



Bài báo nghiên cứu

TIẾP CẬN HỒI QUY KHÔNG GIAN ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG BỀ MẶT KHÔNG THẨM TẠI THÀNH PHỐ CẦN THƠ GIAI ĐOẠN 2000-2020

Lê Trần Oanh Kiều¹, Nguyễn Phi Hùng¹,

Trương Hoàng Trương¹, Trần Văn Thương^{2*}, Huỳnh Phẩm Dũng Phát³

¹Trường Đại học Khoa học Xã hội và Nhân văn, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Thủ Dầu Một, Việt Nam

³Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Trần Văn Thương – Email: thuong.tran@tdmu.edu.vn

Ngày nhận bài: 17-02-2021; ngày nhận bài sửa: 15-3-2021; ngày duyệt đăng: 20-03-2021

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm đánh giá biến động không gian và thời gian bề mặt không thấm tại thành phố Cần Thơ sử dụng ảnh Landsat đa thời gian, được tải từ công nghệ điện toán Google Earth Engine và tiếp cận hồi quy không gian. Chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng và phương pháp bình phương tối thiểu đã được sử dụng để đánh giá biến động của quá trình mở rộng bề mặt không thấm trong giai đoạn 2000-2020. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, mật độ xây dựng tập trung chủ yếu ở khu vực ven sông Hậu và mở rộng sang các địa phương khác theo hướng Tây Bắc. Xét về xu thế mở rộng của diện tích xây dựng trong suốt giai đoạn nghiên cứu, diện tích bề mặt không thấm có xu thế gia tăng 485ha, 399ha, và 376ha tại các quận Ninh Kiều, Bình Thủy và Thốt Nốt tương ứng. Kết quả nhận được từ nghiên cứu này có thể làm tài liệu tham khảo để chính quyền địa phương đề xuất chiến lược phát triển thành phố thông minh trong bối cảnh công nghệ số.

Từ khóa: bề mặt không thấm; Landsat; NDBI; đô thị hóa; viễn thám

1. Đặt vấn đề

Sự gia tăng dân số đô thị do quá trình di cư của người dân từ nông thôn lên thành thị đã và đang dẫn đến sự gia tăng nhu cầu mở rộng diện tích bề mặt không thấm (đất khu dân cư, hệ thống giao thông, mái nhà, bãi đậu xe...) tại khu vực đô thị (Shanableh et al., 2018). Quá trình đô thị hóa đã dẫn đến một số hệ lụy cho môi trường đô thị như hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, hệ sinh thái đô thị, sự thay đổi các chu trình thủy văn và tài nguyên nước; đồng thời, quá trình này còn góp phần gia tăng tác động của biến đổi khí hậu và thậm chí gây ra sự tuyệt chủng của một số loài đặc hữu (Du et al., 2015; Hao Xu, & Bai, 2015). Ảnh hưởng của quá trình đô thị hóa lên các quá trình thủy văn được thể hiện thông qua sự biến đổi đặc tính xâm nhập bề mặt (quá trình thẩm thấu) do sự gia tăng nhanh chóng của diện tích bề mặt

Cite this article as: Le Tran Oanh Kieu, Nguyen Phi Hung, Truong Hoang Truong, Tran Van Thuong, & Huynh Pham Dung Phat (2021). Analyzing the pattern of impervious surface variations in Can Tho City during the 2000-2020 period using spatial regression approaches. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 18(3), 477-487.

không thấm từ quá trình xây dựng. Điều này có thể được giải thích rằng một khu vực có mật độ xây dựng càng cao thì lớp phủ bê tông càng nhiều, quá trình thấm thấu của nước xuống tầng đất giảm, thời gian ứ đọng nước kéo dài, lưu lượng nước chảy tràn tăng và tần suất ngập lụt tăng (Ogden et al., 2011; Suriya, & Mudgal, 2012). Chính vì vậy, việc nghiên cứu biến động bề mặt không thấm ở khu vực đô thị vẫn luôn là vấn đề được quan tâm bởi các nhà khoa học trên thế giới (Jha et al., 2011; Shanableh et al., 2018).

Cần Thơ là đô thị trung tâm lớn nhất vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Từ sau năm 1986, cùng với sự phát triển nhanh chóng hệ thống đô thị quốc gia, đặc biệt sau khi Cần Thơ tách ra từ tỉnh Cần Thơ trở thành đô thị do trung ương quản lý, thành phố có nhiều thay đổi về quy mô, chức năng và “bộ mặt” đô thị (Huynh, & Pathirana, 2011; Pham et al., 2010). Cùng với định hướng phát triển hơn nữa mạng lưới đô thị ĐBSCL và Nam Bộ, Cần Thơ được xác định không chỉ là một trong bốn “đỉnh” của Vùng kinh tế trọng điểm ĐBSCL, là hạt nhân đô thị lớn nhất miền Tây mà còn là đô thị quan trọng của khu vực hạ lưu sông sông Mekong (Pham, et al., 2012). Vì thế, việc nghiên cứu quá trình đô thị hóa thông qua biến động diện tích bề mặt không thấm ở Cần Thơ sẽ góp phần quan trọng trong việc cung cấp cơ sở lý luận và thực tiễn cho những định hướng phát triển của thành phố trong tương lai, đáp ứng mục tiêu phát triển bền vững 11 (đô thị thông minh) của Liên Hiệp Quốc.

Bề mặt không thấm là một chỉ số quan trọng được sử dụng để đánh giá mức độ đô thị hóa và các tác động của nó đến hệ sinh thái khu vực đô thị (Pham et al., 2018). Nhiều công cụ đã được áp dụng để đánh giá biến động diện tích bề mặt không thấm bằng việc sử dụng dữ liệu thực đo hoặc dữ liệu viễn thám (Yang et al., 2017, 2018). Các nghiên cứu chỉ ra rằng, dữ liệu từ ảnh vệ tinh có nhiều thuận lợi hơn trong việc đánh giá phân bố không gian của diện tích bề mặt không thấm vì chi phí thấp và tiết kiệm thời gian so với việc đo đạc từ thực địa. Bên cạnh đó, độ phân giải không gian của ảnh vệ tinh cũng phù hợp để thực hiện các nghiên cứu, khảo sát tại những vùng rộng lớn (Bhatti, & Tripathi, 2014; Pekel et al., 2016). Hơn nữa, chu kỳ thu thập dữ liệu lớn và liên tục nên thuận lợi để phân tích, đánh giá đa thời gian. Một vài nghiên cứu đã sử dụng linh hoạt các dữ liệu ảnh vệ tinh từ độ phân giải thấp đến độ phân giải cao như AVHRR, MODIS (Memon et al., 2015; Son et al., 2019), Landsat (Acharya et al., 2017; Khan, 2005), ASTER (Zhou et al., 2014), Sentinel (Yang et al., 2017). Trong số đó, ảnh đa phổ Landsat đã được đánh giá như là một dữ liệu đầu vào hữu ích cho việc thành lập các bản đồ diện tích bề mặt không thấm thông qua các chỉ số quang phổ (Zhang et al., 2014) do một số thuận lợi như độ phân giải không gian tương đối tốt (30m), độ phân giải thời gian đủ dài để phân tích những biến động theo quy luật nhịp điệu của lớp vỏ cảnh quan (có thể sử dụng ảnh từ năm 1972), và miễn phí cho người dùng (Tran et al., 2019). So sánh với một vài ảnh vệ tinh khác như MODIS hoặc AVHRR (độ phân giải không gian thấp 1km), Sentinel (thời gian nghiên cứu ngắn, chỉ từ năm 2015), viễn thám Radar (các bước tiến xử lý phức tạp), dữ liệu từ ảnh Landsat đã thể hiện được sự ưu thế hơn trong việc đánh giá biến động của đối tượng bề mặt theo không gian và thời gian. Trong nghiên cứu

này, ảnh vệ tinh Landsat đã được sử dụng để đánh giá biến động không gian và thời gian diện tích bề mặt không thấm tại lãnh thổ nghiên cứu.

Quá trình mở rộng diện tích đất đô thị thường gắn liền với việc mở rộng diện tích bề mặt không thấm – một trong những nhân tố để định lượng và thành lập bản đồ phản ánh quá trình đô thị hóa (Bhatti, & Tripathi, 2014). Tuy nhiên, việc thành lập các bản đồ này vẫn còn nhiều thách thức do những biến động về không gian, thời gian, và phản xạ phổ bề mặt trong khu vực đất xây dựng (Ghosh et al., 2018; S. Ghosh, & Siddique, 2018). Để khắc phục những thách thức này, quá trình thành lập bản đồ đã áp dụng nhiều dữ liệu viễn thám và các giá trị quang phổ trên các loại hình sử dụng đất. Một số nhà nghiên cứu đã sử dụng một loạt các chỉ số, chẳng hạn như chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng (NDBI) (Zha et al., 2003), chỉ số xây dựng nền tảng (IBI) (Hanqiu Xu, 2007), chỉ số đô thị (UI) (Kawamura, 1996), chỉ số chuẩn hóa khác biệt đất trống (NDBaI) (Zhao, & Chen, 2005), và chỉ số đất trống (BI) (Rikimaru, 1997)) để lập bản đồ các khu vực đã xây dựng, tức có sự xuất hiện của bề mặt không thấm. Tuy nhiên, các nghiên cứu đều thống nhất rằng, không một chỉ số nào mang tính toàn diện cho tất cả các khu vực được áp dụng do ảnh hưởng của các yếu tố địa phương. Do đó, một chỉ số có thể phù hợp ở khu vực này nhưng có thể không phù hợp để áp dụng cho khu vực khác. Mặt khác, nhiều nghiên cứu đã khẳng định tính ưu việt của chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng, được phát triển bởi Zha và cộng sự (2003), trong quá trình phân tích bề mặt không thấm sử dụng kênh cận đỏ (phản xạ phổ xây dựng thấp) và cận hồng ngoại (phản xạ phổ xây dựng cao) (Bhatti, & Tripathi, 2014; Ghosh et al., 2018). Trong nghiên cứu này, chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng (NDBI), tính toán từ các kênh phổ của ảnh vệ tinh Landsat, đã được sử dụng để đánh giá diện tích bề mặt không thấm của khu vực nghiên cứu.

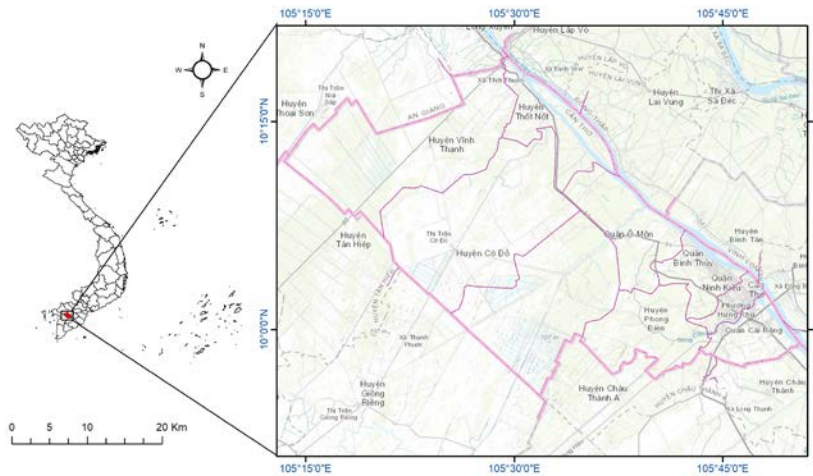
Phương pháp hồi quy không gian (điển hình như bình phương tối thiểu) đã được áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu liên quan đến xu thế biến động môi trường từ dữ liệu viễn thám (Ishtiaque et al., 2016; Wang, & Myint, 2016; Wang et al., 2016). Các mô hình này hỗ trợ cho quá trình dự báo hiện trạng và xu thế của các đối tượng thông qua quá trình mô phỏng tuyến tính. Phân tích xu thế tuyến tính cung cấp thông tin hữu ích để nhận biết động thái của quá trình mở rộng đô thị thông qua sự tăng hoặc giảm của hệ số góc của phương trình hồi quy. Vì vậy, giá trị độ dốc của phương trình hồi quy có thể được áp dụng để đánh giá ý nghĩa thống kê của bất kỳ độ dốc nào có giá trị khác không. Do đó, phương pháp phân tích chuỗi thời gian tích hợp cả giá trị độ dốc đã được áp dụng trong nghiên cứu để kiểm tra xu thế biến đổi về không gian của chỉ số xây dựng đô thị.

Tóm lại, mục tiêu tổng quát của nghiên cứu này là (i) sử dụng chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng để nhận diện bề mặt không thấm tại khu vực đô thị; (ii) áp dụng hồi quy không gian để đánh giá biến động không gian và thời gian diện tích bề mặt không thấm tại lãnh thổ nghiên cứu. Cần Thơ được lựa chọn như môi trường hợp điển hình cho việc áp dụng chỉ số quang phổ và hồi quy không gian để đánh giá sự phát triển đô thị giai đoạn 2000-2020.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Tổng quan lãnh thổ nghiên cứu

Thành phố Cần Thơ (105⁰13'38"-105⁰50'35" kinh độ Đông và 9⁰55'08"-10⁰19'38" vĩ độ Bắc) là một trong 13 tỉnh, thành phố thuộc đồng bằng sông Cửu Long (Hình 1). Thành phố Cần Thơ nằm trên vùng đồng bằng phẳng có độ cao trung bình từ 0,6-0,8m, có diện tích 1402km². Thành phố nằm trong vùng điều kiện khí hậu nóng và ẩm (độ ẩm 83%) với nhiệt độ trung bình 27°C với 2 mùa: mùa khô và mùa mưa với lượng mưa trung bình hằng năm là 1500-1800mm. Năm 2009, Cần Thơ được công nhận là đô thị loại 1 và được xem như trung tâm kinh tế, văn hóa, xã hội và giáo dục ở ĐBSCL (Pham et al., 2012).



Hình 1. Vị trí lãnh thổ nghiên cứu

2.2. Chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng (NDBI)

NDBI là một trong những chỉ số đã được sử dụng rộng rãi để đánh giá các trạng thái bề mặt đã được xây dựng (bề mặt không thấm) (Ghosh et al., 2018). Các giá trị của NDBI có thể, tùy thuộc vào dấu hiệu quang phổ, nằm trong khoảng từ dải hồng ngoại trung bình đến dải hồng ngoại gần. Ngoài việc hữu ích cho việc lập bản đồ các khu định cư của con người (Bhatti, & Tripathi, 2014), nó cũng hữu ích cho một số yếu tố của các công trình xung quanh. Trong nghiên cứu này, khu vực xây dựng được xác định trên cơ sở tính toán số học của chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng (NDBI) được phát triển bởi (Zhang et al., 2003) thông qua kênh phổ cận hồng ngoại (NIR) và hồng ngoại giữa (SWIR) như phương trình (1):

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \tag{1}$$

Để tính toán các chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng, ảnh vệ tinh Landsat phản xạ bề mặt (surface reflectance) theo chuỗi thời gian [gồm Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+), and Operational Land Imager (OLI)] trung bình năm từ tháng 1 đến tháng 12 của giai đoạn 2000-2020 đã được sử dụng. Các ảnh này được lập trình để tải cho khu vực thành phố Cần Thơ và dùng hàm lọc mây để loại bỏ những giá trị lỗi pixel từ công nghệ điện toán Google Earth Engine.

Bên cạnh đó, dữ liệu về hiện trạng sử dụng đất của thành phố Cần Thơ năm 2014 được cung cấp bởi Bộ Tài nguyên và Môi trường cũng được sử dụng để đối chứng dữ liệu giải đoán được từ ảnh vệ tinh cùng năm qua chỉ số xây dựng.

2.3. Phân tích xu thế biến động theo không gian và thời gian

Phương pháp bình phương tối thiểu (OLS) đã được áp dụng để phân tích xu thế biến động bề mặt không thấm dựa trên các pixel ảnh theo thời gian và không gian. Phương pháp này đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu về thống kê không gian – thời gian các vấn đề môi trường (Castrence et al., 2014; Ishtiaque et al., 2016; Thenkabail, 2015; Wang, & Myint, 2016). Trong nghiên cứu này, chuỗi dữ liệu NDBI từ chuỗi ảnh Landsat giai đoạn 2000-2020 đã được đưa vào sử dụng như biến phụ thuộc và thời gian cho cả giai đoạn tính được xem là biến độc lập (Tran et al., 2019a; C. Wang et al., 2016). Công thức tính độ dốc của phương trình xu thế được thể hiện tại phương trình

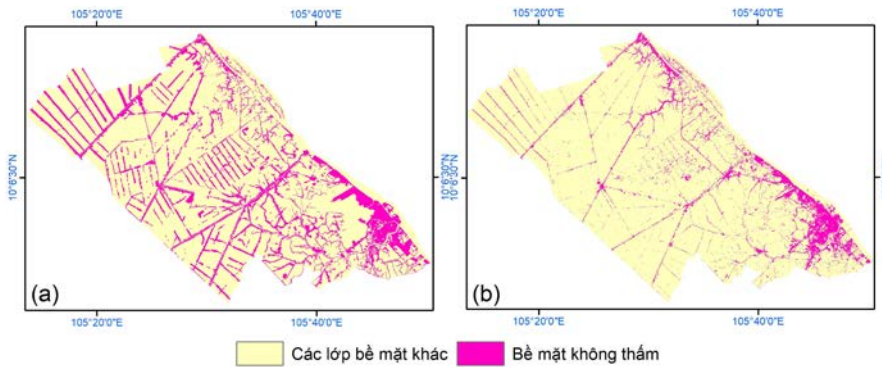
$$Slope = \frac{n \sum_{i=1}^n NDBI_i \times Y_i - \sum_{i=1}^n NDBI_i \times \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n NDBI_i^2 - (\sum_{i=1}^n NDBI_i)^2} \tag{2}$$

Trong đó, *slope* thể hiện sự thay đổi của giá trị NDBI, *n* là thời đoạn tính (21 năm). *NDBI* thể hiện giá trị của bề mặt không thấm như biến phụ thuộc, *Y_i* là số lượng năm tương ứng như biến độc lập, *i-th* là giá trị năm tương ứng của cả hai biến. Giá trị *slope* tiến dần về 0 có nghĩa rằng không có biến động theo thời gian của biến; giá trị *slope* lớn hơn 0 phản ánh xu thế gia tăng của diện tích bề mặt không thấm, và giá trị *slope* nhỏ hơn 0 thể hiện xu thế giảm của diện tích bề mặt không thấm. Giá trị *slope* trong phương trình xu thế được kiểm định ý nghĩa thống kê bằng *t*-test với giá trị *p*<0.05.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sự phản xạ bề mặt không thấm qua chỉ số NDBI

Để đánh giá độ tin cậy của ngưỡng giá trị thể hiện bề mặt không thấm từ chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng (NDBI), dữ liệu thể hiện hiện trạng sử dụng đất của thành phố Cần Thơ năm 2014 đã được sử dụng để so sánh hình dạng và thống kê diện tích bề mặt không thấm (Hình 2).



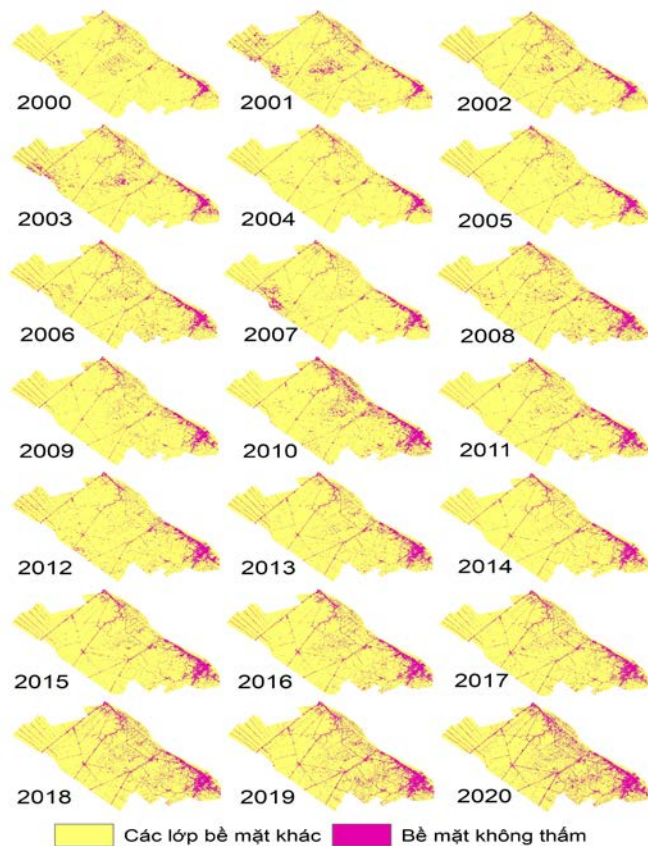
Hình 2. Sự so sánh giữa bề mặt không thấm từ (a) bản đồ hiện trạng sử dụng đất và (b) sự phản xạ phổ của chỉ số xây dựng năm 2014

Nhìn chung, hình dạng và sự phân bố (màu hồng) bề mặt không thấm từ chỉ số NDBI của ảnh vệ tinh Landsat-30m và giá trị thực đo từ dữ liệu hiện trạng sử dụng đất gần như tương tự nhau. Bên cạnh đó, diện tích bề mặt không thấm được tính toán từ lớp dữ liệu hiện trạng sử dụng đất năm 2014 là 21,648ha, trong khi con số này thu được từ chỉ số NDBI là 18,549ha, chênh lệch 3,099ha trong cùng năm tương ứng. Sự chênh lệch này có liên quan đến độ phân giải của ảnh vệ tinh Landsat-30m. Do đó, chỉ số chồng lớp O-index thể hiện 85,7% giá trị tin cậy của ngưỡng chỉ số thể hiện bề mặt không thấm thu được từ NDBI. Nhiều nghiên cứu trước đây cũng đã tiến hành phân ngưỡng giá trị của NDBI để thể hiện bề mặt không thấm và cũng có sự phân chia tương tự. Do đó, sự phát hiện trong nghiên cứu này góp phần tích cực trong việc sử dụng ngưỡng giá trị $NDBI > -0.19$ để đánh giá biến động diện tích bề mặt không thấm. Giá trị của NDBI thể hiện bề mặt không thấm được thống kê trong Bảng 1. Giá trị này được tính toán từ ảnh vệ tinh Landsat và được áp dụng để dự báo xu thế biến động của bề mặt không thấm tại lãnh thổ nghiên cứu.

Bảng 1. Ngưỡng xác định bề mặt không thấm qua chỉ số NDBI

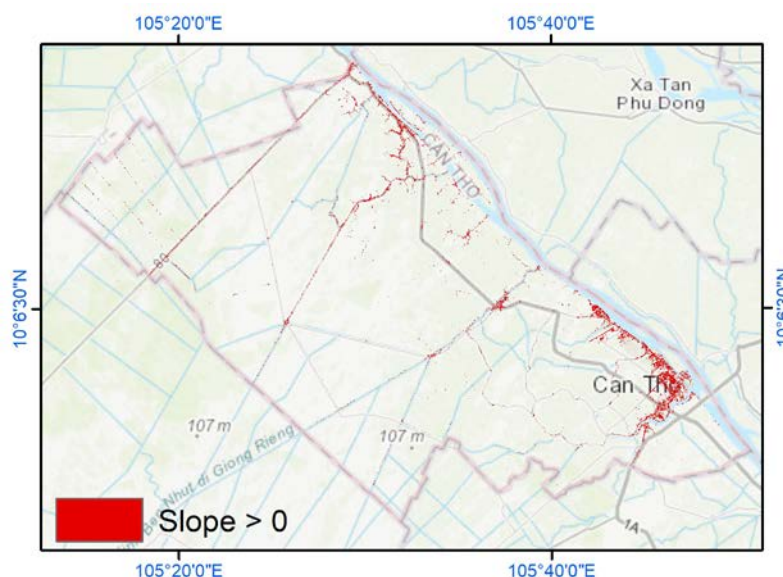
NDBI	Mô tả
Nhỏ hơn hoặc bằng -0.19	Các lớp bề mặt khác
Lớn hơn -0.19	Bề mặt không thấm

3.2. Biến động không gian và thời gian của chỉ số xây dựng



Hình 3. Sự thay đổi bề mặt không thấm tại thành phố Cần Thơ giai đoạn 2000-2020

Sự thay đổi bề mặt không thấm qua chỉ số NDBI được thể hiện tại Hình 4. Quá trình mở rộng diện tích bề mặt không thấm diễn ra theo một số trục nhất định, từ ngã ba sông Hậu và Cần Thơ, dần phát triển xung quanh. Đặc biệt, sau khi cầu Cần Thơ được khánh thành năm 2010, quá trình mở rộng diện tích xây dựng diễn ra nhanh chóng tại khu vực dọc bờ sông Hậu. Khu vực này cũng là khu vực có mật độ tập trung đô thị cao nhất thành phố (Pham et al., 2012; Pham et al., 2010).



Hình 4. Hệ số góc của phương trình xu thế với mức ý nghĩa thống kê $p < 0.05$ của NDBI thể hiện giá trị bề mặt không thấm

Bảng 2. Diện tích (ha) xu thế tăng của chỉ số xây dựng thể giá trị bề mặt không thấm phân theo quận, huyện giai đoạn 2000-2020

STT	Tên quận, huyện	Diện tích (ha)
1	Cái Răng	120
2	Phong Điền	38
3	Ninh Kiều	485
4	Bình Thủy	399
5	Thới Lai	114
6	Ô Môn	194
7	Cờ Đỏ	241
8	Vĩnh Thạnh	223
9	Thốt Nốt	376

Sự phân bố hệ số góc của phương trình hồi quy và diện tích của nó phân theo quận, huyện lần lượt được thể hiện tại Hình 4 và Bảng 2. Quá trình mở rộng diện tích bề mặt không thấm diễn ra ở tất cả các quận, huyện với giá trị $slope > 0$ và không có giá trị giảm của hệ số góc ($slope < 0$). Xuyên suốt giai đoạn, diện tích gia tăng chủ yếu tập trung ở quận Ninh Kiều (tăng 485ha), quận Bình Thủy (tăng 399ha), và quận Thốt Nốt (tăng 376ha). Sự gia tăng của

diện tích bề mặt không thấm trong nghiên cứu này hoàn toàn tương tự với những kết luận trong nghiên cứu của Phạm Đỗ Văn Trung và cộng sự (2012) khi đánh giá quá trình đô thị hóa ở thành phố Cần Thơ từ khía cạnh nhân khẩu học và kinh tế xã hội (Pham et al., 2012). Bên cạnh đó, một số nghiên cứu của các tác giả khác tại thành phố Cần Thơ khi ứng dụng viễn thám và hệ thống thông tin địa lí, trên cơ sở phương pháp phân loại có kiểm định cũng đã kết luận về sự tập trung đô thị chủ yếu ở quận Ninh Kiều và quận Bình Thủy (Huynh, & Pathirana, 2011; Pham et al., 2010). Hơn thế nữa, các quận Ninh Kiều, Bình Thủy, và Thốt Nốt đều nằm trong quy hoạch mở rộng diện tích đô thị đến năm 2030 theo quyết định số 1515/QĐ-TTg, Ban hành ngày 28 tháng 8 năm 2013, về điều chỉnh quy hoạch chung thành phố Cần Thơ đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 (Prime Minister, 2013).

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá biến động không gian và thời gian của chỉ số chuẩn hóa khác biệt xây dựng (NDBI) và sự phản ánh của nó về bề mặt không thấm tại thành phố Cần Thơ từ ảnh vệ tinh Landsat-30m, thu được từ công nghệ điện toán đám mây Google Earth Engine, và tiếp cận hồi quy không gian. Kết quả của nghiên cứu đã chỉ ra rằng, trong giai đoạn 2000-2020, bề mặt không thấm tại thành phố Cần Thơ có xu hướng mở rộng từ trung tâm quận Ninh Kiều và lan rộng theo hướng Tây Bắc dọc theo bờ sông Hậu sang Cái Răng, Bình Thủy, và Thốt Nốt.

Phương pháp tiếp cận được áp dụng trong nghiên cứu này sẽ là tài liệu tham khảo có giá trị cho các nghiên cứu trong tương lai khi phân tích biến động diện tích bề mặt không thấm tại khu vực đô thị. Nghiên cứu cũng chỉ ra những hiệu quả của việc áp dụng hồi quy không gian và dữ liệu chuỗi thời gian trên cơ sở ứng dụng viễn thám và GIS có thể tiết kiệm thời gian và chi phí một cách hiệu quả trong việc đánh giá quá trình mở rộng đô thị thông qua biến động bề mặt không thấm. Hơn nữa, nghiên cứu biến động bề mặt không thấm cũng góp phần hỗ trợ đánh giá mật độ xây dựng đô thị, hoặc nhận định các vấn đề liên quan đến hệ quả của quá trình đô thị hóa như ngập lụt đô thị, mức độ tập trung dân cư đô thị, và đảo nhiệt đô thị.

❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Acharya, T., Kumbhakar, S., Prasad, R., Mondal, S., & Biswas, A. (2017). Delineation of potential groundwater recharge zones in the coastal area of north-eastern India using geoinformatics. *Sustainable Water Resources Management*, 1-8.
- Bhatti, S. S., & Tripathi, N. K. (2014). Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4), 445-467. <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.939539>

- Castrence, M., Nong, D. H., Tran, C. C., Young, L., & Fox, J. (2014). Mapping urban transitions using multi-temporal Landsat and DMSP-OLS night-time lights imagery of the Red River Delta in Vietnam. *Land*, 3(1), 148-166.
- Du, S., Shi, P., Van Rompaey, A., & Wen, J. (2015). Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas. *Natural Hazards*, 76(3), 1457-1471.
- Ghosh, D. K., Mandal, A. C., Majumder, R., Patra, P., & Bhunia, G. S. (2018). Analysis for Mapping of Built-Up Area Using Remotely Sensed Indices—A Case Study of Rajarhat Block in Barasat Sadar Sub-Division in West Bengal (India). *Journal of Landscape Ecology*, 11(2), 67-76.
- Ghosh, S., & Siddique, G. (2018). Change Detection of Built-Up Areas Applying Built-Up Index for Chandannagar City. *International Journal of Technology Research and Management*, 5(4), 1-7.
- Huynh, H. T. L., & Pathirana, A. (2011). Urbanization and climate change impacts on future urban flood risk in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 8(6).
- Ishtiaque, A., Myint, S. W., & Wang, C. (2016a). Examining the ecosystem health and sustainability of the world's largest mangrove forest using multi-temporal MODIS products. *Science of the Total Environment*, (569), 1241-1254.
- Jha, A., Lamond, J., Bloch, R., Bhattacharya, N., Lopez, A., Papachristodoulou, N., Bird, A., Proverbs, D., Davies, J., & Barker, R. (2011). *Five feet high and rising: Cities and flooding in the 21st century*. The World Bank.
- Kawamura, M. (1996). Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *Proc. 51st Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers*, 190-191.
- Khan, S. D. (2005). Urban development and flooding in Houston Texas, inferences from remote sensing data using neural network technique. *Environmental Geology*, 47(8), 1120-1127.
- Memon, A. A., Muhammad, S., Rahman, S., & Haq, M. (2015). Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 99-106.
- Ogden, F. L., Raj Pradhan, N., Downer, C. W., & Zahner, J. A. (2011). Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment. *Water Resources Research*, 47(12).
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418.
- Pham, D. V. T., Nguyen, H. Q. G., & Huynh, P. D. P. (2012). Identifying the Urbanization Pattern based on Demographic and Socio-Economic Aspects. A Case Study in Can Tho City. *Proceedings of the fourth International Conference on Vietnamese Studies*, V, 746-759.
- Pham, T. M. T., Raghavan, V., & Pawar, N. J. (2010). Urban expansion of Can Tho City, Vietnam: A study based on multi-temporal satellite images. *Geoinformatics*, 21(3), 147-160.
- Pham, V. T., Nguyen, V. T., Nguyen, H. L., & Nguyen, D. H. (2018). Detection of the impervious surfaces expansion using SPOT-5 and Sentinel-2 data: A case study in Ho Chi Minh city. *Journal of Mining and Earth Sciences*, 59(2), 69-76.
- Prime Minister, P. (2013). *Decision No: 1515/QĐ-TTg the project on adjustment of the master plan of Can Tho city till 2030 and with a vision to 2050, dated in August 28th, 2013* [Government]. Decision No: 1515/QĐ-TTg the Project on Adjustment of the Master Plan of Can Tho City till

- 2030 and with a Vision to 2050, Dated in August 28th, 2013. <https://vanbanphapluat.co/decision-no-1515-qd-ttg-the-project-on-adjustment-of-the-master-plan-of-can-tho-city-till-2030>
- Rikimaru, A. (1997). Development of forest canopy density mapping and monitoring model using indices of vegetation, bare soil and shadow. *Presented Paper for the 18th ACRS*.
- Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Yilmaz, A., Siddique, M., Merabtene, T., & Imteaz, M. (2018). Effects of Land Cover Change on Urban Floods and Rainwater Harvesting: A Case Study in Sharjah, UAE. *Water*, 10(5), 631.
- Son, N.-T., Chen, C.-F., & Chen, C.-R. (2019). Flood assessment using multi-temporal remotely sensed data in Cambodia. *Geocarto International*, just-accepted, 1-14.
- Suriya, S., & Mudgal, B. V. (2012). Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed—A case study. *Journal of Hydrology*, (412), 210-219.
- Thenkabail, P. S. (2015). *Land resources monitoring, modeling, and mapping with remote sensing*. CRC Press.
- Tran, T. V., Tran, D. X., Myint, S. W., Huang, C., Pham, H. V., Luu, T. H., & Vo, T. M. (2019a). Examining spatiotemporal salinity dynamics in the Mekong River Delta using Landsat time series imagery and a spatial regression approach. *Science of the Total Environment*, 687, 1087-1097.
- Wang, C., & Myint, S. W. (2016). Environmental concerns of deforestation in Myanmar 2001-2010. *Remote Sensing*, 8(9), 728.
- Wang, C., Myint, S. W., Wang, Z., & Song, J. (2016). Spatio-Temporal Modeling of the Urban Heat Island in the Phoenix Metropolitan Area: Land Use Change Implications. *Remote Sensing*, 8(3), 185. <https://doi.org/10.3390/rs8030185>
- Wang, G., Yu, M., & Xue, Y. (2016). Modeling the potential contribution of land cover changes to the late twentieth century Sahel drought using a regional climate model: Impact of lateral boundary conditions. *Climate Dynamics*, 47(11), 3457-3477. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2812-x>
- Xu, Hanqiu (2007). Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(12), 1381-1391.
- Xu, Hao, & Bai, Y. (2015). Evaluation of urban lake evolution using Google Earth Engine-A case study of Wuhan, China. *Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, 2015 Fourth International Conference On, 322-325.
- Yang, X., Qin, Q., Grussenmeyer, P., & Koehl, M. (2018). Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219, 259-270.
- Yang, X., Zhao, S., Qin, X., Zhao, N., & Liang, L. (2017). Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening. *Remote Sensing*, 9(6), 596.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.

- Zhang, F., Zhu, X., & Liu, D. (2014). Blending MODIS and Landsat images for urban flood mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9), 3237-3253. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.903351>
- Zhang, Y., Ni, S. X., & Yang, S. (2003). An Effective Approach to Automatically Extract Urban Land-use from TM Imagery. *Journal of Remote Sensing Beijing*, 7(1), 37-40.
- Zhao, H., & Chen, X. (2005). Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM+. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3, 1666.
- Zhou, Y., Luo, J., Shen, Z., Hu, X., & Yang, H. (2014). Multiscale water body extraction in urban environments from satellite images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(10), 4301-4312.

**ANALYZING THE PATTERN OF IMPERVIOUS SURFACE VARIATIONS
IN CAN THO CITY DURING THE 2000-2020
PERIOD USING SPATIAL REGRESSION APPROACHES**

*Le Tran Oanh Kieu¹, Nguyen Phi Hung¹,
Truong Hoang Truong¹, Tran Van Thuong^{2*}, Huynh Pham Dung Phat³*

¹University of Social Sciences and Humanities, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

²Thu Dau Mot University, Vietnam

³Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam

*Corresponding author: Tran Van Thuong – Email: thuong.tran@tdmu.edu.vn

Received: February 17, 2021; Revised: March 15, 2021; Accepted: March 20, 2021

ABSTRACT

The study aims at examining the spatiotemporal pattern of impervious surface changes using Landsat time-series imagery obtained through Google Earth Engine and spatial regression approaches in Can Tho city. The Normalised Difference Built-up Index and Ordinary Least Square method were applied to characterize the pattern of dynamics of urban expansion during the 2000-2020 period. The results showed that the built-up density mainly focused on the riparian area of the Hau River and expanded northern-west to other areas. Regarding the trend in built-up patterns, an increased area of 485ha, 399ha, and 376ha was found in Ninh Kieu, Binh Thuy, and Thot Not districts respectively during the period. The results from this study can be used as a reference for local government to propose appropriate strategies for developing a smart city in the context of digital technologies.

Keywords: impervious surface; Landsat; NDBI; urbanization; Ordinary Least Square; remote sensing