

Đánh giá sự cố môi trường liên quan đến hệ thống xử lý nước thải tập trung của khu chế xuất, khu công nghiệp trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh

Vũ Văn Nghị^{1,2,3}, Lâm Thị Nghiêml^{1,2,3,*}, Lê Phương Thi¹, Trần Xuân Hải¹, Nguyễn Viết Cao Đạt¹, Lê Bảo Anh^{1,2,3}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Viện Khoa học và Đổi mới Công nghệ, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Khoa Môi Trường, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Lâm Thị Nghiêml, Viện Khoa học và Đổi mới Công nghệ, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Khoa Môi Trường, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: ltnghiem@bwe.com.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 05-04-2026
- Ngày sửa đổi: 30-06-2026
- Ngày chấp nhận: 15-07-2026
- Ngày đăng: 25-09-2026

DOI: <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-ees.v10i2.910>



Check for updates

Bản quyền

© Tập chí ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

TÓM TẮT

Phát triển số lượng lớn khu chế xuất (KCX) và khu công nghiệp (KCN) ở Thành phố Hồ Chí Minh (TPHCM) tiềm ẩn xảy ra sự cố môi trường (SCMT) liên quan đến hệ thống xử lý nước thải tập trung (HTXLNTTT). Các sự cố này có thể gây suy thoái nguồn nước tiếp nhận, tác động xấu đến môi trường và sức khỏe cộng đồng. Bằng cách tiếp cận tích hợp, các phương pháp được sử dụng như phân tích tổng hợp tài liệu, điều tra khảo sát thực địa, phân tích thứ bậc AHP, tham vấn ý kiến chuyên gia và tính toán chỉ số sự cố môi trường EI với bộ tiêu chí gồm 6 hiểm họa, 8 phơi nhiễm và 6 tính dễ bị tổn thương. Đánh giá tại 19 HTXLNTTT thuộc 17 KCX, KCN ở TPHCM, kết quả cho thấy giá trị EI dao động khoảng $0,31 \div 0,64$; trong đó 5/19 hệ thống (26%) có mức độ rủi ro thấp ($EI < 0,4$), 7/19 hệ thống (37%) rủi ro trung bình ($0,4 \leq EI < 0,5$) và 7/19 hệ thống (37%) rủi ro cao ($EI \geq 0,5$). Nghiên cứu khẳng định vai trò quan trọng của việc đánh giá rủi ro môi trường đối với HTXLNTTT thông qua chỉ số EI để định lượng và phân hạng mức độ rủi ro, góp phần hỗ trợ đắc lực cho công tác quản lý môi trường trong xây dựng kế hoạch ưu tiên giám sát, chủ động phòng ngừa và đề xuất các giải pháp ứng phó SCMT phù hợp cho từng hệ thống. Ngoài ra, khung đánh giá rủi ro SCMT được xây dựng trong nghiên cứu này là cơ sở tham khảo, có thể áp dụng cho các KCX, KCN lớn tương tự tại Việt Nam.

Từ khóa: AHP, đánh giá rủi ro, EI, hệ thống xử lý nước thải tập trung, sự cố môi trường

GIỚI THIỆU

Trên thế giới, sự cố liên quan đến HTXLNTTT tại các KCX, KCN đã được ghi nhận với tần suất đáng kể trong nhiều thập kỷ qua. Theo cơ sở dữ liệu của ARIA Database and French¹, một hệ thống dữ liệu chuyên thu thập và phân tích các sự cố công nghiệp có nguy cơ gây tác động tiêu cực đến môi trường, sinh hoạt và sức khỏe con người; Trávníček và cộng sự² đã ghi nhận hơn 600 sự cố liên quan đến HTXLNTTT trên toàn Châu Âu từ 1989 - 2021. Bên cạnh đó, European Commission³ cùng với các báo cáo khoa học quốc tế cũng cho thấy tần suất xảy ra các SCMT tại HTXLNTTT song hành với sự phát triển của các KCN. Tương tự ở Việt Nam những năm qua, sự xuất hiện nhiều KCX, KCN cũng đã đóng vai trò quan trọng và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội. Tuy nhiên, lượng lớn nước thải phát sinh từ các HTXLNTTT đã gây nhiều áp lực trong vấn đề quản lý môi trường, ví dụ điển hình là SCMT tại Công ty TNHH Vedan năm 2008 đã làm ô nhiễm nước đoạn hạ lưu sông Thị Vải thuộc TPHCM⁴.

Có thể khẳng định rằng môi trường ô nhiễm và suy thoái thường xuất hiện khi xảy ra SCMT⁵, đặc biệt

môi trường chịu thiệt hại đáng kể tại các nhà máy xử lý nước thải với nguyên nhân như hư hỏng thiết bị, kết cấu công trình và/hoặc sự cố trong quá trình vận hành². Các HTXLNTTT của KCX, KCN là một hệ thống kỹ thuật phức tạp bao gồm nhiều công trình và quá trình công nghệ khác nhau như xử lý cơ học, hóa lý và sinh học. Trong quá trình vận hành, các công trình và thiết bị của hệ thống phải hoạt động trong môi trường nước thải có chứa nhiều tạp chất, hóa chất và vi sinh vật, do đó dễ bị hư hỏng, mất ổn định dẫn đến nước thải xả ra hệ thống sông kênh hoặc vùng ven biển không đảm bảo quy định⁶.

Để quản lý tốt môi trường, nghiên cứu phân loại SCMT là bài toán thiết yếu, được quan tâm bởi nhiều tổ chức và các nhà khoa học. Hiện nay, đánh giá SCMT thường dựa trên mô hình phân tích rủi ro mà đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu⁷⁻¹³. Cách tiếp cận này tập trung xem xét đồng thời khả năng xảy ra và hậu quả tiềm ẩn của mỗi nguy tác động đến môi trường thông qua những khía cạnh về hiểm họa, phơi nhiễm và tính dễ bị tổn thương. Cùng với đó, các phương pháp được khai thác và sử dụng trong đánh giá như đánh giá rủi ro bán định lượng, phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process), điểm

Trích dẫn bài báo này: Nghị V V, Nghiêml L T, Thi L P, Hải T X, Đạt N V C, Anh L B. **Đánh giá sự cố môi trường liên quan đến hệ thống xử lý nước thải tập trung của khu chế xuất, khu công nghiệp trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh.** VNUHCM J. Environ. Earth Sci. 2026; 10(2):1415-1442.

số chỉ số rủi ro RIS (Risk Index Score), tính toán và phân hạng giá trị chỉ số SCMT *EII* (Environmental Incident Index) theo nhiều cấp độ khác nhau. Từ đó, làm cơ sở hỗ trợ dự báo nguy cơ và đề xuất các giải pháp giảm thiểu SCMT.

TPHCM, trung tâm kinh tế trọng điểm của Việt Nam, đang chịu áp lực đáng kể từ các vấn đề môi trường, đặc biệt là tình trạng suy giảm chất lượng môi trường nước. Hệ thống sông kênh trong Thành phố thường xuyên tiếp nhận lượng lớn nước thải chưa qua xử lý từ các hoạt động dân sinh kinh tế¹⁴. Thêm vào đó, sự xuất hiện nhiều HTXLNTTT làm gia tăng áp lực đối với môi trường nước. Tuy nhiên, các nghiên cứu về SCMT liên quan đến HTXLNTTT hiện vẫn còn hạn chế, đặc biệt là khía cạnh xây dựng bộ tiêu chí đánh giá và phương pháp định lượng mức độ rủi ro. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đưa ra cơ sở định lượng và phân hạng mức độ rủi ro của các HTXLNTTT tại các KCX, KCN theo ba cấp độ: thấp, trung bình và cao. Kết quả nghiên cứu góp phần hỗ trợ công tác quản lý rủi ro môi trường, xây dựng các giải pháp phòng ngừa, ứng phó SCMT đối với HTXLNTTT trên địa bàn Thành phố.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Khung đánh giá SCMT từ 19 HTXLNTTT của 17 KCX, KCN trên địa bàn TPHCM được xây dựng dựa trên khung lý thuyết đánh giá rủi ro của Ủy ban liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC)^{15,16}, gồm ba thành phần chính: Chỉ số hiểm họa *HI*, chỉ số phơi nhiễm *EI*, chỉ số dễ bị tổn thương *CVI*. Mỗi chỉ số được hình thành từ tập hợp các biến số phản ánh các khía cạnh kỹ thuật, sinh thái và xã hội liên quan đến hoạt động của HTXLNTTT. Dữ liệu thu thập được phân thành biến định tính và biến định lượng. Giá trị của mỗi biến sẽ được quy đổi bằng thang điểm đánh giá phù hợp, sau đó xác định trọng số AHP và chuẩn hóa dữ liệu bằng phương pháp Max-Min. Chỉ số SCMT *EII* được tính toán từ việc tổng hợp giá trị có trọng số của ba nhóm chỉ số thành phần. Quy trình đánh giá SCMT được sơ đồ hóa trong Hình 1.

Phương pháp phân tích thứ bậc AHP

Phân tích thứ bậc AHP nhằm xác định trọng số của các tiêu chí trong bộ tiêu chí đánh giá SCMT được tiến hành theo 5 bước¹⁷ với sự hỗ trợ từ ý kiến chuyên gia để đảm bảo tính khách quan và nhất quán về tầm quan trọng giữa các tiêu chí:

- (1) Xác định tiêu chí và xây dựng cấu trúc phân cấp.
- (2) Xác định mức độ quan trọng của các tiêu chí.
- (3) Tính toán ma trận so sánh cặp, chuẩn hóa và xác định trọng số.

(4) Kiểm tra tính phù hợp thông qua tỷ lệ nhất quán CR (Consistency Ratio): Kết quả đạt yêu cầu khi giá trị $CR \leq 0,1$; ngược lại, nếu giá trị $CR > 0,1$ thì cần thẩm định các bước đánh giá và lấy lại ý kiến chuyên gia.

(5) Đề xuất phương án ưu tiên.

Số lượng chuyên gia được tham vấn là 20 người có trên 10 năm kinh nghiệm và từ trình độ thạc sĩ trở lên bao trùm cả về lĩnh vực khoa học môi trường, công nghệ môi trường và quản lý môi trường đang công tác tại các trường đại học, các viện nghiên cứu, Sở Nông nghiệp và Môi trường TPHCM và Ban quản lý các KCX và Công nghiệp TPHCM. Tổng hợp ý kiến của các chuyên gia này sẽ xác định mức độ quan trọng của các tiêu chí theo từng cặp và cho điểm các tiêu chí dựa trên thang đánh giá của Saaty¹⁷ như thể hiện tại Bảng 1.

Phương pháp chuẩn hóa giá trị Max-Min

Dựa trên thông tin dữ liệu thu thập và điều tra khảo sát, nghiên cứu tiến hành chuẩn hóa dữ liệu bằng phương pháp Max - Min¹⁸ nhằm đưa các giá trị về cùng một thang đo và qua đó hỗ trợ việc tính toán chỉ số tổng hợp theo công thức (1):

$$X_S = \frac{X_h - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (01)$$

Trong đó: X_S là giá trị đã được chuẩn hóa; X_h là giá trị chưa được chuẩn hóa; X_{min} là giá trị nhỏ nhất trong tập dữ liệu; và X_{max} là giá trị lớn nhất trong tập dữ liệu.

Phương pháp này cho phép chuyển đổi các giá trị của từng tiêu chí về khoảng chuẩn hóa từ 0 (mức thấp nhất) đến 1 (mức cao nhất) của tiêu chí trong tập dữ liệu nghiên cứu.

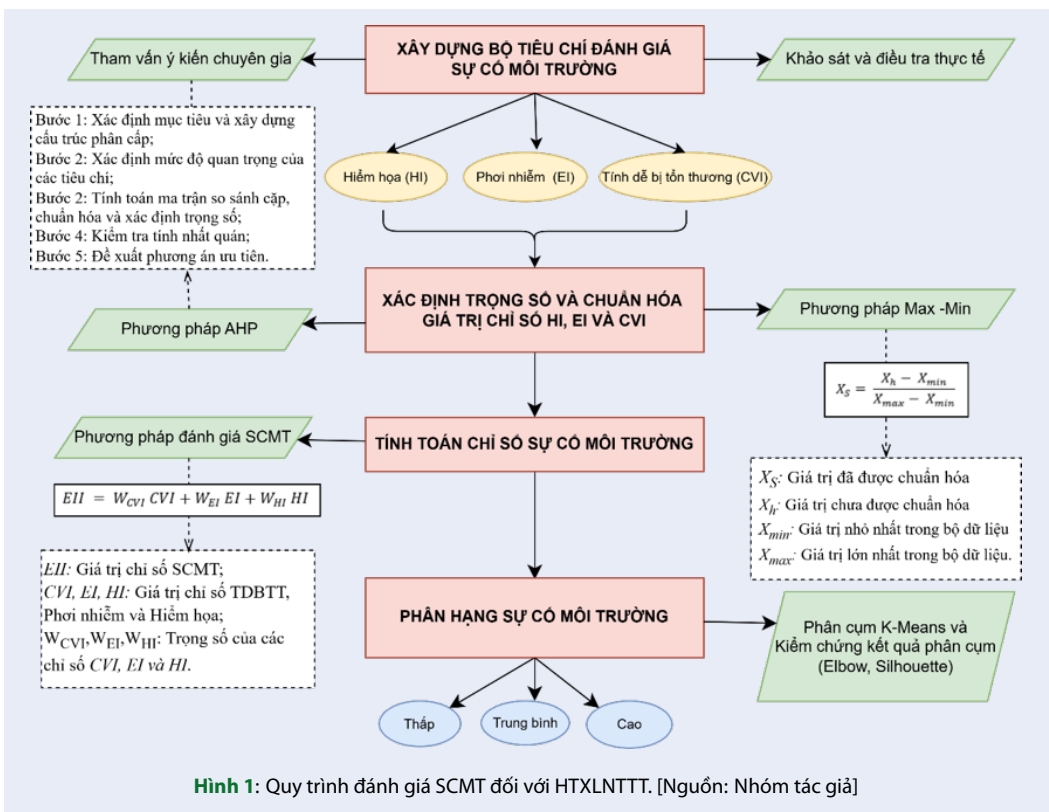
Phương pháp tính toán chỉ số sự cố môi trường

Chỉ số SCMT (*EII*) được tính toán bằng tổng giá trị của ba nhóm chỉ số tính dễ bị tổn thương (*CVI*), phơi nhiễm (*EI*) và hiểm họa (*HI*)¹⁰ như sau:

$$EII = W_{CVI}CVI + W_{EI}EI + W_{HI}HI \quad (02)$$

Trong đó: *EII* là giá trị chỉ số SCMT; *CVI*, *EI*, *HI* là giá trị chỉ số tính dễ bị tổn thương, giá trị chỉ số phơi nhiễm và giá trị chỉ số hiểm họa; W_{CVI} , W_{EI} , W_{HI} là trọng số của các chỉ số *CVI*, *EI* và *HI*.

Thống kê giá trị tính toán *EII*, rủi ro xảy ra SCMT của HTXLNTTT sẽ được phân hạng theo ba cấp: thấp, trung bình, cao.



Bảng 1: Bảng xếp hạng các mức độ so sánh cặp trong thuật toán AHP¹⁷

Độ mạnh trọng số	Mức độ quan trọng	Giải thích
1	Bằng nhau	Hai tiêu chí đóng góp ở mức tương đương.
3	Quan trọng hơn	Chênh lệch mức độ quan trọng giữa hai tiêu chí rất nhỏ.
5	Khá quan trọng	Chênh lệch mức độ quan trọng giữa hai tiêu chí khá lớn.
7	Rất quan trọng	Chênh lệch mức độ ảnh hưởng giữa hai tiêu chí rất lớn.
9	Mang tính quyết định	Chênh lệch mức độ ảnh hưởng giữa hai tiêu chí vượt trội.
2, 4, 6, 8	Những giá trị nằm giữa hai mức độ khác nhau	Dùng để hài hòa với các ưu tiên nêu trên.
Các phân số	-	Nếu tiêu chí i có một trong các giá trị trên khi so sánh với tiêu chí j thì tiêu chí j có giá trị nghịch đảo khi so sánh với tiêu chí i .

Phương pháp phân cụm K-means

Phân cụm K-means nhằm xếp loại các HTXLNTTT theo mức độ xảy ra SCMT dựa trên giá trị EII , phương pháp này hoạt động theo quy trình lặp Lloyd¹⁹, bao gồm các bước:

- (1) Khởi tạo: Chọn ngẫu nhiên k tâm cụm ban đầu (centroid);
- (2) Gán cụm: Mỗi điểm dữ liệu được gán vào tâm cụm gần nhất dựa trên khoảng cách Euclidean;

- (3) Cập nhật tâm cụm: Tính lại tâm cụm bằng trung bình các điểm dữ liệu trong từng cụm;
- (4) Các bước 2 và 3 lặp lại cho đến khi không có sự thay đổi đáng kể của các tâm cụm hoặc số vòng lặp đạt tối đa.

$$\underbrace{\argmin}_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (03)$$

Trong đó: S_i là tập các điểm thuộc cụm i , và μ_i là centroid của cụm đó.

Kiểm chứng kết quả phân cụm K-means

Để kiểm chứng liệu số k cụm có tối ưu với tập dữ liệu của nghiên cứu, sử dụng hai phương pháp thường dùng để kiểm chứng là Elbow¹⁹ và Silhouette²⁰.

Phương pháp Elbow dùng để kiểm tra tính nhất quán của số cụm tốt nhất bằng cách phân tích sự thay đổi của tổng bình phương sai số trong cụm WCSS (Within Cluster Sum of Squares). Quy trình như sau:

- Thực hiện thuật toán K-means với nhiều giá trị k khác nhau.
- Tính toán giá trị WCSS tương ứng với từng giá trị k .
- Đồ thị hóa biểu diễn mối quan hệ giữa k và WCSS.

Điểm khuỷu tay (Elbow) trên đồ thị - nơi mà việc tăng k không làm giảm đáng kể giá trị WCSS được xem là số cụm tối ưu cho tập dữ liệu nghiên cứu.

Phương pháp Silhouette dùng để đo lường chất lượng phân cụm thông qua mức độ tương đồng của một điểm dữ liệu với các điểm trong cùng cụm so với các cụm khác. Điểm số Silhouette (s) đo mức độ “tốt” của việc phân cụm²¹:

- $S \approx 1$: Điểm dữ liệu nằm gọn trong cụm của nó và tách biệt cụm khác;
- $S \approx 0$: Điểm dữ liệu nằm trung gian giữa 2 cụm, khó phân định;
- $S < 0$: Điểm dữ liệu có khả năng bị gán sai cụm.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**Bộ tiêu chí nhận diện rủi ro SCMT để tính toán giá trị EII**

Bộ tiêu chí nhận diện rủi ro SCMT để tính toán giá trị EII trong nghiên cứu này được xây dựng bao gồm các tiêu chí định lượng và các tiêu chí định tính có thứ nguyên khác nhau với thang điểm đánh giá quy đổi như thể hiện tại Bảng 2.

Xác định trọng số các tiêu chí đánh giá rủi ro SCMT

Dựa trên thông tin dữ liệu khảo sát tại 19 HTXL-NTTT của 17 KCX, KCN ở TPHCM, kết hợp với tham vấn chuyên gia thông qua bảng hỏi về tầm quan trọng giữa các tiêu chí trong bộ tiêu chí đánh giá SCMT, phương pháp AHP được ứng dụng theo 5 bước. Kết quả xác định trọng số cho từng tiêu chí được tổng hợp trong Bảng 3 Bảng 4 đến Bảng 5.

Tính toán và phân hạng mức độ rủi ro sự cố môi trường

Tính toán và phân hạng mức độ rủi ro SCMT được tiến hành cho 19 HTXLNTTT của 17 KCX, KCN ở TPHCM. Theo trình tự, giá trị các chỉ số thành phần trong công thức chỉ số SCMT được xác định gồm hiểm họa (Bảng 6), phơi nhiễm (Bảng 7) và tính dễ bị tổn thương (Bảng 8). Tiếp đến, giá trị chỉ số SCMT (EII) kết hợp với thuật toán K-means để phân hạng mức độ rủi ro SCMT với ba cấp độ thấp, trung bình và cao được tính toán như thống kê trong Bảng 9 và trực quan hóa bằng bản đồ Hình 2. Kết quả phân hạng này được kiểm chứng tối ưu số cụm bằng phương pháp Elbow (Hình 4) và chất lượng phân cụm bằng điểm số Silhouette (Bảng 10) cho thấy dữ liệu được chia thành ba cấp độ là phù hợp (Hình 3).

Bảng 2: Bộ tiêu chí nhận diện rủi ro SCMT đối với 19 HTXLNTTT của 17 KCX, KCN ở TPHCM

Nhóm tiêu chí	Ký hiệu	Tiêu chí thành phần	Ý nghĩa/cách đo lường	Đơn vị	Thang điểm đánh giá	
Bộ tiêu chí Hiểm họa (HI)						
Quy mô công nghệ XLNT	HI1	Công suất thiết kế	Dựa vào giá trị theo hồ sơ thiết kế và QCVN 01:2025/BTNMT	m ³ /ngày đêm	• < 5.000	1
					• 5.000 ÷ 50.000	3
					• > 50.000	5
Kết cấu an toàn công trình	HI2	Lượng nước thải đầu vào thực tế	Dựa vào lượng nước thải thực tế đầu vào HTXLNTTT và QCVN 01:2025/BTNMT	m ³ /ngày đêm	• < 5.000	1
					• 5.000 ÷ 50.000	3
					• > 50.000	5
	HI3	Chất lượng nước thải đầu vào	Dựa vào dữ liệu điều tra về tần suất xảy ra các trường hợp có số thông số vượt quy chuẩn, thể hiện mức độ tuân thủ của các doanh nghiệp về chất lượng nước thải đầu vào theo quy chuẩn của HTXLNTTT	—	• Chưa có thông số vượt quy chuẩn xả thải	1
					• Có thông số vượt quy chuẩn xả thải 1-5 lần	3
					• Có thông số vượt quy chuẩn xả thải > 5 lần	4
					• Không quan trắc nước thải đầu vào	5
	HI4	Thời gian vận hành của HTXLNTTT	Tuổi của HTXLNTTT từ khi đưa vào hoạt động đến nay	năm	• < 5	1
					• 5 ÷ 10	3
					• > 10	5
	HI5	Nguồn năng lượng điện và độ ổn định	Tình trạng xảy ra sự cố mất điện của hệ thống	—	• Không mất điện	1
					• Có mất điện	5
Yếu tố tác động bên ngoài	HI6	Đặc điểm tự nhiên ảnh hưởng đến HTXLNTTT	Hiểm họa tự nhiên (mưa lớn, sụt lún, triều cường,...)	—	• Không bị ảnh hưởng bởi thiên tai nào	1
					• Ảnh hưởng không đáng kể đến HTXL-NTTT	3
					• Ngập lụt cục bộ do mưa lớn, triều cường, sụt lún	5
Bộ tiêu chí Phơi nhiễm (EI)						

Continued on next page

Table 2 continued

Nhóm tiêu chí	Ký hiệu	Tiêu chí thành phần	Ý nghĩa/cách đo lường	Đơn vị	Thang điểm đánh giá	
Phơi nhiễm đối với môi trường nước mặt	EI1	Khả năng của nguồn tiếp nhận nước thải đối với các thông số chính Amoni, BOD ₅ , COD, TN, TP	Khả năng tiếp nhận nước thải của sông, kênh ở TPHCM đối với Amoni, BOD ₅ , COD, TN và TP theo Quyết định 1584/QĐ-UBND ²² , đa số còn khả năng tiếp nhận ≤ 4 thông số; nếu khả năng tiếp nhận thấp, nguy cơ và mức độ phơi nhiễm cao	thông số	● Còn khả năng tiếp nhận 4 thông số	1
					● Còn khả năng tiếp nhận 3 thông số	2
					● Còn khả năng tiếp nhận 2 thông số	3
					● Còn khả năng tiếp nhận 1 thông số	4
					● Không còn khả năng tiếp nhận	5
	EI2	Chất lượng nước thải đầu ra	Dựa vào dữ liệu điều tra về tần suất xảy ra các trường hợp có số thông số vượt quy chuẩn, thể hiện mức độ tuân thủ theo QCVN 40:2011/ BTNMT ²³ thông qua quan trắc nước thải đầu ra định kỳ của HTXLNTTT	—	● Chưa từng có thông số vượt quy chuẩn xả thải.	1
					● Có thông số vượt quy chuẩn xả thải 1-5 lần.	3
					● Có thông số vượt quy chuẩn xả thải > 5 lần.	4
					● Không thực hiện quan trắc nước thải đầu ra.	5
	EI3	Lưu lượng lan truyền nước thải của nguồn tiếp nhận	$Y = Q_{tm}/Q_t$ (Tỷ lệ giữa lưu lượng nguồn tiếp nhận và lưu lượng nguồn thải)	—	● ≥ 20.000	1
					● 15.000 ÷ < 20.000	2
					● 10.000 ÷ < 15.000	3
					● 5.000 ÷ < 10.000	4
					● < 5.000	5
	EI4	Đặc điểm mạng lưới sông của nguồn tiếp nhận	Khả năng lan truyền và tự làm sạch của nguồn tiếp nhận	—	● Nguồn tiếp nhận là sông chính	1
					● Nguồn tiếp nhận là sông nhánh cấp 1	3
					● Nguồn tiếp nhận là sông nhánh cấp 2, 3	5
	EI5	Mục đích sử dụng nước của nguồn tiếp nhận	Nguồn nước phục vụ sinh hoạt, tưới, tiêu,... có nguy cơ phơi nhiễm	—	● Không dùng cho cấp nước sinh hoạt	1
					● Dùng cho cấp nước sinh hoạt	5

Continued on next page

Table 2 continued

Nhóm tiêu chí	Ký hiệu	Tiêu chí thành phần	Ý nghĩa/cách đo lường	Đơn vị	Thang điểm đánh giá					
Phơi nhiễm đối với con người	EI6	Mật độ dân cư vùng ảnh hưởng	Mật độ dân cư có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi sự cố nước thải (phạm vi vùng ảnh hưởng trích xuất từ kết quả mô phỏng lan truyền ô nhiễm trên sông khi xảy ra SCMT bằng mô hình MIKE 11)	người/km	● ≤ 450	1				
			● 450 ÷ ≤ 800		2					
			● 800 ÷ ≤ 1.150		3					
			● 1.150 ÷ ≤ 1.400		4					
			● > 1.400		5					
Phơi nhiễm đối với hệ sinh thái	EI7	Diện tích nuôi trồng thủy sản bị ảnh hưởng	Nuôi trồng thủy sản có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi sự cố nước thải (phạm vi vùng ảnh hưởng trích xuất từ kết quả mô phỏng lan truyền ô nhiễm trên sông khi xảy ra SCMT bằng mô hình MIKE 11)	ha	● ≤ 20	1				
					● 20 ÷ ≤ 40	2				
					● 40 ÷ ≤ 60	3				
					● 60 ÷ ≤ 80	4				
					● > 80	5				
	EI8	Diện tích đất trồng trọt bị ảnh hưởng	Khu vực trồng trọt có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi sự cố nước thải (phạm vi vùng ảnh hưởng trích xuất từ kết quả mô phỏng lan truyền ô nhiễm trên sông khi xảy ra SCMT bằng mô hình MIKE 11)	ha	● ≤ 100	1				
					● 100 ÷ ≤ 200	2				
					● 200 ÷ ≤ 400	3				
					● 400 ÷ ≤ 600	4				
					● > 600	5				
Kỹ thuật công trình	CVI1	Mức độ tiên tiến, tự động hóa của HTXLNTTT	Công nghệ, kỹ thuật tiên tiến và khả năng vận hành ổn định của hệ thống xử lý	—	● Công nghệ tự động hóa cao (cảm biến tất cả các công đoạn để cảnh báo nhiệt độ, áp suất, khối lượng,...)	1				
					● Công nghệ có mức tự động hóa trung bình (bán tự động)	3				
					● Công nghệ tự động hóa thấp (vận hành thủ công)	5				
					CVI2	Tần suất bảo trì, bảo dưỡng	Thể hiện tính ổn định và an toàn trong vận hành hệ thống	tháng/lần	● ≤ 1	1
									● 1 ÷ ≤ 6	3
	● > 6	5								

Continued on next page

Table 2 continued						
Nhóm tiêu chí	Ký hiệu	Tiêu chí thành phần	Ý nghĩa/cách đo lường	Đơn vị	Thang điểm đánh giá	
Tổ chức quản lý	CVI3	Xây dựng công trình ứng phó SCMT tại HTXLNTTT	Thể hiện khả năng kiểm soát và cô lập sự cố, đánh giá theo mức độ trang bị các công trình ứng phó	—	● Có đầy đủ công trình ứng phó	1
					● Chỉ có các bể chứa dự phòng đủ cho công suất thiết kế	3
					● Chưa xây dựng công trình ứng phó	5
	CVI4	Xây dựng kế hoạch ứng phó SCMT tại HTXLNTTT	Thể hiện mức độ tuân thủ của hệ thống trong kiểm soát và phòng tránh rủi ro xảy ra SCMT	—	● Có kế hoạch chi tiết phòng ngừa, ứng phó SCMT	1
					● Có phương án phòng ngừa, ứng phó SCMT	3
					● Chưa xây dựng kế hoạch ứng phó	5
	CVI5	Diễn tập ứng phó SCMT tại HTXLNTTT	Thể hiện năng lực và trách nhiệm về phòng ngừa và ứng phó SCMT	—	● Diễn tập định kỳ	1
					● Diễn tập chưa theo định kỳ	3
					● Không diễn tập	5
	CVI6	Mức độ dự phòng thiết bị đối với sự cố trong quá trình vận hành	Thể hiện tính an toàn và ổn định trong quá trình vận hành HTXLNTTT	—	● Có trang bị đủ thiết bị dự phòng (ví dụ máy phát điện, hoặc thuê từ bên ngoài)	1
					● Chưa trang bị thiết bị dự phòng	5

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Bảng 3: Kết quả xác định trọng số tiêu chí hiểm họa

Tiêu chí	HI1	HI2	HI3	HI4	HI5	HI6	HI
Trọng số	0,22	0,19	0,24	0,12	0,12	0,11	0,35

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Bảng 4: Kết quả xác định trọng số các tiêu chí phơi nhiễm

Tiêu chí	EI1	EI2	EI3	EI4	EI5	EI6	EI7	EI8	EI
Trọng số	0,19	0,16	0,12	0,13	0,18	0,09	0,07	0,06	0,39

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Bảng 5: Kết quả xác định trọng số tiêu chí tính dễ bị tổn thương

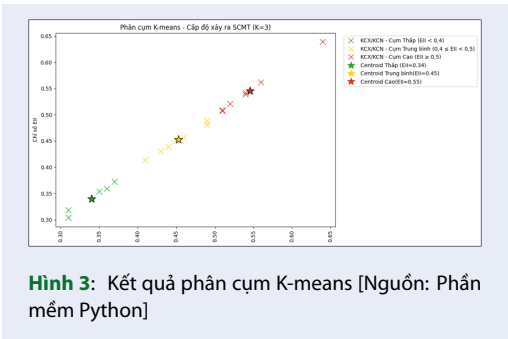
Tiêu chí	CVI1	CVI2	CVI3	CVI4	CVI5	CVI6	CVI
Trọng số	0,19	0,18	0,24	0,17	0,10	0,12	0,26

[Nguồn: Nhóm tác giả]

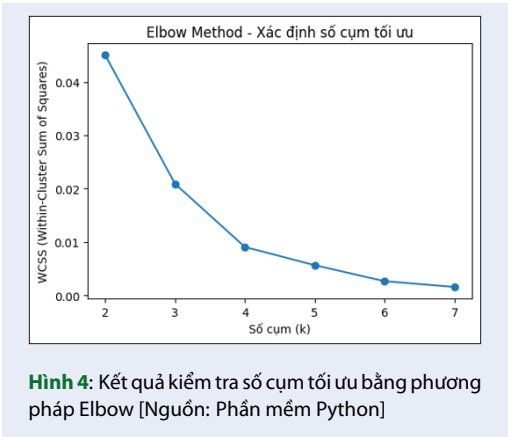
Bảng 6: Kết quả tính toán chỉ số hiểm họa xảy ra SCMT

KCX/KCN	Điểm đánh giá của từng tiêu chí có trọng số						Giá trị chỉ số hiểm họa (HI)
	HI1	HI2	HI3	HI4	HI5	HI6	
KCN Hiệp Phước GD1	0,22	0,00	0,00	0,12	0,12	0,11	0,57
KCN Hiệp Phước GD2	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,11	0,29
KCX Tân Thuận	0,22	0,19	0,00	0,12	0,00	0,11	0,64
KCN Cát Lái - Cụm II	0,00	0,00	0,18	0,12	0,12	0,00	0,42
KCN Bình Chiểu	0,00	0,00	0,18	0,12	0,00	0,00	0,30
KCX Linh Trung I	0,22	0,00	0,12	0,12	0,00	0,00	0,46
KCX Linh Trung II	0,22	0,00	0,12	0,12	0,00	0,11	0,57
KCN Tân Thới Hiệp	0,00	0,00	0,18	0,12	0,12	0,00	0,42
KCN Tân Phú Trung	0,00	0,00	0,18	0,12	0,00	0,00	0,30
KCN Tây Bắc Củ Chi	0,00	0,00	0,18	0,12	0,00	0,00	0,30
KCN Đông Nam	0,22	0,00	0,00	0,06	0,12	0,11	0,51
KCN Cơ khí Ô tô	0,00	0,00	0,12	0,06	0,12	0,00	0,30
KCN Lê Minh Xuân	0,22	0,19	0,24	0,12	0,12	0,00	0,89
KCN Tân Tạo HH	0,00	0,00	0,24	0,12	0,00	0,11	0,47
KCN Tân Tạo MR	0,22	0,00	0,24	0,12	0,00	0,11	0,69
KCN Lê Minh Xuân 3	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
KCN An Hạ	0,00	0,00	0,18	0,12	0,12	0,00	0,42
KCN Vĩnh Lộc	0,22	0,19	0,18	0,12	0,00	0,00	0,71
KCN Tân Bình	0,00	0,00	0,18	0,12	0,00	0,00	0,30

[Nguồn: Nhóm tác giả]



Hình 3: Kết quả phân cụm K-means [Nguồn: Phần mềm Python]



Hình 4: Kết quả kiểm tra số cụm tối ưu bằng phương pháp Elbow [Nguồn: Phần mềm Python]

Bảng 10: Kết quả kiểm tra chất lượng phân cụm theo điểm số Silhouette

Giá trị của k	Điểm số Silhouette
2	0,55
3	0,54
4	0,58
5	0,59
6	0,63
7	0,57

[Nguồn: Phần mềm Python]

Kết quả tính toán giá trị EII của 19 HTXLNTTT dao động trong khoảng $0,31 \div 0,64$ và thống kê phân cụm đưa ra: Nhóm có mức độ rủi ro thấp có $EII < 0,4$ với giá trị tâm cụm $0,34$ nhóm rủi ro trung bình có $0,4 \leq EII < 0,5$ với giá trị tâm cụm $0,45$; và nhóm có mức độ rủi ro cao có $EII \geq 0,5$ với giá trị tâm cụm $0,55$. Cụ thể:

- Nhóm rủi ro thấp có 5 hệ thống chiếm 26% gồm: KCN Hiệp Phước GĐ1 ($EII = 0,36$); KCN Hiệp Phước GĐ2 ($EII = 0,31$); KCX Tân Thuận

($EII = 0,37$); KCN Tân Phú Trung ($EII = 0,35$); KCN Lê Minh Xuân 3 ($EII = 0,31$). Trong giá trị EII , chỉ số hiểm họa tại các khu tương đối thấp ($0,25 \div 0,30$), phản ánh mức độ kiểm soát tốt chất lượng nước thải đầu vào của các doanh nghiệp thứ cấp trước khi đầu nối vào HTXL-NTTT. Đồng thời, lưu lượng nước thải thực tế thấp hơn đáng kể so với công suất thiết kế. Hệ thống vận hành ổn định và ít chịu ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên. Mức độ phơi nhiễm tiềm ẩn của nguồn tiếp nhận cũng ở mức thấp do nguồn nước đạt QCVN 40:2011/BTNMT - cột B và hầu như không sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt hoặc nuôi trồng thủy sản. Bên cạnh đó, chỉ số tính dễ bị tổn thương tại các khu này tương đối thấp ($0 \div 0,24$), cho thấy hệ thống được đầu tư tương đối tốt, vận hành ổn định và có kế hoạch ứng phó sự cố.

- Nhóm rủi ro trung bình có 7 hệ thống chiếm 37% bao gồm: KCN Cát Lái - Cụm II ($EII = 0,43$); KCN Bình Chiểu ($EII = 0,45$); KCN Tân Thới Hiệp ($EII = 0,49$); KCN Tây Bắc Củ Chi ($EII = 0,49$); KCN Cơ khí Ô tô ($EII = 0,44$); KCN Tân Tạo HH ($EII = 0,46$); KCN Tân Bình ($EII = 0,41$). Tại các khu này, chỉ số hiểm họa tiềm ẩn ở mức trung bình ($0,42 \div 0,47$) do chất lượng nước thải đầu vào của một số doanh nghiệp thứ cấp vượt quy chuẩn xả thải từ 1 ÷ 5 lần trước khi đầu nối vào HTXLNTTT. Đa số các hệ thống đã vận hành trên 10 năm, tăng nguy cơ suy giảm hiệu quả xử lý theo thời gian. Một số khu như KCN Tân Tạo HH còn chịu ảnh hưởng của các yếu tố rủi ro như triều cường, mưa lớn. Mức độ phơi nhiễm tiềm ẩn khá cao tại các khu này liên quan đến khả năng tiếp nhận của nguồn nước bị hạn chế ($Y < 5.000$). Đồng thời, mật độ dân cư khá cao tại khu vực lân cận cũng làm gia tăng mức độ phơi nhiễm tiềm ẩn. Chỉ số tính dễ bị tổn thương dao động trong khoảng $0,47 \div 0,52$, phản ánh một số hạn chế như mức độ tự động hóa của hệ thống chưa cao và còn thiếu các công trình ứng phó sự cố.
- Nhóm rủi ro cao có 7 hệ thống chiếm 37% bao gồm: KCX Linh Trung I ($EII = 0,52$); KCX Linh Trung II ($EII = 0,56$); KCN Đồng Nam ($EII = 0,51$); KCN Lê Minh Xuân ($EII = 0,54$); KCN Tân Tạo MR ($EII = 0,54$); KCN An Hạ ($EII = 0,51$); KCN Vĩnh Lộc ($EII = 0,64$). Tại các khu này, chỉ số hiểm họa ở mức cao, chủ yếu do HTXLNTTT có công suất thiết kế lớn và thời gian vận hành trên 10 năm. Mặt khác, chất lượng nước thải đầu vào có thông số vượt quy

Bảng 7: Kết quả tính toán chỉ số phơi nhiễm xảy ra SCMT

KCX/KCN	Điểm đánh giá của từng tiêu chí có trọng số								Giá trị chỉ số phơi nhiễm (EI)
	EI1	EI2	EI3	EI4	EI5	EI6	EI7	EI8	
KCN Hiệp Phước GĐ1	0,00	0,00	0,12	0,13	0,00	0,05	0,00	0,00	0,30
KCN Hiệp Phước GĐ2	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,09	0,07	0,00	0,25
KCX Tân Thuận	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,22
KCN Cát Lái - Cụm II	0,13	0,00	0,06	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,28
KCN Bình Chiểu	0,13	0,16	0,12	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,50
KCX Linh Trung I	0,13	0,00	0,12	0,13	0,18	0,09	0,00	0,00	0,65
KCX Linh Trung II	0,13	0,00	0,12	0,13	0,18	0,09	0,00	0,00	0,65
KCN Tân Thới Hiệp	0,00	0,00	0,12	0,13	0,18	0,09	0,00	0,00	0,52
KCN Tân Phú Trung	0,00	0,00	0,12	0,13	0,18	0,00	0,00	0,00	0,43
KCN Tây Bắc Củ Chi	0,00	0,00	0,12	0,13	0,18	0,09	0,00	0,03	0,55
KCN Đông Nam	0,00	0,16	0,12	0,00	0,18	0,09	0,00	0,03	0,58
KCN Cơ khí Ô tô	0,00	0,00	0,12	0,13	0,18	0,09	0,00	0,00	0,52
KCN Lê Minh Xuân	0,19	0,00	0,12	0,13	0,00	0,09	0,00	0,00	0,53
KCN Tân Tạo HH	0,13	0,00	0,12	0,13	0,00	0,09	0,00	0,00	0,47
KCN Tân Tạo MR	0,13	0,00	0,12	0,13	0,00	0,09	0,00	0,00	0,47
KCN Lê Minh Xuân 3	0,19	0,00	0,12	0,13	0,00	0,09	0,00	0,06	0,59
KCN An Hạ	0,13	0,16	0,12	0,13	0,18	0,00	0,00	0,00	0,72
KCN Vinh Lộc	0,13	0,00	0,12	0,13	0,00	0,09	0,00	0,00	0,47
KCN Tân Bình	0,13	0,00	0,12	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,34

[Nguồn: Nhóm tác giả]

chuẩn trên 5 lần hoặc chưa được quan trắc đầy đủ. Phơi nhiễm tiềm ẩn tại một số khu ở mức cao ($0,58 \div 0,72$) do khả năng lan truyền và tự làm sạch của nguồn tiếp nhận thấp ($Y < 5.000$) và hạn chế tiếp nhận $3 \div 5$ thông số, trong khi nước thải sau xử lý chủ yếu chỉ đạt QCVN 40:2011/BTNMT - cột B. Một số trường hợp ghi nhận nước thải đầu ra vượt quy chuẩn, tăng nguy cơ quá tải nguồn tiếp nhận. Chỉ số tính dễ bị tổn thương ở mức cao ($0,57 \div 0,79$), phản ánh những hạn chế trong công tác quản lý như thiếu công trình ứng phó sự cố, chưa tổ chức diễn tập ứng phó sự cố thường xuyên và chưa có phương án cụ thể đối với các sự cố vận hành.

Để khẳng định kết quả phân hạng mức độ rủi ro ở trên là đúng đắn và nhất quán, phân tích độ nhạy trọng số

AHP được thực hiện bằng cách thay đổi giá trị trọng số của ba nhóm tiêu chí (W_{HI} , W_{EI} và W_{CVI}) trong khoảng $\pm 20\%$, tương ứng với 6 kịch bản so với giá trị trung tâm và tính toán lại giá trị chỉ số EII cho 19 HTXLNTTT. Kết quả Bảng 11 cho thấy phần lớn các hệ thống có mức phân hạng ổn định trước sự biến động của trọng số. Cụ thể, giá trị EII khác biệt cao nhất chỉ $\pm 0,2$; điều này làm thay đổi mức phân hạng của 4 trên tổng số 114 trường hợp tính toán (chiếm 3,5%). Trên cơ sở đó, có thể khẳng định rằng phương pháp AHP mặc dù mang bản chất chủ quan, nghiên cứu này đã thực hiện lấy ý kiến chuyên gia có trình độ chuyên môn và kinh nghiệm thực tiễn về lĩnh vực môi trường như đề cập trong Phương pháp phân tích thứ bậc AHP là rất thích hợp.

Bảng 8: Kết quả tính toán chỉ số tính dễ bị tổn thương xảy ra SCMT

KCX/KCN	Điểm đánh giá của từng tiêu chí có trọng số						Giá trị chỉ số tính dễ bị tổn
	CVI1	CVI2	CVI3	CVI4	CVI5	CVI6	
KCN Hiệp Phước GĐ1	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
KCN Hiệp Phước GĐ2	0,00	0,18	0,24	0,00	0,00	0,00	0,42
KCX Tân Thuận	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,24
KCN Cát Lái - Cụm II	0,19	0,09	0,00	0,17	0,10	0,12	0,67
KCN Bình Chiểu	0,19	0,09	0,00	0,17	0,00	0,12	0,57
KCX Linh Trung I	0,00	0,18	0,24	0,00	0,00	0,00	0,42
KCX Linh Trung II	0,00	0,18	0,24	0,00	0,00	0,00	0,42
KCN Tân Thới Hiệp	0,19	0,18	0,00	0,17	0,00	0,00	0,54
KCN Tân Phú Trung	0,19	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,29
KCN Tây Bắc Củ Chi	0,19	0,00	0,24	0,00	0,10	0,12	0,65
KCN Đông Nam	0,19	0,09	0,00	0,00	0,00	0,12	0,40
KCN Cơ khí Ô tô	0,19	0,09	0,00	0,00	0,10	0,12	0,50
KCN Lê Minh Xuân	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10
KCN Tân Tạo HH	0,19	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,43
KCN Tân Tạo MR	0,19	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,43
KCN Lê Minh Xuân 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KCN An Hạ	0,19	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,31
KCN Vĩnh Lộc	0,19	0,09	0,24	0,17	0,10	0,00	0,79
KCN Tân Bình	0,19	0,09	0,12	0,17	0,10	0,00	0,67

[Nguồn: Nhóm tác giả]

KẾT LUẬN

Đánh giá rủi ro xảy ra SCMT liên quan đến 19 HTXL NTTTT của 17 KCX, KCN ở TPHCM dựa trên chỉ số *EII* tích hợp từ các tiêu chí gồm 6 hiểm họa, 8 phơi nhiễm và 6 tính dễ bị tổn thương, kết hợp với thuật toán phân hạng K-means. Kiểm chứng tính thích hợp về tối ưu số cụm bằng phương pháp Elbow và chất lượng phân cụm bằng điểm số Silhouette, kết quả phân hạng theo ba cấp độ thấp, trung bình, cao đã chỉ ra rằng có 5 hệ thống rủi ro thấp ($EII < 0,4$) gồm KCN Hiệp Phước GĐ1, KCN Hiệp Phước GĐ2, KCX Tân Thuận, KCN Tân Phú Trung, KCN Lê Minh Xuân 3; 7 hệ thống rủi ro trung bình ($0,4 \leq EII < 0,5$) gồm KCN Cát Lái - Cụm II, KCN Bình Chiểu, KCN Tân Thới Hiệp, KCN Tây Bắc Củ Chi, KCN Cơ khí Ô tô, KCN Tân Tạo HH, KCN Tân Bình; và 7 hệ thống rủi ro cao ($EII \geq 0,5$) gồm KCX Linh Trung I, KCX Linh Trung II, KCN Đông Nam, KCN Lê Minh Xuân, KCN Tân Tạo MR, KCN An Hạ, KCN Vĩnh Lộc. Các hệ thống thuộc nhóm rủi ro cao chịu tác động tổng hợp

từ nhiều yếu tố như chất lượng nước thải đầu vào và đầu ra chưa được kiểm soát chặt chẽ, có trình trạng vượt quy chuẩn; HTXLNTTT có công suất lớn và thời gian vận hành lâu năm. Mặt khác, khả năng tiếp nhận nước thải của nguồn nước hạn chế. Công tác quản lý chưa cao như thiếu công trình ứng phó sự cố, chưa tổ chức diễn tập ứng phó sự cố thường xuyên và chưa có phương án cụ thể đối với các sự cố vận hành. Việc phân cấp mức độ rủi ro xảy ra SCMT tại 19 HTXLNTTT đã góp phần làm rõ hiện trạng, nhận diện được các yếu tố ảnh hưởng chính trong quá trình vận hành hệ thống và xác định hệ thống nào có nguy cơ cao cần được ưu tiên giám sát, kiểm soát và đầu tư nâng cấp nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường tự nhiên và con người trong tương lai đối với TPHCM. Bên cạnh đó, nghiên cứu đề xuất khung đánh giá SCMT HTXLNTTT bằng cách tiếp cận tích hợp giữa phương pháp phân tích thứ bậc, chuẩn hóa dữ liệu, giá trị chỉ số SCMT và thuật toán phân cụm, cho phép đánh giá và phân hạng rủi ro theo hướng

Bảng 9: Kết quả tính toán giá trị chỉ số SCMT

KCX/KCN	Điểm đánh giá của từng Bộ tiêu chí có trọng số			Giá trị chỉ số SCMT (EII)	Phân hạng
	HI	EI	CVI		
KCN Hiệp Phước GĐ1	0,20	0,12	0,05	0,36	Thấp
KCN Hiệp Phước GĐ2	0,10	0,10	0,11	0,31	Thấp
KCX Tân Thuận	0,22	0,08	0,06	0,37	Thấp
KCN Cát Lái - Cụm II	0,15	0,11	0,17	0,43	Trung Bình
KCN Bình Chiểu	0,11	0,19	0,15	0,45	Trung Bình
KCX Linh Trung I	0,16	0,25	0,11	0,52	Cao
KCX Linh Trung II	0,20	0,25	0,11	0,56	Cao
KCN Tân Thới Hiệp	0,15	0,20	0,14	0,49	Trung bình
KCN Tân Phú Trung	0,11	0,17	0,08	0,35	Thấp
KCN Tây Bắc Củ Chi	0,11	0,21	0,17	0,49	Trung Bình
KCN Đồng Nam	0,18	0,23	0,10	0,51	Cao
KCN Cơ khí Ô tô	0,11	0,20	0,13	0,44	Trung Bình
KCN Lê Minh Xuân	0,31	0,21	0,03	0,54	Cao
KCN Tân Tạo HH	0,16	0,18	0,11	0,46	Trung Bình
KCN Tân Tạo MR	0,24	0,18	0,11	0,54	Cao
KCN Lê Minh Xuân 3	0,08	0,23	0,00	0,31	Thấp
KCN An Hạ	0,15	0,28	0,08	0,51	Cao
KCN Vĩnh Lộc	0,25	0,18	0,21	0,64	Cao
KCN Tân Bình	0,11	0,13	0,17	0,41	Trung bình

[Nguồn: Nhóm tác giả]

định lượng, nâng cao độ tin cậy của kết quả và có thể áp dụng cho các khu công nghiệp tại các đô thị lớn ở Việt Nam.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

- CVI: Chỉ số tính dễ bị tổn thương (Composite Vulnerability Index)
- EI: Chỉ số phơi nhiễm (Exposure Index)
- EII: Chỉ số sự cố môi trường (Environmental Incident Index)
- HI: Chỉ số hiểm họa (Hazard Index)
- HTXLNTTT: Hệ thống xử lý nước thải tập trung
- KCN: Khu công nghiệp
- KCX: Khu chế xuất
- SCMT: Sự cố môi trường
- TPHCM: Thành phố Hồ Chí Minh

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam đoan không có xung đột lợi ích với cá nhân hay tổ chức nào liên quan đến công bố bài

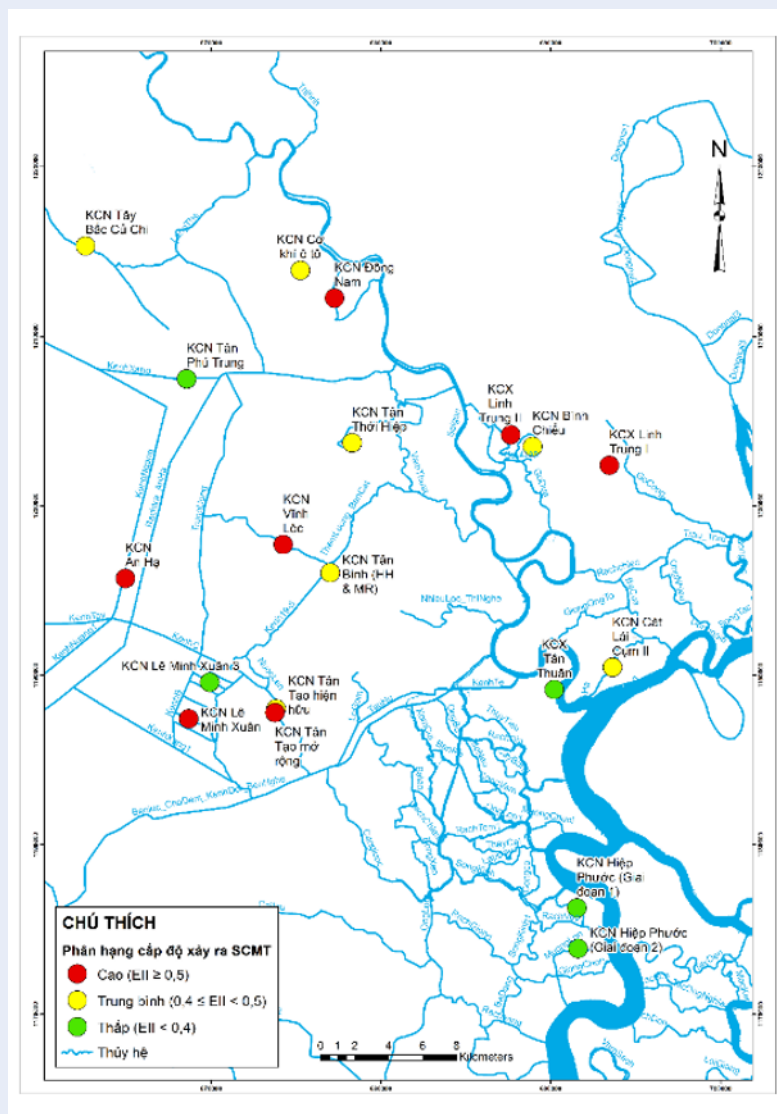
báo “Đánh giá sự cố môi trường liên quan đến HTXLNTTT của KCX, KCN trên địa bàn TPHCM”.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Tác giả Vũ Văn Nghị, Lâm Thị Nghiêmm, Lê Phương Thi, Trần Xuân Hải, Nguyễn Viết Cao Đạt, Lê Bảo Anh cùng thực hiện tất cả các bước và quy trình xây dựng kết quả nghiên cứu của nhiệm vụ này.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo này được coi như là một phần sản phẩm Khoa học Công nghệ của đề tài theo hợp đồng số 66/2024/HĐ-QKHCN ngày 02 tháng 12 năm 2024. Chúng tôi gửi lời cảm ơn chân thành Sở Khoa học và Công nghệ TPHCM là đơn vị tài trợ kinh phí; Ban quản lý Các KCX và Công nghiệp TPHCM, các Công ty Phát triển hạ tầng KCX, KCN đã hỗ trợ cung cấp số liệu, tạo điều kiện khảo sát thực địa.



Hình 2: Bản đồ phân hạng mức độ rủi ro SCMT tại 19 HTXLNTTT của 17 KCX, KCN ở TPHCM. [Nguồn: Nhóm tác giả]

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Aria Database. European scale of industrial accidents; 2020.
2. Travnicek P, Junga P, Kotek L, Vitez T. Analysis of accidents at municipal wastewater treatment plants in Europe. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2022;74.
3. Emars. Major accident reporting system [Online]; 2020. Available from: <https://emarsjrce.europa.eu/en/emars/accident/search>.
4. Nguyễn VP, Nguyễn TH, Bùi TL. Phương pháp tính toán thiệt hại về kinh tế và môi trường đối với một lưu vực sông bị ô nhiễm – trường hợp điển hình: Lưu vực sông Thị Vải. Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ ĐHQG TPHCM. 2011;14.
5. Quốc Hội. Luật Bảo vệ môi trường. Hà Nội; 2020.
6. Đ H Trần. Các giải pháp thiết kế và vận hành để phòng ngừa, xử lý sự cố các công trình xử lý nước thải tập trung khu công nghiệp; 2021.
7. Đ T Nguyễn. Nghiên cứu, đề xuất các giải pháp phòng ngừa, ứng phó sự cố môi trường, khắc phục ô nhiễm, phục hồi môi trường đối với trường hợp ảnh hưởng có tính liên vùng; 2018.
8. Huỳnh TLH, Nguyễn XH, T T Nguyễn, Nguyễn TL. Đánh giá rủi ro hạn hán khu vực Trung Nam Bộ; 2020.
9. Hugo C, Gustavo N, Paulo B. Mapping global patterns of drought risk: an empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. Global Environmental Change. 2016;2016(39):108–24.
10. Đình TH, Bùi NLH, Hoàng KC. Áp dụng phân tích AHP và điểm chỉ số rủi ro RIS để đánh giá các mối nguy cơ chính gây ra sự cố môi trường công nghiệp; 2020.
11. Bùi TPL, Vũ TH, Phạm TTN, Đ Đỗ T, Trần VT. Đánh giá tính dễ bị tổn thương do tác động của biến đổi khí hậu đối với một số cây trồng và đề xuất giải pháp thích ứng; 2019.
12. Hệ thống quản lý rủi ro theo tiêu chuẩn ISO 31000; 2020.
13. Lê TC. Xây dựng khung phương pháp đánh giá sự cố môi trường vùng ven biển – Trường hợp vùng ven biển Đông Nam Bộ; 2024.

Bảng 11: Phân tích độ nhạy trọng số liên quan đến kết quả tính toán giá trị chỉ số SCMT tại 19 HTXLNTTT của 17 KCX, KCN ở TPHCM

KCX/KCN	Giá trị chỉ số SCMT (EII)					
	($W_{HI}-20\%$)	($W_{HI}+20\%$)	($W_{EI}-20\%$)	($W_{EI}+20\%$)	($W_{CVI}-20\%$)	($W_{CVI}+20\%$)
KCN Hiệp Phước (GD1)	0,35	0,38	0,37	0,36	0,37	0,35
KCN Hiệp Phước (GD2)	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,31
KCX Tân Thuận	0,35	0,39	0,38	0,36	0,38	0,36
KCN Cát Lái - Cụm II	0,43	0,43	0,44	0,42	0,42	0,44
KCN Bình Chiểu	0,46	0,44	0,44	0,45	0,44	0,45
KCX Linh Trung I	0,53	0,52	0,51	0,53	0,53	0,52
KCX Linh Trung II	0,56	0,56	0,55	0,57	0,57	0,55
KCN Tân Thới Hiệp	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
KCN Tân Phú Trung	0,35	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35
KCN Tây Bắc Củ Chi	0,50	0,48	0,48	0,49	0,48	0,50
KCN Đồng Nam	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51	0,50
KCN Cơ khí Ô tô	0,45	0,43	0,43	0,44	0,43	0,44
KCN Lê Minh Xuân	0,52	0,57	0,55	0,54	0,57	0,52
KCN Tân Tạo HH	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
KCN Tân Tạo MR	0,52	0,55	0,54	0,53	0,54	0,53
KCN Lê Minh Xuân 3	0,31	0,30	0,28	0,33	0,32	0,29
KCN An Hạ	0,51	0,50	0,49	0,52	0,52	0,50
KCN Vĩnh Lộc	0,63	0,64	0,65	0,62	0,63	0,64
KCN Tân Bình	0,42	0,40	0,42	0,41	0,40	0,42

[Nguồn: Nhóm tác giả]

14. Pan CTCPTM. Thực trạng ô nhiễm môi trường nước ở TPHCM hiện nay - Nguyên nhân & Giải pháp; 2024. Available from: <https://pantrading.vn/thuc-trang-o-nhiem-moi-truong-nuoc-o-tphcm-hien-nay>.

15. Cardona OD, van Aalst MK, Birkmann J, Fordham M, McGregor G, Perez R. Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC; 2012.

16. Lingling B, Kui X, Hao P, Yunchao Z, Ruozhu S. Urban food risk assessment characterizing the relationship among hazard, exposure, and vulnerability; 2023.

17. Saaty TL. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research. 1990;48(1):9–26. Available from: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1).

18. Đinh Lý C. Phân tích hệ thống môi trường; 2009.

19. Trupti M, Kodinariya PM. Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. International Journal of Ad-

vance Research in Computer Science and Management Studies. 2013;1(6).

20. Belyadi AHH. Unsupervised machine learning: clustering algorithms. Machine Learning Guide for Oil and Gas Using Python; 2021.

21. Peter J. Rousseeuw. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics. 1987;20:53–65.

22. UBND Thành Phố Hồ Chí Minh. Quyết định 1584/QĐ-UBND TPHCM ngày 23/04/2025 về phê duyệt khả năng tiếp nhận nước thải, sức chịu tải các sông, kênh, rạch nội tỉnh trên địa bàn TPHCM; 2025.

23. Hà Nội. QCVN 40:2011/BTNMT ngày 28/12/2011 của Bộ Tài nguyên Môi trường về Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về nước thải công nghiệp; 2011.

PHỤ LỤC I: TỔNG HỢP KẾT QUẢ THAM VẤN VÀ TÍNH TRỌNG SỐ CỦA BỘ TIÊU CHÍ

Bộ tiêu chí hiểm họa

Bảng 12: Kết quả tham vấn và tính toán trọng số của từng chuyên gia cho Bộ tiêu chí hiểm họa

Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
		HI1	HI2	HI3	HI4	HI5	HI6		
1	HI1	1	1	3	5	7	3	0,10	0,32
	HI2	1	1	3	5	7	5		0,35
	HI3	1/3	1/3	1	3	5	3		0,16
	HI4	1/5	1/5	1/3	1	1	3		0,07
	HI5	1/7	1/7	1/5	1	1	4		0,06
	HI6	1/3	1/5	1/3	1/3	1/4	1		0,04
2	HI1	1	1/3	1/5	3	2	3	0,04	0,13
	HI2	3	1	1/2	4	3	5		0,26
	HI3	5	2	1	5	4	6		0,40
	HI4	1/3	1/4	1/5	1	1/2	2		0,06
	HI5	1/2	1/3	1/4	2	1	3		0,10
	HI6	1/3	1/5	1/6	1/2	1/3	1		0,04
3	HI1	1	5	5	5	3	7	0,09	0,47
	HI2	1/5	1	1/3	1/2	1/3	1/3		0,05
	HI3	1/5	3	1	2	2	1/2		0,13
	HI4	1/5	2	1/2	1	1/2	1		0,09
	HI5	1/3	3	1/2	2	1	1/3		0,11
	HI6	1/7	3	2	1	3	1		0,15
4	HI1	1	5	5	3	5	7	0,09	0,45
	HI2	1/5	1	1/3	3	1	5		0,12
	HI3	1/5	3	1	5	3	5		0,23
	HI4	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,06
	HI5	1/5	1	1/3	1	1	1		0,08
	HI6	1/7	1/5	1/5	1	1	1		0,05
5	HI1	1	3	2	1	1/2	1/2	0,10	0,16
	HI2	1/3	1	2	2	1/3	1/3		0,11
	HI3	1/2	1/2	1	1	1/3	1/3		0,08
	HI4	1	1/2	1	1	1	1/3		0,11
	HI5	2	3	3	1	1	3		0,29
	HI6	2	3	3	3	1/3	1		0,24
6	HI1	1	1/5	1/5	1/5	1/7	1/5	0,08	0,03
	HI2	5	1	1/3	3	1/5	3		0,14
	HI3	5	3	1	3	1/3	3		0,22
	HI4	5	1/3	1/3	1	1/5	1		0,08
	HI5	7	5	3	5	1	5		0,44
	HI6	5	1/3	1/3	1	1/5	1		0,08
7	HI1	1	1/2	1	5	3	3	0,07	0,23
	HI2	2	1	1/3	4	3	5		0,25
	HI3	1	3	1	3	3	5		0,30
	HI4	1/5	1/4	1/3	1	1	3		0,08
	HI5	1/3	1/3	1/3	1	1	3		0,09
	HI6	1/3	1/5	1/5	1/3	1/3	1		0,05
8	HI1	1	1/5	1	1/3	1	1/5	0,01	0,06
	HI2	5	1	5	3	5	1		0,33
	HI3	1	1/5	1	1/3	1	1/5		0,06
	HI4	3	1/3	3	1	3	1/3		0,15

Continued on next page

Table 12 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
		HI1	HI2	HI3	HI4	HI5	HI6		
9	HI5	1	1/5	1	1/3	1	1/5	0,01	0,06
	HI6	5	1	5	3	5	1		0,33
	HI1	1	5	5	1/2	3	2		0,26
	HI2	1/5	1	1	1/7	1/3	1/3		0,05
	HI3	1/5	1	1	1/7	1/3	1/3		0,05
	HI4	2	7	7	1	3	2		0,37
10	HI5	1/3	3	3	1/3	1	1	0,09	0,13
	HI6	1/2	3	3	1/2	1	1		0,15
	HI1	1	3	1/3	5	3	7		0,23
	HI2	1/3	1	1/7	3	5	5		0,13
	HI3	3	7	1	7	7	9		0,49
	HI4	1/5	1/3	1/7	1	1/3	3		0,05
11	HI5	1/3	1/5	1/7	3	1	3	0,06	0,07
	HI6	1/7	1/5	1/9	1/3	1/3	1		0,03
	HI1	1	3	2	5	5	7		0,37
	HI2	1/3	1	1	3	5	5		0,20
	HI3	1/2	1	1	5	7	7		0,26
	HI4	1/5	1/3	1/5	1	3	3		0,08
12	HI5	1/5	1/5	1/7	1/3	1	3	0,09	0,05
	HI6	1/7	1/5	1/7	1/3	1/3	1		0,03
	HI1	1	3	1/2	5	5	7		0,32
	HI2	1/3	1	2	5	3	5		0,24
	HI3	2	1/2	1	3	3	5		0,24
	HI4	1/5	1/5	1/3	1	2	3		0,08
13	HI5	1/5	1/3	1/3	1/2	1	3	0,07	0,07
	HI6	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1		0,04
	HI1	1	1/3	1/5	3	3	5		0,13
	HI2	3	1	1/3	5	5	7		0,25
	HI3	5	3	1	7	7	9		0,46
	HI4	1/3	1/5	1/7	1	3	5		0,08
14	HI5	1/3	1/5	1/7	1/3	1	3	0,10	0,05
	HI6	1/5	1/7	1/9	1/5	1/3	1		0,03
	HI1	1	1/2	1/2	2	2	1		0,16
	HI2	2	1	1/2	2	2	2		0,23
	HI3	2	2	1	2	3	1/2		0,24
	HI4	1/2	1/2	1/2	1	1	2		0,13
15	HI5	1/2	1/2	1/3	1	1	1	0,03	0,11
	HI6	1	1/2	2	1/2	1	1		0,14
	HI1	1	1/3	1/5	2	1/3	3		0,09
	HI2	3	1	1/3	3	1	5		0,19
	HI3	5	3	1	5	3	7		0,42
	HI4	1/2	1/3	1/5	1	1/3	2		0,07
16	HI5	3	1	1/3	3	1	5	0,09	0,19
	HI6	1/3	1/5	1/7	1/2	1/5	1		0,04
	HI1	1	3	3	5	5	3		0,38
	HI2	1/3	1	2	3	2	5		0,21
	HI3	1/3	1/2	1	3	5	5		0,20

Continued on next page

Table 12 continued									
Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
		HI1	HI2	HI3	HI4	HI5	HI6		
17	HI4	1/5	1/3	1/3	1	2	2	0,08	0,09
	HI5	1/5	1/2	1/5	1/2	1	3		0,07
	HI6	1/3	1/5	1/5	1/2	1/3	1		0,05
	HI1	1	1	1/7	1/7	1	1		0,07
	HI2	1	1	1/3	1	1	1		0,11
	HI3	7	3	1	5	5	5		0,48
18	HI4	7	1	1/5	1	1	3	0,08	0,16
	HI5	1	1	1/5	1	1	1		0,10
	HI6	1	1	1/5	1/3	1	1		0,08
	HI1	1	3	3	1	3	7		0,32
	HI2	1/3	1	3	3	5	5		0,27
	HI3	1/3	1/3	1	1	3	3		0,13
19	HI4	1	1/3	1	1	3	3	0,09	0,16
	HI5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	3		0,07
	HI6	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	1		0,04
	HI1	1	1/5	1/5	1/3	1/3	1/7		0,03
	HI2	5	1	1/3	1/5	1	1/7		0,07
	HI3	5	3	1	1/3	1	1/7		0,11
20	HI4	3	5	3	1	3	1/3	0,10	0,22
	HI5	3	1	1	1/3	1	1/5		0,09
	HI6	7	7	7	3	5	1		0,48
	HI1	1	3	1	3	3	1		0,27
	HI2	1/3	1	1	1	1/2	2		0,13
	HI3	1	1	1	1/2	1/2	1		0,13
	HI4	1/3	1	2	1	1	2		0,17
	HI5	1/3	2	2	1	1	3		0,20
	HI6	1	1/2	1	1/2	1/3	1		0,10

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Bộ tiêu chí phơi nhiễm

Bảng 13: Kết quả tham vấn và tính toán trọng số của từng chuyên gia cho Bộ tiêu chí phơi nhiễm

Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh								CR	Trọng số
		EI1	EI2	EI3	EI4	EI5	EI6	EI7	EI8		
1	EI1	1	1	3	3	7	8	7	5	0,10	0,28
	EI2	1	1	2	3	5	9	8	9		0,28
	EI3	1/3	1/2	1	1	6	7	7	5		0,16
	EI4	1/3	1/3	1	1	1	8	9	7		0,14
	EI5	1/7	1/5	1/6	1	1	3	2	5		0,06
	EI6	1/8	1/9	1/7	1/8	1/3	1	3	5		0,04
	EI7	1/7	1/8	1/7	1/9	1/2	1/3	1	2		0,03
	EI8	1/5	1/9	1/5	1/7	1/5	1/5	1/2	1		0,02
2	EI1	1	1/3	2	2	1/5	1/2	3	3	0,01	0,09
	EI2	3	1	4	4	1/2	2	5	5		0,22
	EI3	1/2	1/4	1	1	1/6	1/3	2	2		0,06
	EI4	1/2	1/4	1	1	1/6	1/3	2	2		0,06
	EI5	5	2	6	6	1	3	7	7		0,35
	EI6	2	1/2	3	3	1/3	1	4	4		0,15
	EI7	1/3	1/5	1/2	1/2	1/7	1/4	1	1		0,04
	EI8	1/3	1/5	1/2	1/2	1/7	1/4	1	1		0,04
3	EI1	1	2	1	1	1	1/2	1/2	1/2	0,10	0,10
	EI2	1/2	1	2	2	1/2	1/2	1/2	2		0,11
	EI3	1	1/2	1	1/2	2	2	1/2	1/2		0,10
	EI4	1	1/2	2	1	2	2	1/2	1/2		0,12
	EI5	1	2	1/2	1/2	1	1	1	1		0,11
	EI6	2	2	1/2	1/2	1	1	1	1		0,12
	EI7	2	2	2	2	1	1	1	1		0,17
	EI8	2	1/2	2	2	1	1	1	1		0,15
4	EI1	1	3	1	1	3	3	5	5	0,10	0,23
	EI2	1/3	1	3	5	1/3	5	3	3		0,17
	EI3	1	1/3	1	3	1	3	3	3		0,15
	EI4	1	1/5	1/3	1	1/5	3	3	3		0,09
	EI5	1/3	3	1	5	1	5	5	5		0,23
	EI6	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,04
	EI7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,04
	EI8	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,04
5	EI1	1	8	9	8	3	7	8	8	0,05	0,48
	EI2	1/8	1	3	2	1	2	2	2		0,11
	EI3	1/9	1/3	1	2	2	3	3	3		0,10
	EI4	1/8	1/2	1/2	1	1/2	1	2	2		0,06
	EI5	1/3	1	1/2	2	1	2	3	3		0,11
	EI6	1/7	1/2	1/3	1	1/2	1	2	2		0,06
	EI7	1/8	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1		0,04
	EI8	1/8	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1		0,04
6	EI1	1	1/3	3	1	1/5	5	5	5	0,10	0,14
	EI2	3	1	3	3	1/9	3	3	3		0,16
	EI3	1/3	1/3	1	1	1/3	3	3	3		0,09
	EI4	1	1/3	1	1	1/9	3	3	3		0,09
	EI5	5	9	3	9	1	5	5	5		0,40
	EI6	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,04
	EI7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,04

Continued on next page

Table 13 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	EI1	EI2	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
7	EI8	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1	1	0,09	0,04
	EI1	1	1	3	3	1/5	5	3	3		0,16
	EI2	1	1	3	3	1/7	7	5	5		0,18
	EI3	1/3	1/3	1	1	1/2	5	3	3		0,10
	EI4	1/3	1/3	1	1	1/5	5	3	3		0,09
	EI5	5	7	2	5	1	3	7	7		0,36
	EI6	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1	1	1		0,03
	EI7	1/3	1/5	1/3	1/3	1/7	1	1	1		0,04
8	EI8	1/3	1/5	1/3	1/3	1/7	1	1	1	0,04	0,04
	EI1	1	1	1	1/8	1/8	1/3	3	3		0,05
	EI2	1	1	1	1/8	1/8	1/3	3	3		0,05
	EI3	1	1	1	1/8	1/8	1/3	3	3		0,05
	EI4	8	8	8	1	1	6	9	9		0,35
	EI5	8	8	8	1	1	6	9	9		0,35
	EI6	3	3	3	1/6	1/6	1	4	4		0,10
	EI7	1/3	1/3	1/3	1/9	1/9	1/4	1	1		0,02
9	EI8	1/3	1/3	1/3	1/9	1/9	1/4	1	1	0,01	0,02
	EI1	1	1	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1		0,05
	EI2	1	1	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1		0,05
	EI3	3	3	1	1	3	1/2	1/2	3		0,15
	EI4	3	3	1	1	3	1/2	1/2	3		0,15
	EI5	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1		0,06
	EI6	5	5	2	2	3	1	1	3		0,24
	EI7	5	5	2	2	3	1	1	3		0,24
10	EI8	1	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	0,10	0,06
	EI1	1	1/3	3	3	2	3	5	5		0,22
	EI2	3	1	3	3	5	2	2	3		0,26
	EI3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	3	2	2		0,08
	EI4	1/3	1/3	3	1	3	3	3	2		0,15
	EI5	1/2	1/5	3	1/3	1	2	2	3		0,11
	EI6	1/3	1/2	1/3	1/3	1/2	1	3	1		0,07
	EI7	1/5	1/2	1/2	1/3	1/2	1/3	1	1		0,05
11	EI8	1/5	1/3	1/2	1/2	1/3	1	1	1	0,10	0,05
	EI1	1	1/3	1	1	2	1/3	1/3	1/2		0,08
	EI2	3	1	2	1	1/2	1/3	1/3	1/2		0,09
	EI3	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1	1		0,09
	EI4	1	1	1	1	1	1/2	1	1		0,11
	EI5	1/2	2	2	1	1	2	2	2		0,17
	EI6	3	3	2	2	1/2	1	3	3		0,22
	EI7	3	3	1	1	1/2	1/3	1	1		0,12
12	EI8	2	2	1	1	1/2	1/3	1	1	0,09	0,11
	EI1	1	2	2	2	2	1/2	1/2	2		0,16
	EI2	1/2	1	2	2	1	1/2	1/2	2		0,12
	EI3	1/2	1/2	1	1	1	2	2	2		0,13
	EI4	1/2	1/2	1	1	1	1/2	2	2		0,11
	EI5	1/2	1	1	1	1	2	2	2		0,14
	EI6	2	2	1/2	2	1/2	1	2	2		0,16

Continued on next page

Table 13 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	EI1	EI2	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
		EI3	EI4	EI5	EI6	EI7	EI8				
13	EI7	2	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	0,09	0,11
	EI8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1		0,07
	EI1	1	3	5	5	7	7	7	7		0,38
	EI2	1/3	1	3	3	5	5	5	5		0,21
	EI3	1/5	1/3	1	3	3	5	5	5		0,14
	EI4	1/5	1/3	1/3	1	3	5	5	5		0,11
	EI5	1/7	1/5	1/3	1/3	1	3	3	3		0,06
	EI6	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1	3	3		0,04
14	EI7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	0,09	0,03
	EI8	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1		0,02
	EI1	1	1	1	1	3	5	7	7		0,22
	EI2	1	1	1	3	5	7	9	9		0,30
	EI3	1	1	1	1	3	5	3	3		0,18
	EI4	1	1/3	1	1	3	3	1	1/2		0,10
	EI5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	3	1	1/3		0,05
	EI6	1/5	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1	1		0,04
15	EI7	1/7	1/9	1/3	1	1	1	1	1	0,02	0,05
	EI8	1/7	1/9	1/3	2	3	1	1	1		0,06
	EI1	1	3	3	3	1/3	5	5	5		0,22
	EI2	1/3	1	2	1	1/5	3	3	3		0,11
	EI3	1/3	1/2	1	1	1/5	2	2	2		0,08
	EI4	1/3	1	1	1	1/5	3	3	2		0,09
	EI5	3	5	5	5	1	7	7	7		0,39
	EI6	1/5	1/3	1/2	1/3	1/7	1	1	1		0,04
16	EI7	1/5	1/3	1/2	1/3	1/7	1	1	1	0,09	0,04
	EI8	1/5	1/3	1/2	1/2	1/7	1	1	1		0,04
	EI1	1	3	3	5	5	5	3	5		0,31
	EI2	1/3	1	5	3	5	3	9	9		0,27
	EI3	1/3	1/5	1	1	3	3	3	3		0,11
	EI4	1/5	1/3	1	1	3	3	5	5		0,13
	EI5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	5	3	3		0,07
	EI6	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1	1		0,04
17	EI7	1/3	1/9	1/3	1/5	1/3	1	1	1	0,08	0,04
	EI8	1/5	1/9	1/3	1/5	1/3	1	1	1		0,03
	EI1	1	3	3	1	1	5	5	5		0,24
	EI2	1/3	1	3	1/3	3	2	3	3		0,15
	EI3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	3	3	3		0,09
	EI4	1	3	3	1	1/3	5	5	5		0,21
	EI5	1	1/3	3	3	1	3	3	3		0,18
	EI6	1/5	1/2	1/3	1/5	1/3	1	1	1		0,05
18	EI7	1/5	1/3	1/3	1/5	1/3	1	1	1	0,02	0,04
	EI8	1/5	1/3	1/3	1/5	1/3	1	1	1		0,04
	EI1	1	3	1	1	1	3	7	7		0,23
	EI2	1/3	1	1	1	1	3	3	3		0,14
	EI3	1	1	1	1	1	3	3	3		0,16
	EI4	1	1	1	1	1	3	3	3		0,16
	EI5	1	1	1	1	1	3	3	3		0,16

Continued on next page

Table 13 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	EI1	EI2	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
		EI3	EI4	EI5	EI6	EI7	EI8				
19	EI6	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	0,10	0,05
	EI7	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1		0,05
	EI8	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1		0,05
	EI1	1	3	1	1	1	1/3	1/3	1/3		0,09
	EI2	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3		0,04
	EI3	1	3	1	1	1	3	3	3		0,20
	EI4	1	3	1	1	1	3	3	3		0,20
	EI5	1	3	1	1	1	1	1	1		0,13
	EI6	3	3	1/3	1/3	1	1	2	2		0,14
	EI7	3	3	1/3	1/3	1	1/2	1	2		0,11
20	EI8	3	3	1/3	1/3	1	1/2	1/2	1	0,09	0,10
	EI1	1	1	1	1	1	2	3	3		0,17
	EI2	1	1	1	2	1/2	1/2	1	1		0,11
	EI3	1	1	1	2	2	1	1/2	1/2		0,12
	EI4	1	1/2	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2		0,08
	EI5	1	2	1/2	1	1	1/3	1/3	1/3		0,08
	EI6	1/2	2	1	2	3	1	1	1		0,15
	EI7	1/3	1	2	2	3	1	1	1		0,14
	EI8	1/3	1	2	2	3	1	1	1		0,14

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Bộ tiêu chí TDBTT

Bảng14: Kết quả tham vấn và tính toán trọng số của từng chuyên gia cho Bộ tiêu chí TDBTT.

Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh						CR	Trọng số
		CVI1	CVI2	CVI3	CVI4	CVI5	CVI6		
1	CVI1	1	1	7	7	6	8	0,07	0,46
	CVI2	1	1	2	1	3	2		0,19
	CVI3	1/7	1/2	1	1	2	3		0,11
	CVI4	1/7	1	1	1	2	3		0,12
	CVI5	1/6	1/3	1/2	1/2	1	2		0,07
	CVI6	1/8	1/2	1/3	1/3	1/2	1		0,05
2	CVI1	1	3	1/3	1/2	2	1	0,01	0,14
	CVI2	1/3	1	1/5	1/4	1/2	1/3		0,05
	CVI3	3	5	1	2	4	3		0,36
	CVI4	2	4	1/2	1	3	2		0,23
	CVI5	1/2	2	1/4	1/3	1	1/2		0,08
	CVI6	1	3	1/3	1/2	2	1		0,14
3	CVI1	1	3	1	1/3	3	1/2	0,09	0,14
	CVI2	1/3	1	1/8	1/7	1/5	1/7		0,03
	CVI3	1	8	1	1	5	3		0,30
	CVI4	3	7	1	1	3	1		0,27
	CVI5	1/3	5	1/5	1/3	1	1		0,09
	CVI6	2	7	1/3	1	1	1		0,17
4	CVI1	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	0,09	0,10
	CVI2	1	1	2	2	1	2		0,23
	CVI3	2	1/2	1	2	2	1		0,20
	CVI4	2	1/2	1/2	1	1/2	2		0,14
	CVI5	2	1	1/2	2	1	1/2		0,16
	CVI6	2	1/2	1	1/2	2	1		0,16
5	CVI1	1	2	1/3	3	3	5	0,10	0,23
	CVI2	1/2	1	1/9	1/7	1/3	1/2		0,04
	CVI3	3	9	1	2	5	3		0,39
	CVI4	1/3	7	1/2	1	3	2		0,18
	CVI5	1/3	3	1/5	1/3	1	1/2		0,07
	CVI6	1/5	2	1/3	1/2	2	1		0,09
6	CVI1	1	1/5	1/9	1/7	1/7	1/7	0,07	0,02
	CVI2	5	1	1/5	1/5	1/5	1/5		0,05
	CVI3	9	5	1	3	3	1		0,33
	CVI4	7	5	1/3	1	1	1/3		0,15
	CVI5	7	5	1/3	1	1	1		0,18
	CVI6	7	5	1	3	1	1		0,26
7	CVI1	1	1	1/5	1/5	3	1	0,08	0,09
	CVI2	1	1	1/3	1/7	3	2		0,10
	CVI3	5	3	1	2	3	5		0,35
	CVI4	5	7	1/2	1	3	5		0,32
	CVI5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1		0,06
	CVI6	1	1/2	1/5	1/5	1	1		0,07
8	CVI1	1	1/2	1/6	1/6	1/2	1	0,00	0,05
	CVI2	2	1	1/4	1/4	1	2		0,10
	CVI3	6	4	1	1	4	6		0,35
	CVI4	6	4	1	1	4	6		0,35
	CVI5	2	1	1/4	1/4	1	2		0,10

Continued on next page

Table 14 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	CVI1	CVI2	Ma trận so sánh				CR	Trọng số
				CVI3	CVI4	CVI5	CVI6		
9	CVI6	1	1/2	1/6	1/6	1/2	1	0,00	0,05
	CVI1	1	1	1/5	1/5	1/3	1/3		0,05
	CVI2	1	1	1/5	1/5	1/3	1/3		0,05
	CVI3	5	5	1	1	2	2		0,29
	CVI4	5	5	1	1	2	2		0,29
	CVI5	3	3	1/2	1/2	1	1		0,15
10	CVI6	3	3	1/2	1/2	1	1	0,04	0,15
	CVI1	1	1	7	7	9	5		0,43
	CVI2	1	1	3	3	5	5		0,29
	CVI3	1/7	1/3	1	1	1	1/3		0,06
	CVI4	1/7	1/3	1	1	1	1		0,07
	CVI5	1/9	1/5	1	1	1	1		0,06
11	CVI6	1/5	1/5	3	1	1	1	0,03	0,08
	CVI1	1	1	2	1	2	2		0,22
	CVI2	1	1	3	1/2	2	2		0,21
	CVI3	1/2	1/3	1	1/2	1	1/2		0,09
	CVI4	1	2	2	1	1	2		0,22
	CVI5	1/2	1/2	1	1	1	1		0,12
12	CVI6	1/2	1/2	2	1/2	1	1	0,08	0,12
	CVI1	1	1/3	1/3	1/3	2	1/3		0,08
	CVI2	3	1	2	3	3	3		0,33
	CVI3	3	1/2	1	3	3	2		0,25
	CVI4	3	1/3	1/3	1	1/2	1/2		0,09
	CVI5	1/2	1/3	1/3	2	1	1/2		0,09
13	CVI6	3	1/3	1/2	2	2	1	0,07	0,16
	CVI1	1	1/3	1/5	3	3	5		0,13
	CVI2	3	1	1/3	5	5	7		0,25
	CVI3	5	3	1	7	7	9		0,46
	CVI4	1/3	1/5	1/7	1	3	5		0,08
	CVI5	1/3	1/5	1/7	1/3	1	3		0,05
14	CVI6	1/5	1/7	1/9	1/5	1/3	1	0,09	0,03
	CVI1	1	3	3	5	7	7		0,44
	CVI2	1/3	1	3	3	5	5		0,25
	CVI3	1/3	1/3	1	1	3	3		0,12
	CVI4	1/5	1/3	1	1	3	1/3		0,08
	CVI5	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1		0,05
15	CVI6	1/7	1/5	1/3	3	1	1	0,01	0,07
	CVI1	1	2	1/3	1/3	1	1		0,11
	CVI2	1/2	1	1/5	1/4	1/2	1/2		0,06
	CVI3	3	5	1	2	3	3		0,35
	CVI4	3	4	1/2	1	3	3		0,27
	CVI5	1	2	1/3	1/3	1	1		0,11
16	CVI6	1	2	1/3	1/3	1	1	0,08	0,11
	CVI1	1	3	3	5	3	3		0,35
	CVI2	1/3	1	3	3	5	7		0,28
	CVI3	1/3	1/3	1	2	3	3		0,15
	CVI4	1/5	1/3	1/2	1	3	3		0,11

Continued on next page

Table 14 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	CVI1	CVI2	Ma trận so sánh				CR	Trọng số
				CVI3	CVI4	CVI5	CVI6		
17	CVI5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	1	0,09	0,06
	CVI6	1/3	1/7	1/3	1/3	1	1		0,05
	CVI1	1	1/5	7	7	1	7		0,22
	CVI2	5	1	7	7	7	7		0,53
	CVI3	1/7	1/7	1	1	1	1		0,06
	CVI4	1/7	1/7	1	1	1	1		0,06
18	CVI5	1	1/7	1	1	1	1	0,04	0,08
	CVI6	1/7	1/7	1	1	1	1		0,06
	CVI1	1	1	3	3	3	3		0,30
	CVI2	1	1	1	3	3	3		0,25
	CVI3	1/3	1	1	1	1	3		0,15
	CVI4	1/3	1/3	1	1	1	3		0,12
19	CVI5	1/3	1/3	1	1	1	3	0,09	0,12
	CVI6	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1		0,06
	CVI1	1	3	1/3	1	1	1/3		0,12
	CVI2	1/3	1	1/3	3	1	1		0,12
	CVI3	3	3	1	5	3	1		0,33
	CVI4	1	1/3	1/5	1	1/3	1/5		0,06
20	CVI5	1	1	1/3	3	1	1	0,09	0,14
	CVI6	3	1	1	5	1	1		0,23
	CVI1	1	1/2	2	2	1	2		0,20
	CVI2	2	1	2	1/2	1/2	1/2		0,14
	CVI3	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2		0,10
	CVI4	1/2	2	2	1	1/2	1/2		0,14
	CVI5	1	2	1	2	1	1		0,20
	CVI6	1/2	2	2	2	1	1		0,20

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Các Bộ tiêu chí

Bảng 15: Kết quả tham vấn và tính toán trọng số của từng chuyên gia cho các Bộ tiêu chí.

Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh			CR	Trọng số
		HI	EI	CVI		
1	HI	1	1	2	0,00	0,40
	EI	1	1	2		0,40
	CVI	1/2	1/2	1		0,20
2	HI	1	1/2	2	0,01	0,30
	EI	2	1	3		0,54
	CVI	1/2	1/3	1		0,16
3	HI	1	1/3	3	0,03	0,26
	EI	3	1	5		0,64
	CVI	1/3	1/5	1		0,10
4	HI	1	3	2	0,05	0,53
	EI	1/3	1	1/3		0,14
	CVI	1/2	3	1		0,33
5	HI	1	1	1/3	0,02	0,21
	EI	1	1	1/2		0,24
	CVI	3	2	1		0,55
6	HI	1	3	3	0,05	0,59
	EI	1/3	1	2		0,25
	CVI	1/3	1/2	1		0,16
7	HI	1	1/2	2	0,01	0,30
	EI	2	1	3		0,54
	CVI	1/2	1/3	1		0,16
8	HI	1	3	1/3	0,03	0,26
	EI	1/3	1	1/5		0,10
	CVI	3	5	1		0,64
9	HI	1	1/2	1	0,05	0,26
	EI	2	1	1		0,41
	CVI	1	1	1		0,33
10	HI	1	3	3	0,05	0,59
	EI	1/3	1	2		0,25
	CVI	1/3	1/2	1		0,16
11	HI	1	2	2	0,00	0,50
	EI	1/2	1	1		0,25
	CVI	1/2	1	1		0,25
12	HI	1	1/2	3	0,05	0,33
	EI	2	1	3		0,53
	CVI	1/3	1/3	1		0,14
13	HI	1	1/3	3	0,03	0,26
	EI	3	1	5		0,64
	CVI	1/3	1/5	1		0,10
14	HI	1	3	3	0,05	0,59
	EI	1/3	1	2		0,25
	CVI	1/3	1/2	1		0,16
15	HI	1	1/3	2	0,00	0,23
	EI	3	1	5		0,65
	CVI	1/2	1/5	1		0,12

Continued on next page

Table 15 continued

Chuyên gia	Tiêu chí	Ma trận so sánh			CR	Trọng số
		HI	EI	CVI		
16	HI	1	3	3	0,05	0,59
	EI	1/3	1	2		0,25
	CVI	1/3	1/2	1		0,16
17	HI	1	1/3	1	0,00	0,20
	EI	3	1	3		0,60
	CVI	1	1/3	1		0,20
18	HI	1	1/3	1	0,00	0,20
	EI	3	1	3		0,60
	CVI	1	1/3	1		0,20
19	HI	1	3	1/3	0,03	0,26
	EI	1/3	1	1/5		0,10
	CVI	3	5	1		0,64
20	HI	1	1/3	1/3	0,05	0,14
	EI	3	1	1/2		0,33
	CVI	3	2	1		0,53

[Nguồn: Nhóm tác giả]

Assessment of environmental incidents related to centralized wastewater treatment systems in export processing zones and industrial parks in Ho Chi Minh City

Vu Van Nghi^{1,2,3}, Lam Thi Nghiem^{1,2,3,*}, Le Phuong Thi¹, Tran Xuan Hai¹, Nguyen Viet Cao Dat¹, Le Bao Anh^{1,2,3}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Institute for Science and Technology Innovation, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Faculty of Environment, University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Lam Thi Nghiem, Institute for Science and Technology Innovation, Ho Chi Minh City, Vietnam

Faculty of Environment, University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: ltnghiem@bwe.com.vn

History

- Received: 05-04-2026
- Revised: 30-06-2026
- Accepted: 15-07-2026
- Published Online: 25-09-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-ees.v10i2.910>



Check for updates

Copyright

© VNUHCM Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

ABSTRACT

The large-scale development of export processing zones (EPZs) and industrial parks (IPs) in Ho Chi Minh City (HCMC) poses a potential risk of environmental incidents related to centralized wastewater treatment systems (CWTs). These incidents can degrade receiving water sources, negatively impacting the environment and public health. Using an integrated approach, several methods were applied, including comprehensive document analysis, field surveys, Analytic Hierarchy Process (AHP), expert consultation, and calculation of the Environmental Incident Index (EII) based on criteria including 6 hazards, 8 exposures, and 6 vulnerabilities. Assessments of 19 CWTs in 17 EPZs and IPs in HCMC showed EII values ranging from approximately 0.31 to 0.64. Among them, 5/19 systems (26%) had low risk ($EII < 0.4$), 7/19 systems (37%) had moderate risk ($0.4 \leq EII < 0.5$), and 7/19 systems (37%) had high risk ($EII \geq 0.5$). The study confirms the crucial role of environmental risk assessment for CWTs through the EII to quantify and classify risk levels, thereby supporting environmental management in developing priority monitoring, prevention, and appropriate response solutions to environmental incidents for each system.

Key words: AHP, risk assessment, EII, centralized wastewater treatment system, environmental incident

Cite this article : Nghi V V, Nghiem L T, Thi L P, Hai T X, Dat N V C, Anh L B. **Assessment of environmental incidents related to centralized wastewater treatment systems in export processing zones and industrial parks in Ho Chi Minh City.** *VNUHCM J. Environ. Earth Sci.* 2026; 10(2):1415-1442.