

VISUALIZATION OF CARBON STORAGE INDEX ON A DIGITAL MAP BASED ON CLIMATE AND SOIL DATA IN HUE CITY

TRỰC QUAN HOÁ DỮ LIỆU CHỈ SỐ LƯU TRỮ CARBON TRÊN BẢN ĐỒ SỐ DỮ VÀO SỐ LIỆU KHÍ HẬU VÀ ĐẤT TẠI THÀNH PHỐ HUẾ

Đặng Văn Thắng, Lê Nguyên Minh, Trần Thị Phương Thanh, Trần Văn Tuấn Phong, Trần Cao Thực Uyên, Hoàng Ngọc Minh, Phạm Thị Lê Na, Nguyễn Thị Hà Phương

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Đại học Huế

ABSTRACT: *Currently, in the context of rapid urbanization in Hue City, managing and reducing carbon emissions has become an urgent requirement to move toward sustainable development and the establishment of a Net-Zero Carbon City (NZCC). Urban vegetation, with its diverse ecosystems, functions as a natural “carbon bank,” yet effective tools to assess and visualize its carbon storage capacity are still lacking. This study aims to develop an interactive digital map to visualize the carbon stock of vegetation in Hue. Based on a database compiled from biodiversity and soil indicators, this map will serve as a decision-support tool, enabling urban managers and planners to formulate effective strategies for protecting green spaces, enhancing carbon sequestration, and promoting sustainable city development.*

Keyword: Carbon stock, digital map, daycent model.

Tóm tắt: Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng tại thành phố Huế, việc quản lý và giảm thiểu phát thải carbon đã trở thành một yêu cầu cấp thiết để hướng tới mục tiêu phát triển bền vững và xây dựng Thành phố Carbon bằng không (Net-Zero Carbon City - NZCC). Thảm thực vật đô thị với hệ sinh thái đa dạng, đóng vai trò như một "ngân hàng" carbon tự nhiên, nhưng hiện tại vẫn còn thiếu các công cụ hiệu quả để đánh giá và trực quan hóa khả năng lưu trữ carbon của chúng. Nghiên cứu này sẽ xây dựng một bản đồ số tương tác để trực quan hóa trữ lượng carbon của thảm thực vật tại Huế. Dựa trên cơ sở dữ liệu được tổng hợp từ các chỉ số về đa dạng sinh học và đất, bản đồ này sẽ là một công cụ hỗ trợ ra quyết định, giúp các nhà quản lý và quy hoạch đô thị xây dựng các chiến lược hiệu quả để bảo vệ không gian xanh, tăng cường hấp thụ carbon và phát triển thành phố bền vững.

Từ khóa: Trữ lượng Carbon, bản đồ số, mô hình daycent.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa toàn cầu đã làm gia tăng đáng kể lượng khí thải nhà kính, đặt ra thách thức lớn đối với mục tiêu bền vững và ứng phó với biến đổi khí hậu. Trong bối cảnh đó, các hệ sinh thái tự nhiên, đặc biệt là thảm thực vật trong các khu đô thị, được công nhận rộng rãi về vai trò quan trọng trong việc hấp thụ và lưu trữ carbon, góp phần giảm nồng độ CO₂

trong khí quyển.

Trên thế giới hiện nay, các nghiên cứu về lưu trữ carbon đã phát triển từ quy mô giám sát toàn cầu bằng công nghệ viễn thám, tiêu biểu qua các dự án như của REDD+ hay NASA, sang hướng chuyên sâu hơn vào từng hệ sinh thái cụ thể. Các công trình khoa học đã tập trung làm rõ khả năng lưu trữ carbon trong đất [1], vai trò của cây xanh đô thị [2] hay ảnh hưởng của các yếu tố địa hình

như độ cao đến sinh khối rừng [3]. Sự tiến bộ của hệ thống thông tin địa lý (GIS) và các công nghệ mô hình hóa đã trở thành công cụ không thể thiếu, giúp các phân tích ngày càng chính xác và đa chiều.

Cùng bắt nhịp với xu hướng đó, các nghiên cứu tại Việt Nam cũng đã ứng dụng thành công các công nghệ tiên tiến để đánh giá trữ lượng carbon trong bối cảnh địa phương. Các công trình đáng chú ý đã lượng hóa được sự phát thải carbon do thay đổi sử dụng đất [5] hay kết hợp dữ liệu radar vệ tinh với GIS để lập bản đồ sinh khối rừng [6]. Tuy nhiên, dù đạt được những tiến bộ trong việc ước tính, một khoảng trống quan trọng vẫn còn tồn tại đó là việc thiếu các công cụ trực quan hóa dữ liệu hiệu quả để hỗ trợ công tác quy hoạch và quản lý tại các đô thị đặc thù như thành phố Huế. Chính vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phát triển phương pháp biến các dữ liệu carbon phức tạp thành bản đồ số trực quan, cung cấp một góc nhìn tổng thể và hỗ trợ thiết thực cho các nhà quản lý tại địa phương.

2. CÁC MÔ HÌNH TÍNH TRỮ LƯỢNG CARBON VÀ MÔ HÌNH NỘI SUY KRIGING

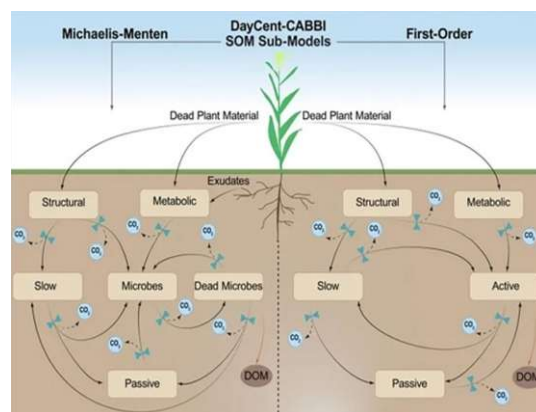
Trong nghiên cứu này, chúng tôi nghiên cứu ba mô hình DayCent, RothC và DNDC trên cùng một nền lý thuyết và bộ dữ liệu để làm cơ sở tính toán trữ lượng Carbon và cuối cùng chọn mô hình phù hợp để xây dựng.

2.1. Mô hình DayCent

Mô hình DayCent cùng với tiền thân của nó là Century, được phát triển bởi Đại học bang Colorado (CSU) trong hơn 40 năm và đã được công nhận rộng rãi trong cộng đồng khoa học. Mức độ tin cậy của nó được minh chứng qua việc sử dụng nhất quán trong các tài liệu khoa học được bình

duyet, thường xuyên vượt qua các mô hình khác như DNDC và RothC.

DayCent coi carbon đất gồm nhiều ngăn phân hủy nhanh, chậm và bền, mỗi ngày tính lượng carbon mất dựa trên nhiệt độ và ẩm đất, cộng với carbon nhập từ hữu cơ. Từ đó cập nhật SOC theo từng tầng đất cho mỗi ô lưới. Đầu vào của mô hình gồm thời tiết ngày với nhiệt độ cực đại, nhiệt độ cực tiểu và lượng mưa hay đất theo lớp với thành phần cát limon sét, khối lượng riêng đất, độ sâu lớp, SOC ban đầu và nếu có thì thêm pH.



Hình 1. Sơ đồ mô tả quy trình chạy mô hình Day Cent

Quá trình mô phỏng SOC bằng DayCent, gồm các bước:

- Nhập dữ liệu đầu vào
 - Khí hậu hằng ngày;
 - Thuộc tính đất;
 - Quản lý canh tác.
- Spin-up: Chạy mô hình dài hạn để đưa SOC về trạng thái cân bằng ban đầu.
 - Hiệu chuẩn (Calibration): Điều chỉnh tham số để khớp với SOC thực đo.
- Chạy mô phỏng các kịch bản
 - Kịch bản hiện trạng;
 - Kịch bản thay đổi quản lý (no-till, cover crop...).

- Xuất kết quả
 - SOC tổng;
 - SOC tích lũy ròng;
 - Phát thải CO₂ từ đất;
 - Các pool carbon.
- Phân tích độ nhạy & bất định (nếu có).

2.2. Mô hình RothC (Rothamsted Carbon Model)

RothC được phát triển tại Rothamsted Research từ cuối thập niên 1980, phổ biến trong thập niên 1990 (biến thể RothC-26.3), trở thành mô hình chuẩn mực để theo dõi carbon hữu cơ đất (SOC) theo tháng. Mức độ tin cậy của RothC thể hiện qua mật độ trích dẫn cao và mức sử dụng rộng rãi trong các công bố bình duyệt cũng như các tổng kiểm kê SOC quốc tế.

Mô hình cũng chia thành các ngăn có tốc độ phân hủy khác nhau và mỗi tháng cập nhật tăng giảm dựa trên nhiệt độ, lượng mưa và tỷ lệ sét, đồng thời cộng phần carbon đưa vào đất từ rơm rạ hoặc phân chuồng. Đầu vào của mô hình cơ bản cũng gồm khí hậu theo tháng, tỷ lệ sét, SOC ban đầu và lượng carbon nhập theo tháng. RothC chạy rất nhanh và nhẹ, phù hợp làm đường chuẩn hoặc quét rộng SOC dài hạn.

2.3. Mô hình DNDC (DeNitrification-DeComposition)

DNDC được khởi xướng đầu thập niên 1990 do nhóm của Changsheng Li và cộng sự, được phát triển liên tục như một mô hình giàu cơ chế cho chu trình nitơ và khí vết ở theo hàng giờ. DNDC đã được cộng đồng khoa học thừa nhận thông qua nhiều nghiên cứu và các ứng dụng đánh giá phát thải N trong nông nghiệp.

DNDC mô phỏng phân hủy và chuyển hóa carbon trong đất theo từng bước mô phỏng, sử dụng nhiệt độ đất, độ ẩm và tính

chất đất để cập nhật trữ lượng SOC theo từng tầng và cho từng ô lưới. Đầu vào của mô hình gồm thời tiết theo ngày, thuộc tính đất gồm kết cấu, khối lượng riêng đất, SOC ban đầu, pH, che phủ hoặc cây trồng và lượng carbon đưa vào đất ở mức cơ bản.

Bảng 1. So sánh 3 mô hình DayCent, RothC và DNDC

Tiêu chí	DayCent	RothC	DNDC
Mục đích chính	Mô phỏng động học C và N trong đất; ước tính phát thải khí nhà kính (CO ₂ , N ₂ O, CH ₄)	Mô phỏng chu trình Carbon trong đất đối với đất nông nghiệp và rừng	Mô phỏng chi tiết C-N trong đất, đặc biệt phát thải N ₂ O, NO, N ₂ và CH ₄
Mức độ phức tạp	Cao	Trung bình	Rất cao
Dữ liệu đầu vào yêu cầu	Khí hậu, đất, che phủ, quản lý canh tác	Khí hậu, đất, chất hữu cơ, quản lý	Khí hậu, đất, thủy văn, quản lý, hóa học đất
Đầu ra chính	SOC, GHG (CO ₂ , N ₂ O, CH ₄), sinh khối	SOC, tốc độ phân rã carbon	Phát thải GHG, chu trình C-N chi tiết
Ưu điểm	Toàn diện; mô phỏng C-N tốt; mạnh về GHG	Ít tham số; dễ sử dụng; phù hợp SOC dài hạn	Mô phỏng GHG chi tiết nhất; xét đến thủy văn
Hạn chế	Khó hiệu chỉnh; cần dữ liệu lớn	Không mô phỏng N ₂ O/CH ₄ ; ít mô tả chi tiết	Quá nhiều tham số; cần dữ liệu cao
Độ tin cậy	Rất cao (EPA, IPCC)	Cao	Rất cao (NASA, IPCC)
Phù hợp Việt Nam	Tốt	Tốt (dữ liệu hạn chế)	Tốt nhưng khó triển khai

Dựa trên kết quả so sánh trong Bảng 1 và tổng hợp các nghiên cứu khoa học trong nước và quốc tế, mô hình DayCent được lựa chọn là công cụ tính toán trình lượng carbon phù hợp để xây dựng bản đồ số cho tỉnh Thừa Thiên Huế. Độ tin cậy của mô hình DayCent đã được khẳng định qua nhiều nghiên cứu peer-reviewed, đồng thời mô hình này đã được áp dụng phổ biến trong các nghiên cứu chuyên sâu về lưu trữ carbon tại Việt Nam cũng như trên thế giới.

DayCent cân bằng tốt giữa độ chi tiết của tính toán và hiệu suất mô phỏng theo bước thời gian hàng ngày, thích hợp với đặc tính khí hậu nhiệt đới gió mùa và sự biến động phức tạp của hệ sinh thái đa dạng tại Thừa Thiên Huế. Dữ liệu đầu vào của mô hình với khí hậu hàng ngày, đặc tính đa dạng của đất đai (bao gồm đất cát axit và đất ngập nước), cũng như hoạt động quản lý nông lâm thực hiện trên địa bàn rất phù hợp với bộ dữ liệu thực nghiệm thu thập được tại Huế.

Đặc biệt, khả năng mô phỏng các khí vết như nitơ oxit (N₂O, NO_x) và methan (CH₄) thông qua quá trình nitrat hóa, khử nitrat và methanogenesis giúp mô hình đánh giá toàn diện ảnh hưởng của hệ sinh thái và các hoạt động canh tác đến phát thải khí nhà kính. Điều này giúp DayCent trở thành công cụ lý tưởng để hỗ trợ các chiến lược phát triển bền vững và quản lý biến đổi khí hậu tại khu vực có đa dạng sinh thái như Thừa Thiên Huế.

2.4. Mô hình Kriging

Kriging là một mô hình nội suy thuộc địa thống kê (Geostatistics), dùng để dự đoán giá trị của một biến tại vị trí

chưa biết dựa trên mối quan hệ không gian giữa các điểm đã đo đạc. Đây là một trong những phương pháp nội suy mạnh nhất và chính xác nhất khi dữ liệu có tính tương quan không gian.

Kriging dựa trên giả định các điểm gần nhau có xu hướng giống nhau hơn các điểm xa nhau. Mối quan hệ đó được mô tả bằng hàm variogram (hàm bán phương sai không gian). Dự đoán giá trị tại vị trí mới theo công thức 1:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

Trong đó:

$Z(x_i)$ là giá trị đo tại điểm thứ i , λ_i là trọng số (tính theo variogram, không như IDW), $Z^*(x_0)$ là giá trị dự đoán. Trọng số được lựa chọn để đảm bảo ước lượng tuyến tính tối ưu, không chệch và có phương sai dự đoán nhỏ nhất.

Variogram là thành phần cốt lõi của Kriging, được mô tả mức độ khác biệt của giá trị theo khoảng cách (công thức 2):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j)} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad (2)$$

Từ variogram thực nghiệm, ta hiệu chỉnh thành các mô hình tương ứng: Spherical, Exponential, Gaussian, Linear. Variogram cho biết bán kính tương quan, phương sai, nhiều hoặc sai số đo.

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng mô hình nội suy Kriging để chuyển đổi các giá trị carbon được mô phỏng tại các điểm mô phỏng trên toàn bộ khu vực nghiên cứu để tạo bản đồ tỉnh.

3. QUY TRÌNH THU THẬP DỮ LIỆU ĐẤT, THỜI TIẾT VÀ THÔNG TIN THỰC VẬT:

3.1. Quy trình thu thập dữ liệu đất

Khi thiết lập dữ liệu đầu vào cho mô hình DayCentAI, cần cung cấp thông tin về kết cấu đất dưới dạng tỷ lệ phần trăm của các thành phần cát (sand) và sét (clay), được biểu diễn dưới dạng phân số trong khoảng từ 0.0 đến 1.0 cho từng lớp đất trong tệp đầu vào. Mô hình sẽ tự động tính toán tỷ lệ bụi (silt) dựa trên công thức 3:

$$\text{silt} = 1.0 - (\text{sand} + \text{clay}) \quad \text{t}\{\text{silt}\} = 1.0 - (\text{t}\{\text{sand}\} + \text{t}\{\text{clay}\}) \quad \text{silt} = 1.0 - (\text{sand} + \text{clay}) \quad (3)$$

Không nên sử dụng các khoảng phần trăm rộng theo phân loại kết cấu đất của USDA; thay vào đó, cần lựa chọn một giá trị đại diện cụ thể cho từng lớp đất. Ví dụ, đối với lớp đất có thành phần chủ yếu là cát (Sand), có thể nhập giá trị 0.92 cho cát và 0.03 cho sét; mô hình sẽ tự động tính bụi là 0.05. Tương tự, với lớp đất sét (Clay), giá trị nhập có thể là 0.22 cho cát và 0.56 cho sét, dẫn đến giá trị bụi được tính là 0.22.

Việc xác định chính xác thành phần kết cấu đất là rất quan trọng, vì các thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình mô phỏng dòng chảy nước, nhiệt độ đất, cũng như tốc độ phân hủy vật chất hữu cơ trong mô hình.

Thông tin đất được trích xuất từ cơ sở dữ liệu SoilGrids bằng cách sử dụng tọa độ địa lý (vĩ độ, kinh độ) của điểm nghiên cứu. SoilGrids cung cấp các lớp dữ liệu không

gian toàn cầu với độ phân giải cao, bao gồm các thuộc tính đất như hàm lượng cát, sét, pH, chất hữu cơ... ở các độ sâu khác nhau. Dữ liệu được lấy thông qua API hoặc tải trực tiếp từ trang web SoilGrids được tích hợp bên trong hệ thống DaycentAI. Kết quả trả về sẽ là dữ liệu dạng object cho từng điểm tọa độ địa lý.

3.2. Quy trình thu thập dữ liệu thời tiết

Mô hình DayCentAI yêu cầu dữ liệu khí tượng hàng ngày được tổ chức trong một tệp thời tiết định dạng .wth. Trong file dữ liệu thời tiết, các trường dữ liệu bắt buộc và phải được sắp xếp theo thứ tự sau:

- 1) Ngày (1-31).
- 2) Tháng (1-12).
- 3) Năm (4 chữ số).
- 4) Ngày trong năm (1-366; đối với năm nhuận cần có đủ 366 ngày).
- 5) Nhiệt độ không khí tối đa (°C).
- 6) Nhiệt độ không khí tối thiểu (°C).
- 7) Lượng mưa (cm).

Nếu một giá trị hàng ngày cho nhiệt độ tối đa, tối thiểu hoặc lượng mưa bị thiếu, giá trị đó cần được đặt là -99.99 trong tệp. Trong trường hợp nhiệt độ bị thiếu, mô hình sẽ sử dụng giá trị trung bình tháng từ tệp <site>.100. Nếu lượng mưa bị thiếu, giá trị cho ngày đó sẽ được gán là 0.0. Lưu ý rằng các giá trị thiếu không được chấp nhận đối với các cột tùy chọn bổ sung (nếu có).

Dữ liệu thời tiết cần thiết có thể được trích xuất từ hệ thống NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources), sử dụng nguồn dữ liệu tái phân tích MERRA-2. Hệ thống này cung cấp các

biến khí hậu hàng ngày với độ phân giải không gian phù hợp cho mô hình sinh thái như DayCentEVI, bao gồm nhiệt độ cực trị và lượng mưa.

Dữ liệu được truy cập thông qua:

- Giao diện web của NASA POWER Data Access Viewer.

- API RESTful cho tự động hóa quá trình thu thập.

- Các thư viện hỗ trợ trong R (như nasapower) hoặc Python (như power-api-wrapper hoặc truy vấn HTTP trực tiếp).

Sau khi tải về, dữ liệu cần được chuyển đổi sang đơn vị phù hợp với mô hình:

- Lượng mưa từ mm sang cm.
- Định dạng thời gian cần được xử lý để khớp với yêu cầu cột: ngày, tháng, năm, ngày trong năm.

Việc sử dụng NASA POWER cho phép thu thập dữ liệu khí tượng nhất quán, đáng tin cậy và đặc biệt hữu ích cho các khu vực không có trạm khí tượng mặt đất.

3.3. Quy trình thu thập dữ liệu canh tác

Dữ liệu canh tác đầu vào cho mô hình DayCent gồm có thu thập dữ liệu từ 3 khu vực chính như sau:

Rừng tự nhiên: Thu thập dữ liệu về thành phần cây (lá, rễ mịn, cành nhỏ, gỗ lớn, rễ thô) với các tỷ lệ C/dinh dưỡng và phân bổ C cho từng bộ phận. Quản lý rừng qua các sự kiện như chọn loại cây, lịch phát triển, thu hoạch quả, loại bỏ cây và cháy rừng. Dữ liệu thực địa gồm loài cây, mật độ chồi, độ phủ, sinh khối khô, hàm lượng carbon hữu cơ và tổng trữ lượng carbon.

Đất nông nghiệp: Thu thập thông tin về các loại cây trồng hoặc đồng cỏ với các tham số như tỷ lệ C/dinh dưỡng, tốc độ tăng trưởng, chu kỳ sống phenology, sản lượng tiềm năng, giới hạn dinh dưỡng và cố định đạm cộng sinh. Quản lý cây trồng qua các sự kiện gieo trồng, phát triển, thu hoạch, làm đất, bón phân, thêm vật chất hữu cơ và chăn thả.

Khu vực thành thị: Mô hình không mô phỏng trực tiếp thực vật thành thị mà tập trung đánh giá tác động phát triển đô thị lên thực vật tự nhiên và nông nghiệp. Dữ liệu đô thị chủ yếu được lấy từ phân tích không gian đất với loại hình bề mặt nhân tạo, đồng thời loại trừ hoặc hiệu chỉnh tham số thực vật để phản ánh suy thoái hệ thực vật do đô thị hóa.

3.4. Mô phỏng tính toán trữ lượng Carbon

Mô hình DayCentAI được áp dụng để mô phỏng các chỉ số trữ lượng carbon chi tiết theo từng điểm và từng tầng đất. Tuy nhiên, để mở rộng đánh giá trên quy mô tỉnh, các điểm mô phỏng rời rạc cần được tổng hợp và không gian hoá.

Phương pháp ước lượng trữ lượng carbon hữu cơ trong đất (OCS) dựa trên các đặc tính đất là một công cụ bổ sung, giúp tính toán nhanh và tổng quan trữ lượng carbon ở quy mô rộng. Công thức tính OCS phổ biến được sử dụng như sau:

$$OCS = 1071 \times ORC \times BLD \times (100 - CRF) \times HOT$$

Trong đó:

- OCS là trữ lượng carbon hữu cơ trong đất (tấn/ha).

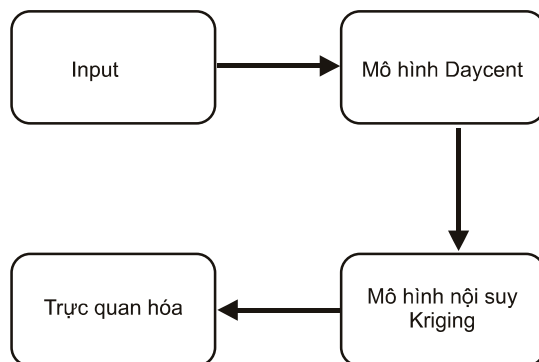
- ORC là nồng độ carbon hữu cơ trong đất (g/kg hoặc ‰, phần nghìn).
- BLD: Khối lượng riêng của đất (kg/m³).
- CRF: Tỷ lệ vật liệu thô trong đất (%).
- HOT: Độ dày tầng đất (cm).

4. CÀI ĐẶT CHƯƠNG TRÌNH

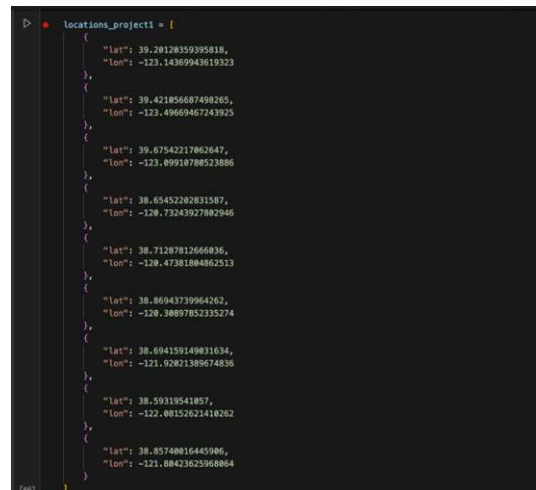
Mô hình tổng quan của bài toán được thể hiện trong Hình 2. Dữ liệu về đất, thời tiết sẽ được đưa vào sau đó qua mô hình Daycent để tính toán trữ lượng Carbon. Khi có trữ lượng Carbon chúng ta sẽ đi xây dựng bản đồ tỉnh thông qua mô hình nội suy Kriging và cuối cùng sẽ được trực quan thành bản đồ số để dễ dàng quan sát và sử dụng.

Xây dựng các điểm dữ liệu tọa độ địa lý ban đầu bằng cách tạo 300 điểm long-lat trong khu vực Thành phố Huế (Hình 3).

Dữ liệu đất (Hình 4) được thu thập bao gồm: thành phần cát, sét, bụi, pH, hàm lượng carbon hữu cơ, khối lượng riêng từ SoilGrids dựa trên tọa độ địa lý.



Hình 2. Mô hình tổng quan bài toán



Hình 3. Xây dựng 300 điểm long-lat

Dữ liệu thời tiết hàng ngày từ NASA-POWER được thể hiện trong Hình 3 được thu thập bao gồm các thông tin: nhiệt độ cực đại, cực tiểu, lượng mưa; xử lý định dạng chuẩn Dữ liệu sinh khối, đất thực địa tại Huế. Tất cả được chuẩn hoá theo chuẩn đầu vào của mô hình Daycent. Dữ liệu được xử lý chuẩn hóa được đưa vào mô hình Daycent để tiến hành mô phỏng tính toán lượng carbon tích lũy/mất đi do các hoạt động ở từng điểm dữ liệu



Hình 4. Dữ liệu đất

```

1 {
2   "status": "ok",
3   "data": {
4     "header": [
5       "day",
6       "month",
7       "year",
8       "day",
9       "max_temp",
10      "min_temp",
11      "precip"
12    ],
13    "value": [
14      [
15        1,
16        1,
17        1990,
18        1,
19        26.53,
20        18.1,
21        0.0
22      ],
23      [
24        2,
25        1,
26        1990,
27        2,
28        27.0,
29        16.76,
30        0.0
31      ],
32    ]
  }
}

```

Hình 5. Dữ liệu thời tiết

Kết quả mô phỏng được không gian hóa, tổng hợp tạo bản đồ số tương tác trữ lượng carbon của thảm thực vật đô thị Huế. Lập bản đồ tĩnh: sử dụng nội suy Kriging cho phép chuyển đổi các giá trị carbon được mô phỏng tại các điểm mô phỏng trên toàn bộ khu vực nghiên cứu. Nội suy Kriging là phương pháp thống kê không gian, cho phép ước lượng giá trị carbon tại các vị trí chưa khảo sát dựa trên các điểm mẫu đã có, đồng thời cung cấp ước lượng sai số cho kết quả nội suy. Việc kết hợp mô hình DayCent và nội suy Kriging là phương pháp hiệu quả để hiển thị dữ liệu carbon toàn tỉnh Thừa Thiên Huế, giúp chuyển đổi dữ liệu rời rạc thành bản đồ liên tục, chính xác và trực quan.

Chương trình được thiết kế chia thành các vùng chức năng chính:

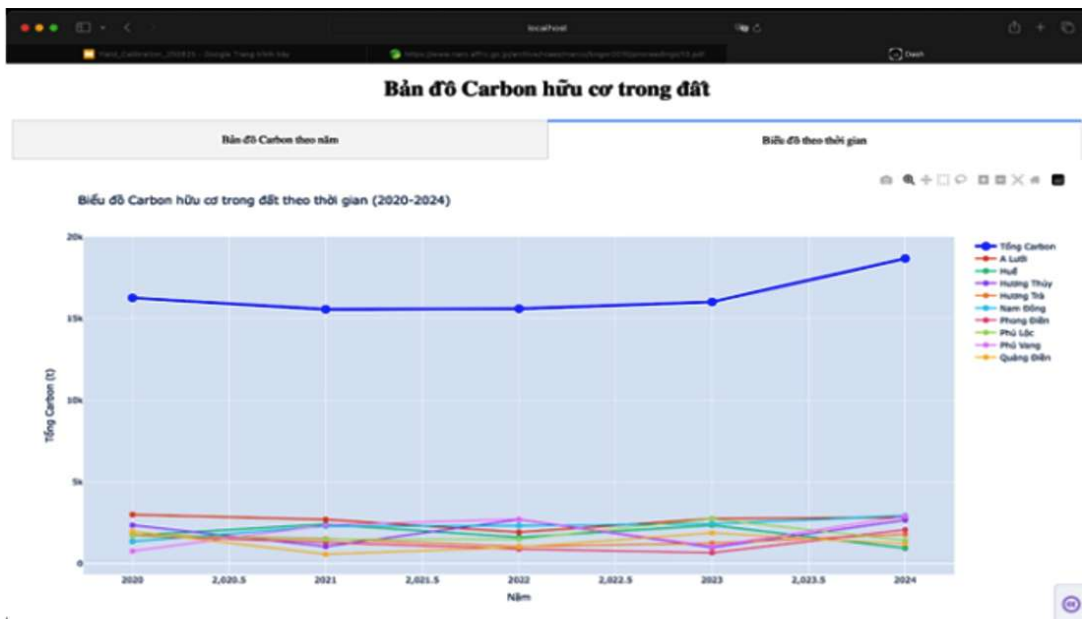
Thanh tiêu đề: Hiển thị tên chuyên đề

“Bản đồ Carbon hữu cơ trong đất” giúp người dùng luôn biết nội dung đang khai thác.

Tabs chức năng: Gồm các mục như Bản đồ Carbon theo năm, Biểu đồ theo thời gian cho phép chuyển giữa các chế độ hiển thị và phân tích số liệu (Hình 6, 7).

Trữ lượng Carbon hữu cơ (SOC) trong đất từ năm 2020 đến 2024 được thể hiện trong Hình 6. Biểu đồ cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các vùng. Tuyến có giá trị cao nhất duy trì mức SOC vượt trội so với các khu vực còn lại, dao động quanh 6.1 - 6.3 trong giai đoạn 2020 - 2023 và tăng mạnh lên khoảng 6.6 vào năm 2024, thể hiện xu hướng giảm nhẹ rồi phục hồi và đạt đỉnh vào cuối kỳ. Ngược lại, phần lớn các khu vực khác có giá trị SOC thấp hơn nhiều, chủ yếu nằm trong khoảng 0.2 - 0.8 và chỉ biến động nhẹ theo thời gian, không xuất hiện sự tăng trưởng đáng kể. Nhìn chung, biểu đồ phản ánh sự phân hóa lớn về trữ lượng Carbon hữu cơ giữa các vùng của TP Huế, đồng thời cho thấy xu hướng tích lũy SOC tăng trở lại vào năm 2024, có thể liên quan đến cải thiện trong quản lý đất hoặc gia tăng che phủ thực vật.

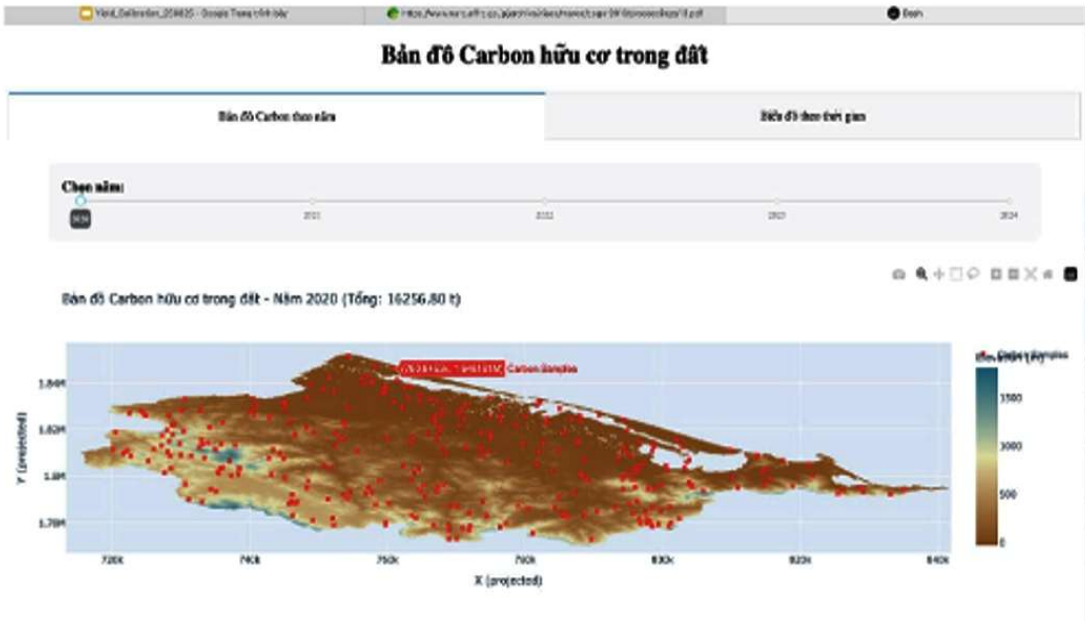
Trong Hình 7, trữ lượng Carbon trên thành phố Huế được thể hiện trên bản đồ số. Nền bản đồ sử dụng dữ liệu địa hình với thang màu xanh nhạt đến nâu để biểu diễn độ cao. Các điểm dò cho biết vị trí lấy mẫu Carbon trên toàn khu vực. Bản đồ giúp quan sát sự phân bố mẫu Carbon và mối liên hệ giữa chúng với đặc điểm địa hình. Khi di chuyển con trỏ đến tại vị trí mô phỏng nào trên bản đồ thì trữ lượng Carbon tại vị trí đó được hiển thị.



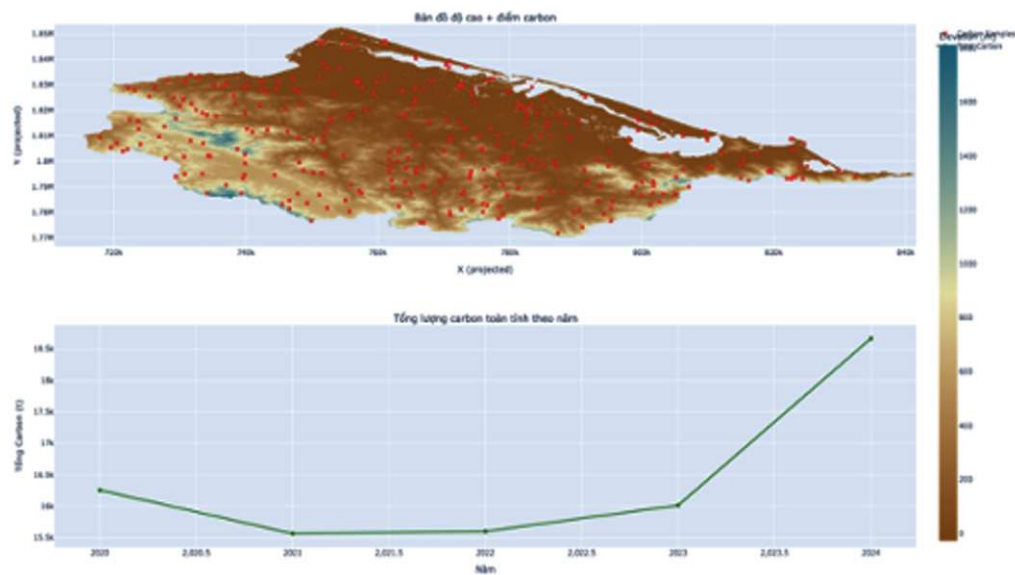
Hình 6. Bản đồ Carbon hữu cơ trong đất từ năm 2020 - 2024

Hình 8 thể hiện tương tác trữ lượng Carbon trong đất và thảm thực vật đô thị. Biểu đồ đường thể hiện tổng lượng Carbon tích lũy theo từng năm, giúp theo dõi xu hướng biến động

Carbon trong giai đoạn 2020-2024. Trong hình có chức năng chọn năm cho phép người dùng lọc và xem bản đồ tại từng năm cụ thể.



Hình 7. Bản đồ Carbon hữu cơ trong đất từ năm 2020



Hình 8. Bản đồ số tương tác hiển thị trữ lượng Carbon trong đất và thảm thực vật đô thị

Bản đồ thể hiện điểm lấy mẫu: Các chấm đỏ là vị trí thí nghiệm; bản đồ nền thể hiện biến động địa hình, các vùng có độ cao khác nhau thể hiện theo thang màu (càng đậm, độ cao càng cao). Khi rê chuột hoặc chọn điểm sẽ hiển thị giá trị cụ thể, tọa độ và các thông tin bổ sung phục vụ phân tích không gian.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình tính toán và trực quan hóa trữ lượng carbon cho khu vực Huế bằng cách tích hợp mô hình sinh thái DayCent với phương pháp nội suy không gian Kriging trên nền tảng bản đồ số. Bộ dữ liệu tổng hợp từ đất, khí hậu và thông tin thực vật được chuẩn hóa theo yêu cầu của mô hình đã cho phép mô phỏng chi tiết quá trình hấp thụ và lưu trữ carbon tại từng điểm nghiên cứu. Việc áp dụng nội suy Kriging tiếp tục mở

rộng kết quả mô phỏng từ các điểm rời rạc thành bản đồ liên tục, đảm bảo tính chính xác và nhất quán về mặt không gian.

Bản đồ số thu được cung cấp một cái nhìn toàn diện về phân bố trữ lượng carbon của thảm thực vật đô thị Huế, đóng vai trò như một công cụ hỗ trợ ra quyết định quan trọng cho công tác quản lý môi trường, quy hoạch không gian xanh và các chiến lược giảm phát thải carbon hướng tới mục tiêu Thành phố Carbon bằng không (Net-Zero Carbon City). Phương pháp tiếp cận này không chỉ phù hợp với điều kiện dữ liệu thực tế tại Huế mà còn có tiềm năng mở rộng cho các tỉnh, thành khác trong cả nước.

Trong tương lai, hệ thống bản đồ Carbon có thể được nâng cao đáng kể nếu tích hợp cơ chế cập nhật dữ liệu động theo thời gian thực. Các nguồn dữ liệu như ảnh vệ tinh (Sentinel, MODIS), dữ liệu khí

tượng tự động hoặc từ NASA POWER và ERA5 hoàn toàn có thể cung cấp đầu vào liên tục cho mô hình DayCent, giúp kết quả mô phỏng phản ánh sát hơn biến động môi trường theo thời gian. Ngoài ra, nghiên cứu có thể được hoàn thiện hơn bằng cách tích hợp thêm dữ liệu viễn thám độ phân giải cao, mở rộng phạm vi khảo sát thực địa và bổ sung các lớp dữ liệu về sinh khối trên mặt đất. Việc kết nối với các nền tảng GIS mở rộng như GeoServer, QGIS Server hoặc

ArcGIS Online sẽ cho phép chia sẻ lớp dữ liệu Carbon thông qua các dịch vụ WebGIS (WMS, WFS), đồng bộ với cơ sở dữ liệu địa lý của địa phương và hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch, giám sát và ra quyết định trong quản lý đô thị bền vững. Phát triển bản đồ số theo hướng tương tác mạnh hơn (webGIS, dashboard phân tích) sẽ giúp các nhà quản lý, nhà nghiên cứu và cộng đồng khai thác hiệu quả hơn nguồn dữ liệu Carbon phục vụ phát triển đô thị bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chaplot, Vincent, et al, (2001), “Soil carbon storage prediction in temperate hydromorphic soils using a morphologic index and digital elevation model”., *Soil Science*, 166.1: 48-60.
- [2] Myeong, Soojeong, David J. Nowak, and Michael J. Duggin, (2006), “A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing”., *Remote Sensing of Environment*, 101.2: 277-282.
- [3] Sharma, Chandra Mohan, et al, (2018), “Elevational behaviour on dominance-diversity, regeneration, biomass and carbon storage in ridge forests of Garhwal Himalaya, India”., *Forest Ecology and Management*, 424: 105-120.
- [4] Avitabile, V., Schultz, M., Herold, N., de Bruin, S., Pratihast, A.K., Phạm, M. C., Hien, V. Q., & Herold, M, (2016), “Carbon emissions from land cover change in Central Vietnam”, *Carbon Management*, 7(5-6), 333-346. <https://doi.org/10.1080/17583004.2016.1254009>
- [5] Phạm, V. M., Phạm, T. M., Du, Q. V., Bùi, Q. T., Trần, A. V., Phạm, H. M., & Nguyễn, T. N, (2019), “Integrating Sentinel-1A SAR data and GIS to estimate aboveground biomass and carbon accumulation for tropical forest types in Thuan Chau district, Vietnam” *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.03.003>
- [6] FAO, (2020), “Global Forest Resources Assessment 2020. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations”.<https://doi.org/10.4060/ca9825n>
- [7] Lal, R, (2004), “Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security”, *Science*, 304 (5677) , 1623 – 1627 . <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- [8] Nguyen, T. T., et al, (2020), “Soil organic carbon stocks under different land-use types in Vietnam”, *Catena*, 195, 104851.<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104851>
- [9] Pham, T. T., Tran, T. A., & Le, Q. T, (2022), “Land-use change and its impact on carbon storage in Central Vietnam”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 634.<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10432-8>

Liên hệ:

TS. Nguyễn Thị Hà Phương

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Đại học Huế

Địa chỉ: Số 1 Điện Biên Phủ, Quận Thuận Hoá, Thành phố Huế

Email: nthphuong.huet@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 17/11/2025

Ngày gửi phản biện: 18/11/2025

Ngày duyệt đăng: 15/12/2025