khúc đột ngột hay các nếp oằn của các đường đồng mức hoặc các trục dị thường trọng lực.
- Nơi có giá trị gradient ngang cực đại trường trọng lực kéo dài theo đường thẳng hay lượn liềm với bán kính lớn.
- Đứt gãy sâu, lớn thường xuất hiện ở các vị trí tồn tại giá trị gradient ngang cực đại, biên độ tín hiệu giải tích theo các mức nâng trường.

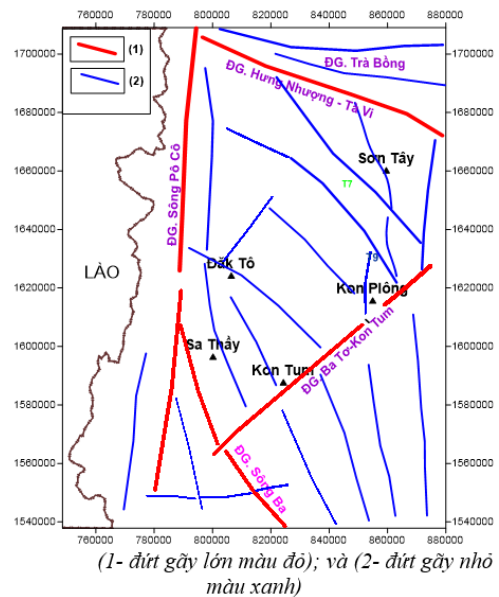
Hệ thống đứt gãy á vĩ tuyến là hệ đứt gãy lớn nhất phát triển mạnh ở nửa phía nam của vùng nghiên cứu. Hệ thống đứt gãy đông bắc - tây bắc phát triển ở phần phía đông bắc và hệ thống đứt gãy tây bắc - đông nam phát triển ở phần phía tây bắc của vùng. Cụ thể phát hiện các đứt gãy lớn như: sông Pô Cô có phương phát triển á kinh tuyến, đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi, sông Ba có phương phát triển Tây bắc - Đông nam và đứt gãy Ba Tơ - Kon Tum có phương phát triển Đông bắc - Tây nam.

So sánh với các tài liệu đứt gãy của các công trình nghiên cứu có trước như: C.Đ.Triều (2002) [27]; P.V.Hùng (2013) [28] và tài liệu địa chất thì kết quả xác định hệ thống đứt gãy trong nghiên cứu này có sự tương đồng cao với kết quả xác định đứt gãy của các công trình nghiên cứu trên. Sự tương đồng rõ nhất có thể thấy

đây là các đứt gãy sâu, lớn như: đứt gãy sông Pô Cô, Hưng Nhượng - Tà Vi, Sông Ba, Ba Tơ - Kon Tum và một số đứt gãy nhỏ sinh kèm. Tuy nhiên, trong công trình này còn phát hiện một số đứt gãy nhỏ mà không thấy xuất hiện trong các công trình nghiên cứu trên. Điều này có thể do tài liệu sử dụng để xử lý phân tích của các công trình trước đây chưa được chi tiết, hạn chế về các phương pháp phân tích được sử dụng, hơn nữa, các công trình nghiên cứu trên một khu vực rộng lớn, dẫn đến các đứt gãy nhỏ có thể bị bỏ qua và không phát hiện được.



Hình 6. Vị trí cực đại của gradient ngang ở mức nâng trường lên độ cao 2km



Hình 7. Sơ đồ hệ thống đứt gãy khu vực Kon Tum và lân cận

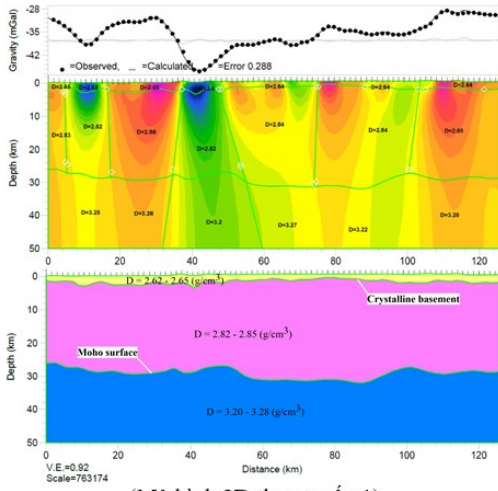
### 3.2. Kết quả giải bài toán ngược trọng lực 2D

Theo các tài liệu địa chất-địa vật lý khu vực tỉnh Kon Tum và lân cận, cho thấy phương cấu trúc, đứt gãy địa chất chủ yếu theo hướng Tây bắc – Đông nam và á kinh tuyến. Chính vì thế, tác giả đã sử dụng 7 tuyến phân tích được cắt tương đối vuông góc với phương cấu trúc (Hình 3).

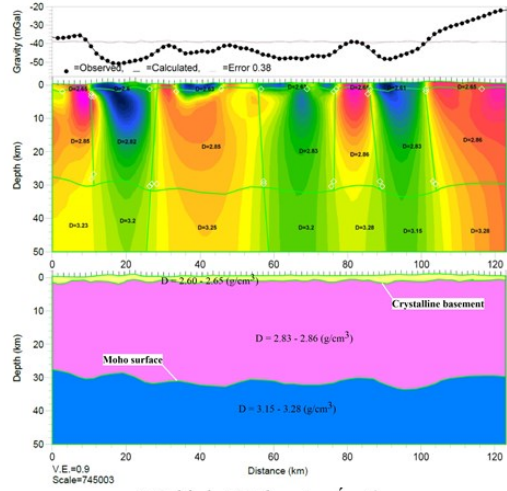
Từ đó xây dựng mô hình 2D ban đầu của 7 tuyến dựa trên: Kết quả giải ngược mật độ, giải chập Euler, giá trị mật độ trong Bảng 1 và dị thường trọng lực Bouguer của các tuyến phân tích. Sau đó tiến hành giải bài toán ngược 2D trên mô đun GMSYS-2D để xác định được độ sâu tới các ranh giới cơ bản, đồng thời qua đó xác định được giá trị mật độ phù hợp cho địa chất khu vực nghiên cứu. Kết quả giải bài toán ngược 2D được thể hiện trong Hình 8, với sai số giữa đường cong dị thường Bouguer của mô hình so với đường cong dị thường Bouguer thực tế là đều  $\leq 5\%$  khoảng biên độ đạo động của dị thường. Theo Blaikie và cộng sự (2014) [29] đã



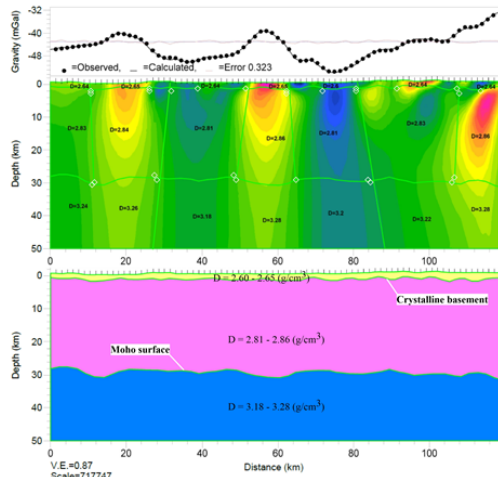
chỉ ra với sai số  $\leq 5\%$  khoảng biên độ dao động dị thường thì kết quả có độ tin cậy cao.



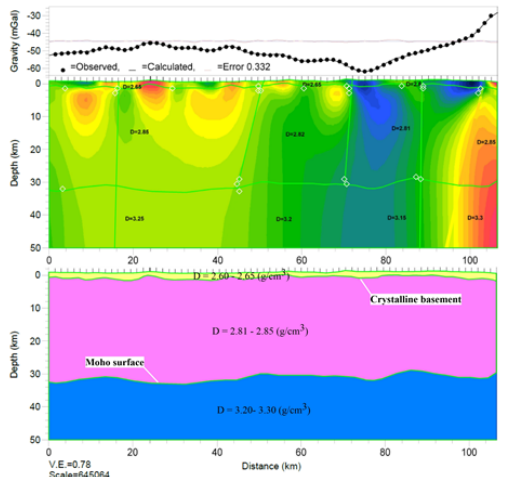
(Mô hình 2D theo tuyến 1)



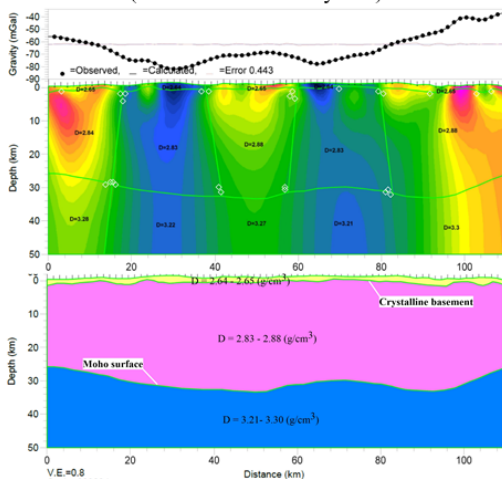
Mô hình 2D theo tuyến 2)



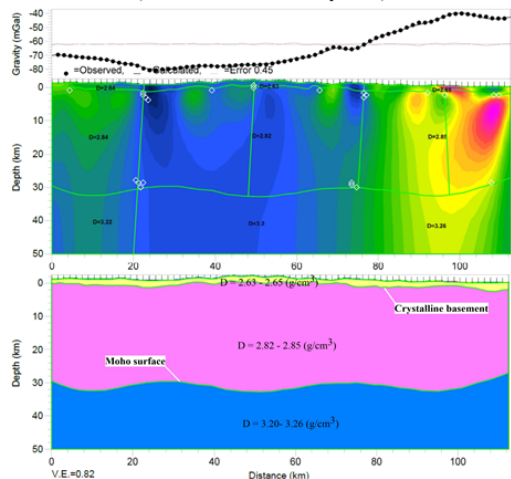
(Mô hình 2D theo tuyến 3)



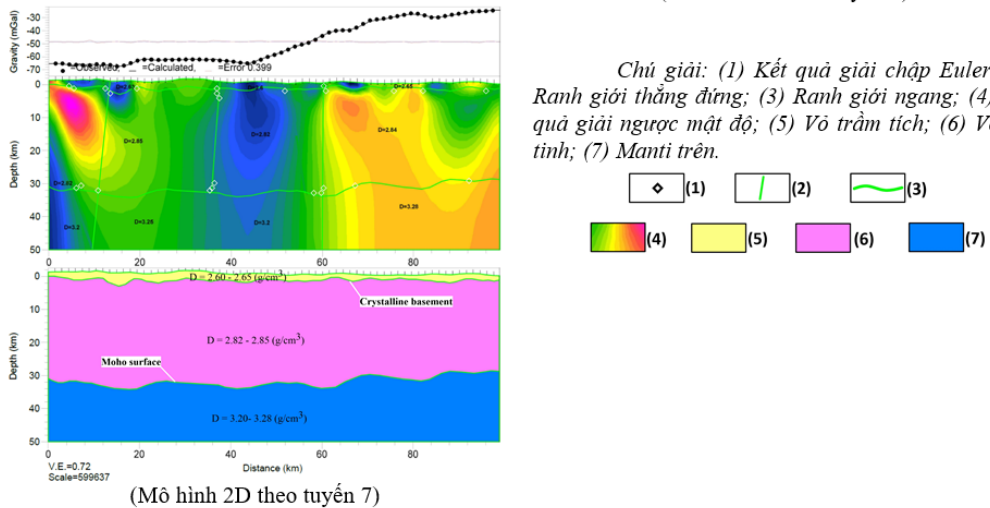
(Mô hình 2D theo tuyến 4)



(Mô hình 2D theo tuyến 5)



(Mô hình 2D theo tuyến 6)



Hình 8. Kết quả giải bài toán ngược mô hình 2D của 7 tuyến phân tích

Kết quả mô hình hóa thuận 2D cho 7 tuyến mặt cắt cho thấy giá trị mật độ phù hợp của lớp vỏ trầm tích nằm trong khoảng 2,60–2,65 g/cm<sup>3</sup>, của lớp vỏ kết tinh trong khoảng 2,81–2,88 g/cm<sup>3</sup>, và của lớp manti trên trong khoảng 3,15–3,30 g/cm<sup>3</sup>. Mặt móng kết tinh có xu hướng nâng lên ở đoạn giữa của các tuyến, với độ sâu trung bình khoảng 1.800m. Trong khi mặt Moho theo các tuyến có xu thế hạ dần từ Đông sang Tây với độ sâu trung bình khoảng 32 km.

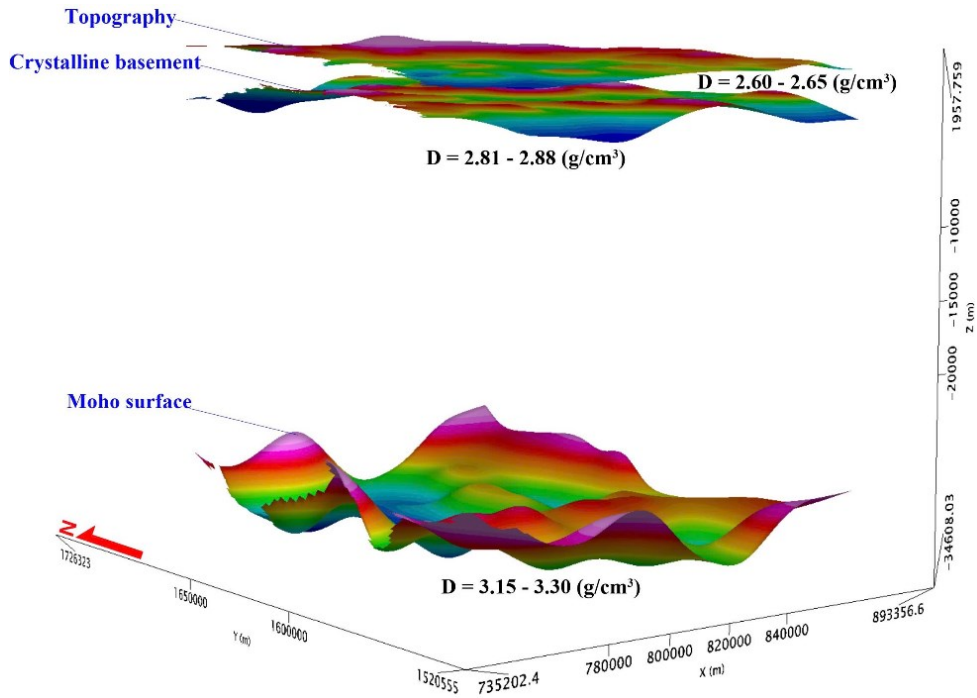
### 3.3. Giải bài toán ngược trọng lực 3D

#### 3.3.1. Lập mô hình 3D ban đầu

Từ kết quả độ sâu các mặt kết tinh, Moho theo tuyến thu được sau khi giải bài toán mô hình 2D. Tiến hành tạo lưới thông qua phép nội suy Kriging, để thu được độ sâu các mặt móng kết tinh, Moho theo diện. Mô hình 3D ban đầu được xây dựng dựa trên các dữ liệu 3 lớp: Độ cao địa hình, độ sâu bề mặt móng kết tinh, độ sâu bề mặt Moho. Dữ liệu giá trị mật độ đất đá được sử dụng kết hợp ở Bảng 1 và từ kết quả giải bài toán mô hình 2D, cụ thể: lớp vỏ trầm tích (2.60-2.65 g/cm<sup>3</sup>); lớp vỏ kết tinh (2.81-2.88 g/cm<sup>3</sup>); Manti trên (3.15-3.30 g/cm<sup>3</sup>). Mô hình 3D ban đầu được thể hiện trong Hình 9.

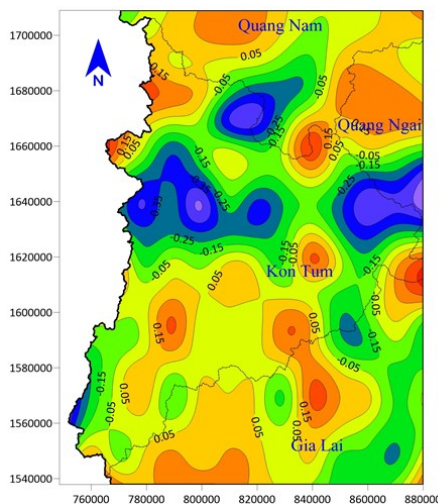
Sau khi đã xây dựng được mô hình 3D ban đầu, tiến hành giải ngược 3D trên môđun GMSYS-3D để chuẩn hóa lại độ sâu tới các bề mặt móng kết tinh, mặt Moho. Quá trình giải ngược được thực hiện tự động, sau 5 vòng lặp với giới hạn hội tụ là 0.1 mGal, quá trình giải ngược sẽ dừng lại và đưa ra kết quả độ sâu của các mặt móng kết tinh, mặt Moho. Cùng với đó, quá trình tính toán giải ngược 3D

sẽ trả về kết quả sai số giữa dị thường trọng lực Bouguer phản hồi từ mô hình và dị thường trọng lực Bouguer thực tế.

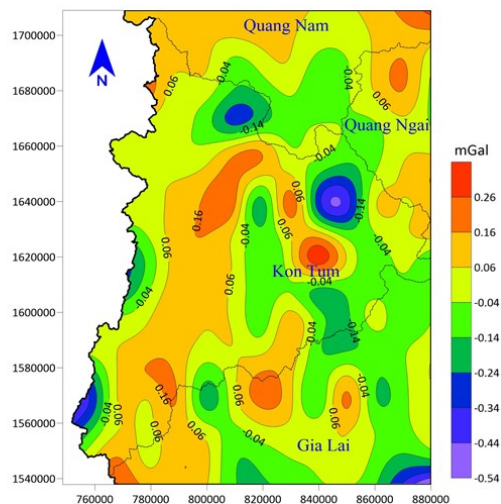


Hình 9. Mô hình 3D ban đầu gồm 3 mặt: Lớp trên cùng là bề mặt địa hình, lớp giữa là bề mặt móng kết tinh, lớp dưới cùng là bề mặt Moho

### 3.3.2. Sai lệch trọng lực giữa dữ liệu quan sát và dữ liệu tính toán



Hình 10. Sai số dị thường trọng lực thực tế với dị thường trọng lực tính toán từ mô hình 2D



Hình 11. Sai số dị thường trọng lực thực tế với dị thường trọng lực tính toán từ mô hình 3D

Hình 10 và Hình 11 thể hiện sai số giữa dị thường trọng lực Bouguer thực tế với dị thường trọng lực phản hồi từ giải bài toán mô hình 2D và mô hình 3D. Từ

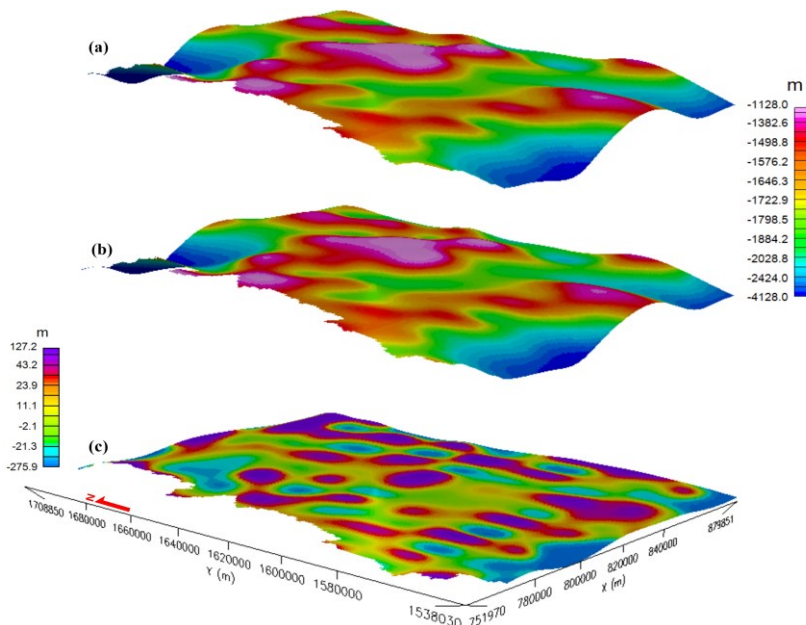
kết quả sai số, chúng ta thấy được với giải bài toán mô hình 2D, thì giá trị sai số dị thường trọng lực nằm trong khoảng từ -0.65 đến 0.45 mGal. Còn với giải bài toán mô hình 3D, giá trị sai số dị thường trọng lực nằm trong khoảng từ -0.26 đến 0.54 mGal. Qua đó, cho thấy được kết quả của bài toán giải ngược 3D có sai số bé với độ tin cậy cao hơn so với kết quả giải bài toán mô hình 2D [30].

### 3.3.3. So sánh kết quả tính toán độ sâu mặt kết tinh và mặt Moho từ giải ngược 2D và 3D

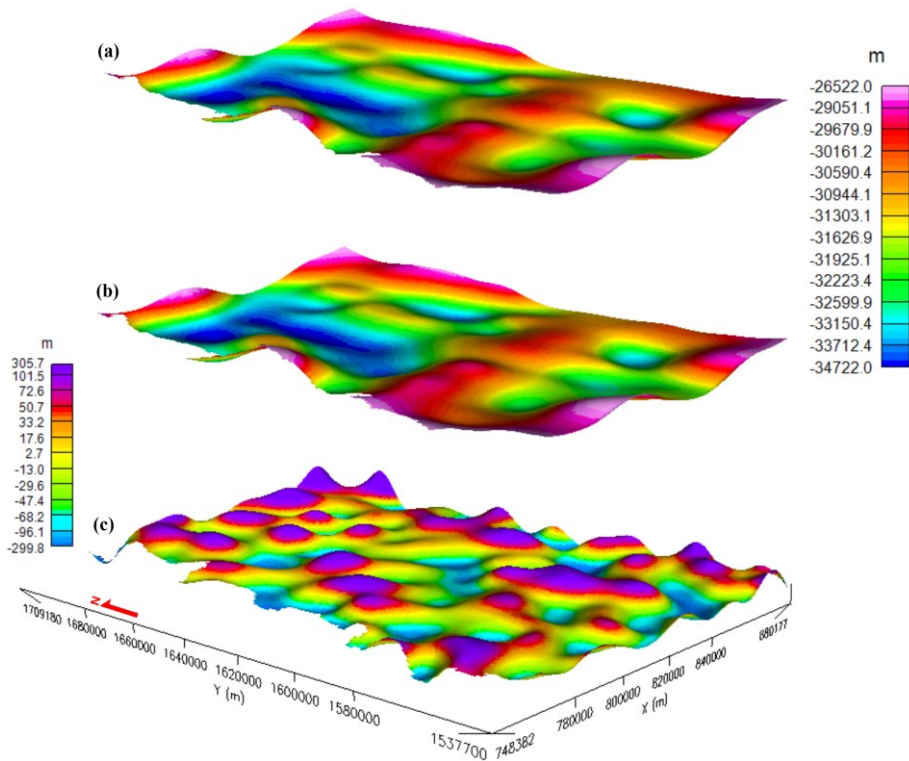
Từ Hình 12 và Hình 13, chúng ta có thể nhận thấy được sự khác biệt độ sâu bề mặt móng kết tinh và mặt Moho giữa kết quả thu được từ giải bài toán mô hình 2D và mô hình 3D.

Theo kết quả bài toán mô hình 2D, độ sâu bề mặt móng kết tinh dao động từ 1.128 m đến 4.128 m, Với bài toán mô hình 3D, độ sâu bề mặt móng kết tinh dao động từ 1.200 m đến vị trí sâu nhất là 3.950 m. Sai số chênh lệch độ sâu mặt móng kết tinh dao động trong khoảng -276 m đến +172 m (Hình 12).

Đối với bề mặt Moho, kết quả bài toán mô hình 2D dao động từ 29,018 m đến 37,766 m. Với bài toán mô hình 3D dao động từ 28,775 m đến 38,013 m. Độ chênh lệch giữa hai kết quả độ sâu là từ -300 m đến +306 m (Hình 13).



Hình 12. So sánh độ sâu bề mặt móng kết tinh. (a) Kết quả tính toán từ giải mô hình 2D; (b) Kết quả tính toán từ giải mô hình 3D; (c) Sai số độ sâu bề mặt móng kết tinh giữa kết quả tính toán từ giải mô hình 2D và 3D.



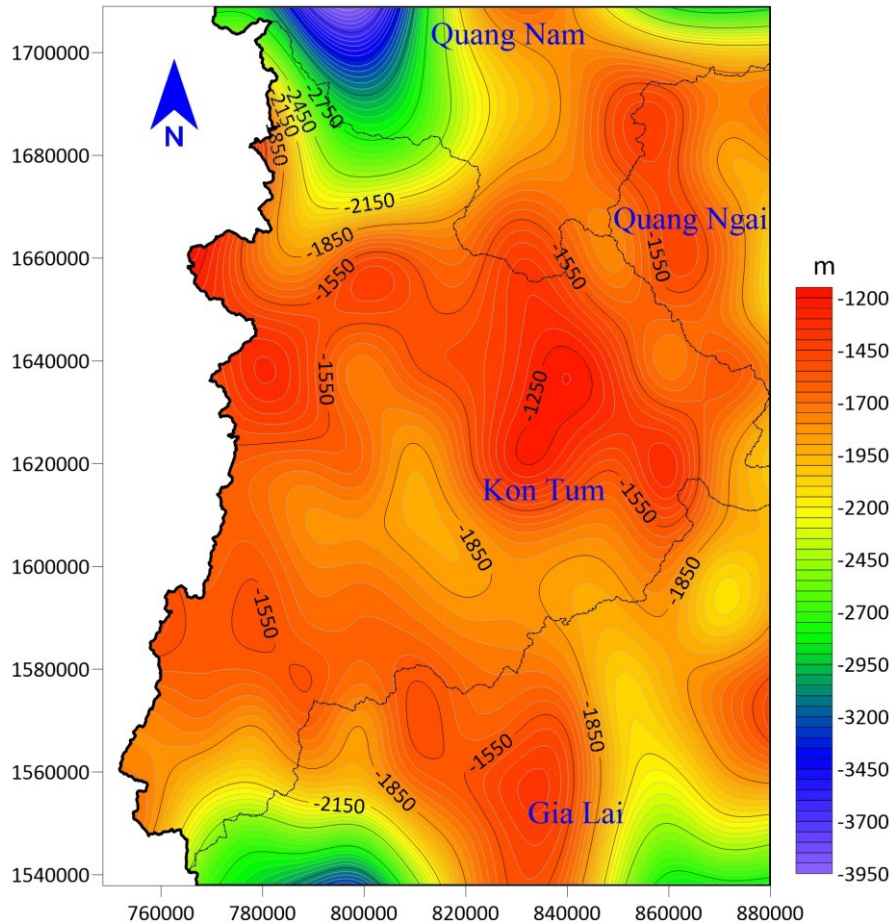
Hình 13. So sánh độ sâu bề mặt Moho. (a) Kết quả tính toán từ giải mô hình 2D; (b) Kết quả tính toán từ giải mô hình 3D; (c) Sai số độ sâu bề mặt Moho giữa kết quả tính toán từ giải mô hình 2D và 3D.

Nhìn chung, hình thái mặt móng kết tinh và mặt Moho thông qua hai bài toán mô hình 2D và 3D, không có sự khác nhau nhiều, với sự chênh lệch độ sâu không quá lớn. Chính nhờ ưu điểm của phương pháp giải ngược 3D, quá trình tính toán và xử lý được tiến hành trên các lưới (diện) dẫn đến giúp loại bỏ được phép tính nội suy, đồng thời chuẩn hóa cân bằng lại độ sâu các vị trí trên lưới. Kết quả trả về được mô hình phù hợp hơn với giá trị dị thường trọng lực thực tế với sai số bé.

### 3.3.4. Bề mặt móng kết tinh

Bề mặt móng kết tinh thường được coi là ranh giới giữa lớp đất đá trầm tích, kém kết cố ở phần trên của lát cắt cấu trúc với lớp granit nằm phía dưới. Ranh giới này thường có sự nhảy bậc về mật độ đất đá và vận tốc truyền sóng. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy bề mặt móng kết tinh trong vùng nghiên cứu có hình thái cấu trúc tương đối phức tạp, với độ sâu có giá trị từ 1.200 m đến 3.950 m, với giá trị lớn nằm về phía Tây bắc khu vực nghiên cứu. Theo Hình 14, các đường đồng mức mặt kết tinh có xu thế theo phương Tây bắc - Đông nam và á kinh tuyến. Tại khu vực phía Đông bắc và Đông nam phát hiện các cấu trúc lõm với độ sâu khoảng 1.5 km. Còn ở khu vực trung tâm vùng nghiên cứu cũng có các cấu trúc lồi, lõm với độ

sâu thay đổi khoảng 1km đến 2 km. Có thể thấy, trong vùng các đứt gãy như Sông Pô Cô, Sông Ba, Ba Tơ - Kon Tum và đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi đều phản ánh bằng dấu hiệu biến dạng trên bề mặt kết tinh, tồn tại gradient ngang có giá trị lớn hoặc các đường đồng mức có sự đổi hướng bất thường.



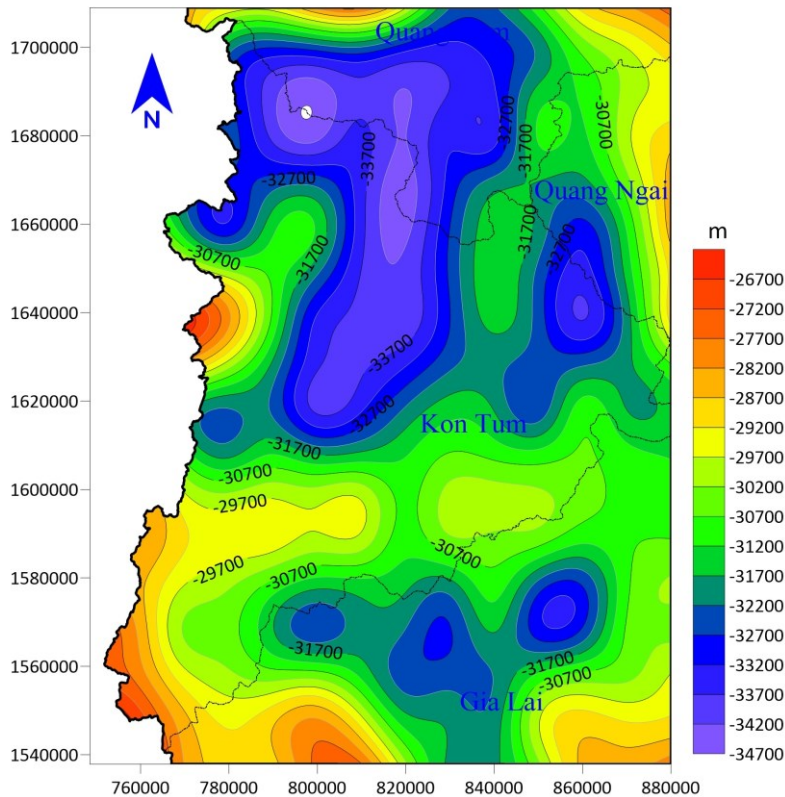
Hình 14. Sơ đồ độ sâu bề mặt móng kết tinh khu vực Kon Tum và lân cận

So sánh kết quả độ sâu mặt móng kết tinh khu vực Kon Tum và lân cận với các công trình nghiên cứu trước như C.Đ.Triều (2005) [8] và Đ.V.Toàn (2014) [31], cho thấy phần lớn kết quả có sự tương đồng, sự chênh lệch không quá lớn. Tuy nhiên, kết quả công trình này có thấy có độ chi tiết cao hơn về các cấu trúc âm, dương được thể hiện qua các đứt gãy lớn.

### 3.3.5. Bề mặt Moho

Bề mặt Moho là ranh giới giữa lớp vỏ Trái đất và phần thượng manti, cũng là ranh giới có mật độ thay đổi khá lớn. Trong nghiên cứu này, mật độ đá của lớp dưới vỏ Trái đất được lựa chọn thay đổi trong khoảng 3,15 đến 3,30 g/cm<sup>3</sup>. Kết quả

phân tích của công trình này trong Hình 15 cho thấy bề mặt Moho có cấu trúc phức tạp, đạt độ sâu lớn nhất đến 35 km tại khu vực phía Tây bắc gần biên giới Việt - Lào và nâng lên 27-28km tại vùng gần phía biển. Nhìn chung, các đường đồng mức của mặt Moho chạy theo phương chủ đạo Tây bắc - Đông nam và kinh tuyến. Tuy vậy, tại khu vực thành phố Kon Tum và Sa Thầy phản ánh là một khối cấu trúc nâng có phương trục chủ đạo hơi nghiêng về phía Đông bắc - Tây Nam có độ sâu khoảng 31 km. Đáng lưu ý là bề mặt Moho biến dạng mạnh dọc theo đới đứt gãy Ba Tư - Kon Tum. Dấu hiệu trên cho thấy, đới đứt gãy này có khả năng xuyên cắt đến hết vỏ. Tại khu vực Sơn Tây- Quảng Ngãi cũng phát hiện được khối cấu tạo lõm chạy dài theo phương Tây bắc - Đông nam với độ sâu mặt Moho đến hơn 32 km. Tại phía Tây nam khu vực nghiên cứu cũng phát hiện một cấu trúc nâng có phương trục theo hướng Tây bắc - Đông nam với độ sâu mặt Moho khoảng 30 km, với ranh giới là đới đứt gãy sông Ba có dấu hiệu xuyên vỏ Trái đất. Ngoài ra, về phía Tây khu vực, cũng phát hiện các cấu trúc nâng, hạ phản ánh qua sự thay đổi độ sâu bề mặt Moho với phương chủ đạo là á kinh tuyến dọc theo đới đứt sông Pô Cô. Dấu hiệu trên cho thấy, đới đứt gãy này có khả năng xuyên cắt đến hết vỏ.



Hình 15. Sơ đồ độ sâu mặt Moho khu vực Kon Tum và lân cận



Kết quả nghiên cứu này thể hiện sự tương đồng về độ sâu mặt Moho với các công trình nghiên cứu Đ.V.Toàn (2015), và Đ.T.Vu (2021). Các giá trị độ sâu lớn đều nằm ở phía Tây bắc, sau đó độ sâu giảm dần về phía Nam khu vực nghiên cứu. Ở vị trí độ sâu mặt Moho lớn nhất của nghiên cứu này là 35.000 m so với độ sâu lớn nhất của công trình nghiên cứu Đ.V.Toàn (2015) [31] là 36 km, và Đ.T.Vu (2021) [32] là 34.000 m, cho thấy được sự chênh lệch giữa hai kết quả khoảng 1.000 m. Độ sâu mặt Moho bé nhất của nghiên cứu này là 27.000 m, còn độ sâu mặt Moho bé nhất của hai công trình [31,32] là 28.000 m, cho thấy được sự chênh lệch khoảng 1,000 m. Ngoài một số sự khác biệt trên, thì kết quả nghiên cứu của công trình thể hiện được chi tiết hơn về độ sâu mặt Moho khu vực nghiên cứu, có thể thấy rõ như các khối cấu trúc lồi lõm đan xen nhau (Hình 15). Sự khác biệt kết quả này, có thể do các công trình trên áp dụng và nghiên cứu trên một khu vực diện tích rộng lớn, cùng với sự hạn chế của dữ liệu và phương pháp phân tích, dẫn đến sự phản ánh chi tiết kết quả nghiên cứu cho một vùng nhỏ bị giảm đi đáng kể.

#### **4. Kết luận**

Nghiên cứu này đã áp dụng quy trình xử lý và phân tích tài liệu trọng lực từ 2D cho đến 3D một cách chặt chẽ và logic. Sử dụng kết quả kết hợp các phương pháp như giải ngược mật độ, giải chập Euler, nhằm xây dựng được mô hình 2D ban đầu với độ chính xác cao. Mô hình giải bài toán ngược 2D làm đầu vào cho việc xây dựng mô hình 3D ban đầu có chứa các thông số mật độ, độ sâu khi mà không có tài liệu tựa như địa chấn, từ Tellua. Kết quả cho thấy, giải ngược bài toán mô hình 3D thể hiện được độ tin cậy cao, với sai số bé. Đồng thời cho thấy được ưu điểm thời gian, tốc độ xử lý nhanh, độ chính xác cao của phương pháp giải ngược 3D so với phương pháp giải ngược 2D.

Bằng cách áp dụng các phương pháp xử lý, phân tích như: Nâng trường, gradient ngang cực đại, biên độ tín hiệu giải tích, đã giúp xác định được hệ thống đứt gãy khu vực Kom Tum và lân cận. Kết quả đã làm sáng tỏ hệ thống đứt gãy khu vực nghiên cứu, với phương phát triển là Tây Bắc – Đông Nam, á kinh tuyến và Đông bắc - Tây nam. Các đứt gãy Sông Pô Cô, Bao Tơ - Kon Tum, Sông Ba và



Hung Nhượng - Tà Vi là các đứt gãy lớn, có độ sâu xuyên vỏ, các đứt gãy còn lại có quy mô và cấp độ bé hơn.

Độ sâu mặt móng kết tinh khu vực Kon Tum và lân cận thay đổi từ 1.000 m đến 3.500 m. Với độ sâu lớn nhất khoảng 3.5 km của mặt móng nằm ở rìa phía Tây khu vực nghiên cứu. Mặt Moho có độ sâu đến 35 km tại khu vực phía Tây bắc gần biên giới Việt - Lào và nâng lên 27-28km về phía Đông (ra phía biển). Vùng trung tâm khu vực nghiên cứu, mặt Moho thay đổi từ 30 đến 32 km.

### Lời cảm ơn

Công trình được hoàn thành nhờ sự hỗ trợ của nhiệm vụ cao cấp mã số NVCC12.02/25 – 25; Đề tài mã số: ĐTDL.CN-04/24; Đề tài mã số: DATT.00.06/25-27

### 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] Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Phạm Nam Hưng, Nguyễn Hữu Tuyên, Thái Anh Tuấn, 2004. Các đới cấu trúc vỏ Trái đất vùng Tây Bắc Việt Nam theo tài liệu trọng lực. *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*, tập 26, số 3, Hà Nội, 244-257.
- [2] Đinh Văn Toàn, Steven, Trịnh Việt Bắc, Lại Hợp Phòng, Đoàn Văn Tuyên, Trần Anh Vũ, Nguyễn Thị Hồng Quang, 2010. Cấu trúc sâu vỏ Trái đất Miền Bắc Việt Nam trên cơ sở sử dụng kết hợp tài liệu địa chấn dò sâu và trọng lực. *Tuyển tập 35 năm Viện KH&CNVN 1975-2010 NXB. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, Quyển khoa học Trái đất, 167-171.
- [3] Lại Hợp Phòng, Trịnh Việt Bắc, Trần Anh Vũ, 2009. Một số kết quả xây dựng mô hình mật độ vỏ Trái đất miền Bắc Việt Nam bằng bài toán 2,5 chiều trọng lực, kết hợp sử dụng tài liệu địa chấn dò sâu. *Tạp Chí Các Khoa học về Trái đất*, T.32 (4), 390-396.
- [4] Nguyễn Như Trung, 2014. Xác định độ sâu móng trầm tích khu vực bể Bắc Bộ theo phân tích ngược trực tiếp 3D số liệu trọng lực vệ tinh. *Tạp chí các Khoa học về Trái đất*, 315-320.
- [5] Trần Tuấn Dũng, Trần Văn Khá, Nguyễn Thị Hải Hà, 2012. Sử dụng tài liệu mới về địa chấn, độ sâu đáy biển và trọng lực xây dựng mô hình cấu trúc vỏ trái đất khu vực Biển Đông và lân cận. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*. ISSN: 1859-3097, Vol 4a, trang 32-39.
- [6] Bùi Công Quế, Nguyễn Kim Lạp, 1992. Cấu trúc sâu vỏ Trái đất và tính địa chấn lãnh thổ Việt Nam. *Xuất bản Viện Khoa học Việt Nam*, 148 trang.



- [7] Cao Đình Triều, 1998. Phân vùng cấu trúc lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở trường trọng lực và từ. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, T. 20(4), Hà Nội, tr. 304 - 313.
- [8] Cao Đình Triều, 2005. Trường Địa vật lý và cấu trúc thạch quyển lãnh thổ Việt Nam. *Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật*, Hà Nội, 330 trang.
- [9] Lại Mạnh Giàu (chủ biên) và nnk, 2011. Báo cáo Đề tài "Biên tập, hoàn chỉnh đề xuất bản đồ trường trọng lực Việt Nam tỷ lệ 1: 500.000 (phần đất liền). *Lưu trữ Địa chất*. Hà Nội.
- [10] Nguyễn Khải và nnk, 1987. Báo cáo kết quả nghiên cứu tính chất vật lý của đá và quặng trên lãnh thổ Việt Nam. *Lưu trữ tại Thư Viện Cục Địa chất Việt Nam*.
- [11] Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam, tỷ lệ 1: 500.000. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam xuất bản năm 2004. *Lưu trữ địa chất*.
- [12] Blakely R.J., Simpson R.W., 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51, 1494-1498.
- [13] Tran Van Kha, Hoang Van Vuong, Do Duc Thanh, Duong Quoc Hung, Le Duc Anh, 2018. Improving a maximum horizontal gradient algorithm to determine geological body boundaries and fault systems based on gravity data. *Journal of Applied Geophysics*, 152, 161-166.
- [14] MacLeod, I.N., K. Jones and T.F. Dai, 1993. 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. *Exploration Geophysics*, 24(4), 679-688.
- [15] Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3), 507-517.
- [16] Jeng, Y., Y.L. Lee, C.Y. Chen and M.J. Lin, 2003. Integrated signal enhancements in magnetic investigation in archaeology. *Journal of Applied Geophysics*, 53, 31-48.
- [17] Thomson, D. T., 1982. Eulph: A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47(1), 31-37.
- [18] Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J. and Somerton, I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics* 55, 180-191.  
Roest, W.R., J. Verhoef and M. Pilkington, 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal: *Geophysics*, 57(1), 116-125.
- [19] Durrheim, R.J., Cooper, G.R., 1998. Euldep: A Program for the Euler deconvolution of magnetic and gravity data. *Computers & Geosciences*, Vol. 24, No. 6, pp. 545-550.
- [20] Guillen, A., Menichetti, V., 1984. Gravity and Magnetic Inversion with Minimization of a Specific Functional. *Geophysics*, 49(8), pp. 1354-1360.
- [21] Mendonca, C.A., Silva, J.B., 1994. The Equyvalent Data Concept Applied to the Interpolation of Potential Field Data. *Geophysics*, 59(5), pp. 722-732.



- [22] Hendra, G., Darharta, D., 2014. Constrained Two-Dimensional Inversion of Gravity Data. *ITB Journal Publisher*, ISSN: 2337-5760, J. Math. Fund. Sci., Vol. 46, No. 1, 2014, 1-13.
- [23] Spector, A., Granti, F.S., 1970. Statistic model for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, Vol. 35, No.2, p. 293-302.
- [24] Talwani, M., Worzel, J.L., Landisman, M., 1959. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *Journal of Geophysical Research*, 64, 49-59.
- [25] Parker, L., 1973. The rapid calculation of potential field anomalies. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, (31), pp. 447-455.
- [26] Oldenburg, D.W., 1974. The inversion and interpretation of gravity anomalies. *Geophysics*, (39), pp. 526-536.
- [27] Cao Đình Triều, Phạm Huy Long, 2002. Kiến tạo đứt gãy lãnh thổ Việt Nam. *Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội*, 200 trang.
- [28] Phạm Văn Hùng, Nguyễn Xuân Huyền, 2013. Nghiên cứu đánh giá hiện trạng và cảnh báo nguy cơ tai biến nứt sụt đất khu vực Tây Nguyên. *Tap chí Các Khoa học về Trái đất*. 35(3), 219-229.
- [29] Blaikie T.N., Ailleres L., Betts P.G. and Cas R.A.F.; 2014: Interpreting subsurface volcanic structures using geologically constrained 3-D gravity inversions: Examples of maar-diatremes, Newer Volcanics Province, southeastern Australia. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2013JB010751.
- [30] Skalbeck John, D., Koski Adrian, J. & Peterson Matthew, T., 2014. Estimation of Precambrian basement topography in Central and Southeastern Wisconsin from 3D modeling of gravity and aeromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 106, 187–195.
- [31] Đinh Văn Toàn, Lại Hợp Phòng, Trần Anh Vũ, Nguyễn Thị Hồng Quang, 2014. Mô hình hóa 2,5 D tài liệu trọng lực nghiên cứu cấu trúc vỏ Trái đất khu vực Sông Tranh và lân cận. *Tap chí Các Khoa học về Trái đất*. 37 (2), 127-138.
- [32] Dinh Toan Vu, Sylvain Bonvalot, Sean Bruinsma and Luyen K. Bui. A local lithospheric structure model for Vietnam derived from a high-resolution gravimetric geoid. *Earth, Planets and Space* (2021) 73-92.

