VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences

Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/EES

Original Article

Evaluating the Ecopark Ecological Urban Area in Hung Yen Province Using the LOTUS BIO Criteria System

Do Xuan Duc[1,*], Nguyen Quynh Anh[1], Hoang Thi Ngoc Mai[1], Ta Thuy Linh[1], Do Khanh Linh[1], Ngo Minh Hieu[2], Nguyen Chuc Khanh[3], Duong Dinh Tuan[4]

[1]*VNU School of Interdisciplinary Sciences and Arts, 144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*
[2]*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*
[3]*The University of Tulsa, 800 S, Tucker Drive, Tulsa, USA*
[4]*Vietnam National Union of Workers in Industry and Trade, 23 Nguyen Van Huyen, Nghia Do, Hanoi, Vietnam*

Received 27th July 2025
Revised 25th February 2026; Accepted 17th April 2026

Abstract: Selecting the appropriate set of criteria is very important in evaluating eco-urban areas that meet the standards according to green building criteria. This study aims to apply the Lotus Bio green building standard system in operation to measure the level of green building standard system compliance of eco-urban areas. We have combined mathematical models to calculate scores and establish the weights of the standard system and criteria using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The study is designed to examine the level of green standard compliance, factors affecting the process of assessing the level of compliance with the LOTUS BIO green building criteria system of the Ecopark Urban Area in Hung Yen, Vietnam. The research results show that the Ecopark ecological urban area achieved lotus bio certification with 64.4/100 points. The assessment activities of green building standards of eco-urban areas should focus on ecological, health, comfort, and energy standards with corresponding scores of 4.28/6 (71.3%); 9.15/13 (70.4%), and 21.7/33 points (65.7%). The assessment activities of eco-urban areas should prioritize standards such as energy, ecology, adaptation, and mitigation with high weights (weights: 0.24; 0.10, and 0.09). In each standard, the assessment should prioritize criteria with high weight values such as energy consumption intensity (0.52), sustainable water use solutions (0.32), healthy shopping (0.54), vegetation (0.49), solid waste management (0.34), occupant comfort (0.21), green transportation (0.42), support for people with disabilities to access and use (0.42), acceptance, operation, trial run (0.46), outstanding performance (0.55). The method of assessing ecological urban areas using the Lotus Bio green building standards can be applied to other ecological urban areas.

Keywords: Criteria system, Green building, Lotus bio, Ecological urban area, Ecopark.

* Corresponding author.
E-mail address: ducxd@vnu.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5348

Đánh giá khu đô thị sinh thái Ecopark, tỉnh Hưng Yên bằng hệ thống tiêu chí LOTUS BIO

Đỗ Xuân Đức[1,*], Nguyễn Quỳnh Anh[1], Hoàng Thị Ngọc Mai[1], Tạ Thùy Linh[1], Đỗ Khánh Linh[1], Ngô Minh Hiếu[2], Nguyễn Chúc Khánh[3], Dương Đình Tuấn[4]

[1]*Trường Khoa học liên ngành & Nghệ thuật, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

[2]*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

[3]*Đại học Tulsa, 800 S, Tucker Drive, Tulsa, Hoa Kỳ*

[4]*Công đoàn Công Thương Việt Nam, 23 Nguyễn Văn Huyên, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 27 tháng 7 năm 2025
Chỉnh sửa ngày 25 tháng 02 năm 2026; Chấp nhận đăng ngày 17 tháng 4 năm 2026

Tóm tắt: Lựa chọn bộ tiêu chí phù hợp là rất quan trọng trong việc đánh giá các khu đô thị sinh thái đáp ứng các tiêu chuẩn theo tiêu chí công trình xanh. Nghiên cứu này nhằm mục đích ứng dụng hệ thống tiêu chuẩn công trình xanh đang vận hành Lotus Bio để đo lường mức độ đáp ứng hệ thống tiêu chuẩn xanh của khu đô thị sinh thái. Chúng tôi đã kết hợp các mô hình toán học để tính toán điểm số và xác lập trọng số hệ thống tiêu chuẩn, tiêu chí bằng phương pháp quy trình phân tích thứ bậc (AHP). Nghiên cứu được thiết kế để xem xét mức độ đáp ứng tiêu chuẩn xanh, các yếu tố có ảnh hưởng đến quá trình đánh giá mức độ đáp ứng hệ thống tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO của Khu đô thị Ecopark Hưng Yên, Việt Nam. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khu đô thị sinh thái Ecopark đạt chứng nhận lotus bio với 64,4/100 điểm. Các hoạt động đánh giá tiêu chuẩn công trình xanh của khu đô thị sinh thái nên tập trung vào các tiêu chuẩn sinh thái, sức khỏe và tiện nghi, năng lương với điểm số tương ứng là 4,28/6 (71,3%), 9,15/13, (70,4%) và 21,7/33 điểm (65,7%). Hoạt động đánh giá khu đô thi sinh thái nên ưu tiên cho các tiêu chuẩn như năng lượng, sinh thái, thích ứng và giảm nhẹ với trọng số cao (trọng số: 0,24; 0,10 và 0,09). Trong từng tiêu chuẩn, hoạt động đánh giá cần ưu tiên các tiêu chí có giá trị trọng số cao như cường độ tiêu thụ năng lượng (0,52), giải pháp sử dụng nước bền vững (0,32), mua sắm lành mạnh 0,54), thảm thực vật (0,49), quản lý chất thải rắn (0,34), sự thoải mái ở người ở (0,21), giao thông xanh (0,42), hỗ trợ người khuyết tật tiếp cận sử dụng (0,42), nghiệm thu, vận hành, chạy thử (0,46), hiệu năng vượt trội (0,55). Phương pháp đánh giá khu đô thị sinh thái bằng bộ tiêu chuẩn công trình xanh Lotus Bio có thể được áp dụng cho các đô thị sinh thái khác.

Từ khóa: Hệ thống tiêu chí. Công trình xanh. Lotus bio. Khu đô thị sinh thái. Ecopark

1. Mở đầu

Công trình xanh và khu đô thị sinh thái ngày càng được coi trọng trong bối cảnh biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường gia tăng. Các hệ thống đánh giá công trình xanh như LOTUS, LEED và Green Mark đã được phát triển nhằm mục đích lượng hóa và thúc đẩy hiệu suất môi trường của các công trình xây dựng, từ đó góp phần vào mục tiêu phát triển bền vững, tiết kiệm tài

* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: ducxd@vnu.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5348

nguyên và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường trong bối cảnh biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường ngày càng trở nên cấp thiết [1].

Các nghiên cứu về hệ thống LEED đã chỉ ra những lợi ích và thách thức trong việc triển khai công trình xanh. Phân tích của G. Newsham và cs. (2019) [2] trên 100 tòa nhà đạt chứng nhận LEED cho thấy mức giảm tiêu thụ năng lượng trung bình từ 18% đến 39% so với các công trình thông thường. Tuy nhiên, khoảng 28-35% các công trình LEED lại có mức tiêu thụ năng lượng cao hơn, đặt ra vấn đề về tính nhất quán giữa chứng nhận và hiệu quả thực tế. Nghiên cứu của Tian Liang, (2022) [3] sử dụng dữ liệu năm 2016 cho thấy các tòa nhà văn phòng LEED tiết kiệm 11% năng lượng tại chỗ, 9% năng lượng nguồn và giảm 9% phát thải khí nhà kính. Mặc dù còn những hạn chế, các nghiên cứu của M. Suh., (2019) [4] và Anthony E. Sparkling (2013) [5] đều khẳng định rằng công trình LEED mang lại tác động tích cực đến môi trường thông qua việc giảm tiêu thụ năng lượng, nước và hạn chế chất thải.

Song song với LEED, hệ thống đánh giá Green Mark cũng ghi nhận những ảnh hưởng tích cực, không chỉ ở khía cạnh môi trường mà còn ở trải nghiệm người sử dụng. Nghiên cứu của K. Tham. (2015) [6] và cộng sự chỉ ra rằng các tòa nhà đạt chứng nhận Green Mark Platinum được đánh giá tốt về độ thông thoáng, chất lượng không khí và giảm thiểu mùi. Một nghiên cứu tại Thành phố Hồ Chí Minh đã xác định các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng đạt chứng nhận Green Mark, bao gồm quản lý vật liệu, năng lượng, nước, công trường, chất thải, nguồn nhân lực và áp dụng các cải tiến, đổi mới trong quá trình thi công [7].

Bên cạnh LEED và Green Mark, hệ thống chứng nhận EDGE cũng đang nhận được sự quan tâm ngày càng lớn tại các quốc gia đang phát triển nhờ tính khả thi và hiệu quả chi phí. Nghiên cứu của Delphine Isimbi và Jihyun Park. (2022) [8] đã tiến hành phân tích 6.024 căn hộ thuộc 17 tòa nhà dân cư được chứng nhận EDGE tại Nam Phi. Kết quả cho thấy các công trình này đạt mức tiết kiệm trung bình 29,7% về năng lượng, 31% về nước và 54% năng lượng tiêu hao trong vật liệu xây dựng. Trong khi đó, nghiên cứu của Monica J. Condezo-Solano và cs. (2024) [9] tập trung đánh giá tác động của chứng nhận EDGE tại Peru, đặc biệt nhấn mạnh đến hiệu quả sử dụng năng lượng, nước và khả năng giảm phát thải khí CO_2 của các tòa nhà sau khi áp dụng các tiêu chí chứng nhận này.

Hệ thống chứng nhận công trình xanh LOTUS, đặc biệt là phiên bản LOTUS BIO, kế thừa và chọn lọc nhiều yếu tố ưu việt từ các hệ thống quốc tế như LEED, Green Mark và EDGE nhằm thích ứng với điều kiện Việt Nam. Tương tự LEED, LOTUS đánh giá toàn diện hiệu suất môi trường qua các tiêu chí năng lượng, nước, vật liệu, chất lượng không khí trong nhà và quản lý công trường. Từ Green Mark, hệ thống tiếp thu các tiêu chí về trải nghiệm người dùng như thông gió tự nhiên và hiệu suất nhiệt. EDGE góp phần định hướng LOTUS BIO theo hướng tiết kiệm năng lượng, nước và vật liệu, phù hợp với yêu cầu tối ưu chi phí đầu tư và vận hành. Nhờ đó, LOTUS BIO xây dựng được một hệ thống đánh giá toàn diện, linh hoạt, cân bằng giữa mục tiêu môi trường, kinh tế và trải nghiệm người dùng, thúc đẩy phát triển công trình xanh phù hợp điều kiện bản địa.

Một minh chứng cho hiệu quả của hệ thống LOTUS BIO là Tòa nhà Xanh Một Liên Hợp Quốc [10], đạt chứng nhận LOTUS Bạch kim với 84/110 điểm theo LOTUS NR V2.0 vào tháng 5 năm 2017. Công trình này tích hợp nhiều giải pháp xanh như mái xanh, cảnh quan tiết kiệm nước, sử dụng thiết bị hiệu suất cao, vật liệu có hàm lượng VOC thấp, tái sử dụng vật liệu xây dựng và lắp đặt tấm quang điện để cung cấp 10% nhu cầu năng lượng. Đây là một ví dụ điển hình cho thấy hệ thống LOTUS không chỉ kế thừa những ưu điểm của LEED, Green Mark và EDGE mà còn tối ưu hóa các tiêu chí đánh giá để phù hợp với điều kiện Việt Nam.

Các yếu tố như năng lượng (E), nước (W), mua sắm bền vững (SP), sinh thái (Eco), chất thải và ô nhiễm (WP), sức khỏe và tiện nghi (H), thích ứng và giảm nhẹ (A), cộng đồng (CY), quản lý (Man) và sáng kiến (Inn) đóng vai trò cốt lõi trong việc định hình và vận hành khu đô thị sinh thái. Quản lý năng lượng hiệu quả giúp giảm phát thải khí nhà kính và tiêu thụ tài nguyên [11],

trong khi quản lý nước bền vững hỗ trợ điều hòa vi khí hậu và bảo tồn cân bằng sinh thái [12]. Mua sắm bền vững thúc đẩy chuỗi cung ứng thân thiện môi trường, giảm thiểu tác động tiêu cực đến hệ sinh thái [13]. Các giải pháp sinh thái nhằm duy trì đa dạng sinh học và cải thiện dịch vụ hệ sinh thái đô thị [14]. Quản lý chất thải và kiểm soát ô nhiễm là yếu tố then chốt để duy trì chất lượng môi trường sống [15]. Sức khỏe và tiện nghi môi trường có tác động trực tiếp đến chất lượng sống của cư dân, thông qua cải thiện chất lượng không khí, tiện ích và tiếp cận không gian xanh [16]. Thích ứng và giảm nhẹ biến đổi khí hậu là yêu cầu cấp thiết để tăng khả năng chống chịu cho đô thị [17]. Đồng thời, vai trò của cộng đồng trong bảo tồn tài nguyên và duy trì các giá trị văn hóa được nhấn mạnh như một yếu tố bền vững xã hội [18]. Quản lý hiệu quả và thực thi chính sách môi trường tạo nền tảng cho sự vận hành đô thị sinh thái [19], trong khi các sáng kiến đổi mới đóng vai trò xúc tác, thúc đẩy áp dụng công nghệ xanh và giải pháp sáng tạo nhằm nâng cao hiệu quả và tính linh hoạt của hệ thống đô thị [20].

Khu đô thị sinh thái Ecopark [21] (Hưng Yên) là khu đô thị sinh thái lớn nhất miền Bắc với diện tích gần 500 ha, gồm các hạng mục chính như đất ở (168,95 ha), thương mại – dịch vụ (111,18 ha), giao thông (85,48 ha), cây xanh – mặt nước (109,09 ha) và hồ điều hòa 100 ha. Hệ thống công viên rộng 10 ha đóng vai trò "lá phổi xanh" của khu đô thị. Ecopark nằm tại xã Phụng Công, tỉnh Hưng Yên có vị trí thuận lợi, cách trung tâm Hà Nội 12,8 km và dễ dàng kết nối với các tuyến giao thông huyết mạch. Việc áp dụng các tiêu chí công trình xanh, cụ thể là hệ thống LOTUS BIO [22], để đánh giá các khu đô thị sinh thái như Ecopark là một hướng đi quan trọng nhằm thúc đẩy phát triển bền vững. LOTUS là hệ thống đánh giá công trình xanh được phát triển bởi Hội đồng Công trình Xanh Việt Nam (VGBC). Được cộng đồng quốc tế công nhận là một trong những hệ thống chứng nhận khắt khe nhất hiện nay, LOTUS đặt ra những tiêu chuẩn cao về tính bền vững môi trường cho các công trình xây dựng và trách nhiệm xã hội của chủ đầu tư. LOTUS BIO là một trong các hệ thống đánh giá của LOTUS, tập trung vào các công trình xây dựng cơ bản, đánh giá qua 10 khía cạnh: Năng lượng (E), Nước (W), Mua sắm bền vững (SP), Sinh thái (Eco), Chất thải & Ô nhiễm (WP), Sức khỏe & Tiện nghi (H), Thích ứng & Giảm nhẹ (A), Cộng đồng (CY), Quản lý (Man), Sáng kiến (Inn). LOTUS BIO cung cấp một khuôn khổ toàn diện để đánh giá và chứng nhận các công trình xanh tại Việt Nam.

LOTUS BIO đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy phát triển công trình xanh tại Việt Nam, góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường, nâng cao chất lượng cuộc sống và hướng tới một tương lai bền vững. Nhằm xác định mức độ ảnh hưởng tương đối của từng tiêu chuẩn trong hệ thống đánh giá LOTUS BIO, tương tự như quá trình phân tích chi tiết tiêu chí từng tiêu chuẩn, nghiên cứu này áp dụng phương pháp thuật toán phân tích thứ bậc AHP do Saaty đề xuất. Các trọng số phản ánh một cách định lượng vai trò và tầm quan trọng của mỗi tiêu chuẩn trong việc đánh giá hiệu suất bền vững của các công trình theo tiêu chuẩn LOTUS BIO. Việc sử dụng thuật toán AHP cho phép đảm bảo tính khách quan và khoa học trong việc xác định trọng số, từ đó nâng cao độ tin cậy của hệ thống đánh giá.

Nghiên cứu được thực hiện với hai mục tiêu chính: i) Ứng dụng hệ thống tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO để đánh giá mức độ đáp ứng của khu đô thị sinh thái Ecopark (tỉnh Hưng Yên); và ii) Đề xuất các giải pháp cải thiện và tối ưu hóa nhằm nâng cao khả năng đáp ứng các tiêu chuẩn công trình xanh theo hệ thống này. Để hiện thực hóa các mục tiêu trên, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp Phân tích thứ bậc (AHP) [23] – một công cụ ra quyết định đa tiêu chí cho phép định lượng mức độ quan trọng tương đối giữa các yếu tố trong một hệ thống phức tạp. Dữ liệu phục vụ nghiên cứu được thu thập từ khảo sát ý kiến cư dân tại Ecopark, tập trung vào 10 nhóm tiêu chí trọng yếu theo khung đánh giá của LOTUS BIO. Các dữ liệu thu được sau đó được xử lý bằng thuật toán AHP để tính toán điểm số tổng thể và xác định trọng số của từng tiêu chí, từ đó phản ánh mức độ ảnh hưởng của các yếu tố thành phần đến tính bền vững tổng thể của khu đô thị. Nghiên cứu tập trung vào bốn mục tiêu cụ

thể: i) Đánh giá mức độ đáp ứng hiện tại của Ecopark đối với các tiêu chí trong hệ thống LOTUS BIO; ii) Xác định trọng số của từng tiêu chí dựa trên khảo sát cư dân và tiêu chuẩn LOTUS BIO; iii) Xác lập hệ thống trọng số đặc thù nhằm phản ánh chính xác điều kiện và đặc điểm riêng của khu đô thị; và iv) Đề xuất các giải pháp tối ưu hóa nhằm nâng cao hiệu quả vận hành, hướng tới khả năng đạt chuẩn công trình xanh trong tương lai.

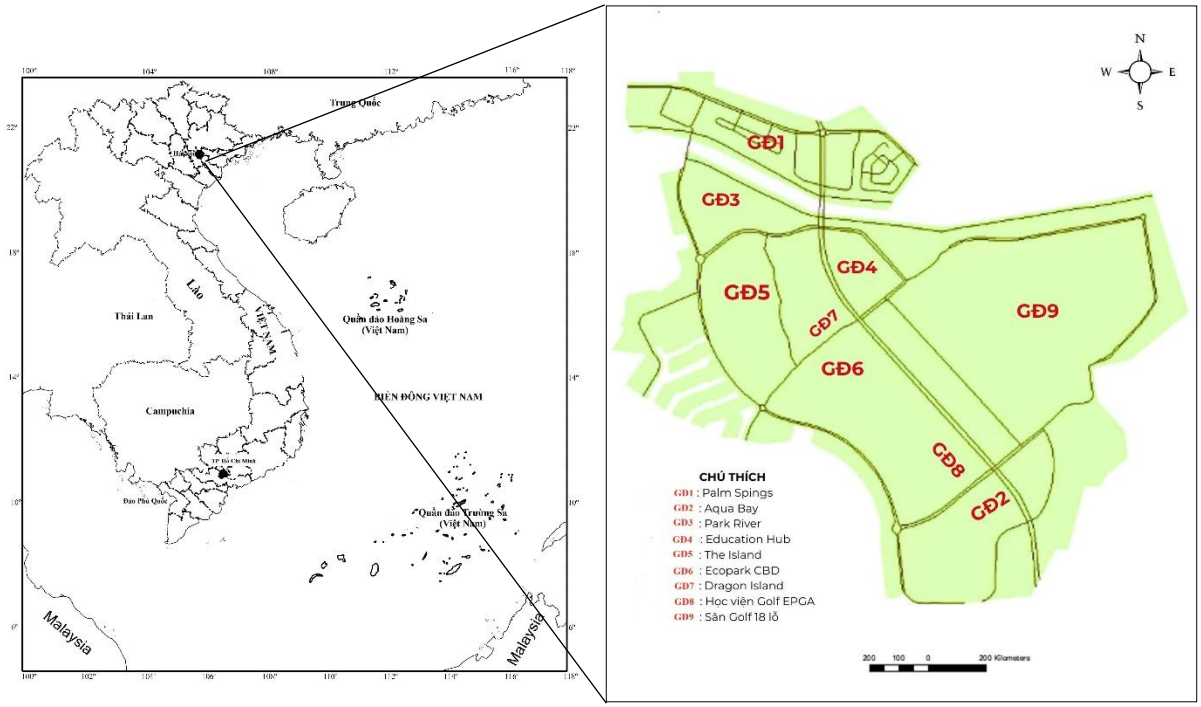
2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu đô thị sinh thái Ecopark với quy mô gần 500 ha, tọa lạc tại tỉnh Hưng Yên với mật độ xây dựng chỉ chiếm 33,85% diện tích đất ở, Ecopark chú trọng phát triển không gian xanh với hồ điều hòa 100 ha và hệ thống 3 công viên lớn (tổng diện tích 10 ha). Nhóm nghiên cứu tập trung vào những khu vực có người dân sinh sống và dễ tiếp cận, phục vụ cho hoạt động nghiên cứu thuộc Giai đoạn 1 - Palm Springs, Giai đoạn 2 - Aqua Bay, Giai đoạn 4 - Trung tâm giáo dục, Giai đoạn 5 - The Island.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sử dụng một tổ hợp các phương pháp nghiên cứu để đánh giá một cách toàn diện mức độ "xanh" của khu đô thị sinh thái Ecopark dựa trên hệ thống tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO.



Hình 1. Vị trí điểm nghiên cứu Khu đô thị sinh thái Ecopark ở tỉnh Hưng Yên, Việt Nam.

2.2.1. Phương pháp lấy mẫu, điều tra và khảo sát

Phương pháp điều tra, khảo sát đóng vai trò then chốt trong việc thu thập dữ liệu sơ cấp. Các cuộc điều tra và khảo sát sẽ được thực hiện trực tiếp tại khu đô thị, đối tượng khảo sát là cư dân sinh sống tại Ecopark, nhằm mục đích đánh giá sự đáp ứng của Ecopark với tiêu chí LOTUS BIO. Số mẫu nghiên cứu cần thu được nhóm tính toán dựa trên công thức Yamane (1967) [24].

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

Trong phạm vi nghiên cứu này, với tổng thể cư dân tại Khu đô thị Ecopark Hưng Yên là 30.000 người ($N = 30.000$) theo số liệu từ Ban quản lý, quy mô mẫu tối thiểu được xác định là 394 theo công thức Yamane (với mức sai số cho phép $e = 5\%$). Do đó, nhóm nghiên cứu cần thu về ít nhất 394 phiếu khảo sát hợp lệ để đảm bảo tính đại diện. Nhóm nghiên cứu chủ yếu tiến hành thu thập câu trả lời cho phiếu khảo sát trực tiếp tại khu đô thị Ecopark Hưng Yên, đồng thời nhóm cũng thu được một số câu trả lời từ các nhóm, trang mạng xã hội dành riêng cho cư dân Ecopark, trong thời gian từ ngày 30/12/2024 đến hết ngày 13/02/2025 (45 ngày). Các tiêu chí bảng hỏi tập trung vào các hạng mục theo bộ tiêu chuẩn LOTUS BIO gồm: năng lượng, nước, mua sắm bền vững, sinh thái, chất thải và ô nhiễm, sức khỏe và Tiện nghi, thích ứng và Giảm nhẹ, cộng đồng, quản lý.

2.2.2. Phương pháp áp dụng hệ thống tiêu chí đánh giá công trình xanh LOTUS BIO

Bảng 1. Bảng điểm hệ thống đánh giá công trình xanh LOTUS BIO

Hạng mục	Số điểm tối đa
Năng lượng	33
Nước	10
Mua sắm bền vững	4
Sinh thái	6
Chất thải và Ô nhiễm	8
Sức khỏe và Tiện nghi	12
Thích ứng và Giảm nhẹ	11
Cộng đồng	6
Quản lý	10
Tổng	100

Việc áp dụng phương pháp hệ thống tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO để đánh giá khu đô thị Ecopark giúp xác định mức độ thân thiện với môi trường và hiệu quả sử dụng tài nguyên của dự án. Hệ thống LOTUS BIO tập trung vào các yếu tố như hiệu quả năng lượng, quản lý nước, chất lượng không khí trong nhà, sử dụng vật liệu bền vững và thiết kế cảnh quan sinh thái. Thông qua việc đối chiếu với các tiêu chí này, khu đô thị sinh thái Ecopark sẽ được đánh giá chất lượng công trình xanh, xác định được tiêu chí cần cải thiện, đảm bảo môi trường sống trong lành cho cư dân và góp phần thúc đẩy phát triển bền vững trong quy hoạch đô thị tại Việt Nam.

2.2.3. Phương pháp tính toán trọng số bộ tiêu chí với thuật toán AHP

Thuật toán AHP (Analytic Hierarchy Process) [25], là một kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí, giúp xác định trọng số của từng tiêu chí dựa trên dữ liệu khảo sát từ cư dân, sau đó tính toán điểm số tổng thể cho Ecopark dựa trên dữ liệu thu thập được. Kết quả phân tích sẽ cung cấp một đánh giá khách quan và định lượng về mức độ đáp ứng các tiêu chuẩn công trình xanh của Ecopark theo hệ thống LOTUS BIO, đồng thời chỉ ra các tiêu chí tác động mạnh mẽ đến khu đô thị trong việc thực hiện các mục tiêu phát triển bền vững. Phương pháp tính toán trọng số bộ tiêu chí với thuật toán AHP gồm 5 bước sau:

- Xây dựng cấu trúc phân cấp của bộ tiêu chí đa chỉ tiêu.

- Xây dựng bảng câu hỏi khảo sát sử dụng google form với thang đo Likert:

Bảng hỏi được thiết lập với 10 tiêu chí tương ứng với 10 tiêu chuẩn của hệ thống LOTUS BIO với 41 chỉ tiêu tương ứng thống tiêu chí công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO. Kết quả đã ghi nhận được 15 ý kiến chuyên gia đánh giá phiếu hỏi theo thang liker (1-5 điểm) gồm: 05 ý kiến chuyên gia trong lĩnh vực kiến trúc, đô thị, quy hoạch đô thị; 05 ý kiến đại diện cơ quan quản lý nhà nước liên quan đến xây dựng, đô thị, công trình, kiến trúc; 05 ý kiến của công ty/doanh nghiệp liên quan đến khu đô thị sinh thái Ecopark.

- Tính trọng số của từng tiêu chí:

Hệ thống các công thức tính toán theo AHP được xác lập để tính toán trọng số cho bộ tiêu chí bao gồm các công thức (1), (2), (3), (4).

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{M_i}{\sum_{i=1}^{s} M_i}\right)}{n} \quad (1)$$

$$W_t = \frac{W_s + W_k}{2} \quad (2)$$

$$W_s = \left(\sum_{j=1}^{n} \left(\frac{M_1}{\sum_{i=1}^{s} M_i} \times W_j\right)\right) \quad (3)$$

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^{s} \frac{M_i}{M_{Si}}}{\sum_{1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{s} \frac{M_i}{M_{Si}}\right)} \quad (4)$$

Trong đó W_i: là giá trị trọng số của tiêu chí i, Ni: là số chuyên gia trả lời tại tiêu chí i, Mi: là giá trị trung bình của các câu trả lời chuyên gia tại tiêu chí i, s: là số tiêu chí, và n là số biến.

- Kiểm tra tỷ lệ nhất quán:

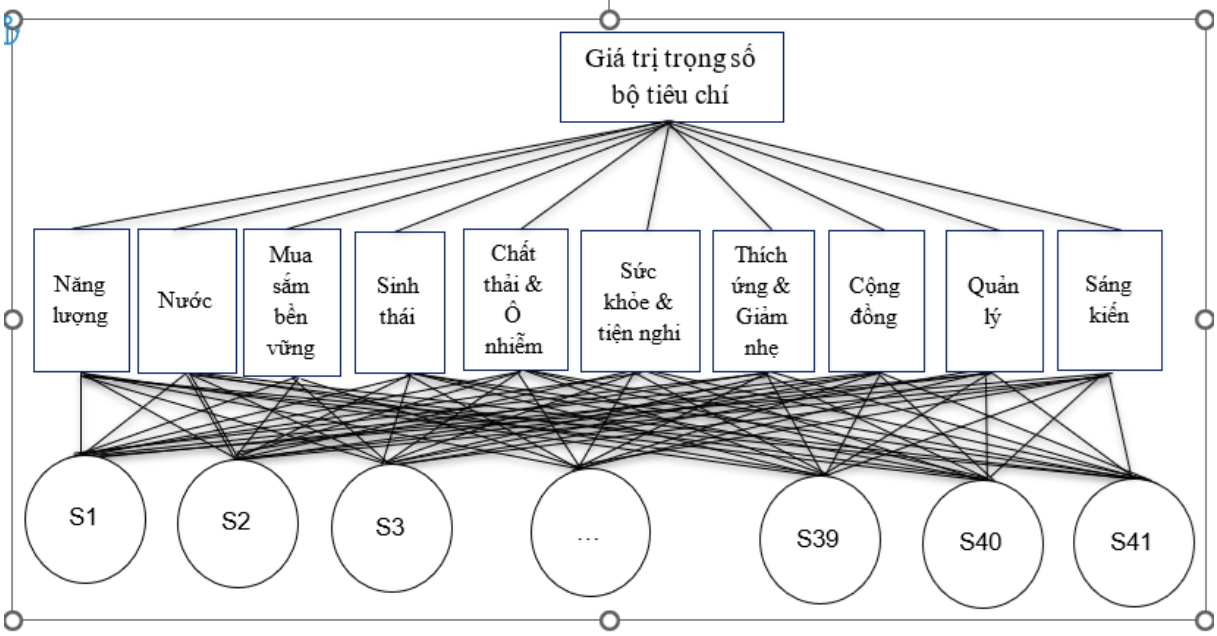
Để kiểm tra tính nhất quán (CR) <10%) trong các câu trả lời của chuyên gia, sử dụng công thức từ (5), (6), (7) bên dưới.

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^{n} wi * \sum_{j=1}^{n} aij \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Trong đó: CI: là chỉ số nhất quán; CR: là tỷ số nhất quán, n là số tiêu chí.



Hình 2. Sơ đồ phân cấp thứ bậc của thuật toán AHP.

Bảng 2. Bảng chỉ số ngẫu nhiên RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Nguồn: Saaty, 1980 [25].

Phương pháp tính toán trọng số của các tiêu chí xanh áp dụng các công thức từ (1) đến (7), ví dụ áp dụng tính trọng số đối với tiêu chuẩn năng lượng của khu đô thị sinh thái Ecopark được trình bày từ Bảng 3, 4, 5.

Để xác định mức độ ưu tiên và chọn phương án, phương pháp AHP sử dụng tỷ số nhất quán (CR). Giá trị CR được coi là chấp nhận được nếu nhỏ hơn hoặc bằng 0,1. Kết quả tính toán tại bảng 2.5 cho thấy hệ số (λmax) theo công thức (5) là: 6,359694 từ đó tính được chỉ số nhất quán CI (Consistency index) theo công thức (6) là: 0,071938852, áp dụng công thức (7) và dựa trên chỉ số ngẫu nhiên (RI) tại bảng 2 để tính được tỷ số nhất quán (CR = 0,0580152 < 0,1). Như vậy, phương án trả lời của chuyên gia là nhất quán.

Tính toán mức độ ưu tiên của từng tùy chọn và chọn trọng số

Kết quả tính toán thông qua lập các bảng ma trận, chuẩn hóa trọng số tại công thức (1) đến (4). Nghiên cứu đã lựa chọn được cấu trúc bộ tiêu chí đa chỉ tiêu tối ưu gồm 10 nhóm ứng với bộ tiêu chuẩn hệ thống công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO với 41 chỉ tiêu. Từng chỉ tiêu, tiêu chí, nhóm tiêu chí được đối sánh và xác lập trọng số theo phân hạng ưu tiên cao đến ưu tiên thấp.

Bảng 3. Ma trận so sánh cặp giữa các tiêu chí của tiêu chuẩn năng lượng

Tiêu chí của tiêu chuẩn năng lượng		E-2. Cường độ tiêu thụ năng lượng	E-3. Thông gió tự nhiên & Điều hòa không khí	E-4. Chiếu sáng nhân tạo	E-6. Giải pháp năng lượng bền vững	E-5. Giám sát và quản lý tiêu thụ năng lượng	E-1. Kiểm toán năng lượng
		11,1	3,1	2,4	1,9	1,6	1,5
E-2. Cường độ tiêu thụ năng lượng	11,1	1	3,57048	4,61340	5,96667	6,83206	7,23720
E-3. Thông gió tự nhiên & Điều hòa không khí	3,1	0,28007	1	1,2921	1,6711	1,9135	2,0270
E-4. Chiếu sáng nhân tạo	2,4	0,21676	0,77394	1	1,2933	1,4809	1,5687
E-6. Giải pháp năng lượng bền vững	1,9	0,16760	0,59840	0,7732	1	1,1450	1,2129
E-5. Giám sát và quản lý tiêu thụ năng lượng	1,6	0,14637	0,52261	0,6753	0,8733	1	1,059
E-1. Kiểm toán năng lượng	1,5	0,13818	0,49335	0,6375	0,8244	0,944	1

Bảng 4. Chuẩn hóa ma trận giữa các tiêu chí của tiêu chuẩn năng lượng

Tiêu chí của tiêu chuẩn năng lượng		E-2.	E-3.	E-4.	E-6.	E-5.	E-1.	Trọng số
		11,1	3,1	2,4	1,9	1,6	1,5	
E-2.	11,1	0,526	0,522	0,511	0,514	0,514	0,513	0,517
E-3.	3,1	0,147	0,143	0,144	0,144	0,144	0,144	0,144
E-4.	2,4	0,114	0,114	0,086	0,111	0,111	0,111	0,108
E-6.	1,9	0,074	0,086	0,086	0,075	0,086	0,086	0,082
E-5.	1,6	0,074	0,071	0,075	0,075	0,075	0,075	0,074
E-1.	1,5	0,068	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071

Bảng 5. Kiểm tra tỷ số nhất quán (CR) giữa các tiêu chí của tiêu chuẩn năng lượng

Tiêu chí của tiêu chuẩn năng lượng		E-2.	E-3.	E-4.	E-6.	E-5.	E-1.	Tổng giá trị	Trọng số	Véctơ nhất quán
		11,1	3,1	2,4	1,9	1,6	1,5			
E-2.	11,1	0,517	0,514	0,497	0,504	0,510	0,511	3,053	0,517	6,1000
E-3.	3,1	0,145	0,144	0,139	0,140	0,143	0,144	0,856	0,144	8,5000
E-4.	2,4	0,112	0,111	0,108	0,108	0,111	0,111	0,662	0,108	6,1322
E-6.	1,9	0,087	0,086	0,083	0,084	0,086	0,086	0,512	0,082	6,2291
E-5.	1,6	0,076	0,075	0,073	0,073	0,075	0,075	0,448	0,074	6,0255
E-1.	1,5	0,071	0,072	0,069	0,007	0,071	0,075	0,365	0,071	5,1714

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Đánh giá mức độ đáp ứng các tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO của khu đô thị sinh thái Ecopark

Bảng 6 cho thấy, khu đô thị sinh thái Ecopark đạt chứng nhận LOTUS hạng bạc với 64,4/100 điểm - đã đáp ứng được nhiều tiêu chí về công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO. Trong đó, nhóm tiêu chí Năng lượng đạt 21,7/33 điểm, tương ứng 65,7%; Nhóm tiêu chí Nước đạt 5,45/10 điểm (55%); Mua sắm bền vững đạt 2,28/4 điểm (57%); Sinh thái đạt 4,28/6 điểm (71,3%); Chất thải & Ô nhiễm đạt 4,19/8 điểm (52,4%); Sức khỏe & Tiện nghi đạt 9,15/13 điểm (70,4%); Thích ứng & Giảm nhẹ đạt 5,51/ 10 điểm (55,1%); Cộng đồng đạt 3,52/ 6 điểm (58,7%), Quản lý đạt 4,95/10 điểm (49,5%); Sáng kiến đạt 3,37/8 điểm (42,1%). Tuy nhiên, kết quả khảo sát và định lượng ý kiến của cư dân sinh sống trong khu đô thị sinh thái Ecopark bằng thang đo likert cho thấy Ecopark còn không gian xanh để cải thiện và sớm đạt mức độ Vàng hoặc Bạch Kim theo thang LOTUS BIO. Do đó, để nâng cấp tiêu chí xanh, khu đô thị ưu tiên tập trung vào yếu tố được cư dân chấm điểm thấp là quản lý và sáng kiến.

Bảng 6. Kết quả đánh giá mức độ đáp ứng các tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO của khu đô thị Ecopark

STT	Ký hiệu	Tên tiêu chí	Điểm trung bình tại Ecopark (điểm)	Điểm Lotus Bio (điểm)	Mức độ đáp ứng (%)
1	NĂNG LƯỢNG		21,7	33	65,7 %
	E-2	Cường độ tiêu thụ năng lượng	11,2	15,0	74,7
	E-3	Thông gió tự nhiên & Điều hòa không khí	3,15	5,0	63,0
	E-4	Chiếu sáng nhân tạo	2,4	4,0	60,0
	E-6	Giải pháp năng lượng bền vững	1,81	4,0	45,3
	E-5	Giám sát và quản lý tiêu thụ năng lượng	1,54	3,0	51,3
	E-1	Kiểm toán năng lượng	1,52	2,0	76,0
2	NƯỚC		5,45	10	55,0%
	W-4	Giải pháp sử dụng nước bền vững	1,76	4,0	44,0
	W-2	Thiết bị sử dụng nước hiệu quả	1,68	3,0	56,0
	W-3	Giám sát sử dụng và Chống thất thoát nước	1,03	2,0	51,5
	W-1	Kiểm toán nước	0,98	1,0	98,0
3	MUA SẮM BỀN VỮNG		2,28	4,0	57,0%
	SP-2	Mua sắm lành mạnh	1,24	2,0	62,0
	SP-1	Mua hàng ít carbon	1,04	2,0	52,0
4	SINH THÁI		4,28	6,0	71,3%
	Eco-1	Thảm thực vật	2,09	3,0	69,7
	Eco-2	Quản lý cảnh quan bền vững	1,22	2,0	61,0
	Eco-3	Quản lý sinh vật gây hại	0,97	1,0	97,0
5	CHẤT THẢI VÀ Ô NHIỄM		4,19	8,0	52,4%
	WP-2	Quản lý chất thải rắn	1,41	3,0	47,0
	WP-1	Xử lý nước thải	1,20	2,0	60,0
	WP-3	Chất làm lạnh	0,84	2,0	42,0
	WP-4	Giảm thiểu ô nhiễm ánh sáng	0,74	1,0	74,0
6	SỨC KHỎE & TIỆN NGHI		9,15	13	70,4%
	H-1	Sự thoải mái của người ở	1,95	3,0	65,0
	H-6	Chiếu sáng tự nhiên	1,43	2,0	71,5
	H-7	Tầm nhìn ra bên ngoài	1,28	2,0	64,0
	H-3	Cung cấp không khí trong lành	1,27	2,0	63,5

	H-8	Vệ sinh xanh	0,99	1,0	99,0
	H-2	Hút thuốc lá trong nhà	0,91	1,0	91,0
	H-5	Kiểm thử chất lượng không khí trong nhà IAQ	0,79	1,0	79,0
	H-4	Giám sát nồng độ CO_2	0,53	1,0	53,0
7	THÍCH ỨNG & GIẢM NHẸ		5,51	10	55,1%
	A-4	Giao thông xanh	2,29	4,0	57, 3
	A-1	Chống chịu thiên tai	1,10	2,0	55,0
	A-2	Nước mưa chảy tràn	1,10	2,0	55,0
	A-3	Hiệu ứng đảo nhiệt	1,02	2,0	51,0
8	CỘNG ĐỒNG		3,52	6,0	58,7%
	CY-1	Hỗ trợ người khuyết tật	1,48	2,0	74,0
	CY-2	Nhận thức xanh	1,28	2,0	64,0
	CY-3	Chương trình nâng cao nhận thức cộng đồng	0,76	2,0	38,0
9	QUẢN LÝ		4,95/10	10	49,5%
	Man-3	Nghiệm thu - vận hành - chạy thử	2,27	4,0	56,8
	Man-5	Quản lý xanh	1,10	2,0	55,0
	Man-4	Bảo trì - Duy tu	1,17	2,0	58,5
	Man-2	LOTUS AP (chuyên gia đánh giá công trình xanh)	0,26	1,0	26,0
	Man-1	Công trình đạt Chứng nhận LOTUS	0,15	1,0	15,0
10	SÁNG KIẾN		3,37	8,0	42,1%
	Inn-2	Sáng kiến/Công nghệ mới	1,86	8,0	23,3
	Inn-1	Nâng cao hiệu năng vượt trội	1,51	8,0	18,9
	TỔNG		64,4	100	64,4%

Giá trị tỷ lệ điểm đánh giá của các tiêu chuẩn được xác định và thể hiện trong Bảng 6, tiêu chuẩn sinh thái, sức khỏe và tiện nghi, năng lượng được xác định có tỷ lệ số điểm cao nhất trong 10 tiêu chuẩn được đánh giá. Giá trị tỷ lệ điểm số của sinh thái, sức khỏe và tiện nghi, năng lượng trong đối sánh với tháng điểm Lotus Bio lần lượt là 71,3; 70,4 và 65,7%. Tiêu chuẩn sinh thái tại Ecopark đạt 71,3% chiếm tỷ lệ tương đối cao so với thang đo Lotus Bio. Tuy nhiên, không gian tại Ecopark còn tiềm năng lớn để duy trì và gia tăng tỷ lệ xanh hóa cho khu đô thị, do đó cần tăng cường bảo vệ hệ sinh thái và sử dụng đất bền vững tại đô thị như nghiên cứu của Nguyễn Thị Kiều Vinh, Doãn Thị Thuỳ Hương (2017) [26]. Khu đô thị sinh thái Ecopark được đánh giá cao bởi dịch vụ sức khỏe và tiện nghi đạt 70,4% so với thang điểm của Lotus Bio. Ngoài ra, tiêu chuẩn năng lượng tại Ecopark được đánh giá cao, đây một điểm cộng của khu đô thị sinh thái, do vậy cần tiếp tục phát huy thông qua việc ứng dụng năng lượng tái tạo và phát triển công trình cân bằng năng lượng phát thải cho khu đô thị sinh thái theo kết quả nghiên cứu của PhạmVăn Toàn và cs (2023) [27].

Bảng 6 cho thấy giá trị tỷ lệ của các tiêu chuẩn của công trình xanh khác được đánh giá cao tại khu đô thị sinh thái Ecopark như cộng đồng, mua sắm bền vững, thích ứng và giảm nhẹ, nước, chất thải và ô nhiễm. Kết quả này được so sánh với thang điểm công trình xanh Lotus Bio, xác nhận rằng các tiêu chuẩn này ở khu đô thị Ecopark đáp ứng cao so với tiêu chuẩn công trình xanh đang vận hành. Tỷ lệ cao nhất của các tiêu chuẩn này của khu đô thị sinh thái Ecopark lần lượt là 58,7; 57,0; 55,1; 55,0 và 52,4%. Tuy nhiên, để khu đô thị sinh thái Ecopark phát triển và đáp ứng kỳ vọng cao hơn về chất lượng cuộc sống xanh thì cần ưu tiên và tận dụng hiệu quả nguồn nước bề mặt để điều hòa vi khí hậu theo kết quả từ nghiên cứu của Phan Thị Anh Thư và cs (2023) [28]. Quản lý nước cần được hỗ trợ bằng công nghệ IoT nhằm giám sát, giảm thiểu rò rỉ và thất thoát nước theo kết quả từ nghiên cứu của Bawankar và cs. (2024) [29]. Đồng thời thúc đẩy sự tham gia của cộng đồng và áp dụng

các mô hình quản lý bền vững theo đề xuất trong nghiên cứu của Rita Obiozo và Smallwood (2014) [30]. Phát triển các giải pháp để giảm tiêu thụ tài nguyên ngăn chặn ô nhiễm, giảm thiểu chất thải và quản lý chất thải và tái chế vật liệu hiệu quả theo đề xuất trong nghiên cứu của Ghorab và Shalaby (2016) [31].

Tỷ lệ điểm đánh giá đối với tiêu chuẩn quản lý và sáng kiến tại khu đô thị sinh thái Ecopark được đánh giá thấp hơn trong số 10 tiêu chuẩn được đánh giá, tỷ lệ lần lượt là 49,5 và 42,1%. Tỷ lệ này đạt thấp so với thang điểm Lotus Bio, cần được cải thiện đồng bộ. Bauermann và cs 2024 [32] cho rằng khu đô thị cho thấy sự cần thiết tích hợp đô thị sinh thái với khu vực thông minh và đổi mới sáng tạo trong quản trị. Và tăng cường khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu của đô thị sinh thái Ecopark Hưng Yên theo đề xuất trong nghiên cứu của Dương Thị Bích Ngọc và cs (2025) [33]. Tổng thể, Ecopark cần một chiến lược phát triển đô thị bền vững toàn diện, cân bằng giữa các yếu tố môi trường, xã hội và công nghệ.

Công trình xanh và khu đô thị sinh thái đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy phát triển bền vững, bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng cuộc sống; giúp giảm ô nhiễm, tiêu thụ năng lượng và tài nguyên thiên nhiên, đồng thời tạo ra môi trường sống lành mạnh cho cư dân. "Hà Nội, thủ đô của Việt Nam, đang đối mặt với những thách thức môi trường nghiêm trọng như ô nhiễm không khí, thiếu không gian xanh, và hệ thống cơ sở hạ tầng xuống cấp" theo Hoàng Mạnh Nguyên., (2024) [34]. Hiện nay, việc áp dụng các nguyên tắc công trình xanh được xem là một giải pháp khả thi để cải thiện chất lượng môi trường đô thị và tạo lập một Hà Nội xanh - sạch - đẹp, nâng cao chất lượng sống cho cư dân và xây dựng hình ảnh một thành phố hiện đại, bền vững, mang tầm cỡ quốc tế. Ecopark khu đô thị sinh thái kiểu mẫu ở Việt Nam, Ecopark tuân theo các tiêu chí công trình xanh và phát triển khu đô thị sinh thái, đây sẽ là một bước tiến quan trọng, giúp khu đô thị này tiếp tục khẳng định vị thế tiên phong trong phát triển đô thị bền vững tại Việt Nam. Kết quả đánh giá mức độ đáp ứng các tiêu chí công trình xanh LOTUS BIO của khu đô thị Ecopark từ góc nhìn của cư dân dựa trên khảo sát thực tế có thể tạo nền tảng thuận lợi cho Ecopark nếu họ quyết định tham gia đánh giá theo hệ thống LOTUS BIO trong tương lai.

3.2 Xác định trọng số của các tiêu chí xanh của Khu đô thị sinh thái Ecopark

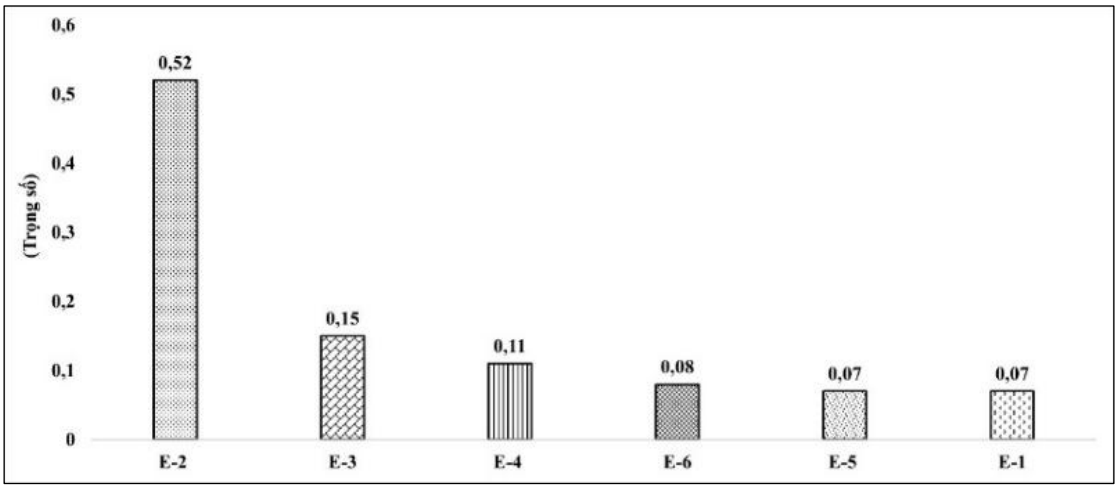
3.2.1. Trọng số tiêu chuẩn Năng lượng

Giá trị trọng số của các biến được xác định và thể hiện trong Hình 3. Cường độ tiêu thụ năng lượng (E02), thông gió tự nhiên và điều hòa (E-3), chiếu sáng nhân tạo (E-4) được xác định là ba tiêu chí quan trọng nhất trong tiêu chuẩn năng lượng (trong 6 tiêu chí được giám sát). Giá trị trọng số của các tiêu chí cường độ tiêu thụ năng lượng, thông gió tự nhiên và điều hòa, chiếu sáng nhân tạo lượt là 0,52; 0,15 và 0,11. Các tiêu chí này cần được xem xét để giám sát chặt chẽ và cải thiện tiêu chuẩn năng lượng của khu đô thị sinh thái Ecopark. Tuy nhiên, các tiêu chí khác như giải pháp năng lượng bền vững (E-6), giám sát và quản lý tiêu thụ năng lượng (E-5), kiểm toán năng lượng (E-1) ít ảnh hưởng đến tiêu chuẩn năng lượng của khu đô thị với các giá trị trọng số lần lượt là 0,08; 0,07; 0,07.

Cường độ tiêu thụ năng lượng (E-2) là yếu tố quyết định, chiếm ưu thế tuyệt đối trong chiến lược phát triển năng lượng của Ecopark. Thông gió tự nhiên (E-3) cũng quan trọng nhưng ảnh hưởng ít hơn đáng kể. Các tiêu chí còn lại (E-4, E-6, E-5, E-1) có tác động không đáng kể. Do đó, ưu tiên hàng đầu là duy trì và phát huy E-2, đồng thời xem xét cải thiện các tiêu chí khác khi có nguồn lực. Tiêu chuẩn năng lượng (E) trong hệ thống LOTUS BIO - Giám sát và giảm mức tiêu thụ năng lượng của công trình thông qua các giải pháp như lắp đặt thiết bị sử dụng năng lượng hiệu quả, thông gió tự nhiên, năng lượng tái tạo và hệ thống quản lý năng lượng.

Dựa trên những kết quả này, chiến lược tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng tại Ecopark nên tập trung vào việc duy trì và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, đặc biệt là tiêu chí E-2. Do đó, theo Hoàng và cs (2020) [35], cần áp dụng các công nghệ tiết kiệm năng lượng, tối ưu hóa thiết kế kiến trúc để giảm tiêu thụ điện và sử dụng các

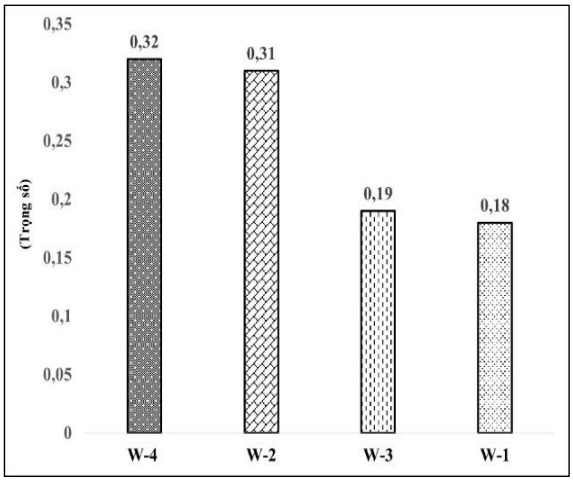
nguồn năng lượng tái tạo sẽ giúp giảm đáng kể mức sử dụng năng lượng tổng thể và cải thiện các tiêu chí còn lại nhằm hướng tới một khu đô thị sinh thái thực sự bền vững.



Hình 3. Trọng số tiêu chuẩn Năng lượng tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

3.2.2. Trọng số tiêu chuẩn Nước

Hình 4 cho thấy giá trị trọng số của các biến được xác định dao động từ 0,18-0,32, trong đó tiêu chí giải pháp sử dụng nước bền vững (W-4) và thiết bị sử dụng nước hiệu quả (W-2) có giá trị trọng số cao nhất tương ứng là 0,32 và 0,31. Trong khi đó, giá trị trọng số của tiêu chí giám sát sử dụng và chống thất thoát nước (W-3), Kiểm toán nước (W-1) thấp hơn lần lượt là 0,19; 0,18.



Hình 4. Trọng số tiêu chuẩn nước tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

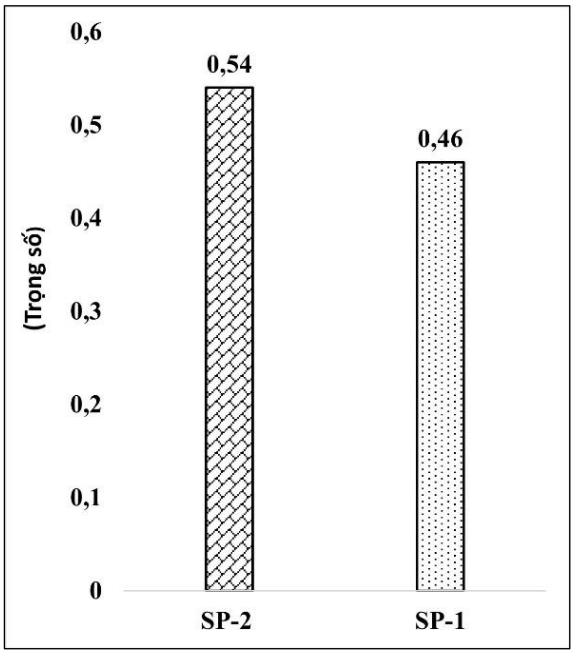
Dựa trên số liệu, tiêu chí W-4 có ảnh hưởng chi phối mạnh mẽ nhất đến Ecopark, tiếp theo là W-2 với mức độ ảnh hưởng gần tương đương. Hai tiêu chí W-3 và W-1 có tác động thấp hơn đáng kể, trong đó W-1 có mức độ ảnh hưởng thấp nhất.

So sánh với nghiên cứu khác, Johnson & Lee (2018) [36] nhấn mạnh rằng tiêu chí kiểm toán nước (W-1) có tầm quan trọng cao hơn trong các khu đô thị sinh thái tại châu Âu, nơi việc quản lý dữ liệu nước được triển khai đồng bộ và hiệu quả hơn. Trong khi đó, nghiên cứu của Wang và cs (2022) [37] về các khu đô thị tại châu Á cho thấy rằng thiết bị sử dụng nước hiệu quả (W-2) là yếu tố quan trọng nhất, do nhu cầu tối ưu hóa hệ thống nước trong điều kiện hạ tầng chưa phát triển đồng đều. Sự khác biệt này có thể xuất phát từ đặc thù về quản lý và mức độ phát triển của từng khu vực.

Kết quả phân tích cho thấy cần ưu tiên cải thiện tiêu chí W-1 và W-3 nhằm nâng cao sự hài lòng của người dân và hiệu quả sử dụng nước. Đồng thời, duy trì và phát huy tiêu chí W-2 và W-4 là cần thiết cho sự phát triển bền vững. Nghiên cứu sâu hơn về nguyên nhân chênh lệch hài lòng giữa các tiêu chí sẽ giúp đưa ra giải pháp quản lý nước hiệu quả hơn trong đô thị sinh thái.

3.2.3. Trọng số tiêu chuẩn mua sắm bền vững

Giá trị trọng số của các tiêu chí mua sắm lành mạnh, mua sắm ít carbon lần lượt là 0,54 và 0,46 (Hình 5). Mua sắm bền vững (SP) là việc lựa chọn sản phẩm thân thiện với môi trường và sức khỏe người dùng. Hạng mục này của LOTUS BIO tập trung vào 2 mục tiêu chính: Giảm phát thải carbon thông qua vật liệu sử dụng ít năng lượng, nguyên liệu thô, có thể tái chế; và Bảo vệ sức khỏe người dùng với các sản phẩm ít VOC, fomanđêhyt, không chứa clo. Gồm 2 tiêu chí: SP-1: Mua hàng ít carbon (2 điểm) và SP-2: Mua sắm lành mạnh (2 điểm).



Hình 5. Trọng số tiêu chuẩn Mua sắm bền vững tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

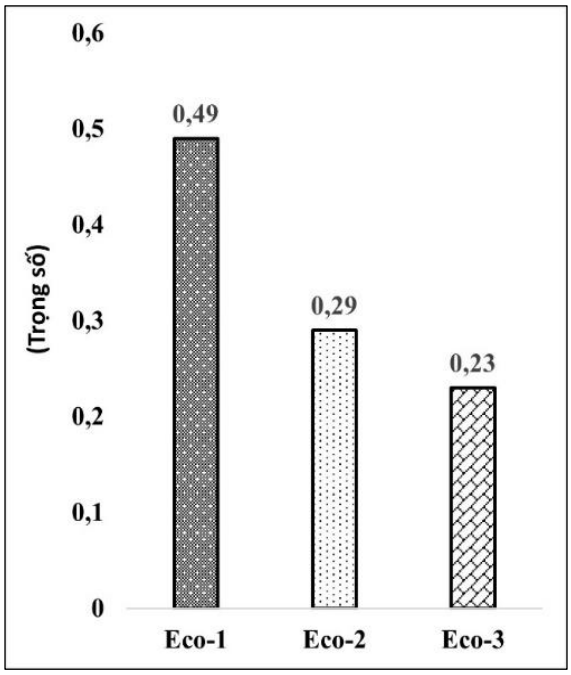
Dựa trên bảng số liệu, có thể thấy mức độ ảnh hưởng của từng tiêu chí. Cả hai tiêu chí đều có mức độ hài lòng cao, tuy nhiên SP-2 có trọng số cao hơn (0,54), cho thấy ảnh hưởng lớn hơn đến Ecopark so với SP-1 (0,46).

Nhiều quốc gia phát triển trên thế giới như Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc,... đã triển khai các chính sách và chương trình mua sắm xanh, đặc biệt trong lĩnh vực mua sắm công, để thúc đẩy tiêu dùng bền vững và bảo vệ môi trường. Tại Việt Nam, Hoàng Thị Bảo Thoa (2016) [38] phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi mua sắm bền vững của người tiêu dùng, bao gồm sự quan tâm đến môi trường, nhận thức về hiệu quả của sản phẩm, thói quen mua sắm và các yếu tố xúc tiến từ doanh nghiệp như bao bì sản phẩm, giá bán và chính sách khuyến mãi .

Tóm lại, mua sắm bền vững là xu hướng toàn cầu, và là một vấn đề được quan tâm từ rất nhiều năm trở về trước bởi các nước trên thế giới, đặc biệt tại các nước phát triển. Vì thế, tại các đô thị và khu đô thị sinh thái, tiêu chuẩn mua sắm bền vững càng nên được chú trọng. Với Ecopark, cần duy trì và phát huy những điểm mạnh của cả hai tiêu chí SP-1 và SP-2 của hạng mục này.

3.2.4. Trọng số tiêu chuẩn Sinh thái

Giá trị trọng số của các biến được xác định và thể hiện trong Hình 6. Thảm thực vật (Eco-1) được xác định là tiêu chí quan trọng nhất trong tiêu chuẩn sinh thái (trong 3 tiêu chí được giám sát), Quản lý cảnh quan bền vững (Eco-2), Quản lý sinh vật gây hai (Eco-3) ít quan trọng hơn. Giá trị trọng số lần lượt là 0,49; 0,29 và 0,23.

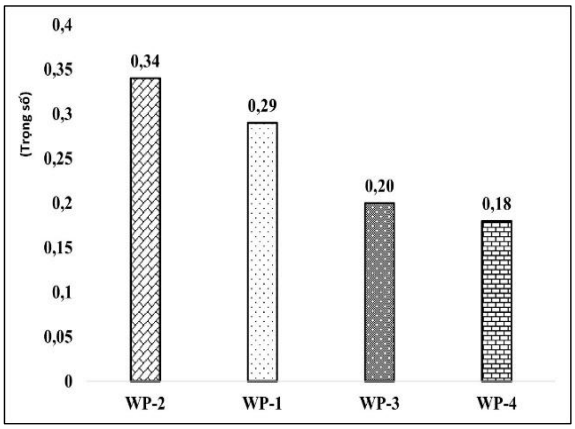


Hình 6. Trọng số của tiêu chuẩn Sinh thái tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

Tiêu chí Eco-1 (Thảm thực vật) có ảnh hưởng lớn nhất đến tiêu chuẩn sinh thái của Ecopark, với trọng số 0,49, cho thấy vai trò then chốt của thảm thực vật trong việc định hình hiệu quả sinh thái tổng thể. Các nghiên cứu của Gill và cs (2007) [39] và World Green Building Council (2020) [40] đều khẳng định không gian cây xanh giúp cải thiện chất lượng không khí, điều tiết khí hậu và tăng cường sức khỏe cộng đồng. Tiếp theo, Eco-2 (Quản lý cảnh quan bền vững) có trọng số 0,29 cho thấy ảnh hưởng đáng kể, dù thấp hơn Eco-1. Theo Jim và Chen (2009) [41], quản lý cảnh quan không chỉ nâng cao khả năng chống chịu trước biến đổi khí hậu mà còn góp phần gia tăng giá trị thẩm mỹ và bất động sản đô thị. Cuối cùng, Eco-3 (Quản lý sinh vật gây hại) có trọng số thấp nhất (0,23) nhưng vẫn giữ vai trò quan trọng trong duy trì cân bằng sinh thái và phòng ngừa dịch bệnh, như được nêu trong nghiên cứu của Raupp và cs (2010) [42].

Nhìn chung, để tối ưu hóa vận hành tại Ecopark, cần ưu tiên duy trì thảm thực vật và quản lý cảnh quan, đồng thời củng cố hệ thống kiểm soát sinh vật gây hại, nhằm đảm bảo sự phát triển bền vững và cân bằng sinh thái cho toàn khu đô thị.

3.2.5. Trọng số tiêu chuẩn Chất thải và Ô nhiễm



Hình 7. Trọng số của tiêu chuẩn Chất thải & Ô nhiễm tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

Hình 7 cho thấy tiêu chí tiêu chí quản lý chất thải rắn (WP-2), xử lý nước thải (WP-1) được xác định là hai tiêu chí quan trọng nhất trong tiêu chuẩn chất thải và Ô nhiễm (trong 4 tiêu chí được giám sát). Giá trị trọng số của các tiêu chí WP-2 và WP-1 lần lượt là 0,34 và 0,29. Tuy nhiên, các tiêu chí khác như chất làm lạnh (WP-3), giảm thiểu ô nhiễm ánh sáng (WP-4) có ít ảnh hưởng đến tiêu chuẩn chất thải & Ô nhiễm của khu đô thị với các giá trị trọng số lần lượt là 0,20 và 0,18. Phòng ngừa ô nhiễm quan trọng hơn việc khắc phục vì hiệu quả thấp và chi phí cao. Tiêu chuẩn Chất thải & Ô nhiễm (WP) trong LOTUS BIO khuyến khích áp dụng công nghệ và giải pháp giảm phát thải qua quản lý vòng đời công trình và chương trình tái chế.

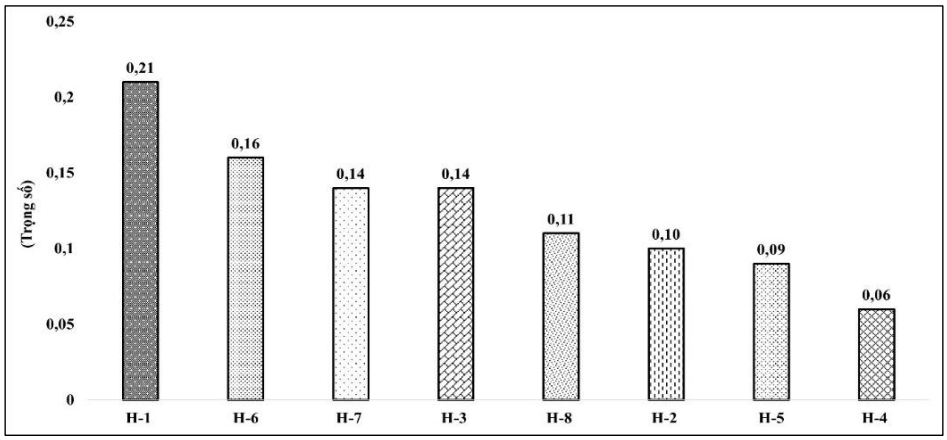
Kết quả tính giá trị trọng số cho thấy nên tập trung cải thiện WP-3 và WP-4 để nâng cao mức độ hài lòng của đối tượng đánh giá, duy trì và phát huy những điểm mạnh của WP-1 và WP-2, bên cạnh đó cần đưa ra những giải pháp phù hợp theo kết quả nghiên cứu của Vivian và cs (2011) [43] nhận định tình trạng chất thải trong xây dựng, nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tái sử dụng và tái chế để giảm thiểu ô nhiễm và thúc đẩy phát triển bền vững trong ngành xây dựng. Do đó, Ecopark cần cải thiện thêm ở mục chất làm lạnh và giảm thiểu ô nhiễm ánh sáng, đồng thời tiếp tục duy trì và phát huy điểm mạnh để xử lý nước thải và quản lý chất thải rắn.

3.2.6. Trọng số tiêu chuẩn Sức khỏe và Tiện nghi

Giá trị trọng số của các biến được xác định và thể hiện trong Hình 8. Sự thoải mái ở người ở (H-1), chiếu sáng tự nhiên (H-6), cung cấp không khí trong lành (H-3), tầm nhìn ra bên ngoài (H-7) được xác định là bốn tiêu chí quan trọng nhất trong tiêu sức khỏe và tiện nghi (trong 8 tiêu chí được giám sát). Giá trị trọng số của các tiêu chí H-1, H-6, H-3, H-7 lần lượt là 0,21; 0,16; 0,14. Trong khi đó, các tiêu chí vệ sinh xanh (H-8), hút thuốc lá trong nhà (H-2), kiểm thử chất lượng không khí trong nhã (H-5), giám sát nồng độ CO_2 (H-4) được xác định có giá trị trọng số ít quan trọng hơn tương ứng là 0,11; 0,10; 0,09 và 0,06.

Chất lượng không khí, ánh sáng tự nhiên và tầm nhìn bên ngoài ảnh hưởng rõ rệt đến sự thoải mái và hiệu suất làm việc. Đặc biệt, việc kiểm soát nồng độ CO_2 và cung cấp không khí trong

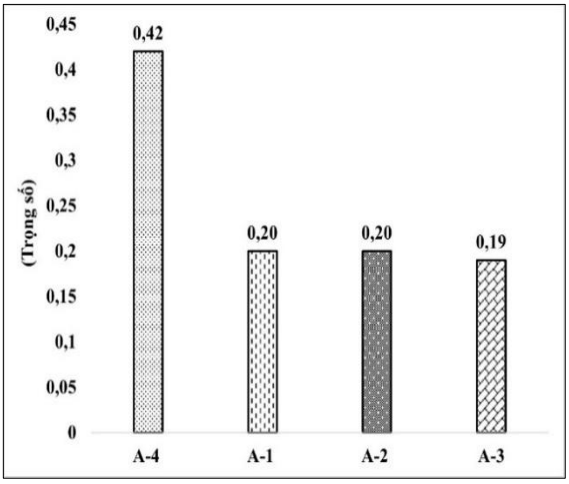
lành có thể nâng cao sức khỏe tinh thần và chức năng nhận thức. Ecopark cần tập trung nguồn lực vào H-1 và H-6 để nâng cao chất lượng sống, đồng thời duy trì mức độ hài lòng ở các tiêu chí còn lại nhằm phát triển bền vững và đáp ứng nhu cầu cư dân. Các nghiên cứu khoa học trước đây cũng đã nhấn mạnh tầm quan trọng của thảm thực vật đối với môi trường đô thị. Theo nghiên cứu của Fatemeh Mokhtariyan Sorkhan và cs (2024) [44] nghiên cứu này phân tích mối quan hệ giữa chất lượng môi trường trong nhà và mức độ hài lòng của người sử dụng trong các công trình xanh. Kết quả cho thấy, các yếu tố như chất lượng không khí, ánh sáng tự nhiên và tầm nhìn ra bên ngoài có ảnh hưởng đáng kể đến sự thoải mái và hiệu suất làm việc của người ở. Ngoài ra, một nghiên cứu khác của tác giả Neda Mirzaei và cs (2020) [45] tiến hành tổng quan hệ thống về ảnh hưởng của chất lượng môi trường trong nhà của các tòa nhà xanh đến sức khỏe và sự hài lòng của cư dân. Nghiên cứu này tổng hợp các nghiên cứu về ảnh hưởng của chất lượng không khí trong nhà đến chức năng nhận thức của con người. Kết luận cho thấy, việc duy trì nồng độ CO_2 ở mức thấp và cung cấp đủ không khí trong lành có thể cải thiện đáng kể hiệu suất công việc và sức khỏe tinh thần.



Hình 8. Trọng số của tiêu chuẩn Sức khỏe và Tiện nghi tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

3.2.7. Trọng số tiêu chuẩn Thích ứng và Giảm nhẹ

Hình 9 cho thấy giá trị trọng số của các yếu tố thành phần của tiêu chuẩn thích ứng và giảm nhẹ. Tiêu chí giao thông xanh A-4 có giá trị trọng số cao nhất trong tổng số 4 tiêu chí được giám sát tương ứng là 0,42. Trong khi đó, kết quả cho thấy các tiêu chí chống chịu thiên tai (A-1), nước mưa chảy tràn (A-2), hiệu ứng đảo nhiệt có giá trị trọng số tương tự nhau lần lượt là 0,20, 0,20 và 0,19. Tiêu chuẩn thích ứng & giảm nhẹ (A) trong LOTUS BIO tập trung vào tăng khả năng chống chịu thiên tai và giảm phát thải khí nhà kính của công trình. Các biện pháp gồm: xử lý nước mưa, giảm lát gạch, tăng diện tích thẩm thấu và sử dụng phương tiện xanh để giảm tiêu thụ nhiên liệu.



Hình 9. Trọng số của tiêu chuẩn Thích ứng và Giảm nhẹ tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

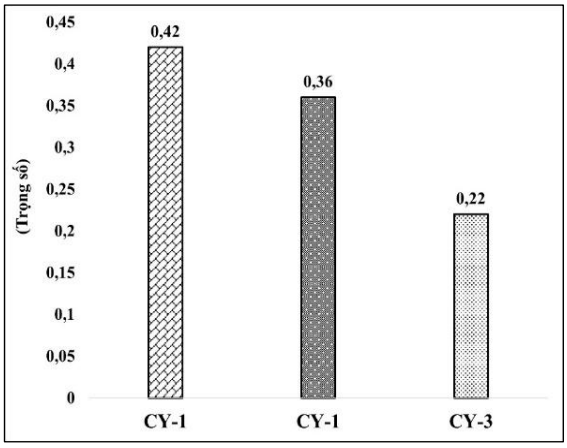
Dựa trên bảng số liệu, thấy rằng A-4 là tiêu chí có trọng số cao nhất, cho thấy nó có ảnh hưởng lớn nhất đến Ecopark. Các tiêu chí còn lại có trọng số gần tương đương nhau, chênh nhau một khoảng không đáng kể. Vì vậy, nên tập trung cải thiện A-1, A-2 và A-3 để nâng cao mức độ hài lòng của đối tượng đánh giá, đồng thời duy trì và phát huy những điểm mạnh của A-4. Một ví dụ điển hình về công trình làm tốt ở hạng mục Thích ứng và Giảm nhẹ (so với bộ tiêu chí LOTUS BIO) là TechnoPark Tower thuộc đại đô thị Vinhomes Ocean Park (Hà Nội), đã đạt chứng chỉ Công trình xanh LEED Platinum V4. Cụ thể, trong một bài báo của Hoài Phong., (2022) [46], tòa tháp này đáp ứng xuất sắc các tiêu chí tương đồng với LOTUS BIO như: sử dụng kính hộp Low-E dày 26 mm có khả năng cản bức xạ nhiệt và chịu va đập mạnh để tăng khả năng chống chịu thiên tai; thu gom nước mưa để tưới cây và sử dụng thiết bị tiết kiệm nước nhằm giảm hiện tượng nước mưa chảy tràn; thiết kế mái xanh, diện tích cây xanh chiếm 25% tổng diện tích, hệ thống thông gió tự nhiên và kính cách nhiệt giúp giảm hiệu ứng đảo nhiệt; cùng với đó là các tiện ích giao thông xanh. Trường hợp của TechnoPark Tower cho thấy rằng sự kết hợp giữa giải pháp sinh học và kiến trúc đô thị có thể nâng cao chất lượng môi trường sống, tăng khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu và giảm thiểu tác động tiêu cực của đô thị hóa. Do vậy, Ecopark cần chú trọng hơn nữa vào hạng mục Thích ứng và Giảm nhẹ, đặc biệt với ba tiêu chí đang còn hạn chế là chống chịu thiên tai, nước mưa chảy tràn và hiệu ứng đảo nhiệt, để hướng tới một mô hình đô thị sinh thái thực sự bền vững.

3.2.8. Trọng số tiêu chuẩn Cộng đồng

Cộng đồng (CY) - Tạo sự hòa nhập của công trình với khu vực xung quanh thông qua các chương trình nâng cao nhận thức cho cộng đồng và người sử dụng công trình, hỗ trợ người khuyết tật tiếp cận sử dụng công trình.

Phân tích dữ liệu cho thấy tiêu chí CY-1 (Hỗ trợ người khuyết tật tiếp cận sử dụng) có ảnh hưởng lớn nhất đến tiêu chuẩn Cộng đồng tại Ecopark, với trọng số 0,42, khẳng định tầm quan trọng của thiết kế đô thị hòa nhập, góp phần nâng cao chất lượng sống và tăng cường tính bền vững, như được nhấn mạnh trong các nghiên cứu của Imrie, 2011 [47] và UN-Habitat (2016) [48] . Tiếp theo, CY-2 (Nhận thức xanh) có trọng số 0,36, cho thấy vai trò quan trọng trong việc định hình hành vi thân thiện môi trường của cư dân. Nghiên cứu của Kollmuss & Agyeman (2002) [49] đã chỉ ra rằng nhận thức môi trường là yếu tố thúc đẩy thay đổi hành vi và hiệu quả sử dụng tài nguyên tại khu dân cư. Mặc dù có trọng số thấp nhất (0,22), tiêu chí CY-3 (Chương trình nâng cao nhận thức cộng đồng) vẫn giữ vai trò hỗ trợ trong phát triển cộng đồng bền vững. Việc tăng cường các chương trình này sẽ góp phần tạo sự lan tỏa nhận thức và củng cố tính gắn kết xã hội trong khu đô thị.

Tổng thể, để nâng cao hiệu quả tiêu chuẩn Cộng đồng, Ecopark cần tiếp tục duy trì hỗ trợ người khuyết tật (CY-1), nâng cao nhận thức xanh (CY-2), đồng thời đẩy mạnh các chương trình cộng đồng (CY-3) nhằm xây dựng một khu đô thị hài hòa, bao trùm và bền vững.



Hình 10. Trọng số của tiêu chuẩn Cộng đồng tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

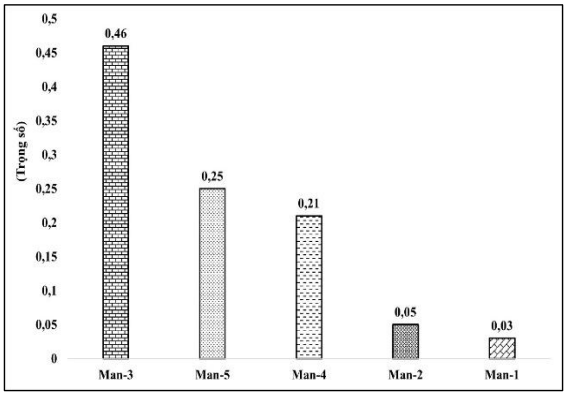
3.2.9. Trọng số tiêu chuẩn Quản lý

Quản lý (Man) - Quản lý hiệu quả việc thực hiện những mục tiêu bền vững đã đề ra; tối ưu hoá quy trình vận hành công trình và đảm bảo người sử dụng có thể vận hành các hệ thống được lắp đặt trong công trình với hiệu quả cao nhất.

Hình 11 cho thấy tiêu chí Man-3 (Nghiệm thu – vận hành – chạy thử) có ảnh hưởng lớn nhất đến hiệu quả vận hành tại Ecopark, với trọng số

0,46, cho thấy vai trò then chốt của giai đoạn vận hành trong đảm bảo chất lượng công trình. Tiếp theo, Man-5 (Quản lý xanh) và Man-4 (Bảo trì – Duy tu) lần lượt có trọng số 0,25 và 0,21, phản ánh mức độ quan tâm đến công tác quản lý bền vững và duy trì chất lượng công trình lâu dài. Ngược lại, Man-2 (LOTUS AP – chuyên gia đánh giá công trình xanh) và Man-1 (Công trình đạt chứng nhận LOTUS) có trọng số thấp (0,05 và 0,03), do hiện tại Ecopark chưa có công trình nào đạt chứng nhận LOTUS.

Từ kết quả này, Ecopark cần xem xét Man-1 và Man-2 như các tiêu chí chiến lược cần được nâng cao trong thời gian tới. Đồng thời, tiếp tục duy trì chất lượng cao ở Man-3, và đầu tư cải thiện Man-4 và Man-5 nhằm hướng tới một mô hình phát triển bền vững và đạt chuẩn công trình xanh.

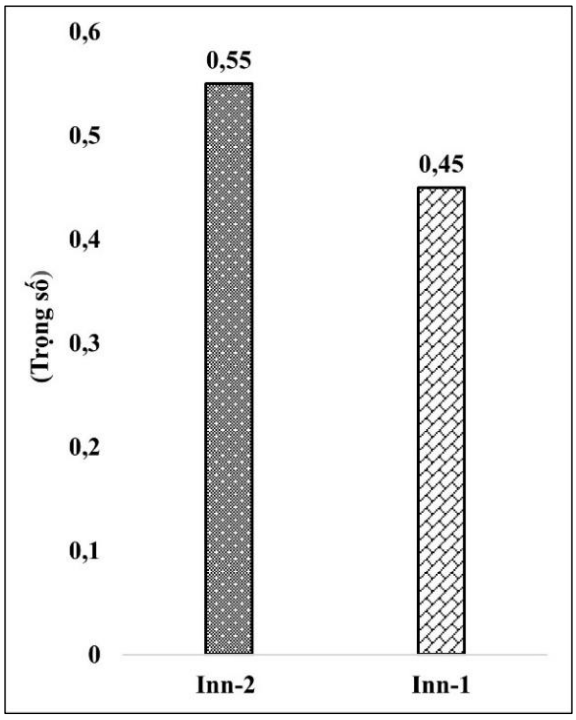


Hình 11. Trọng số của tiêu chuẩn Quản lý tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

3.2.10. Trọng số tiêu chuẩn Sáng kiến

Sáng kiến (Inn) - Khuyến khích hiệu năng vượt trội hoặc giải pháp sáng kiến không được đề cập đến trong LOTUS. Hạng mục này giúp công trình có thêm "điểm thưởng".

Giá trị trọng số các biến sáng kiến được thể hiện trên Hình 12, có thể thấy mức độ ảnh hưởng của từng tiêu chí như sau: Tiêu chí Inn-2 có trọng số cao nhất (0,55), cho thấy nó có ảnh hưởng lớn nhất đến Ecopark, tiêu chí Inn-1 có trọng số cao thứ hai (0,45). Dựa trên phân tích trên, ta có thể xác định mức độ ưu tiên của từng tiêu chí như sau: Tiêu chí Inn-2 có mức độ hài lòng cao nhất và tiêu chí Inn-1 cũng có mức độ hài lòng cao, gần bằng Inn-2. Tuy nhiên cũng nên tập trung cải thiện Inn-1và Inn-2 để nâng cao mức độ hài lòng của đối tượng đánh giá, duy trì và phát huy những điểm mạnh của chúng.



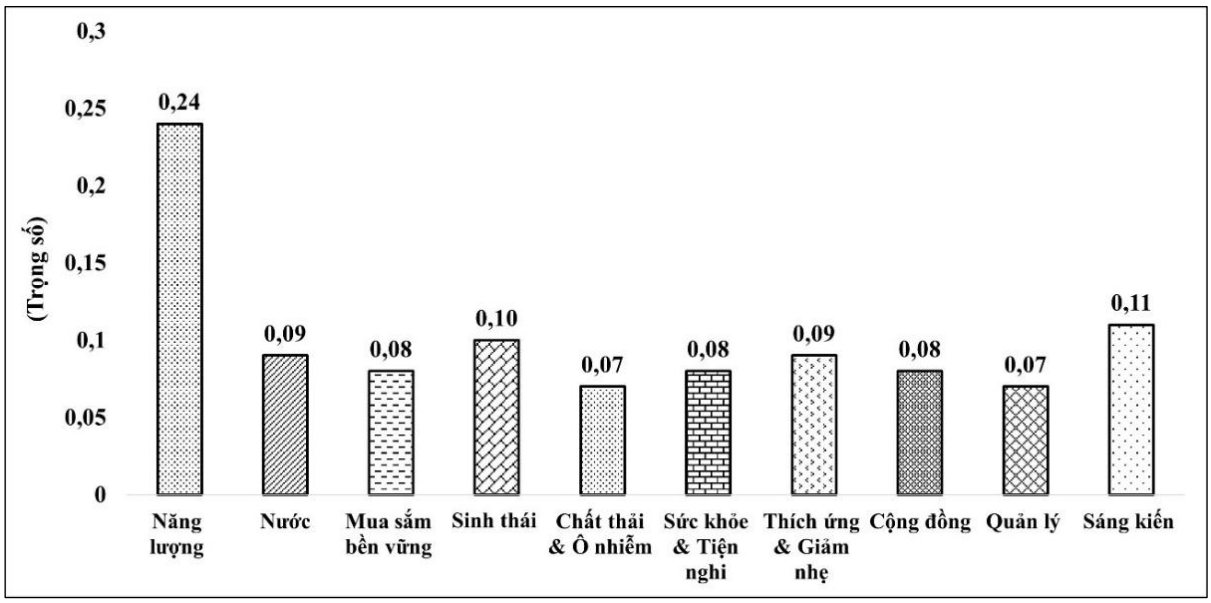
Hình 12. Trọng số của tiêu chuẩn Sáng kiến tại khu đô thi sinh thái Ecopark.

3.3. Trọng số của các tiêu chuẩn công trình xanh LOTUS BIO tại khu đô thị sinh thái Ecopark

Hình 13 cho thấy giá trị trọng số của từng tiêu chuẩn trong hệ thống tiêu chuẩn công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO được đo lường tại khu đô thị sinh thái Ecopark. Tiêu chuẩn năng lượng được đánh giá là quan trọng nhất có giá trị trọng số cao nhất là 0,24 trong 10 tiêu chuẩn được giám sát. Trong khi giá trị trọng số tiêu chuẩn sinh thái và tiêu chuẩn sáng kiến ở mức quan trọng thứ hai với giá trị lần lượt là 0,11 và 0,10. Tiêu chuẩn nước, tiêu chuẩn thích ứng và giảm nhẹ có trọng số ở mức quan trọng thứ ba và có giá trị tương tự là 0,09. Ba tiêu chuẩn gồm mua sắm bền vững, sức khỏe và tiện nghi, cộng đồng có giá trị trọng số ở mức quan trọng thấp

hơn và có giá trị ngang nhau là 0,08. Tiêu chuẩn chất thải và ô nhiễm, quản lý có mức quan trọng thấp nhất trong 10 tiêu chuẩn với giá trọng số các biến ngang bằng là 0,07.

Hình 13 cho thấy tiêu chuẩn Năng lượng (E) chiếm trọng số cao nhất (0,24), có tầm quan trọng hàng đầu của việc quản lý và sử dụng năng lượng hiệu quả trong nhận thức của cộng đồng. Kết quả này nhất quán với các nghiên cứu về phát triển đô thị bền vững, năng lượng là một yếu tố then chốt, có tác động trực tiếp đến kinh tế, xã hội và môi trường Newman và Kenworthy (1999) [50]. Khi so sánh với tiêu chí "Sáng kiến" (Inn) (0,11), trọng số của "Năng lượng" cao hơn gấp đôi, phản ánh sự khác biệt đáng kể về mức độ ảnh hưởng được đánh giá. Điều này củng cố quan điểm của Jabareen (2006) [51], người cho rằng các sáng kiến đổi mới công nghệ và giải pháp sáng tạo đóng vai trò quan trọng nhưng thường mang tính bổ trợ cho các tiêu chí nền tảng như năng lượng và sinh thái.



Hình 13. Giá trị trọng số của 10 tiêu chuẩn theo hệ thống tiêu chuẩn công trình xanh tại Ecopark.

Tương tự, tiêu chí "Sinh thái" (Eco) (0,10) có trọng số tương đương với "Sáng kiến", điều này phù hợp với các nghiên cứu về đô thị sinh thái, trong đó các tiêu chí liên quan đến chất lượng môi trường và bảo vệ tài nguyên thiên nhiên nhận được sự quan tâm đáng kể từ cả cộng đồng và các nhà hoạch định chính sách Beatley (2000) [52] và Register (2006) [53]. Các tiêu chí khác như "Thích ứng và Giảm nhẹ" (A), "Nước" (W), "Cộng đồng" (CY), "Sức khỏe và Tiện nghi" (H), "Mua sắm bền vững" (SP), "Chất thải và Ô nhiễm" (WP) và "Quản lý" (Man) có trọng số dao động từ 0,07 đến 0,09, cho thấy vai trò hỗ trợ nhưng vẫn quan trọng trong việc xây dựng một khu đô thị bền vững toàn diện.

So sánh với các khu đô thị khác, Ecopark có lợi thế vượt trội về hệ sinh thái và quản lý nước bền vững. Trong khi đó, Phú Mỹ Hưng có giao thông hiện đại và sử dụng vật liệu bền vững hiệu quả hơn nhưng lại hạn chế về cây xanh và tài nguyên nước với tỷ lệ phủ xanh khoảng 11,5% diện tích, hồ điều hòa chính chỉ chiếm 7ha, xung quanh chủ yếu là các kênh rạch nhân tạo và thoát nước theo kết quả nghiên cứu của Sở Quy hoạch - Kiến trúc Thành phố Hồ Chí Minh, (2021) [54]. Forest City (Malaysia) là một khu đô thị sinh thái nhưng lại được xây dựng theo định hướng trở thành đô thị thông minh và ứng dụng công nghệ hiện đại trong phát triển bền vững. Khu đô thị này đạt được điểm cao trong các tiêu chí về hiệu

quả sử dụng năng lượng và vật liệu thân thiện môi trường, nhưng khả năng bảo tồn hệ thống sinh thái tự nhiên được hạn chế bằng cách xây dựng đặc thù trên nền đất nhân tạo trong kế quả nghiên cứu Ngô Văn Lược và Ngô Thúy Lân (2019) [55]. Tương tự, Thành phố Masdar (UAE) là một trong những khu đô thị tiên phong trên thế giới về phát triển không carbon, với hệ thống năng lượng tái tạo hoàn toàn và công nghệ tiết kiệm năng lượng tối ưu. Tuy nhiên, do nằm trong khu vực sa mạc, Masdar City gặp khó khăn trong công việc bảo tồn hệ sinh thái và quản lý tài nguyên nước, trái ngược với Ecopark – nơi có hệ sinh thái phong phú và nguồn nước tự nhiên của các tác giả Vidal (2016) [56] và Thu Giang (2017) [57]. Như vậy, để Ecopark trở thành một hình mẫu đô thị bền vững, cần có sự cân bằng giữa việc duy trì các tiêu chuẩn đang có lợi thế và cải thiện những tiêu chí còn hạn chế. Điều này phù hợp với các nguyên tắc phát triển bền vững đã được đề xuất trong nhiều nghiên cứu khoa học theo Suzuki và cs (2010) [58] nhấn mạnh sự tích hợp giữa năng lượng, môi trường, đổi mới sáng tạo và yếu tố xã hội nhằm đảm bảo một mô hình đô thị bền vững và đáng sống.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã ứnng dụng thang đo của hệ thống tiêu chí công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO để đánh giá khu đô thị sinh thái Ecopark, tỉnh Hưng Yên, Việt Nam dựa trên 10 tiêu chuẩn và 41 tiêu chí với thuật toán AHP. Nghiên cứu cho thấy:

- Điểm số đánh giá khu đô thị sinh thái Ecopark đạt 64,4/100 điểm (hạng bạc), Ecopark đã đáp ứng được các tiêu chí về công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO.

– Trọng số của từng tiêu chí trong bộ tiêu chuẩn công trình xanh đang vận hành LOTUS BIO cần được xem xét khi tính toán đo lường mức độ quan trọng của các tiêu chuẩn vì trọng số của các tiêu chuẩn có thể thay đổi tùy theo mức độ đáp ứng công trình xanh của từng tiêu chí cụ thể được cải thiện.

– Việc kết hợp trọng số của từng tiêu chí và trọng số từng tiêu chuẩn rất quan trọng trong việc đánh giá mức độ đáp ứng các tiêu chuẩn công trình xanh của khu đô thị sinh thái Ecopark, tỉnh Hưng Yên, Việt Nam.

– Cần xem xét ảnh hưởng của các tiêu chí và tiêu chuẩn có trọng số cao tại khu đô thị sinh thái Ecopark để có giải pháp duy trì nhân rộng.

– Nghiên cứu điển hình được thực hiện tại khu đô thị sinh thái Ecopark tỉnh Hưng Yên, Việt Nam cho thấy để duy trì công trình xanh tại các khu đô thị sinh thái đang vận hành hoạt động quản trị của khu đô thị sinh thái nên tập trung nhiều hơn vào các tiêu chuẩn năng lượng, sinh thái, nước, mua sắm, thích ứng và giảm nhẹ và các sáng kiến để cải thiện năng lực quản lý chất thải và ô nhiễm, lan tỏa giá trị của cộng đồng sinh thái.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn Ban Quản lý và cư dân Khu đô thị Ecopark, Hưng Yên đã cho phép sử dụng nguồn dữ liệu khảo sát.

Tài liệu tham khảo

[1] P. Mishra, S. Gour, Green Building Rating System, International Journal of Research in Engineering, Science and Management, Vol. 1, No. 10, 2018, pp. 2581-5782, https://doi.org/0c24a8120b21dee568a3705edb1acb4fbff08d38Abcgs.

[2] G. Newsham, S. Mancini, B. Birt, Do LEED-certified Buildings Save Energy ?, Energy and Buildings Vol. 41, No. 8, 2009, pp. 897-905, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.014.

[3] H. Scofield, H. John, S. Brodnitz, J. Cornell, T. Liang, T. Scofield, Energy and Greenhouse Gas Savings for LEED-Certified US Office Buildings, Energies, Vol. 14, No. 3, 2021, pp. 749, https://doi.org/10.3390/en14030749.

[4] M. Suh, A. Pearce, Y. Song, Y. Kwak, J. I. Kim, Y. Zhang, The Impact of LEED-Energy Star Certified Office Buildings on the Market Value of Adjoining Buildings in New York City, Journal of Green Building, Vol. 14, No. 1, 2019, pp. 31-52, https://doi.org/10.3992/1943-4618.14.1.31.

[5] Sparkling, E. Anthony, Cost Justification for Investing in LEED Projects, McNair Scholars Research Journal, Vol. 4, No. 1, 2012, pp. 7.
[6] Tham, K. Wai, P. Wargocki, Y. F. Tan, Indoor Environmental Quality, Occupant Perception, Prevalence of Sick Building Syndrome Symptoms, and Sick Leave in a Green Mark Platinum-rated Versus A Non-Green Mark-Rated Building: a Case Study, Science and Technology for the Built Environment, Vol. 21, No. 1, 2015, pp. 35-44, https://doi.org/10.1080/10789669.2014.967164.
[7] D. N. Khanh, T. T. U. Thua, H. T. K. Luyen, N. D. A. Khoa, N. V. Minh, Develop a set of Criteria for Evaluating Green Construction Sites in the City at Ho Chi Minh City, Journal of Materials and Construction (JOMC), Vol. 14, No. 5, 2024, pp. 111-116, https://doi.org/10.54772/jomc.5.2024.749.
[8] D. Isimbi, J. Park, The Analysis of the EDGE Certification System on Residential Complexes to Improve Sustainability and Affordability. Buildings, Vol. 12, No. 10, 2022, pp. 17-29, https://doi.org/10.3390/buildings12101729.
[9] C. Solano, M. J. E. Rondinel, A. A. B. Bojorquez, L. M. C. C. R. Nalvarte, A. Z. G. Puclla, Analysis of the Impact of EDGE Certification on Buildings: The Case of Peru, Revista Hábitat Sustentable, Vol. 14, No.1, 2024, pp. 66-79, https://doi.org/10.22320/07190700.2024.14.01.05.
[10] VGBC, Green One UN House, https://vgbc.vn/lotus-case-study-001-toa-nha-xanh-mot-lien-hop-quoc/, 2026 (accessed on: July 1st, 2025).
[11] N. Maimun, M. McCord, S. McGreal, J. Berry, the Impact of Energy Performance Certificates on the Prices of Dwellings. Paper presented at the 22nd Annual European Real Estate Society Conference, 2015, pp. 215-258.
[12] V. Novotny, Sustainable Urban Water Management, Water Management, Press, 2008, pp. 37-50.
[13] Bratt, Cecilia, S. Hallstedt, K. H. Robèrt, G. Broman, J. Oldmark, Assessment of Eco-labelling Criteria Development from a Strategic Sustainability Perspective, Journal of Cleaner Production, Vol. 19, No. 14, 2011, pp. 1631-1638, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.012.
[14] Bolund, Per, S. Hunhammar, Ecosystem Services in urban areas, Ecological economics, Vol. 29, No. 2, 1999, pp. 293-301, https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0.
[15] D. Q. Zhang, S. K.Tan, R. M. Gersberg, Municipal Solid Waste Management in China: Status, Problems and Challenges, Journal of Environmental Management, Vol.91, No. 8, 2010, pp. 1623-1633, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.012.
[16] World Health Organization, Urban Green Spaces And Health: a Review of Evidence, https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341, 2016 (accessed on: July 1st, 2025).
[17] IPCC, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014, https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/ (accessed on: July 1st, 2025).
[18] J. Agyeman, B. Evans, Just Sustainability: The Emerging Discourse of Environmental Justice in Britain? The Geographical Journal, Vol.170, No.2, 2004, pp. 155-164, https://doi.org/10.1111/j.0016-7398.2004.00117.x.
[19] P. Newman, I. Jennings, Cities as Sustainable Ecosystems: Principles and Practices, Island Press, 2008.
[20] E. Moir, T. Moonen, G. Clark, What are Future Cities? Origins, Meanings and Uses, Foresight Future of Cities Project, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7ee2ba40f0b62305b83cc1/14-820-what-are-future-cities.pdf, (accessed on: July 1st, 2025).
[21] Ecopark, https://ecoparkhome.vn/khu-do-thi-ecopark/, 2023 (accessed on: July 1st, 2025).
[22] VGBC, LOTUS BIO, https://www.vgbc.vn/lotus-cong-trinh-hien-huu/, 2025 (accessed on: July 1st, 2025).
[23] T. L. Saaty, The hierarchical analysis process, McGrawHill, New York, 1980.
[24] Y. Taro, Statistics: An Introductory Analysis, 1967.
[25] T. L. Saaty, The Hierarchical Analysis Process, McGrawHill, New York, 1980.
[26] N. T. K Vinh, D. T. T. Huong, Protecting and Developing Green Infrastructure: a Key Issue in Urban Planning, Design, and Construction, Journal of Science of Vinh University, Vol. 46, No. 3A, 2017, pp. 66-74 (in Vietnamese).
[27] P. V. Toan, T. M. Vien, H. L. Tuyen, V. P. D. Tri, Evaluating Solar-Powered Desalination Technology for Household-Scale Freshwater Supply, CTU Journal of Science, Vol. 59, 2023, pp. 104-113, https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2023.112 (in Vietnamese).
[28] P. T. A Thu, N. T. Kiet, T. T. Long, Extracting Urban Surface Water Information in Ho Chi Minh City from Sentinel-2 Imagery Using the K-Means Clustering Algorithm, Journal of Surveying and Mapping Science, No. 57, 2023, pp. 23-30, https://doi.org/10.54491/jgac.2023.57.694 (in Vietnamese).

[29] N. Bawankar, A. Kriti, S. S. Chouhan, S. Chaudhari, IoT-enabled Water Monitoring in Smart Cities with Retrofit and Solar-Based Energy Harvesting, IEEE Access, No. 12, 2024, pp. 58222-58238, https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3392852.

[30] R. Obiozo, J. Smallwood, Mega Projects and the Four Sublime – The Case of the Innovative Strategy of the Biophilic Construction Site Model: The Case Study of ECOPARK Eco-City, Hanoi, Vietnam, 2014.

[31] H. K. Ghorab, H. A. Shalaby, Eco and Green Cities as New Approaches for Planning and Developing Cities in Egypt, Alexandria Engineering Journal, Vol 55, No. 1, 2016, pp. 495-503, https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.12.018.

[32] B. F. C. Bauermann, A. Bussador, H. B. Bauermann, M. D. Matrakas, Connecting the Green to the Digital: Integrating Eco Cities and Smart Regions, Eco Cities Vol. 5, No. 1, 2024, pp. 27-55.

[33] D. T. B Ngọc, N. T. Minh, P. H. Phi, H. V. Sam, T. T. Hien, The Service Value of Street Green Ecosystems in the Ecopark Urban Area, Hung Yen Province, Journal of Forestry Science and Technology, Vol. 14, No. 1, 2025, pp. 115-125, https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.1.2025.115.

[34] The National Institute of Architecture, Developing Green Buildings for a Green, Modern Capital City, https://vienkientrucquocgia.gov.vn/phat-trien-cong-trinh-xanh-cho-mot-thu-do-xanh-hien-dai/, 2024 (accessed on: July 1st, 2025).

[35] T. Hoang, P. Nguyen, P. V. Tran, Sustainable Energy Solutions in Urban Ecosystems, Journal of Green Energy, Vol. 15, No. 2, 2020, pp. 112-130.

[36] M. Johnson, K. Lee, Water Audit and Management in European Eco-Cities, Journal of Sustainable Urban Development, Vol. 39, No. 4, 2018, pp. 287-305.

[37] T. Wang, X. Liu, H. Chen, Water Efficiency and Urban Infrastructure in Asian Smart Cities. Asian Journal of Environmental Studies, Vol. 60, No. 1, 2022, pp. 55-72.

[38] H. T. B. Thoa, Factors Influencing Customers' Decisions to Choose Green Buildings in the Hanoi Market, VNU University of Economics and Business, 2016 (in Vietnamese).

[39] S. E. Gill, F. John, A. Handley, A. R. Ennos, S. Pauleit, Adapting Cities for Climate Change: the Role of the Green Infrastructure, Built Environment, Vol. 33, No. 1, 2007, pp. 115-133, https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115.

[40] World Green Building Council, Health & Wellbeing in Green Building Retrieved from, https://www.worldgbc.org, 2020 (accessed on: July 1st, 2025).

[41] Jim, C.Yung, Y.Wendy, Chen, Ecosystem Services and Valuation of Urban Forests in China, Cities, Vol. 26, No. 4, 2009, pp. 187-194, https://doi.org/10.1016/j.cities.2009.03.003.

[42] Raupp, J. Michael, M. Paula, Shrewsbury, A. Daniel, Herms, Ecology of Herbivorous Arthropods in Urban Landscapes, Annual Review of Entomology, Vol. 55, No. 1, 2010, pp. 19-38, https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085351.

[43] V. W. Y. Tam, Reuse and Recycling Rates of Construction Wastes in Hong Kong, The Open Waste Management Journal, https://benthamopen.com/contents/pdf/TOWMJ/TOWMJ-4-28.pdf, 2011 (accessed on: July 1st, 2025).

[44] M. Sorkhan, F. Roumi, S. Zarandi, M. A. Ashraf Ganjouei, The Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Satisfaction in Commercial Buildings: A Comparison of Building Expert Opinions and Residents' Experiences. Energies, Vol.17, No. 6, 2024, pp. 1473, https://doi.org/10.3390/en17061473.

[45] N. Mirzaei, H. Kamelnia, S. G. Islami, S. Kamyabi, S. N. Assadi, The Impact of Indoor Environmental Quality of Green Buildings on Occupants' Health and Satisfaction: A Systematic Review, Journal of Community Health Research, 2020.

[46] People's Representatives Newspaper, Technopark Tower LEED Platinum, https://daibieunhandan.vn/technopark-tower-dat-chung-chi-cong-trinh-xanh-leed-platinum-post280034.html?utm, 2022 (accessed on: July 1st, 2025).

[47] R. Imrie, Rob, Universalism, Universal Design and Equitable Access to the Built Environment, Disability and rehabilitation, Vol.34, No. 10, 2012, pp. 873-882, https://doi.org/10.3109/09638288.2011.624250.

[48] UN-Habitat, World Cities Report 2016: Urbanization and development – Emerging futures. United Nations Human Settlements Programme, https://unhabitat.org/world-cities-report-2016, (accessed on: July 1st, 2025).

[49] A. Kollmuss, J. Agyeman, Mind the gap: Why Do People Act Environmentally and What are the Barriers to Pro-environmental Behavior?. Environmental Education Research, Vol. 8, No. 3, 2002, pp. 239-260, https://doi.org/10.1080/13504620220145401.

[50] P. Newman, J. Kenworthy, Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence, Island Press,1999.

[51] Y. Jabareen, Sustainable Urban forms: Their Typologies, Models, and Concepts, Journal of Planning Education and Research, Vol. 26, No. 1, 2006, pp. 38-52.

[52] T. Beatley, Green urbanism: Learning from European Cities, Island Press, 2000.
[53] R. Register, EcoCities: Rebuilding Cities in Balance with Nature, New Society Publishers, 2006.
[54] Ho Chi Minh City Department of Planning and Architecture, Ho Chi Minh City Planning Report to 2040, https://tphcm.chinhphu.vn/thong-qua-do-an-dieu-chinh-quy-hoach-chung-tphcm-den-2040-tam-nhin-2060-101240519111306855.htm, 2024 (accessed on: July 1st, 2025).
[55] Baria-Vungtau University, Future Development Directions for the City, http://thuvienso.bvu.edu.vn/bitstream/TVDHBRVT/19755/1/Ngo-Thuy-Lan.pdf, 2019 (accessed on: July 1st, 2025).
[56] Vidal, Masdar's Zero-Carbon Dream Could Become World's First Green Ghost Town, The Guardian, https://www.theguardian.com/environment /2016/feb/16/masdars-zero-carbon-dream-could-become-worlds-first-green-ghost-town (accessed on: July 1st, 2025).
[57] Construction Newspaper, Masdar - A Green City Rises in the Middle of the Desert, https://baoxaydung.com.vn/masdar-thanh-pho-xanh-moc-len-giua-sa-mac-216891.html, 2017 (accessed on: July 1st, 2025).
[58] H. Suzuki, A. Dastur, S. Moffatt, N. Yabuki, H. Maruyama, Eco2 Cities: Ecological Cities as Economic Cities, World Bank Publications, 2010.