

TỐI ƯU HÓA ĐỘNG SỬ DỤNG TÀI NGUYÊN DU LỊCH: MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU CÂN BẰNG TĂNG TRƯỞNG KINH TẾ VÀ BẢO TỒN MÔI TRƯỜNG

NGUYỄN XUÂN BÁCH

Trường Đại học Ngoại Thương

Email: bachcu012004@gmail.com

Ngày nhận bài: 16/7/2026

Ngày sửa bài: 31/7/2026

Ngày duyệt đăng bài: 17/8/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu xây dựng mô hình tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên du lịch theo thời gian, trong đó xem xét đồng thời chất lượng tài nguyên, lượng khách du lịch và mức đầu tư cho hoạt động bảo tồn. Trên cơ sở nguyên lý cực đại Pontryagin, nghiên cứu xác định mức khai thác và đầu tư bảo tồn tối ưu, đồng thời đề xuất cơ sở xác định phí môi trường đối với hoạt động du lịch. Kết quả mô phỏng cho thấy, so với mức sản lượng bền vững tối đa, phương án tối ưu duy trì chất lượng tài nguyên cao hơn 40,14%, lượng khách thấp hơn 16,11% nhưng lợi ích ròng cao hơn 69,57%. Kết quả cũng cho thấy, đầu tư cho bảo tồn tương đương 7,74% doanh thu có thể đồng thời cải thiện chất lượng tài nguyên, gia tăng lượng khách và nâng cao giá trị kinh tế của điểm đến. Qua đó, nghiên cứu cho thấy bảo tồn tài nguyên và tăng trưởng du lịch không nhất thiết là hai mục tiêu đối lập nếu hoạt động khai thác và đầu tư được xác định ở mức phù hợp.

Từ khóa: điều khiển tối ưu, tài nguyên du lịch, phát triển bền vững, nguyên lý cực đại Pontryagin, phí môi trường

Dynamic optimization of tourism resource utilization: An optimal control model for balancing economic growth and environmental conservation

Abstract:

This study develops an intertemporal optimal control model for tourism resource exploitation, with resource quality as the state variable and visitor volume and conservation investment intensity as control variables. Applying the Pontryagin maximum principle, the study establishes a modified golden rule for tourism destinations, proves saddle-point stability of the steady state, and derives the optimal environmental charge as the product of the degradation coefficient and the resource shadow price. Numerical simulations show that the optimal resource level is 40.14% above the maximum sustainable yield level, with 16.11% fewer visitors but 69.57% higher net benefits. Open access eliminates the destination's entire present value while attracting 11.69% fewer visitors. Conservation investment equal to 7.74% of revenue raises resource quality by 20.6%, visitor volume by 30.5%, and present value by 35.0%.

Keywords: optimal control, tourism resources, sustainable development, Pontryagin maximum principle, environmental charge

1. Đặt vấn đề

Tăng trưởng nhanh của ngành du lịch đặt các điểm đến trước một nghịch lý quen thuộc: dòng khách càng đông thì tài nguyên tạo nên sức hấp dẫn của điểm đến - cảnh quan, hệ sinh thái, di sản, không gian trải nghiệm - càng nhanh xuống cấp, và chính sự xuống cấp ấy lại bào mòn giá trị mà mỗi lượt khách sẵn lòng chi trả. Đây là đặc trưng của bài toán khai thác tài nguyên tái tạo dưới ràng buộc liên thời gian, không phải bài toán tối đa hóa lợi nhuận tĩnh trong từng năm ngân sách.

Thực tiễn quản lý điểm đến ở Việt Nam hiện chủ yếu dựa vào công cụ sức tải du lịch (tourism carrying capacity) - một ngưỡng kỹ thuật tính về số khách tối đa mà điểm đến có thể tiếp nhận. Công cụ này có ưu điểm trực quan nhưng bộc lộ 3 hạn chế căn bản. Thứ nhất, đây là một ràng buộc chứ không phải một tiêu chuẩn tối ưu: đón khách đúng bằng sức tải không có nghĩa là phương án tốt nhất về mặt phúc lợi. Thứ hai, không chứa tỷ lệ chiết khấu, do đó không trả lời được câu hỏi trung tâm của phát triển bền vững là đánh đổi giữa thế hệ hiện tại và thế hệ tương lai. Thứ ba, không xác định được quỹ đạo chuyển tiếp: với một điểm đến đang suy thoái, sức tải tĩnh không cho biết nên phục hồi trong bao lâu và bằng cách nào.

Về mặt học thuật, dòng nghiên cứu mô hình hóa động lực du lịch đã phát triển mạnh trên thế giới (Casagrandi & Rinaldi, 2002; Johnston & Tyrrell, 2005; Marsiglio, 2017), song phần lớn dừng ở mô hình mô tả hoặc mô hình tăng trưởng cấp nền kinh tế. Số công trình đặt bài toán ở cấp điểm đến với đủ 2 biến điều khiển - vừa điều tiết lượng khách, vừa quyết định mức tái đầu tư bảo tồn - còn hạn chế; ở Việt Nam hướng tiếp cận này gần như chưa được khai thác.

Xuất phát từ khoảng trống đó, nghiên cứu đặt 4 mục tiêu: (i) xây dựng mô hình điều khiển tối ưu mô tả đánh đổi liên thời gian giữa khai thác và bảo tồn tài nguyên du lịch; (ii) thiết lập điều kiện tối ưu, xác định trạng thái dừng và kiểm chứng tính ổn định; (iii) so sánh định lượng phương án tối ưu với 3 chế độ khai thác đối chứng để đo lường tổn thất phúc lợi của quản lý kém hiệu quả; (iv) rút ra hàm ý chính sách về mức phí môi trường và tỷ lệ tái đầu tư bảo tồn.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết

Kinh tế học tài nguyên tái tạo. Nền tảng của mô hình là lý thuyết khai thác tài nguyên tái tạo do Gordon (1954) khởi xướng và được hệ thống hóa bởi Clark (1990), Conrad (2010). Đóng góp cốt lõi của dòng lý thuyết này là chỉ ra, dưới chế độ tự do tiếp cận, địa tô tài nguyên bị triệt tiêu hoàn toàn và trữ lượng bị khai thác quá mức - hiện tượng “bị kịch của tài sản chung” (Hardin, 1968). Pintassilgo và Silva (2007) đã chuyển kết quả này sang ngành lưu trú du lịch, cho thấy tự do gia nhập dẫn tới du lịch đại trà với khách có mức sẵn lòng chi trả thấp.

Sức tải du lịch và vòng đời điểm đến. Khái niệm sức tải (O'Reilly, 1986; Coccossis & Mexa, 2004) và mô hình vòng đời điểm đến của Butler (1980) mô tả tốt hiện tượng bão hòa - suy thoái, nhưng đều mang tính mô tả, không sinh ra quy tắc quyết định. Marsiglio (2017) đã chứng minh trong khung tăng trưởng nội sinh số khách tối ưu luôn thấp hơn và không đạt tới ngưỡng sức tải của điểm đến của điểm đến, qua đó xác lập sức tải là cận trên chứ không phải mục tiêu.

Điều khiển tối ưu và công cụ chính sách. Nguyên lý cực đại Pontryagin (Pontryagin và cộng sự, 1962; Seierstad & Sydsæter, 1987) cho phép chuyển bài toán tối ưu liên thời gian thành hệ điều kiện cần dựa trên hàm Hamilton, trong đó biến đồng trạng thái mang ý nghĩa giá bóng của tài nguyên. Trong kinh tế học môi trường, giá bóng này chính là nền tảng của thuế Pigou. Vận dụng vào du lịch, Piga (2003), Schubert (2010) và Palmer & Riera (2003) đã phân tích thuế môi trường du lịch; Mananyi (1998) áp dụng điều khiển tối ưu cho quản lý du lịch sinh thái.

Khoảng trống. Các công trình trên hoặc dừng ở mô hình mô tả, hoặc chỉ dùng một biến điều khiển, hoặc đặt bài toán ở cấp nền kinh tế. Nghiên cứu này đặt bài toán ở cấp điểm đến với hai biến điều khiển đồng thời, và đặc biệt cho phép chất lượng tài nguyên tác động trực tiếp lên giá sẵn lòng chi trả - cơ chế quyết định kết quả khác biệt được trình bày ở phần 3.

2.2. Mô hình nghiên cứu

Gọi $R(t)$ là chất lượng tổng hợp của tài nguyên du lịch tại điểm đến, chuẩn hóa trên thang $[0; K]$ với K là mức nguyên vẹn. Hai biến điều khiển là lượng khách $u(t)$ và cường độ đầu tư bảo tồn $v(t)$. Phương trình chuyển động:

$$\dot{R} = rR\left(1 - \frac{R}{K}\right) - \alpha u + \theta v, \quad R(0) = R_0 \quad (1)$$

trong đó $rR(1 - R/K)$ là hàm tái tạo tự nhiên dạng logistic, α là hệ số suy thoái do khách gây ra, θ là hiệu suất phục hồi của đầu tư bảo tồn.

Cầu du lịch được đặc tả bởi hàm cầu ngược có 2 đặc điểm: giá giảm theo mức tắc nghẽn và tăng theo chất lượng tài nguyên:

$$P(u, R) = (a - bu) \frac{R}{K} \quad (2)$$

Lợi ích ròng tức thời của điểm đến, với c là chi phí cung ứng biên và $(\kappa/2)v^2$ là chi phí đầu tư bảo tồn:

$$\pi(u, v, R) = (a - bu) \frac{R}{K} u - cu - \frac{\kappa}{2} v^2 \quad (3)$$

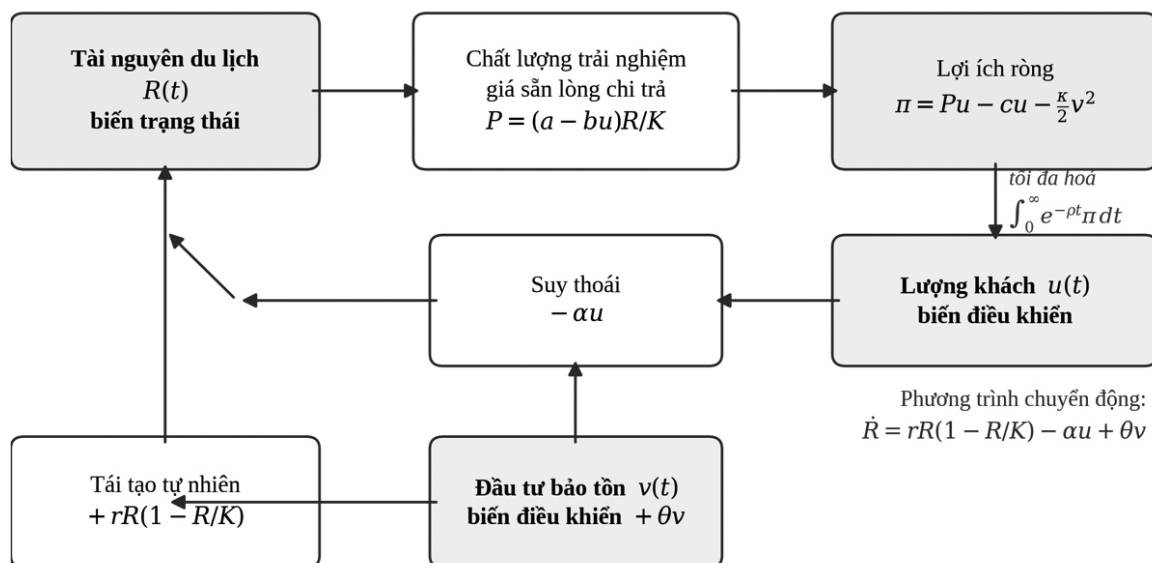
Bài toán của nhà quản lý điểm đến là chọn quỹ đạo $u(t)$, $v(t)$ nhằm:

$$\max \int_0^\infty e^{-\rho t} \pi(u, v, R) dt \text{ "với ràng buộc" } (1), u \geq 0, v \geq 0 \quad (4)$$

Khung phân tích của mô hình được trình bày ở Hình 1.

Hình 1. Khung phân tích của mô hình điều khiển tối ưu khai thác tài nguyên du lịch

Vòng phản hồi: khai thác → suy thoái → giảm chất lượng → giảm giá trị mỗi lượt khách



Nguồn: Tác giả xây dựng

Bảng 1. Biến số, tham số và giá trị hiệu chỉnh minh họa của mô hình

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị	Giá trị cơ sở
$R(t)$	Chất lượng tài nguyên (biến trạng thái)	chuẩn hóa	nội sinh
$u(t)$	Lượng khách (biến điều khiển)	triệu lượt/năm	nội sinh
$v(t)$	Cường độ đầu tư bảo tồn (biến điều khiển)	chuẩn hóa	nội sinh

K	Mức chất lượng nguyên vẹn	chuẩn hóa	1,000
r	Tốc độ tái tạo tự nhiên	/năm	0,200
a	Giá sẵn lòng chi trả tối đa	triệu đồng/lượt	5,000
b	Hệ số tắc nghẽn	triệu đồng/triệu lượt	0,500
c	Chi phí cung ứng biên	triệu đồng/lượt	1,000
α	Hệ số suy thoái do khách	điểm chất lượng/triệu lượt	0,020
θ	Hiệu suất phục hồi của đầu tư bảo tồn	điểm chất lượng/đơn vị	0,050
κ	Hệ số chi phí đầu tư bảo tồn	ngàn tỷ đồng	4,000
ρ	Tỷ lệ chiết khấu xã hội	/năm	0,080

Nguồn: Tác giả thiết lập

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp mô hình hóa toán học kết hợp mô phỏng số, gồm 4 bước.

Bước 1 - Giải tích. Lập hàm Hamilton giá trị hiện hành, áp dụng nguyên lý cực đại Pontryagin để thu điều kiện cần cấp một và phương trình đồng trạng thái; giải hệ trạng thái dừng.

Bước 2 - Kiểm định tính ổn định. Tuyến tính hóa hệ động lực quanh trạng thái dừng, tính ma trận Jacobi và các trị riêng để xác định loại điểm cân bằng.

Bước 3 - Mô phỏng số. Do hệ phương trình trạng thái dừng là phi tuyến và không có nghiệm hiển, nghiệm được xác định bằng phương pháp Brent với dung sai 10^{-13} . Nhánh yên ngựa được dựng bằng tích phân ngược thời gian từ lân cận trạng thái dừng dọc theo véc-tơ riêng ổn định (phương pháp Runge-Kutta thích nghi, dung sai tương đối 10^{-12}) - cách làm này tránh được hiện tượng phân kỳ số vốn xảy ra khi tích phân xuôi trên quỹ đạo yên ngựa. Toàn bộ tính toán thực hiện bằng Python với các thư viện NumPy, SciPy.

Bước 4 - Phân tích độ nhạy. Thay đổi lần lượt từng tham số và tính độ co giãn của các đại lượng đầu ra bằng sai phân trung tâm với bước 1%.

Về bộ tham số: các giá trị ở Bảng 1 là tham số hiệu chỉnh minh họa, được đặt ở mức có thứ nguyên hợp lý với một điểm đến quy mô trung bình của Việt Nam, nhằm minh họa cơ chế vận hành của mô hình. Đây không phải là kết quả ước lượng thực nghiệm; các kết luận định lượng cụ thể chỉ có giá trị điều kiện trên bộ tham số này, trong khi các kết luận định tính (thứ tự các chế độ, dấu của độ co giãn, tính ổn định yên ngựa) là bền vững trong toàn miền tham số đã khảo sát.

3. Kết quả và thảo luận kết quả nghiên cứu

3.1. Điều kiện tối ưu và quy tắc vàng điều chỉnh

Hàm Hamilton giá trị hiện hành, với λ là biến đồng trạng thái (giá bóng của tài nguyên):

$$\mathcal{H} = (a - bu) \frac{R}{K} u - cu - \frac{\kappa}{2} v^2 + \lambda \left[rR \left(1 - \frac{R}{K} \right) - au + \theta v \right] \quad (5)$$

Điều kiện cần cấp một đối với hai biến điều khiển:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial u} = \frac{R}{K} (a - 2bu) - c - \alpha \lambda = 0 \Rightarrow u^* = \frac{a}{2b} - \frac{K(c + \alpha \lambda)}{2bR} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial v} = -\kappa v + \theta \lambda = 0 \Rightarrow v^* = \frac{\theta \lambda}{\kappa} \quad (7)$$

Điều kiện cấp hai được thỏa mãn do $\partial^2 \mathcal{H} / \partial u^2 = -2bR/K < 0$ và $\partial^2 \mathcal{H} / \partial v^2 = -\kappa < 0$, nên nghiệm là cực đại.

Biểu thức (6) mang ý nghĩa kinh tế trực tiếp: lượng khách tối ưu được xác định tại điểm mà doanh thu biên bằng tổng của chi phí cung ứng biên c và chi phí ngoại ứng biên $\alpha \lambda$. Đại lượng $\tau^* = \alpha \lambda^*$ chính là mức

phí môi trường tối ưu trên mỗi lượt khách - tích của hệ số suy thoái với giá bóng của tài nguyên. Đây là dạng thuế Pigou trong bối cảnh động: nếu điểm đến thu đúng mức phí này, quyết định phi tập trung của các doanh nghiệp sẽ trùng với phương án tối ưu xã hội.

Phương trình đồng trạng thái:

$$\dot{\lambda} = \rho\lambda - \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial R} = \rho\lambda - \left[\frac{(a - bu)u}{K} + \lambda r \left(1 - \frac{2R}{K} \right) \right] \quad (8)$$

Tại trạng thái dừng ($d\lambda/dt = 0$), sắp xếp lại thu được quy tắc vàng điều chỉnh cho điểm đến du lịch:

$$\rho = r \left(1 - \frac{2R^*}{K} \right) + \underbrace{\frac{1}{\lambda^*}}_{\text{năng suất tái tạo biên}} \cdot \underbrace{\frac{(a - bu^*)u^*}{K}}_{\text{cổ tức chất lượng}} \quad (9)$$

Vế phải gồm 2 cấu phần: năng suất tái tạo biên của tài nguyên và “cổ tức chất lượng” - phần đóng góp biên của chất lượng tài nguyên vào dòng lợi ích, quy đổi theo giá bóng. Với bộ tham số cơ sở, kiểm chứng số cho kết quả: $-0,0803 + 0,1603 = 0,0800 = \rho$, khớp tuyệt đối.

Điểm đáng chú ý là năng suất tái tạo biên tại điểm tối ưu mang dấu âm. Điều này có nghĩa điểm đến vận hành ở nhánh bên phải đỉnh của đường tái tạo logistic, nơi xét thuần túy về sinh học thì việc giữ tài nguyên ở mức cao là “kém hiệu quả”. Sự hy sinh về năng suất sinh học đó được bù đắp bởi cổ tức chất lượng dương và lớn hơn về trị tuyệt đối gấp đôi. Đây chính là cơ chế lý giải toàn bộ khác biệt giữa mô hình này với mô hình khai thác thủy sản cổ điển: trong du lịch, tài nguyên không chỉ là nguồn cung mà còn là thuộc tính chất lượng của sản phẩm.

3.2. Trạng thái dừng và tính ổn định

Giải đồng thời hệ 3a phương trình (điều kiện cấp một, $dR/dt = 0$, $d\lambda/dt = 0$) cho nghiệm duy nhất trong miền khả thi: $R^* = 0,7007$; $u^* = 2,0972$ triệu lượt/năm; $\lambda^* = 51,70$; giá tối ưu $P^* = 2,7688$ triệu đồng/lượt; lợi ích ròng $\pi^* = 3,7094$ nghìn tỷ đồng/năm.

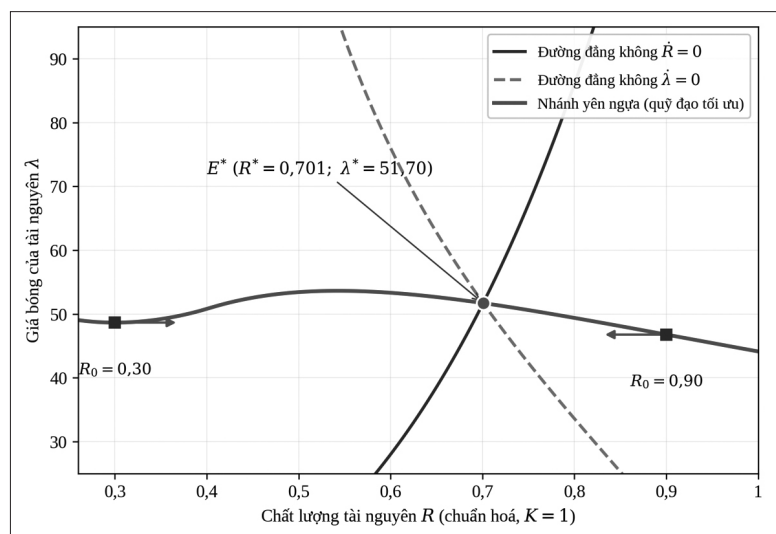
Mức phí môi trường tối ưu là $\tau^* = \alpha\lambda^* = 1,0340$ triệu đồng/lượt, tương đương 37,35% giá dịch vụ và mang lại nguồn thu 2,1685 nghìn tỷ đồng/năm. Đây là một con số cụ thể, kiểm chứng được và có thể trực tiếp chuyển thành khuyến nghị về mức phí tham quan hoặc phí môi trường.

Ma trận Jacobi tại trạng thái dừng có định thức $\det J = -0,0446 < 0$ và vết $\text{tr } J = 0,0800$ - đúng bằng ρ như lý thuyết dự báo. Hai trị riêng trái dấu (-0,1750 và +0,2550) xác nhận trạng thái dừng là điểm yên ngựa. Kết luận này quan trọng về mặt chính sách: tồn tại đúng một quỹ đạo dẫn điểm đến hội tụ về trạng thái tối ưu; mọi sai lệch khỏi quỹ đạo đó đều khiến hệ thống phân kỳ, hoặc về phía cạn kiệt tài nguyên, hoặc về phía đóng băng khai thác. Sơ đồ pha ở Hình 2 minh họa cấu trúc này.

3.3. So sánh bốn chế độ khai thác

Để đo lường tổn thất của quản lý kém hiệu quả, nghiên cứu so sánh phương án tối ưu động với 3 chế độ đối chứng: (i) tự do tiếp cận, nơi địa

Hình 2. Sơ đồ pha và nhánh yên ngựa của hệ động lực (R, λ)



Nguồn: Kết quả tính toán của tác giả

tô bị triệt tiêu ($\pi = 0$); (ii) cận thị, tương ứng $\rho \rightarrow \infty$ nên $\lambda = 0$, tức nhà quản lý bỏ qua hoàn toàn giá trị tương lai của tài nguyên; (iii) sản lượng bền vững tối đa (MSY), nơi lượng khách đạt cực đại trong điều kiện tài nguyên ổn định.

Bảng 2. So sánh bốn chế độ khai thác tại trạng thái dừng

Chỉ tiêu	Tự do tiếp cận	Cận thị	MSY	Tối ưu động
Chất lượng tài nguyên R	0,2455	0,3773	0,5000	0,7007
Lượng khách u (triệu lượt/năm)	1,8521	2,3494	2,5000	2,0972
Giá P (triệu đồng/lượt)	1,0000	1,4432	1,8750	2,7688
Lợi ích ròng π (nghìn tỷ đồng/năm)	0,0000	1,0412	2,1875	3,7094
Giá trị hiện tại (nghìn tỷ đồng)	0,000	13,015	27,344	46,368
Tổn thất phúc lợi so với tối ưu (%)	100,00	71,93	41,03	0,00
Giá bóng ngầm định λ	-11,37	0,00	12,50	51,70

Nguồn: Kết quả tính toán của tác giả

Bảng 2 cho thấy 3 phát hiện đáng chú ý.

Thứ nhất, tự do tiếp cận thua trên cả hai chiều. Không chỉ triệt tiêu toàn bộ giá trị hiện tại của điểm đến (tổn thất 100%), chế độ này còn đón ít khách hơn phương án tối ưu 11,69% (1,8521 so với 2,0972 triệu lượt). Nguyên nhân là tài nguyên bị suy thoái xuống mức 0,2455 khiến giá sẵn lòng chi trả sụt còn 1,0000 triệu đồng/lượt - vừa đúng bằng chi phí cung ứng biên. Phát hiện này bác bỏ cách hiểu phổ biến rằng buông lỏng quản lý là cái giá phải trả để “đông khách”. Giá bóng ngầm định âm (-11,37) cho thấy chế độ tự do tiếp cận vận hành như thể tài nguyên có giá trị âm.

Thứ hai, MSY không phải mục tiêu quản lý. Điểm tối ưu động giữ tài nguyên cao hơn mức MSY 40,14%, đón ít khách hơn 16,11%, nhưng tạo ra lợi ích ròng cao hơn 69,57%. Kết quả này nhất quán với Marsiglio (2017) về việc số khách tối ưu nhỏ hơn sức tải, đồng thời bổ sung một hệ quả mạnh hơn: khi chất lượng tài nguyên trực tiếp nâng giá trị mỗi lượt khách, mức bảo tồn tối ưu vượt xa cả ngưỡng sinh học truyền thống. Cơ chế nằm ở chênh lệch giá: 2,7688 so với 1,8750 triệu đồng/lượt, tức cao hơn 47,67%.

Thứ ba, cận thị tổn kém hơn nhiều so với cảm nhận trực quan. Việc bỏ qua giá trị tương lai của tài nguyên chỉ làm tăng lượng khách 12,03% nhưng khiến lợi ích ròng chỉ còn 28,07% mức tối ưu. Đây là luận cứ định lượng chống lại tư duy nhiệm kỳ trong quản lý điểm đến.

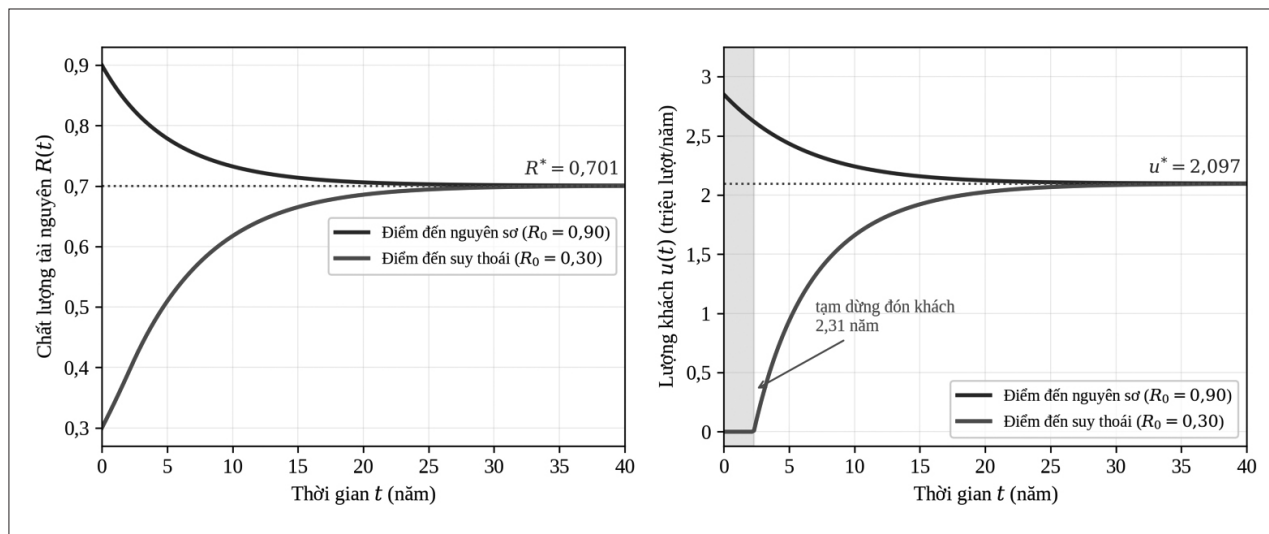
3.4. Quỹ đạo chuyển tiếp tối ưu

Hình 3 mô tả đường đi tối ưu từ 2 điều kiện ban đầu trái ngược.

Với điểm đến còn nguyên sơ ($R_0 = 0,90$), chính sách tối ưu là khai thác cao hơn mức dài hạn trong giai đoạn đầu: 2,8496 triệu lượt ở thời điểm xuất phát so với 2,0972 ở trạng thái dừng, sau đó giảm dần. Bảo tồn tuyệt đối không phải phương án tối ưu; điều quan trọng là mức khai thác vượt trội chỉ mang tính tạm thời và có lộ trình giảm rõ ràng.

Với điểm đến đã suy thoái ($R_0 = 0,30$), ràng buộc không âm $u \geq 0$ trở thành ràng buộc chặt: nghiệm tối ưu là tạm dừng đón khách trong 2,31 năm, sau đó mở cửa trở lại và tăng dần lượng khách theo đà phục hồi của tài nguyên. Đây là kết quả có giá trị chính sách trực tiếp, cung cấp cơ sở định lượng cho các quyết định đóng cửa tạm thời điểm tham quan - vốn thường bị phản đối vì mất doanh thu ngắn hạn.

Hình 3. Quỹ đạo tối ưu của chất lượng tài nguyên và lượng khách theo thời gian



Nguồn: Kết quả tính toán của tác giả

Tốc độ hội tụ ở cả 2 kịch bản đều chậm: thời gian rút ngắn một nửa khoảng cách là 3,75 năm (nguyên sơ) và 4,77 năm (suy thoái); thời gian đạt 95% khoảng cách lần lượt là 16,58 và 18,46 năm. Hàm ý là chu kỳ quy hoạch du lịch 5 năm quá ngắn so với thời gian đáp ứng của hệ thống tài nguyên.

3.5. Phân tích độ nhạy

Bảng 3. Độ nhạy của trạng thái dừng theo các tham số then chốt

Tham số	Giá trị	R^*	u^*	τ^*	Giá trị hiện tại
Tỷ lệ chiết khấu ρ	0,040	0,7290	1,9757	1,2047	95,069
	0,080	0,7007	2,0972	1,0340	46,368
	0,120	0,6759	2,1907	0,8988	29,922
Hệ số suy thoái α	0,010	0,8075	3,1084	0,5276	69,264
	0,020	0,7007	2,0972	1,0340	46,368
	0,030	0,6612	1,4933	1,3187	33,833
Tốc độ tái tạo r	0,100	0,5690	1,2262	1,1471	22,929
	0,200	0,7007	2,0972	1,0340	46,368
	0,300	0,7701	2,6554	0,8056	60,681
Hệ số tắc nghẽn b	0,300	0,6539	2,2631	1,3816	51,644
	0,500	0,7007	2,0972	1,0340	46,368
	0,700	0,7488	1,8811	0,7719	41,335

Ghi chú: τ^* là mức phí môi trường tối ưu (triệu đồng/lượt); giá trị hiện tại tính bằng nghìn tỷ đồng.

Nguồn: Kết quả tính toán của tác giả

Độ co giãn tính tại điểm cơ sở cho thấy trật tự ưu tiên chính sách rõ ràng. Chất lượng tài nguyên tối ưu nhạy nhất với tốc độ tái tạo tự nhiên ($\varepsilon = 0,250$) và hệ số suy thoái ($\varepsilon = -0,175$), trong khi tương đối trơ với tỷ lệ chiết khấu ($\varepsilon = -0,076$). Ngược lại, giá trị hiện tại lại rất nhạy với tỷ lệ chiết khấu ($\varepsilon = -1,059$).

Hai hàm ý được rút ra. Một là, tranh luận về mức chiết khấu xã hội - vốn chiếm nhiều dung lượng trong kinh tế học môi trường - ảnh hưởng mạnh đến thước đo giá trị của điểm đến nhưng ít làm thay đổi mức bảo tồn nên hướng tới. Hai là, các can thiệp nhằm giảm hệ số suy thoái α (phân luồng khách, hạ tầng chịu tải, quy tắc ứng xử) có hiệu lực kép: khi α giảm một nửa từ 0,020 xuống 0,010, điểm đến vừa nâng chất lượng tài nguyên lên 0,8075, vừa đón thêm 48,2% lượng khách, đồng thời chỉ cần thu phí bằng một nửa mức cũ.

3.6. Mở rộng: nội sinh hóa đầu tư bảo tồn

Khi cho phép nhà quản lý chủ động chi cho bảo tồn, điều kiện (7) xác định mức đầu tư tối ưu $v^* = \theta\lambda/\kappa$. Trong trường hợp chi phí đầu tư tuyến tính, quy tắc trở nên đặc biệt gọn: chỉ nên đầu tư khi $\theta\lambda > 1$, tức khi hiệu suất phục hồi vượt nghịch đảo của giá bóng tài nguyên - với bộ tham số cơ sở, ngưỡng này là θ tối thiểu bằng $1/\lambda^* = 0,0193$.

Bảng 4. Trạng thái dừng khi nội sinh hóa đầu tư bảo tồn

Hiệu suất phục hồi θ	R^{**}	u^{**} (triệu lượt)	Chi bảo tồn (nghìn tỷ đồng)	Tỷ lệ trên doanh thu (%)	Giá trị hiện tại	Thay đổi so với không đầu tư (%)
Không đầu tư	0,7007	2,0972	0,0000	0,00	46,368	—
0,020	0,7279	2,2339	0,1284	2,03	49,399	+6,5
0,030	0,7594	2,3826	0,2743	3,98	52,930	+14,2
0,050	0,8448	2,7365	0,6500	7,74	62,614	+35,0
0,080	0,9935	3,2036	1,2320	11,39	79,757	+72,0

Nguồn: Kết quả tính toán của tác giả

Kết quả ở Bảng 4 mang thông điệp chính sách mạnh nhất của nghiên cứu: đầu tư bảo tồn không phải là đánh đổi với tăng trưởng du lịch mà là cách dịch chuyển đường đánh đổi ra ngoài. Với $\theta = 0,050$, việc dành 7,74% doanh thu cho bảo tồn làm tăng đồng thời cả 3 đại lượng - chất lượng tài nguyên tăng 20,6%, lượng khách tăng 30,5% và giá trị hiện tại tăng 35,0%. Cơ chế rất rõ: đầu tư nâng chất lượng, chất lượng nâng giá sẵn lòng chi trả và đồng thời nới rộng dư địa đón khách mà tài nguyên chịu được.

Cũng cần lưu ý giới hạn: ở mức $\theta = 0,080$, chất lượng tối ưu tiến sát ngưỡng nguyên vẹn ($R^{**} = 0,9935$), tức rằng buộc $R \leq K$ bắt đầu có hiệu lực và mô hình cần được mở rộng để xử lý nghiệm biên.

3.7. Hàm ý chính sách

Từ các kết quả trên, nghiên cứu đề xuất 4 nhóm hàm ý.

Một là, chuyển từ quản lý theo sức tải sang quản lý theo giá bóng. Sức tải nên được hiểu là cận trên kỹ thuật, còn chỉ tiêu điều hành nên là mức phí $\tau^* = \alpha\lambda^*$. Ưu điểm của công cụ này là tự động điều chỉnh: khi tài nguyên suy giảm, giá bóng tăng, mức phí tăng theo và lượng khách tự giảm mà không cần mệnh lệnh hành chính.

Hai là, gắn nguồn thu từ du lịch với chi bảo tồn. Bảng 4 cho thấy tỷ lệ tái đầu tư hợp lý nằm trong khoảng 2-8% doanh thu tùy hiệu suất phục hồi. Cơ chế quỹ bảo tồn điểm đến, được cấp vốn từ chính nguồn phí môi trường, là thiết kế thể chế phù hợp với kết quả mô hình.

Ba là, kéo dài tầm quy hoạch. Với thời gian hội tụ 16-18 năm, chu kỳ quy hoạch cần ít nhất 15-20 năm, kèm cơ chế rà soát giữa kỳ thay vì lập lại từ đầu mỗi 5 năm.

Bốn là, thừa nhận phương án tạm dừng khai thác. Đối với điểm đến đã suy thoái sâu, việc tạm dừng đón khách một số năm là nghiệm tối ưu chứ không phải thất bại quản lý, và cần được luật hóa thành một công cụ chính thức kèm cơ chế bù đắp sinh kế cho cộng đồng địa phương.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng và giải một mô hình điều khiển tối ưu cho bài toán khai thác tài nguyên du lịch, trong đó chất lượng tài nguyên vừa là trữ lượng bị hao mòn, vừa là thuộc tính quyết định giá trị của sản phẩm du lịch. 3 đóng góp chính có thể được ghi nhận.

Về lý thuyết, nghiên cứu thiết lập quy tắc vàng điều chỉnh cho điểm đến du lịch, trong đó tỷ lệ chiết khấu xã hội cân bằng với tổng của năng suất tái tạo biên và cổ tức chất lượng. Cấu trúc này giải thích vì sao mức bảo tồn tối ưu trong du lịch vượt xa ngưỡng sản lượng bền vững tối đa của mô hình khai thác tài nguyên cổ điển - một khác biệt bắt nguồn từ đặc thù của sản phẩm du lịch chứ không phải từ giả định đạo đức về bảo tồn.

Về phương pháp, nghiên cứu chứng minh trạng thái dừng có tính ổn định yên ngựa và dựng được quỹ đạo chuyển tiếp tối ưu bằng kỹ thuật tích phân ngược thời gian, qua đó xác định thời gian hội tụ và độ dài giai đoạn tạm dừng khai thác đối với điểm đến suy thoái.

Về chính sách, nghiên cứu cung cấp công thức tường minh cho mức phí môi trường tối ưu và định lượng tổn thất phúc lợi của các chế độ quản lý kém hiệu quả: 100% với tự do tiếp cận, 71,93% với quản lý cận thị và 41,03% khi lấy sản lượng bền vững tối đa làm mục tiêu. Đầu tư bảo tồn ở mức hợp lý làm tăng đồng thời chất lượng tài nguyên, lượng khách và giá trị hiện tại của điểm đến, qua đó bác bỏ quan niệm coi bảo tồn là chi phí đánh đổi với tăng trưởng.

Nghiên cứu có 3 hạn chế. *Thứ nhất*, bộ tham số mang tính hiệu chỉnh minh họa; các kết luận định lượng cần được kiểm chứng lại sau khi ước lượng tham số từ dữ liệu thực địa của từng điểm đến cụ thể. *Thứ hai*, mô hình giả định môi trường tĩnh định, chưa xử lý bất định về cầu du lịch và về khả năng phục hồi của hệ sinh thái. *Thứ ba*, mô hình mô tả một điểm đến đơn lẻ, chưa tính đến cạnh tranh giữa các điểm đến và khả năng chuyển dịch dòng khách.

Ba hướng nghiên cứu tiếp theo được gợi mở: (i) ước lượng thực nghiệm bộ tham số (r, a, θ) cho một số điểm đến trọng điểm của Việt Nam bằng dữ liệu quan trắc môi trường và điều tra khách du lịch; (ii) mở rộng sang mô hình điều khiển ngẫu nhiên với rủi ro suy thoái đột ngột của hệ sinh thái; (iii) xây dựng mô hình trò chơi vi phân cho cạnh tranh giữa nhiều điểm đến cùng khai thác một thị trường nguồn ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Thủ tướng Chính phủ. (2020). Quyết định số 147/QĐ-TTg ngày 22/01/2020 phê duyệt Chiến lược phát triển du lịch Việt Nam đến năm 2030.

Butler, R. W. (1980). The concept of a tourist area cycle of evolution: Implications for management of resources. *Canadian Geographer*, 24(1), 5-12.

Casagrandi, R., & Rinaldi, S. (2002). A theoretical approach to tourism sustainability. *Conservation Ecology*, 6(1), 13.

- Cerina, F. (2007). Tourism specialization and environmental sustainability in a dynamic economy. *Tourism Economics*, 13(4), 553-582.
- Clark, C. W. (1990). *Mathematical bioeconomics: The optimal management of renewable resources* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Coccossis, H., & Mexa, A. (2004). *The challenge of tourism carrying capacity assessment: Theory and practice*. Ashgate.
- Conrad, J. M. (2010). *Resource economics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Dasgupta, P., & Heal, G. M. (1979). *Economic theory and exhaustible resources*. Cambridge University Press.
- Gordon, H. S. (1954). The economic theory of a common-property resource: The fishery. *Journal of Political Economy*, 62(2), 124-142.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248.
- Johnston, R. J., & Tyrrell, T. J. (2005). A dynamic model of sustainable tourism. *Journal of Travel Research*, 44(2), 124-134.
- Lozano, J., Gómez, C. M., & Rey-Maqueira, J. (2008). The TALC hypothesis and economic growth theory. *Tourism Economics*, 14(4), 727-749.
- Mananyi, A. (1998). Optimal management of ecotourism. *Tourism Economics*, 4(2), 147-169.
- Marsiglio, S. (2015). Economic growth and environment: Tourism as a trigger for green growth. *Tourism Economics*, 21(1), 183-204.
- Marsiglio, S. (2017). On the carrying capacity and the optimal number of visitors in tourism destinations. *Tourism Economics*, 23(3), 632-646.
- O'Reilly, A. M. (1986). Tourism carrying capacity: Concept and issues. *Tourism Management*, 7(4), 254-258.
- Palmer, T., & Riera, A. (2003). Tourism and environmental taxes, with special reference to the "Balearic ecotax". *Tourism Management*, 24(6), 665-674.
- Piga, C. A. G. (2003). Pigouvian taxation in tourism. *Environmental and Resource Economics*, 26(3), 343-359.
- Pintassilgo, P., & Silva, J. A. (2007). "Tragedy of the commons" in the tourism accommodation industry. *Tourism Economics*, 13(2), 209-224.
- Pontryagin, L. S., Boltyanskii, V. G., Gamkrelidze, R. V., & Mishchenko, E. F. (1962). *The mathematical theory of optimal processes*. Interscience Publishers.
- Quốc hội. (2017). Luật số 09/2017/QH14: Luật Du lịch, ban hành ngày 19/6/2017.
- Schubert, S. F. (2010). Coping with externalities in tourism: A dynamic optimal taxation approach. *Tourism Economics*, 16(2), 321-343.
- Seierstad, A., & Sydsæter, K. (1987). *Optimal control theory with economic applications*. North-Holland.