

Ứng dụng GIS và MCDA xác định vị trí ưu tiên phát triển hạ tầng xanh tại phường Đồng Hới, tỉnh Quảng Trị

Đào Thị Huệ*

Bộ môn Kỹ thuật Hạ tầng, Trường Đại học Thủy Lợi,

175 Tây Sơn, phường Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 16/3/2026; ngày chuyển phản biện 18/3/2026;

ngày nhận phản biện 26/3/2026; ngày chấp nhận đăng 2/4/2026

Tóm tắt:

Ngập lụt đô thị do bê tông hóa và thời tiết cực đoan đang đặt ra thách thức lớn tại phường Đồng Hới, tỉnh Quảng Trị, đòi hỏi chuyển sang các giải pháp quản lý nước mưa bền vững bằng hạ tầng xanh (GI). Nghiên cứu này ứng dụng GIS kết hợp phân tích quyết định đa tiêu chí (MCDA) - phương pháp phân tích thứ bậc (AHP), nhằm xác định vị trí ưu tiên phát triển GI. Mô hình tích hợp bảy tiêu chí: độ dốc, chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), tỷ lệ không thấm, tính khả thi giải phóng mặt bằng, khoảng cách giao thông, nguy cơ ngập lụt (kiểm chứng bằng dữ liệu lịch sử từ Trung tâm Vệ tinh Liên hợp quốc - UNOSAT) và ưu tiên bảo vệ tài sản. Kết quả chỉ ra sự phân hóa không gian giữa bán đảo Bảo Ninh và phía tây sông Nhật Lệ. Công trình GI phân tán như vỉa hè thấm, mương sinh học dọc đường nên được áp dụng tại lõi đô thị nén. Các công trình GI lớn như hồ điều hòa, công viên sinh thái nên được bố trí tập trung tại khu nông nghiệp phía nam. Nghiên cứu cung cấp một công cụ định lượng không gian tin cậy, hỗ trợ các nhà quản lý tối ưu hóa việc phân bổ quỹ đất và nguồn lực đầu tư hạ tầng thoát nước.

Từ khóa: hạ tầng xanh, hệ thống thông tin địa lý (GIS), ngập lụt đô thị, phân tích quyết định đa tiêu chí (MCDA), phường Đồng Hới, phương pháp phân tích thứ bậc (AHP), thoát nước mưa.

Chỉ số phân loại: 2.1, 2.7

**GIS- and MCDA-based identification of priority areas for green infrastructure
development in Dong Hoi ward, Quang Tri province**

Thi Hue Dao*

Department of Infrastructural Engineering, Thuyloi University,

175 Tay Son Street, Kim Lien Ward, Hanoi, Vietnam

Received 16 March 2026; revised 26 March 2026; accepted 2 April 2026

Abstract:

Urban flooding, exacerbated by concretisation and extreme weather events, poses a major challenge in Dong Hoi ward, Quang Tri province, requiring a shift towards sustainable stormwater management using green infrastructure (GI). This study applies geographic information systems and multi-criteria decision analysis (GIS-

*Email: huedt@thu.edu.vn

MCDA) using the analytic hierarchy process (AHP) to identify priority areas for GI development. The spatial model integrates seven criteria: slope, topographic wetness index - TWI, imperviousness ratio, feasibility of site clearance, distance to transportation networks, flood risk (validated using historical data from the United Nations Satellite Centre - UNOSAT), and asset protection priorities. The findings reveal a distinct spatial differentiation between the Bao Ninh peninsula and the western area of the Nhat Le river. Distributed GI measures such as permeable pavements and roadside bioswales should be implemented in dense urban cores. Meanwhile, large-scale GI infrastructures such as detention basins and ecological parks are centrally allocated in the southern agricultural area. The findings provide a reliable quantitative spatial tool that assists urban planners in optimising land allocation and investment resources for urban drainage infrastructure.

Keywords: analytic hierarchy process, Dong Hoi ward, geographic information systems, green infrastructure, multi-criteria decision analysis, stormwater drainage, urban flooding.

Classification numbers: 2.1, 2.7

1. Đặt vấn đề

Quá trình đô thị hóa diễn ra với tốc độ nhanh chóng làm gia tăng tỷ lệ bề mặt không thấm trong đô thị cùng với những tác động tiêu cực từ biến đổi khí hậu đã gây ra những áp lực lên hạ tầng thoát nước tại các thành phố, đô thị ở Việt Nam hiện nay [1]. Các giải pháp truyền thống (hạ tầng xám) dựa trên việc sử dụng hệ thống cống nước và trạm bơm để tiêu thoát nước đang gặp những hạn chế, thường rơi vào tình trạng quá tải do lưu lượng dòng chảy tràn vượt quá lưu lượng thiết kế [2]. Sự dịch chuyển từ các giải pháp truyền thống sang giải pháp quản lý nước mưa bền vững, tiêu biểu là GI, đang trở thành xu hướng tất yếu trong quy hoạch hạ tầng kỹ thuật [3, 4]. Nguyên lý hoạt động của GI là kiểm soát tại nguồn (source control), sử dụng các không gian mở tự nhiên, bán tự nhiên, để tăng khả năng thấm, lưu giữ và làm chậm dòng chảy trước khi đổ vào hệ thống chung [5]. Các giải pháp GI có khả năng làm giảm dòng chảy tràn do nước mưa như vỉa hè thấm, vườn mưa, mương sinh học, hồ điều hòa... Tuy nhiên, việc triển khai GI trong đô thị sẽ khó khăn do sự hạn chế về quỹ đất cũng như những yêu cầu kỹ thuật như độ dốc, độ trũng... Do đó, việc xác định vị trí bố trí GI nhằm tối ưu hóa hiệu quả giảm ngập, đồng thời khả thi về mặt kỹ thuật và kinh tế - xã hội là một bài toán quy hoạch đa biến phức tạp.

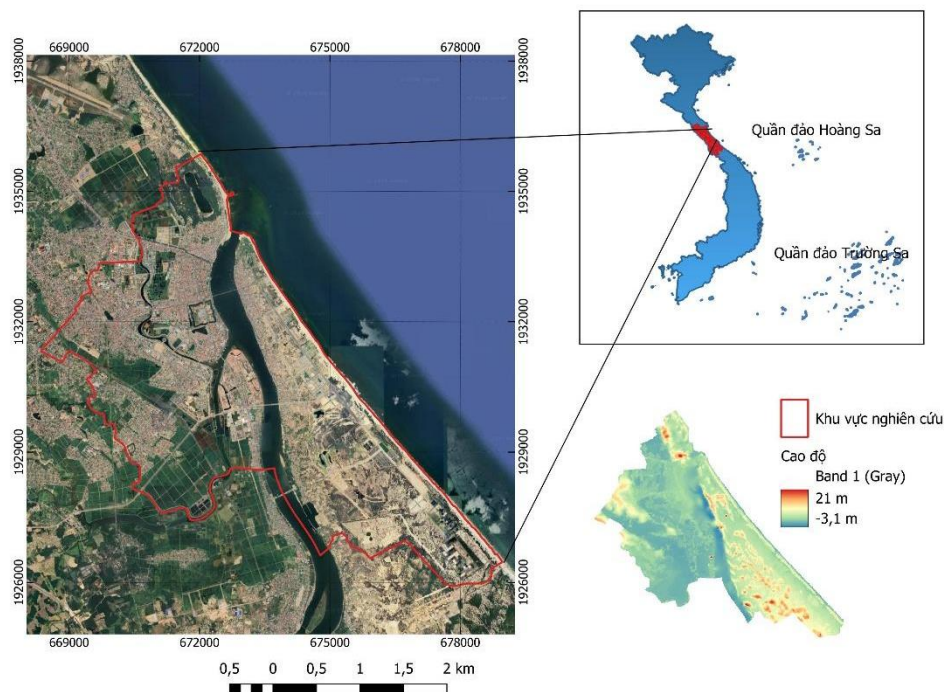
Việc tích hợp hệ thống thông tin địa lý (GIS) với phân tích đa tiêu chí (MCDA) đã trở thành phương pháp phổ biến để xác định khu vực tối ưu cho GI khi không có hoặc thiếu dữ liệu thủy văn chi tiết [6-8]. Hiện nay, tại Việt Nam, tích hợp GIS và MCDA được sử dụng để xây dựng các bản đồ trong các lĩnh vực như nông nghiệp [9], xác định vị trí xây dựng bệnh viện [10], bản đồ nhạy cảm với lũ lụt [11]. Tuy nhiên, các nghiên cứu ở Việt Nam về phân vùng GI phục vụ thoát nước mưa còn hạn chế.

Nhằm giải quyết khoảng trống nghiên cứu này, bài báo lựa chọn phường Đồng Hới (tỉnh Quảng Trị) - một khu vực ven biển điển hình đang chịu áp lực lớn từ ngập lụt đô thị và nước biển dâng - làm khu vực nghiên cứu điển hình. Mục tiêu chính của nghiên cứu là ứng dụng quy trình GIS-MCDA (AHP) để xây dựng bản đồ phân vùng ưu tiên phát triển GI. Đặc biệt, nghiên cứu này tích hợp dữ liệu vết ngập lịch sử được trích xuất từ ảnh radar vệ tinh của Trung tâm Vệ tinh Liên hợp quốc (UNOSAT) làm cơ sở tham chiếu, qua đó nâng cao độ tin cậy và tính thực tiễn của mô hình đề xuất, cung cấp công cụ trực quan hỗ trợ các nhà quy hoạch và quản lý đô thị.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại phường Đồng Hới, tỉnh Quảng Trị (hình 1). Đây là khu vực đô thị trung tâm ven biển, có địa hình đặc thù bao gồm dải cồn cát cao khu bán đảo Bảo Ninh. Cao độ chủ yếu khu bán đảo là 2,5-3 m, các cồn cát cao khoảng 10-21 m. Vùng đồng bằng phía tây sông Nhật Lệ có cao độ khoảng 1-4 m. Thành phố Đồng Hới (thuộc tỉnh Quảng Bình trước sáp nhập) có tỷ lệ đô thị hóa khoảng 97% trong giai đoạn 2015-2020 [12]. Quá trình đô thị hóa nhanh tại lõi trung tâm khiến đất nông nghiệp được chuyển đổi sang đất ở, kết hợp cùng với đặc điểm địa hình tự thủy tự nhiên khiến khu vực này thường xuyên đối mặt với rủi ro ngập lụt cục bộ khi có mưa lớn kết hợp triều cường [13]. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc bố trí không gian cho GI nhằm hỗ trợ tiêu thoát nước.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

2.2. Nguồn dữ liệu

Trong nghiên cứu này, các dữ liệu chính được sử dụng bao gồm: mô hình số độ cao (DEM) (10x10 m) được sử dụng để trích xuất các thông số độ dốc và độ tự thủy, bản đồ hiện trạng sử dụng đất khu vực nghiên cứu, dữ liệu hạ tầng giao thông, dữ liệu

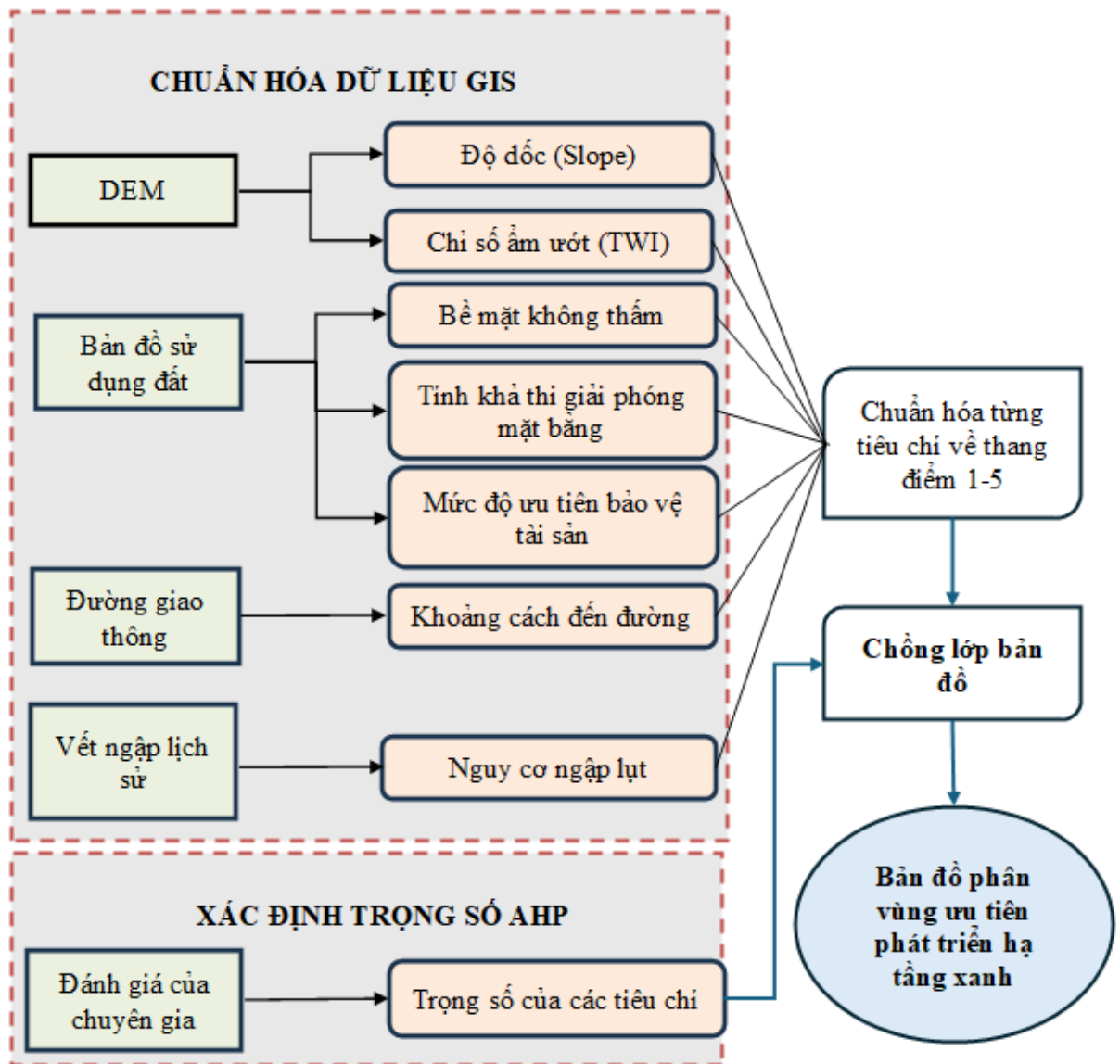
vết ngập lịch sử UNOSAT (bảng 1).

Bảng 1. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

STT	Số liệu	Mô tả	Nguồn dữ liệu
1	DEM	Độ phân giải 10x10 m	Trung tâm khí tượng thủy văn tỉnh Quảng Bình (trước sáp nhập)
2	Bản đồ hiện trạng sử dụng đất	Thuộc tính: polygon loại đất	Sở Nông nghiệp và Môi trường Quảng Trị
3	Bản đồ hệ thống đường giao thông	Thuộc tính: đường	Sở Nông nghiệp và Môi trường Quảng Trị
4	Kết quả tham vấn chuyên gia (tính trọng số AHP)	Phòng vấn chuyên gia trong các lĩnh vực quy hoạch, GIS, hạ tầng, thoát nước và môi trường (9 phiếu)	Tổng hợp của tác giả
5	Bản đồ ngập UNOSAT	Bản đồ ảnh vệ tinh ngập tràn lũ ngày 18, 22 và 29/10/2020 tại Quảng Bình	UNITAR-UNOSAT

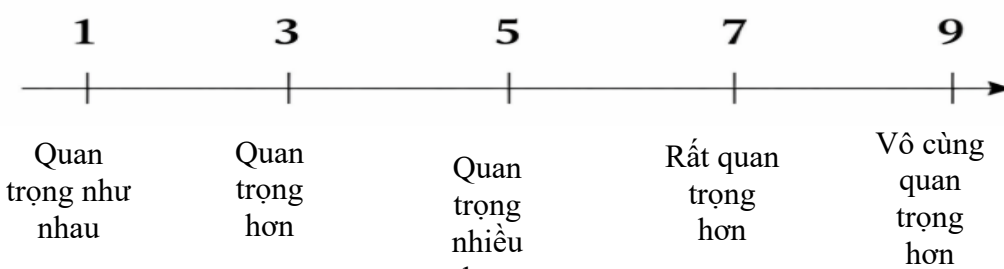
2.3. Phương pháp phân tích đa tiêu chí AHP kết hợp GIS

Nghiên cứu ứng dụng quy trình phân tích quyết định đa tiêu chí (phương pháp AHP) kết hợp GIS được thực hiện qua ba bước chính (hình 2). Bước 1 là chuẩn hóa các tiêu chí. Dựa trên nguyên lý tổ chức không gian GI với bốn nhóm tiêu chí lớn và bảy tiêu chí thành phần: địa hình (bao gồm tiêu chí thành phần là độ dốc và độ trũng), sử dụng đất (tỷ lệ không thấm và loại sử dụng đất), hạ tầng giao thông và tiêu chí đô thị - xã hội (gồm nguy cơ ngập hiện hữu và khu ưu tiên bảo vệ). Các lớp dữ liệu vector được chuyển đổi sang định dạng raster. Sau đó, công cụ *Reclassify* trong phần mềm QGIS được sử dụng để chuẩn hóa các giá trị về cùng một thang đo từ 1 (rất thấp) đến 5 (rất cao). Bước 2 là xác định trọng số của từng tiêu chí bằng phương pháp AHP. Bước 3 là chồng lớp không gian để tạo ra bản đồ vùng ưu tiên GI cuối cùng.



Hình 2. Quy trình lựa chọn vị trí thích hợp xây dựng hạ tầng xanh tại phường Đồng Hới.

Phương pháp phân tích đa tiêu chí AHP: Phương pháp AHP do T.L. Saaty (2008) [14] đề xuất là một công cụ ra quyết định đa tiêu chí được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu đánh giá và lựa chọn phương án. Phương pháp này cho phép cấu trúc hóa vấn đề theo dạng phân cấp gồm mục tiêu, nhóm tiêu chí và các tiêu chí thành phần, từ đó xác định mức độ quan trọng tương đối của từng tiêu chí thông qua so sánh cặp. Trong AHP, các tiêu chí được so sánh từng cặp theo thang điểm 9, trong đó giá trị dao động từ 1 (hai tiêu chí quan trọng như nhau) đến 9 (tiêu chí này vô cùng quan trọng so với tiêu chí kia) (hình 3).



Hình 3. Ý nghĩa thang điểm so sánh cặp tiêu chí.

Kết quả so sánh cặp được thể hiện dưới dạng ma trận vuông cấp $n \times n$, trong đó phần tử a_{ij} biểu thị mức độ ưu tiên của tiêu chí i so với tiêu chí j , và $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Trọng số của từng tiêu chí được xác định thông qua quá trình chuẩn hóa ma trận và tính giá trị trung bình theo hàng. Để đảm bảo tính tin cậy của kết quả, chỉ số nhất quán (CR) được tính toán; ma trận được chấp nhận khi $CR \leq 10\%$ [14].

Mặc dù AHP giúp lượng hóa ý kiến chuyên gia một cách có hệ thống, phương pháp vẫn chịu ảnh hưởng bởi tính chủ quan trong đánh giá, đặc biệt khi số lượng tiêu chí lớn hoặc mức độ nhất quán thấp [14].

Cách xây dựng và phân loại tiêu chí thành phần: Dựa trên tổng quan tài liệu về quy hoạch GI và quản lý ngập lụt đô thị, nghiên cứu ban đầu tiến hành bước sàng lọc sơ bộ các biến số ảnh hưởng (bao gồm độ dốc, chỉ số độ ẩm địa hình, tỷ lệ không thấm, chi phí giải phóng mặt bằng, khoảng cách tới đường giao thông, nguy cơ ngập, mức độ ưu tiên bảo vệ tài sản, loại đất, mật độ thoát nước, chỉ số thực vật, độ sâu mực nước ngầm và mật độ mạng lưới cống thoát nước hiện hữu). Tuy nhiên, để đảm bảo tính khả thi của mô hình và phù hợp với mức độ sẵn có của cơ sở dữ liệu không gian tại địa phương, nghiên cứu đã tiến hành chọn lọc lại. Kết quả, mô hình được cấu trúc hóa thành bốn nhóm cốt lõi với bảy tiêu chí thành phần: địa hình (độ dốc, TWI), sử dụng đất (tỷ lệ không thấm, khả năng giải phóng mặt bằng), hạ tầng giao thông và kinh tế - xã hội (nguy cơ ngập, ưu tiên bảo vệ tài sản). Sự chất lọc các tiêu chí này hoàn toàn đồng thuận với các nghiên cứu tương tự về đánh giá rủi ro ngập lụt bằng mô hình MCDA [6, 11], đảm bảo bao quát đầy đủ các khía cạnh từ thủy văn bề mặt đến tính khả thi triển khai trong thực tiễn quy hoạch.

Độ dốc được sử dụng như một tiêu chí địa hình quan trọng ảnh hưởng đến dòng chảy tràn và khả năng thấm nước. Bản đồ độ dốc được xây dựng từ DEM 10 m và tái phân loại thành năm cấp theo mối quan hệ nghịch biến, trong đó độ dốc thấp được ưu tiên cho bố trí GI thoát nước [15]. Các khu vực có độ dốc $< 2\%$ được đánh giá cao nhất (điểm 5), trong khi độ dốc $> 12\%$ được đánh giá thấp nhất (điểm 1) (bảng 2).

Bảng 2. Phân loại và thang điểm cho tiêu chí địa hình.

Nhóm tiêu chí	Tiêu chí thành phần	Phân loại	Điểm
	Độ dốc (%)	> 12	1
		8-12	2
		5-8	3
		2-5	4

Địa hình	<2	5
	<5	1
	5-7	2
	>12	3
	7-9	4
	9-12	5

Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI)

TWI được sử dụng như một biến số thủy văn phản ánh tiềm năng tích tụ dòng chảy bề mặt, làm cơ sở đánh giá vị trí thích hợp cho GI hỗ trợ thoát nước. Dựa trên các nghiên cứu thực nghiệm về ngập lụt đô thị, các giá trị TWI cao (thường >10) được xác định là các vùng hội tụ dòng chảy ưu tiên (flood paths) [16]. Trong nghiên cứu này, dải giá trị TWI được chuẩn hóa và phân loại thành năm cấp độ thích nghi (1-5) dựa trên các ngưỡng thống kê nội vùng; trong đó, giá trị càng cao thể hiện mức độ ưu tiên càng lớn cho việc bố trí GI. Tuy nhiên, đối với các khu vực có TWI quá cao (>12), mức độ ưu tiên được hạ xuống (điểm 3). Tại các ô có giá trị TWI >12 là các khu vực bão hòa nước tự nhiên hoặc mặt nước hiện hữu như sông, hồ, do đó ít cần thiết phải bổ sung thêm các công trình GI mới.

Bản đồ bề mặt không thấm được xây dựng từ bản đồ sử dụng đất hiện trạng, trong đó các loại đất được gán tỷ lệ không thấm và chuẩn hóa về thang điểm 1-5 phục vụ phân tích đa tiêu chí (bảng 3). Tỷ lệ không thấm theo loại sử dụng đất được tham khảo từ Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Hoa Kỳ (NOAA) [17], trong đó các khu vực phát triển mật độ cao có tỷ lệ không thấm trung bình ~85%, mật độ trung bình ~58%, mật độ thấp ~29% và khu vực mở có bề mặt không thấm nước ~9%. Các bề mặt nước, đất an ninh, quốc phòng, năng lượng, đất nuôi trồng thủy sản, đất thủy lợi được loại trừ khỏi phân tích như các vùng ràng buộc không bố trí GI. Việc gán điểm phản ánh mức độ ưu tiên bố trí GI nhằm giảm dòng chảy tràn đô thị, không phản ánh mức độ cho phép xây dựng.

Bảng 3. Phân loại và thang điểm cho nhóm sử dụng đất - bề mặt, tiêu chí tỷ lệ không thấm.

Mã loại đất	Loại đất	Đặc điểm bề mặt	Tỷ lệ không thấm (%)	Điểm
LUC, LUK, HNK, NKH, CLN, RSX, RPH, BCS, DCS	Đất nông nghiệp, rừng, đất trống, đất chưa sử dụng	Bề mặt tự nhiên, khả năng thấm cao	<20	1
DKV, DTT	Vui chơi giải trí, thể dục thể thao	Sân cỏ, đất nện, cây xanh chiếm tỷ lệ lớn	20-40	2
ONT, DVH, DXH, DDD, TIN, TON, NTD	Đất ở nông thôn, văn hóa, xã hội, di tích, tôn giáo - tín ngưỡng, nghĩa trang	Xây dựng xen kẽ sân vườn, cây xanh, bề mặt thấm một phần	40-70	3
DGD, DYT, TSC, DBV	Giáo dục, y tế, trụ sở cơ quan, bưu chính	Công trình xây dựng mật độ cao, có sân bãi và đường nội bộ	70-85	4
ODT, TMD, SKK, SKN, DGT, DCH, DSK	Đất ở đô thị, thương mại - dịch vụ, khu/cụm công nghiệp, giao thông, chợ, cơ sở sản xuất	Bê tông, nhựa đường, mái nhà và bề mặt cứng chiếm ưu thế	85-95	5
SON, MNC, NTS, CAN, CQP, DNL, DTL	Sông, mặt nước, nuôi trồng thủy sản, an ninh, quốc phòng, năng lượng, thủy lợi	Không xét khả năng thấm/hạn chế can thiệp kỹ thuật	0	Loại bỏ

Chi phí đền bù giải phóng mặt bằng (GPMB) thường chiếm tỷ trọng lớn trong tổng mức đầu tư và là rào cản chính đối với tính khả thi của dự án. Do đó, nghiên cứu này tích hợp lớp dữ liệu hiện trạng sử dụng đất để đánh giá mức độ thuận lợi về không gian và pháp lý. Phân loại được dựa trên quyền quản lý và giá trị đất đai hiện hành. Cụ thể, nhóm đất trống, đất chưa sử dụng hoặc có ít công trình được cho điểm 5 do có thể triển khai ngay các giải pháp như vỉa hè thấm, vườn mưa mà tốn ít chi phí GPMB. Nhóm đất nông - lâm nghiệp được đánh giá ở mức cao (điểm 4) do chi phí chuyển đổi thấp. Ngược lại, khu vực đất ở đô thị mật độ cao và đất thương mại dịch vụ bị gán mức thích nghi thấp nhất (điểm 1) do chi phí cơ hội và áp lực đền bù giải tỏa quá lớn. Nhóm đất công cộng có các công trình, đất ở nông thôn được gán điểm 3. Các nhóm đất thuộc tôn giáo, tín ngưỡng có thể nhạy cảm và khó GPMB được gán điểm 2.

Các giải pháp GI thường được thiết kế nhằm quản lý nước mưa gần nhất có thể với nguồn phát sinh dòng chảy, đặc biệt là từ các bề mặt không thấm như đường giao thông và bãi đỗ xe [18]. Vì vậy, các khu vực nằm gần hạ tầng giao thông thường được xem là phù hợp hơn cho việc triển khai GI, do có khả năng thu nhận và xử lý dòng chảy bề mặt hiệu quả hơn, đồng thời giảm nhu cầu về hệ thống dẫn nước và chi phí hạ tầng. Khu vực trong phạm vi 50 m từ đường giao thông được gán mức ưu tiên cao nhất (điểm 5), do thuận lợi cho việc bố trí các công trình GI như dải lọc thực vật và các hệ thống xử lý nước mưa tại nguồn, đồng thời giúp giảm chiều dài và chi phí hệ thống dẫn nước. Các khu vực trong phạm vi 50-100 m và 100-200 m được gán mức ưu tiên giảm dần (lần lượt điểm 4 và 3), do khả năng tiếp cận dòng chảy bề mặt vẫn còn nhưng hiệu quả kết nối và thu gom nước mưa giảm dần theo khoảng cách. Những khu vực ngoài 200 m được đánh giá mức ưu tiên thấp (điểm 1-2) vì hạn chế về khả năng dẫn nước bằng trọng lực.

Bản đồ nguy cơ ngập lụt được xây dựng bằng cách tích hợp dữ liệu ngập quan sát từ UNOSAT với dữ liệu DEM. Các khu vực được xác định là đã xảy ra ngập trong các sự kiện lịch sử được gán trực tiếp mức nguy cơ cao nhất (điểm 5). Đối với các khu vực còn lại, mức độ nguy cơ được đánh giá dựa trên cao độ địa hình, với giả định rằng các khu vực có cao độ thấp hơn sẽ có khả năng ngập lụt cao hơn (bảng 4). Phương pháp này cho phép kết hợp bằng chứng ngập quan sát với phân tích địa hình nhằm mở rộng đánh giá nguy cơ cho những khu vực chưa có dữ liệu ngập chi tiết.

Bảng 4. Phân loại và thang điểm cho tiêu chí ngập lụt.

Điều kiện đánh giá	Giá trị điểm	Ý nghĩa
Khu vực nằm trong vùng ngập quan sát (UNOSAT)	5	Ngập đã được chứng minh thực tế
Cao độ <1 m	4	Nguy cơ ngập rất cao
Cao độ 1-2 m	3	Nguy cơ ngập trung bình
Cao độ 2-5 m	2	Nguy cơ ngập thấp
Cao độ >5 m	1	Nguy cơ ngập rất thấp

Hiệu quả của GI được đánh giá thông qua khả năng giảm thiểu thiệt hại do ngập lụt đối với cộng đồng. Tiêu chí này phản ánh mức độ dễ bị tổn thương (vulnerability) dựa trên mật độ dân cư và giá trị tài sản theo hiện trạng sử dụng đất. Các khu vực đất ở

đô thị (ODT) và thương mại - dịch vụ (TMD) được gán mức ưu tiên cao nhất (điểm 5) do tập trung dân cư và tài sản lớn. Công trình hạ tầng xã hội và khu dân cư nông thôn (ONT) có mức ưu tiên trung bình (điểm 3-4). Trong khi đó, đất nông - lâm nghiệp và không gian mở được xếp mức ưu tiên thấp (điểm 1-2) do mật độ xây dựng thấp và khả năng phục hồi tốt hơn sau ngập.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Trọng số của các tiêu chí

Trọng số các tiêu chí trong mô hình AHP được xác định thông qua tham vấn chín chuyên gia trong các lĩnh vực quy hoạch đô thị, GIS, hạ tầng kỹ thuật và môi trường. Bảng 5 trình bày trọng số của các tiêu chí đánh giá vị trí triển khai GI phục vụ thoát nước đô thị. Kết quả cho thấy, tiêu chí “Khoảng cách đến đường” có trọng số cao nhất (0,2000), tiếp theo là độ dốc (0,1925), chỉ số độ ẩm địa hình TWI (0,1575) và tỷ lệ bề mặt không thấm (0,1500). Các tiêu chí “Nguy cơ ngập” (0,1200), “Khả năng GPMB” (0,1000) và “Khu vực ưu tiên bảo vệ” (0,0800) có vai trò bổ trợ trong việc xác định các khu vực cần ưu tiên can thiệp. Cách phân bổ trọng số này phản ánh sự kết hợp giữa điều kiện tự nhiên, đặc điểm bề mặt đô thị và khả năng kết nối hạ tầng, nhằm đảm bảo tính khả thi trong triển khai các giải pháp GI.

Bảng 5. Trọng số nhóm và trọng số chung các tiêu chí (CR=0,08).

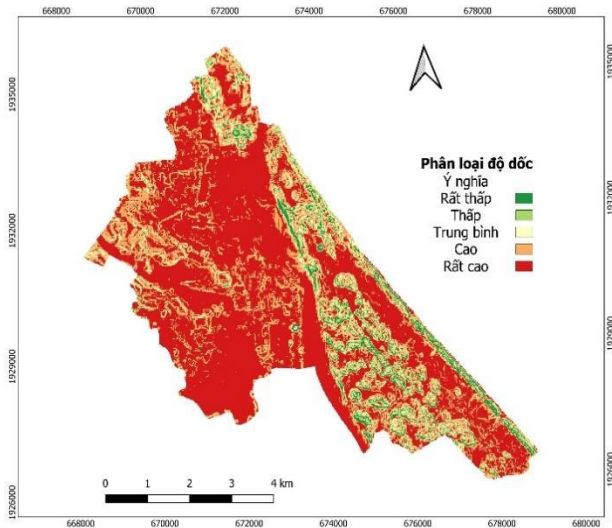
TT	Nhóm tiêu chí	Tên chỉ tiêu	Trọng số nhóm	Trọng số trong nhóm	Trọng số chung
1	Địa hình	Độ dốc	0,35	0,55	0,1925
		Chỉ số độ ẩm TWI	0,35	0,45	0,1575
2	Sử dụng đất	Tỷ lệ không thấm	0,25	0,60	0,1500
		Giải phóng mặt bằng	0,25	0,40	0,1000
3	Hạ tầng - giao thông	Khoảng cách tới đường	0,20	1,00	0,2000
4	Đô thị - xã hội	Ngập lụt	0,20	0,60	0,1200
		Mức độ ưu tiên bảo vệ tài sản	0,20	0,40	0,0800
Tổng			1,00	1,00	1,00

3.2. Kết quả chuẩn hóa các tiêu chí

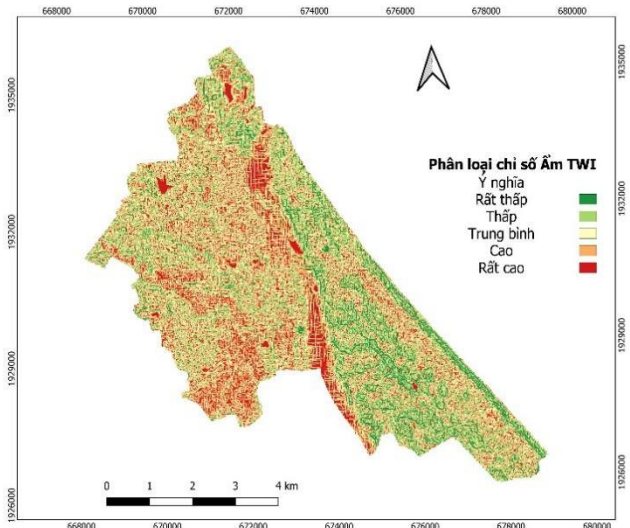
Kết quả phân loại và chuẩn hóa các bản đồ thành phần được thể hiện trong hình 4-10.

Bản đồ phân loại độ dốc của khu vực nghiên cứu được xây dựng từ dữ liệu DEM và được phân thành năm cấp gồm: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao (hình 4). Kết quả cho thấy, phần lớn diện tích khu vực nghiên cứu có độ dốc thấp đến trung bình, thể hiện bằng các vùng màu đỏ, cam chiếm ưu thế trên bản đồ. Các khu vực có độ dốc cao và rất cao (vùng màu xanh) phân bố rải rác và chủ yếu tập trung dọc theo các sườn địa hình, đặc biệt tại những khu vực có sự thay đổi địa hình mạnh. Sự phân bố này phản ánh đặc điểm địa hình tương đối bằng phẳng của phần lớn khu vực nghiên cứu, trong khi các khu vực có độ dốc lớn thường gắn với các dạng địa hình đồi cát, gò cao hoặc các khu vực địa hình gồ ghề khu bán đảo Bảo Ninh.

Kết quả phân loại bản đồ TWI cho thấy sự phân hóa không gian rõ rệt về tiềm năng tích tụ dòng chảy bề mặt trên toàn địa bàn phường Đồng Hới (hình 5). Các khu vực có chỉ số TWI ở mức “rất cao” (màu đỏ) tập trung dày đặc dọc theo hành lang sông Nhật Lệ và mạng lưới các rãnh tụ thủy nội đồng, phản ánh chính xác vị trí các vùng trũng thấp có nguy cơ ngập tích tụ lớn nhất. Ngược lại, dải giá trị TWI “rất thấp” và “thấp” (màu xanh lá) phân bố chủ yếu tại dải cồn cát ven biển phía Đông. Đáng chú ý, phần lớn không gian lõi đô thị được đặc trưng bởi các mức TWI “trung bình” đến “cao”, khẳng định xu hướng dễ động nước cục bộ và đòi hỏi phải được ưu tiên can thiệp bằng các giải pháp GI phân tán nhằm kiểm soát dòng chảy tại nguồn.



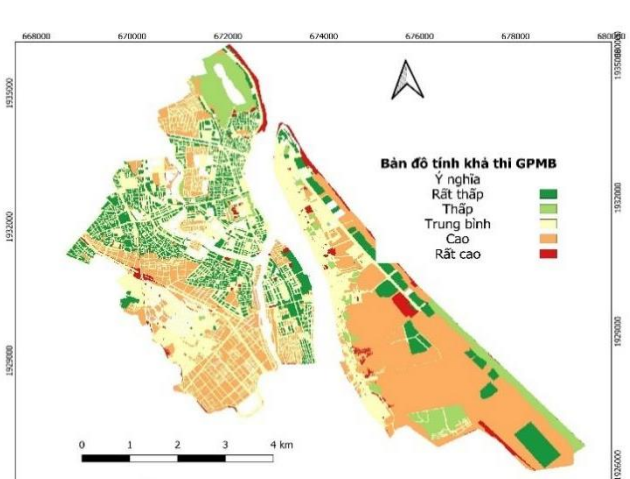
Hình 4. Bản đồ phân loại độ dốc theo thang điểm 1 (rất thấp) - 5 (rất cao).



Hình 5. Bản đồ phân loại chỉ số độ ẩm địa hình.



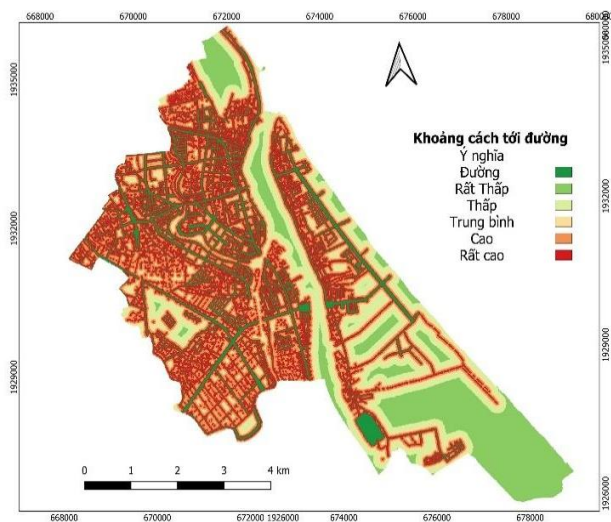
Hình 6. Bản đồ phân loại tiêu chí tỷ lệ bề mặt không thấm.



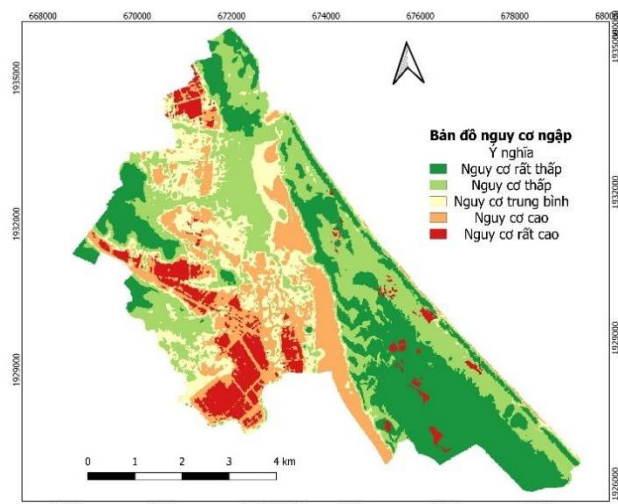
Hình 7. Bản đồ phân loại theo tính khả thi giải phóng mặt bằng.

Đánh giá tiêu chí “Tỷ lệ bề mặt không thấm” cho thấy, bức tranh phân hóa không gian cực kỳ rõ rệt giữa hai bờ sông Nhật Lệ. Phía Tây bờ sông (lõi trung tâm đô thị hiện hữu) bị bao phủ gần như hoàn toàn bởi sắc đỏ, tương ứng với mức độ không thấm “rất cao” do mật độ xây dựng và hạ tầng giao thông nén chặt, làm suy giảm nghiêm trọng khả năng thấm thấu tự nhiên. Trái ngược lại, bán đảo Bảo Ninh ở phía Đông thể hiện ưu thế sinh thái vượt trội với phần lớn diện tích mang màu xanh lá (rất thấp), nhờ cấu trúc nền cát và các không gian mở chưa bị bê tông hóa (hình 6).

Đánh giá tiêu chí “Tính khả thi giải phóng mặt bằng” bộc lộ rõ rào cản về không gian trong việc triển khai GI tại khu vực nghiên cứu. Bản đồ cho thấy toàn bộ vùng lõi trung tâm hiện hữu ở bờ Tây sông Nhật Lệ bị bao phủ bởi dải màu xanh (mức độ khả thi “rất thấp” và “thấp”), phản ánh trực quan sự khó khăn khi thu hồi quỹ đất ở đô thị và thương mại. Ngược lại, các mảng màu cam và đỏ biểu thị tính khả thi “cao” đến “rất cao” tập trung chủ yếu ở dải bán đảo phía Đông và rìa nông nghiệp phía Nam, nơi có lợi thế về quỹ đất trống và chi phí cơ hội thấp (hình 7). Kết quả này là cơ sở quan trọng để định hướng quy hoạch: áp dụng các giải pháp GI phân tán (như vỉa hè thấm, mương sinh học) tại lõi đô thị nén và dành quỹ đất cho các giải pháp GI lớn (công viên ngập nước, hồ điều hòa) tại các khu vực có tính khả thi GPMB cao.



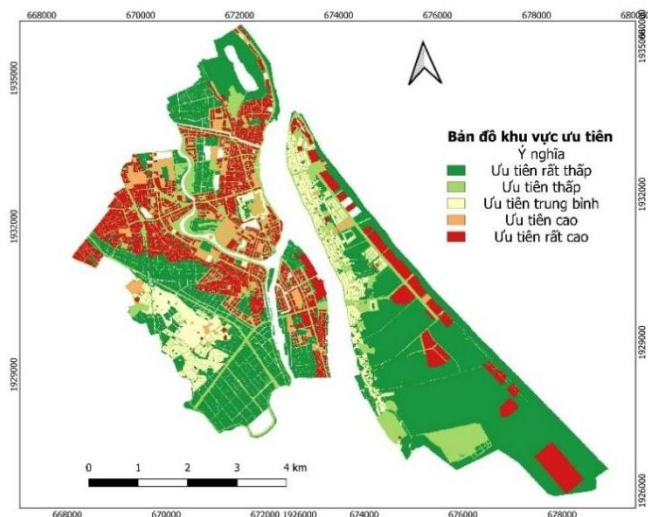
Hình 8. Bản đồ đánh giá khoảng cách tới đường thích hợp xây hạ tầng xanh.



Hình 9. Bản đồ đánh giá nguy cơ ngập lụt.

Bản đồ khoảng cách tới đường giao thông phản ánh trực quan khả năng tiếp nhận và thu gom dòng chảy tràn bề mặt (hình 8). Tại lõi đô thị phía Tây, mạng lưới đường nhánh dày đặc tạo ra các vùng đệm ưu tiên can thiệp “rất cao” (màu đỏ) bám sát trục giao thông; trong khi bán đảo Bảo Ninh và vùng nông nghiệp thưa đường chủ yếu nhận giá trị “thấp” (màu xanh). Phân bố này củng cố định hướng ưu tiên bố trí GI phân tán (như vỉa hè thấm, mương sinh học) dọc các hành lang giao thông lõi nhằm kiểm soát ngập cục bộ tại nguồn.

Bản đồ phân vùng nguy cơ ngập lụt thể hiện sự phân hóa rủi ro không gian tương phản rất rõ rệt. Các khu vực có nguy cơ “rất cao” (màu đỏ) tập trung thành mảng lớn ở vùng trũng thấp phía Tây, Tây Nam đô thị và bám dọc hành lang sông Nhật Lệ, phản ánh chính xác các vết ngập lịch sử và rủi ro triều cường. Ngược lại, dải cồn cát phía Đông và các gò cao phía Tây Bắc hoàn toàn an toàn với mức nguy cơ “rất thấp” (màu xanh) (hình 9).

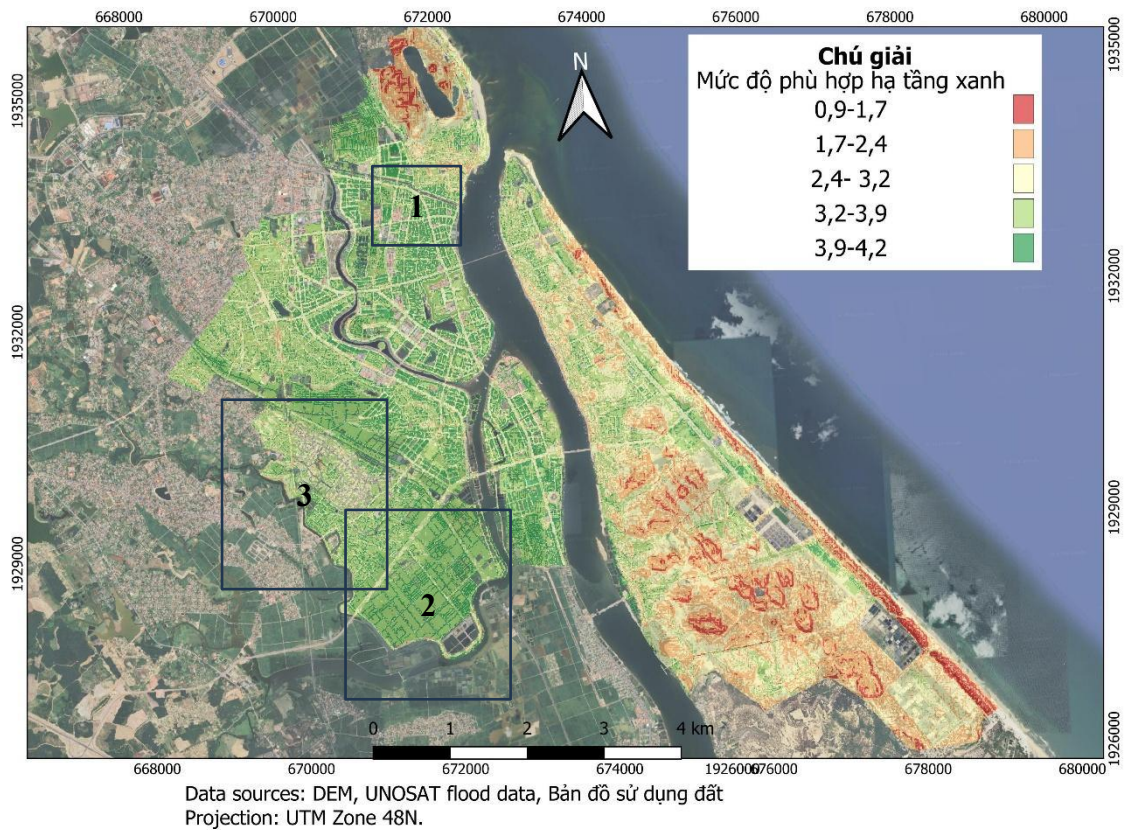


Hình 10. Bản đồ đánh giá khu vực ưu tiên do dân cư đông.

Tiêu chí “Khu vực ưu tiên” được đánh giá dựa trên mức độ tập trung dân cư và giá trị tài sản gắn liền với đất. Bản đồ cho thấy, mức độ ưu tiên “rất cao” (màu đỏ) bao phủ toàn bộ vùng lõi đô thị nén phía Tây sông Nhật Lệ và các trục thương mại - dịch vụ chính, nơi tiềm ẩn thiệt hại kinh tế - xã hội lớn nhất nếu xảy ra ngập lụt (hình 10). Sự phân bố này khẳng định yêu cầu bắt buộc phải bố trí các giải pháp GI tại các khu vực đông dân cư nhằm tối đa hóa hiệu quả bảo vệ tài sản và đảm bảo an sinh xã hội.

3.3. Xác định khu vực phù hợp xây dựng hạ tầng xanh

Mô hình tổng hợp không gian trả về kết quả dải điểm ưu tiên dao động từ 0,9 đến 4,2 (hình 11). Nghiên cứu áp dụng phương pháp phân loại khoảng cách đều (equal interval), chia dải điểm số thành 5 cấp độ ưu tiên với biên độ đồng nhất. Dựa trên kết quả phân dải, ngưỡng điểm trên 3,2 được thiết lập làm mốc giới hạn cho các khu vực đạt mức độ ưu tiên cao (từ 3,2 đến 3,9) và rất cao (>3,9).



Hình 11. Bản đồ vị trí ưu tiên phát triển hạ tầng xanh tại phường Đồng Hới và ba vị trí trích xuất không gian điển hình.

Kết quả phân vùng ưu tiên GI cho thấy sự phân hóa không gian khác nhau giữa hai bên sông Nhật Lệ. Toàn bộ dải cồn cát bán đảo Bảo Ninh phía Đông phần lớn rơi vào nhóm có mức độ ưu tiên thấp (màu cam, đỏ) do địa hình cao, nền cát có khả năng thấm hút tự nhiên tốt và rủi ro ngập lụt thấp. Ngược lại, gần như toàn bộ diện tích bờ Tây sông Nhật Lệ đều đạt mức độ ưu tiên từ cao đến rất cao. Phân tích sâu vào các lớp thông tin thành phần tại một số khu điển hình như khu số 1, số 2 và số 3 (đánh dấu trên bản đồ hình 11) cho thấy các hướng tiếp cận như sau:

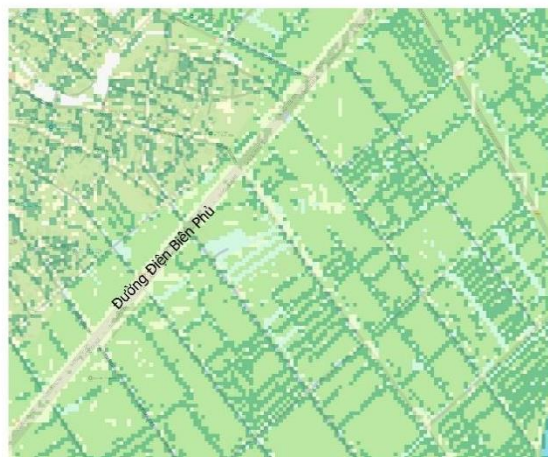
Khu số 1 là vùng lõi đô thị nén (khu vực đường Lý Thường Kiệt) (hình 12): Khu vực này bộc lộ một nghịch lý phổ biến trong quy hoạch đô thị: nơi phát sinh dòng chảy tràn lớn nhất và tập trung tài sản giá trị cao nhất lại là nơi cạn kiệt quỹ đất trống (chỉ số khả thi thu hồi đất rất thấp). Kết quả mô hình tại đây cho thấy, các ô ưu tiên cao (xanh đậm) hội tụ trực tiếp trên các khối công trình, trong khi lòng đường giao thông có điểm ưu tiên thấp hơn. Do khó giải tỏa trắng để làm công trình thoát nước, chiến lược tại đây là chia nhỏ can thiệp tại nguồn. Đối với không gian tư nhân, khuyến khích hệ thống thu gom nước mưa mái, mái xanh với công trình thương mại hoặc sử dụng vật liệu thấm nước cho không gian sân bãi nội bộ nhằm giảm lưu lượng xả ra cống chung. Đối với không gian công cộng, lồng ghép linh hoạt vào phần ranh giới giữa nhà và đường. Việc cải tạo vỉa hè thấm và mương sinh học dọc mép đường sẽ tạo thành vùng đệm thu nước mưa xả từ mái nhà xuống lộ giới.

Khu vực số 2 phía Tây Nam hình thành một mảng ưu tiên cao (xanh diện rộng) (hình 13). Điểm số này được cộng hưởng từ rủi ro ngập lụt lịch sử cực lớn (vết ngập

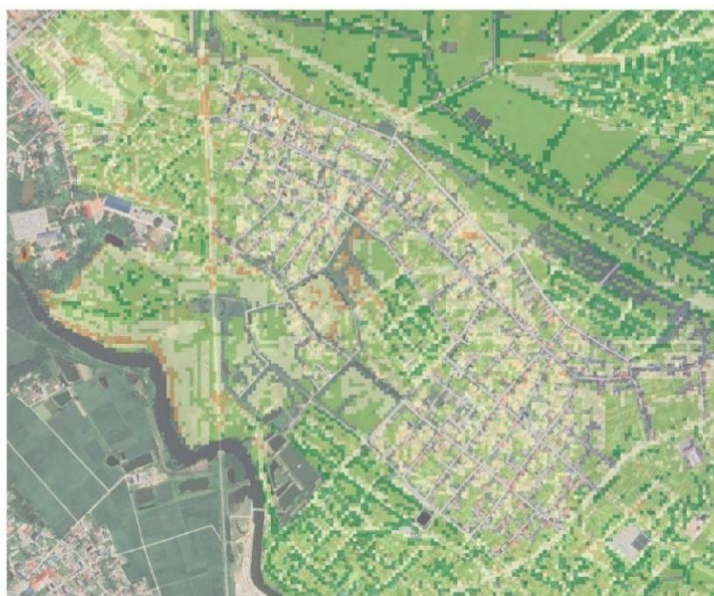
UNOSAT) và tính khả thi thu hồi đất cao (chi phí đền bù đất nông nghiệp thấp). Dưới góc độ quy hoạch, đây chính là quỹ đất mang tính chiến lược của thành phố. Thay vì các giải pháp nhỏ lẻ, chính quyền cần ưu tiên khoanh vùng, hạn chế san lấp và thu hồi quỹ đất này để xây dựng các công trình GI quy mô lớn như hệ thống hồ điều hòa trung tâm hoặc công viên sinh thái ngập nước. Cụm công trình này sẽ đóng vai trò như một túi chứa lũ, trực tiếp lưu trữ và cắt giảm đỉnh ngập cho toàn bộ lưu vực đô thị trung tâm.



Hình 12. Khu vực đường Lý Thường Kiệt.



Hình 13. Khu cánh đồng Tây Nam.



Hình 14. Khu vực trích xuất số 3.

Khu số 3 nằm ở phía Tây sông Nhật Lệ mang đặc trưng hình thái của các khu dân cư nông thôn (đất ONT). Quan sát bản đồ trích xuất (hình 14), khu vực này chủ yếu được bao phủ bởi các dải màu nhạt (mức độ ưu tiên từ thấp đến trung bình). Kết quả này phản ánh tính chính xác của mô hình AHP đối với thực tiễn sử dụng đất: khu vực nông thôn có mật độ xây dựng thấp, sở hữu tỷ lệ bề mặt thấm tự nhiên lớn (sân vườn, ao hồ đan xen) và áp lực bảo vệ tài sản chưa cao như lõi đô thị nén. Nhờ đó, hệ thống thủy văn bề mặt tại đây vẫn duy trì được năng lực tự tiêu thoát nhất định, rủi ro sinh ra dòng chảy tràn mặt là không lớn.

Do chưa đòi hỏi sự can thiệp cấp thiết, chiến lược quy hoạch GI tại khu vực này thiên về hướng “phòng ngừa” và “bảo tồn” nhằm tránh lặp lại kịch bản bê tông hóa của vùng lõi.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng phương pháp tích hợp GIS và phân tích MCDA theo mô hình AHP nhằm xác định các khu vực ưu tiên phát triển GI phục vụ quản lý nước mưa đô thị tại phường Đồng Hới, tỉnh Quảng Trị. Thông qua việc tích hợp bảy tiêu chí không gian bao gồm đặc điểm địa hình (độ dốc và TWI), hiện trạng sử dụng đất (tỷ lệ bề mặt không thấm và tính khả thi giải phóng mặt bằng), khoảng cách tới hệ thống giao thông, nguy cơ ngập lụt và mức độ ưu tiên bảo vệ tài sản, mô hình đã xây dựng được bản đồ phân vùng mức độ ưu tiên phát triển GI cho khu vực nghiên cứu.

Kết quả phân tích cho thấy, sự phân hóa không gian rõ rệt về mức độ ưu tiên phát triển GI giữa hai khu vực hai bên sông Nhật Lệ. Khu vực trung tâm phía Tây sông Nhật Lệ có mật độ xây dựng cao, tỷ lệ bề mặt không thấm lớn và rủi ro ngập lụt cao, do đó được xác định là khu vực ưu tiên triển khai các giải pháp GI quy mô nhỏ và phân tán như vỉa hè thấm, mương sinh học hoặc các giải pháp thu gom và lưu giữ nước mưa tại nguồn. Trong khi đó, các khu vực đất nông nghiệp trũng thấp ở phía Nam có mức độ ưu tiên cao nhờ sự kết hợp giữa nguy cơ ngập lụt lớn và khả năng giải phóng mặt bằng thuận lợi, phù hợp để quy hoạch các công trình GI quy mô lớn như hồ điều hòa hoặc công viên sinh thái ngập nước nhằm đóng vai trò như các không gian lưu trữ và điều tiết nước mưa cho toàn lưu vực đô thị.

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và công cụ hỗ trợ trực quan cho các nhà quản lý và quy hoạch đô thị trong việc xác định vị trí ưu tiên phát triển GI, góp phần định hướng chuyển đổi từ cách tiếp cận thoát nước truyền thống dựa trên hệ thống cống sang cách tiếp cận quản lý nước mưa theo không gian đô thị bền vững.

Tuy nhiên, nghiên cứu hiện tại chủ yếu tập trung vào đánh giá mức độ phù hợp không gian của các khu vực tiềm năng phát triển GI. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần tích hợp thêm các mô hình thủy văn - thủy lực như mô hình quản lý nước mưa (SWMM) hoặc mô hình thủy lực đô thị MIKE URBAN nhằm mô phỏng chi tiết quá trình dòng chảy và đánh giá định lượng hiệu quả giảm ngập của các giải pháp GI được đề xuất.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin cảm ơn các chuyên gia đã tham gia đóng góp ý kiến trong quá trình xây dựng ma trận AHP của nghiên cứu. Nghiên cứu có sử dụng các công cụ trí tuệ nhân tạo như ChatGPT, Gemini và Perplexity để hỗ trợ tìm kiếm tài liệu, dịch thuật và rà soát bản thảo; các công cụ này chỉ đóng vai trò hỗ trợ kỹ thuật và không thay thế cho quá trình nghiên cứu khoa học của tác giả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] L.V. Dinh, P.A. Tuan (2024), “Research and proposal sustainable drainage solutions for urban area in Dong Hoi city”, *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, **22(7)**, pp.17-21 (in Vietnamese).

- [2] C. Lei, G. Chenxi, Y. Yu, et al. (2024), “Optimization of green infrastructures for sustaining urban stormwater quality and quantity: An integrated resilience evaluation”, *Journal of Hydrology*, **640**, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131682.
- [3] N.T.B. Phuong (2022), “Green infrastructure - Sustainable solution for urban sewerage”, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, **16(4V)**, pp.219-235, DOI: 10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(4V)-15 (in Vietnamese).
- [4] N.K. Nhat, N.L. Quang (2023), “Sustainable urban drainage systems need to be institutionalized in current legal regulations”, *Journal of Construction*, pp.82-85 (in Vietnamese).
- [5] P. Hamel, L. Tan (2022), “Blue-green infrastructure for flood and water quality management in Southeast Asia: Evidence and knowledge gaps”, *Environmental Management*, **69(4)**, pp.699-718, DOI: 10.1007/s00267-021-01467-w.
- [6] T.A. Harlis, S.B. Seo (2024), “Land suitability analysis for blue-green infrastructure implementation in an urban stormwater management system in Surabaya, Indonesia”, *Water Science & Technology*, **90(5)**, pp.1501-1519, DOI: 10.2166/wst.2024.265.
- [7] M. Khodadad, M. Sanei, I.A. Barajas, et al. (2025), “Green infrastructure site prioritization to improve urban flood resilience in Monterrey and Brussels using a decision support model”, *Scientific Reports*, **15**, DOI: 10.1038/s41598-025-94851-z.
- [8] A.L. George, P. Kumar, K. Gupta (2025), “Impact assessment of green infrastructure and urban growth on stormwater runoff through geospatial modeling”, *Frontiers in Water*, **6**, DOI: 10.3389/frwa.2024.1489315.
- [9] H.G. Doan (2025), “Application of GIS and AHP method in the optimal location for land consolidation to grow sustainable vegetables in Moc Chau district, Son La province”, *CTU Journal of Science*, **61(2B)**, pp.192-205, DOI: 10.22144/ctujos.2025.034 (in Vietnamese).
- [10] V.H. Dong, X.L. Nguyen, L.T. Pham, et al. (2025), “Research on the application of GIS technology and multi-criteria analysis methods in selecting the location for planning healthcare facilities at commune level, Phu Tho province”, *Environment Magazine*, **7** (in Vietnamese).
- [11] N.T. Quang, T.V. Anh, H.V. Dai, et al. (2025), “Flood susceptibility mapping using analytic hierarchy process and ranking method with remote sensing and geographic information system for river basin - Case study in the Ca river basin, Vietnam”, *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, **67(3)**, pp.112-122, DOI: 10.31276/VJSTE.2024.0074.
- [12] N.D. Cuong, N.Q. Hoc, N.D. Bong (2022), “Impacts of urbanization on land use change in Dong Hoi city, Quang Binh province”, *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, **20(9)**, pp.1185-1197 (in Vietnamese).
- [13] D.T.V. Huong, B.T. Thu, N.T.T. Quynh (2025), “Apply multivariate statistical analyses to assess surface water quality in the Quang Binh river system”, *VNU*

Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, **41(2)**, pp.52-61, DOI: 10.25073/2588-1094/vnuees.5228.

[14] T.L. Saaty (2008), “Decision making with the analytic hierarchy process”, *Int. J. Services Sciences*, **1**, DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.

[15] Connecticut Department of Energy and Environmental Protection (CT DEEP) (2023), *Connecticut Stormwater Quality Manual (Chapter 8.4: Selection Considerations for Stormwater BMPs)*, University of Connecticut - NEMO Program, <https://ctstormwatermanual-nemo.media.uconn.edu/wp-content/uploads/sites/2584/2023/09/ch-8.4.pdf>, accessed 10 February 2026.

[16] C. Ballerine (2017), *Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support, Will & DuPage Counties, Illinois*, Illinois State Water Survey Contract Report 2017-02.

[17] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (n.d.), *How to Use Land Cover Data as an Indicator of Water Quality*, Office for Coastal Management, <https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/water-quality-indicator.pdf>, accessed 10 February 2026.

[18] U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2021), *Green Streets Handbook*, Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-04/documents/green_streets_design_manual_feb_2021_web_res_small_508.pdf, accessed 10 February 2026.