

Bài báo khoa học

# Áp dụng phương pháp đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án phục hồi môi trường phù hợp cho mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô, tỉnh An Giang

Đỗ Ngọc Hoàn<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Giảng viên chính - Tiến sĩ, Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;  
dongochuan@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Nhóm Nghiên cứu mạnh ISRM, Trường Đại học Mỏ - Địa chất;  
dongochuan@humg.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: dongochuan@humg.edu.vn; Tel.: +84-968639593

Ban Biên tập nhận bài: 18/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

**Tóm tắt:** Cải tạo phục hồi môi trường (CTPHMT) sau khai thác là một hoạt động hết sức cần thiết giúp bảo vệ môi trường và phát triển bền vững. Nghiên cứu áp dụng phương pháp đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án cải tạo phục hồi môi trường cho mỏ sau khai thác với 6 phương án CTPHMT có thể áp dụng được đề xuất. Dựa vào việc khảo sát các điều kiện thực tế của đối tượng nghiên cứu xác định mục tiêu cụ thể (SMART) để phân tích các mục tiêu của công tác CTPHMT, xây dựng bộ tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của các phương án cải tạo phục hồi môi trường khác nhau có thể áp dụng cho mỏ. Thông qua bộ tiêu chí được xây dựng tiến hành gán điểm từng tiêu chí dựa vào phương pháp trọng số đơn giản (SAW), cuối cùng là đánh giá mức độ quan trọng của từng phương án thông qua việc phân tích thứ bậc (AHP) các tiêu chí nhằm xác định điểm phù hợp của từng phương án CTPHMT. Phương án phù hợp là phương án được đánh giá với mức độ điểm phù hợp lớn hơn, phù hợp nhất với mục tiêu ban đầu đặt ra. Phương pháp này cùng một lúc có thể đánh giá nhiều phương án CTPHMT khác nhau với điểm 23 tiêu chí giúp đánh giá từng phương án và lựa chọn được phương án phù hợp nhất. Việc định lượng điểm dựa trên cơ sở mức độ đạt được của từng tiêu chí giúp cho các đánh giá có tính chính xác hơn việc chỉ so sánh chỉ tiêu chỉ số phục hồi đất và mức độ phù hợp của một vài chỉ tiêu như trước tại mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô như trước.

**Từ khóa:** Phục hồi môi trường; Sau khai thác; Mỏ đá vật liệu xây dựng; Đa tiêu chí.

## 1. Mở đầu

Mục tiêu của khai thác mỏ bền vững là dung hòa các yêu cầu của hiện tại về phát triển kinh tế - xã hội với việc bảo vệ môi trường, cân bằng cho các thế hệ tương lai. Cải tạo phục hồi môi trường (CTPHMT) và đóng cửa mỏ là giai đoạn cuối trong vòng đời của một dự án khai thác. Có nhiều phương án khác nhau để phục hồi cảnh quan môi trường hoặc tái sử dụng đất sau khai thác đem lại hiệu quả, an toàn cho con người và cảnh quan môi trường. Phương án đóng cửa mỏ hợp lý sẽ đảm bảo sự ổn định trong tương lai và hạnh phúc của một cộng đồng sau khai thác mỏ, đòi hỏi phải lập kế hoạch cẩn thận và đánh giá các phương án đề xuất trước khi đóng cửa mỏ [1-5].

Đối với công tác CTPHMT sau khi kết thúc khai thác sẽ có nhiều phương án khác nhau để có thể áp dụng. Tuy nhiên, mỗi phương án đều có những ưu, nhược điểm riêng của nó, trên thực tế khi xây dựng phương án CTPHMT cho các mỏ ở Việt Nam chỉ đưa ra 2 đến 3 phương

án (thường là trồng cây, để lại hồ chứa nước) và tiến hành so sánh chỉ số phục hồi đất “Ip” và chỉ số hiệu quả sử dụng đất là chính. Các tiêu chí về an toàn, con người và cảnh quan môi trường được đề cập tới nhưng thường không có cơ sở để so sánh cái nào phù hợp hơn. Thực tế, trong quá trình so sánh, lựa chọn phương án CTPHMT, đa phần các dự án đều lựa chọn theo tiêu chí thứ hai, tức là phương án có chỉ số phục hồi đất “Ip” cao hơn. Về bản chất, chỉ số phục hồi đất “Ip” chỉ có ý nghĩa tương đối về mặt hiệu quả khi so sánh các phương án CTPHMT cùng một dự án với nhau. Có 2 nguyên nhân chính dẫn đến nhiều bất cập trong việc cải tạo, phục hồi môi trường sau khai thác khoáng sản gồm: Một là, các đơn vị, doanh nghiệp khai thác chưa quan tâm, thiếu trách nhiệm, nguồn quỹ phục hồi môi trường trong khai thác khoáng sản quá ít, không đủ thực hiện các đề án, dự án phục hồi môi trường. Hiện nay mức ký quỹ cải tạo, phục hồi môi trường thấp (chỉ từ 1 - 3% tổng mức đầu tư) [6, 7] nên việc tổ chức cải tạo, phục hồi môi trường gặp nhiều khó khăn. Hai là, việc phê duyệt phương án CTPHMT được tiến hành từ khi mở mỏ nên việc xác định phương án CTPHMT chưa thực sự gắn với chiến lược phát triển dài hạn khu vực, định giá không phù hợp với thời điểm khi kết thúc khai thác [8–10].

Trên thế giới và tại Việt Nam, Phương pháp đánh giá đa tiêu chí đã được áp dụng ở một số lĩnh vực khác nhau như: quản lý chất thải, đánh giá chất lượng môi trường, biến đổi khí hậu, quản lý tài nguyên nước và quản lý đất đai. Tuy nhiên, với mỗi lĩnh vực lại có nhiều phương pháp đa tiêu chí khác nhau được áp dụng thậm chí là kết hợp với nhiều các phương pháp khác [11–15]. Tuy nhiên, vấn đề áp dụng đánh giá đa tiêu chí để lựa chọn phương án cải tạo phục hồi môi trường hợp lý còn chưa được quan tâm nhiều. Trên thế giới, trong nhiều lĩnh vực khác nhau phổ biến sử dụng các phương pháp đánh giá đa tiêu chí như: phân tích đa tiêu chí (MCA), phân tích thứ bậc (AHP), phân tích thứ bậc mờ (F-AHP), phương pháp điểm lý tưởng (TOPSIS), ... hoặc kết hợp các phương pháp phân tích khác nhau nhằm giải quyết các bài toán lựa chọn phương án thực tế [16–18]. Nghiên cứu [19–20], cũng đề cập tới việc ứng dụng phân tích đa tiêu chí để lựa chọn phương án cải tạo phục hồi môi trường hợp lý cho một số mỏ khai thác đá vôi và sét sau khi kết thúc khai thác. Tuy nhiên, việc xây dựng bộ tiêu chí và phương pháp đánh giá cho điểm không áp dụng các phương pháp SMART và SAW mà chỉ dùng phương pháp phân tích thứ bậc AHP để xác định mức độ ưu tiên cho các tiêu chí đánh giá.

Tỉnh An Giang có trữ lượng đá VLXD khoảng 144 triệu m<sup>3</sup> với 7 khu vực mỏ đang hoạt động khai thác. Đây là nguồn lực tích cực đóng góp tích cực cho sự phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh cũng như tạo công ăn việc làm cho người dân địa phương, cung cấp nguyên vật liệu cho các công trình xây dựng trong tỉnh và cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Khu vực mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô thuộc Thị trấn Cô Tô, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang nằm trong vùng kinh tế trọng điểm khu vực Tây Nam Bộ. Theo kế hoạch phát triển VLXD tỉnh An Giang thời kỳ 2021-2030, định hướng đến năm 2050, mỏ đá VLXD Đông Núi Cô Tô có công suất khai thác và chế biến là 450.000 m<sup>3</sup>/năm trên diện tích 14 ha. Mỏ có địa hình dạng (đồi núi), khu mỏ nằm trên phần nhỏ của sườn núi, thuộc địa hình chuyển tiếp giữa địa hình đồi núi thấp sang đồng bằng, với mức xâm thực thấp nhất +15m, cao nhất +110m. Bề mặt địa hình tự nhiên thấp dần về phía Đông - Đông Nam. Trên bề mặt phát triển các khe rãnh xâm thực, phân bố rải rác các khối tảng granit với kích thước khá lớn nổi cao trên bề mặt địa hình. Sau 10 năm tiến hành khai thác dự kiến khi kết thúc khai thác, moong khai thác sẽ để lại địa hình thấp hơn địa hình ban đầu là cote +135m xuống đến cote +20m. Địa hình dạng lòng moong thấp hơn địa hình xung quanh có thể ảnh hưởng tới an toàn và môi trường cũng như khả năng phục hồi sinh thái sau khi kết thúc khai thác. Thị trấn Cô Tô là trung tâm huyện đang trong quá trình đô thị hóa, các hoạt động sản xuất, kinh doanh đang ngày càng được đẩy mạnh phát triển với mật độ dân số ngày càng gia tăng trong khu vực.

Như vậy, nghiên cứu này nhằm đưa ra một phương pháp lựa chọn mới với nhiều phương án CTPHMT có thể áp dụng cho khu mỏ VLXD Đông Núi Cô Tô. Dựa trên việc phân tích điều kiện tự nhiên, kinh tế, văn hóa - xã hội và đặc điểm công nghệ khai thác, nghiên cứu đề

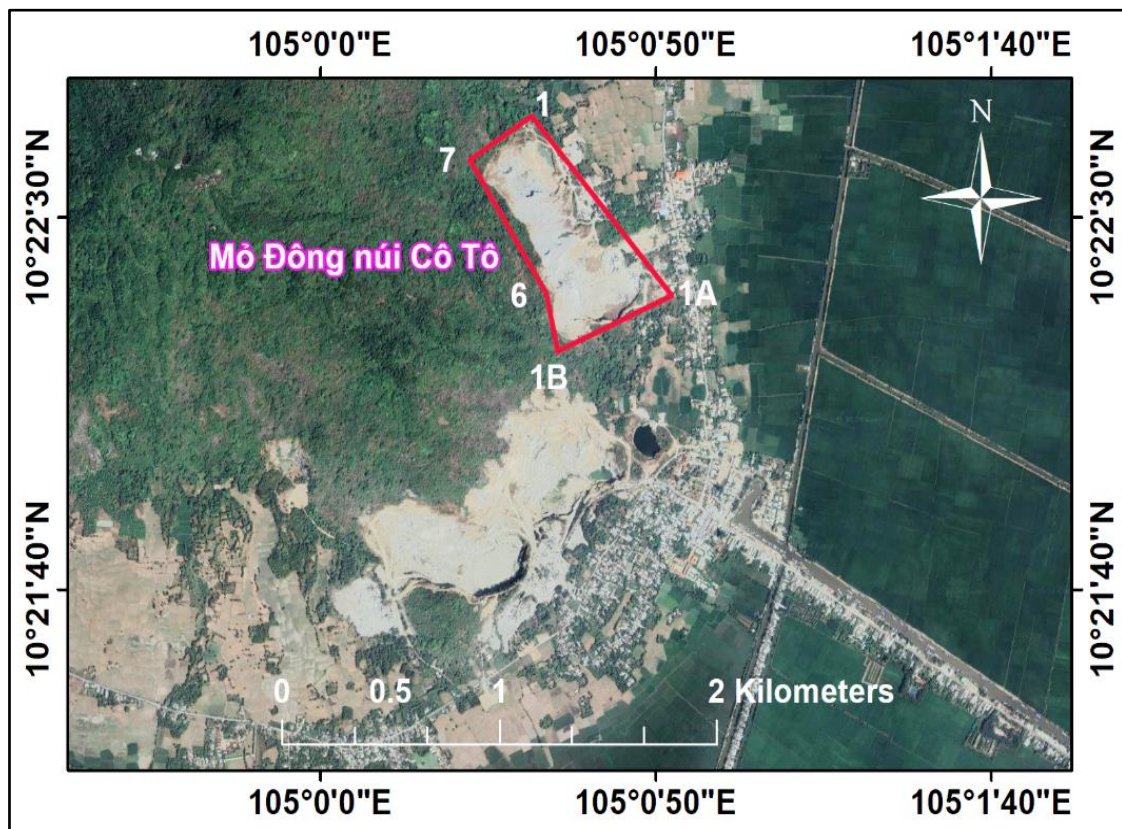
xuất 23 tiêu chí để đánh giá mức độ phù hợp với các nhóm đặc điểm tự nhiên, đặc điểm kinh tế - xã hội, đảm bảo an toàn - môi trường và hiệu quả kinh tế mang lại. Thông qua việc phân tích đánh giá bằng phương pháp bán định lượng sẽ giúp lựa chọn được phương án CTPHMT có mức độ phù hợp tốt hơn với điều kiện thực tế. Tuy chỉ là một nghiên cứu lý thuyết mới nhưng với những thay đổi về phương thức quản lý và quy hoạch môi trường như hiện nay thì phương pháp này có thể áp dụng rộng rãi để thay thế phương pháp phương án còn nhiều hạn chế hiện tại.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Mỏ đá xây dựng Đông núi Cô Tô, thuộc Thị trấn Cô Tô, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang. Vị trí trung tâm mỏ cách tỉnh lộ 943 khoảng 1,5 km, cách thị xã Châu Đốc khoảng 50 km về phía Nam và thành phố Long Xuyên khoảng 80 km về phía Bắc. Diện tích của mỏ là 14 ha. Ngoài khu vực khai thác mỏ còn có các khu vực chế biến và công trình phụ trợ với diện tích 5,4 ha. Vậy, tổng diện tích khu vực dự án là 19,4 ha. Phía Tây và phía Nam khu mỏ là vùng đồi núi, phía Bắc; Đông Bắc và phía Đông có tỉnh lộ 15, dọc tỉnh lộ là các hộ dân sinh sống, tập trung chủ yếu ở phía Đông Nam khu mỏ.

Khu mỏ nằm trên phần nhỏ của sườn núi, thuộc địa hình chuyển tiếp giữa địa hình đồi núi thấp và đồng bằng, với mức xâm thực thấp nhất +15 m, cao nhất +110 m. Bề mặt địa hình tự nhiên thấp dần về phía Đông - Đông Nam. Trên bề mặt phát triển các khe rãnh xâm thực, phân bố rải rác các khối tảng granit với kích thước khá lớn nổi cao trên bề mặt địa hình. Phần diện tích phía Đông Bắc khu mỏ rộng khoảng 7,5 ha là moong khai thác đá xây dựng, bề mặt địa hình đáy moong khá bằng phẳng, cao độ thấp nhất +20 m. Diện tích còn lại 15,5 ha là địa hình tự nhiên, chưa có hoạt động khai thác, thảm thực vật khá phát triển, chủ yếu là cây bụi, độ che phủ tốt.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Thu thập và tổng hợp tài liệu

Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát thực địa và thu thập các tài liệu về môi trường tự nhiên, kinh tế xã hội và cảnh quan khu vực, các yếu tố khí tượng thủy văn, địa chất địa mạo làm cơ sở đánh giá lựa chọn tiêu chí đánh giá khi lựa chọn phương án.

### 2.2.2. Phương pháp chuyên gia

Trao đổi, lấy ý kiến các nhà khoa học, các chuyên gia tư vấn về phương pháp nghiên cứu, tham khảo ý kiến chuyên gia trong việc cho điểm đánh giá các tiêu chí và thực hiện so sánh theo cặp, nhằm xác định mức độ quan trọng của các tiêu chí đánh giá được đưa ra trong nghiên cứu.

### 2.2.3. Phương pháp SMART

Đây là một cách tiếp cận phổ biến trong việc đặt mục tiêu và đánh giá chúng. SMART là viết tắt của các từ viết hoa: Specific (Cụ thể), Measurable (Đo lường được), Achievable (Có thể đạt được), Relevant (Phù hợp), và Time-bound (Có thời hạn). Tức là thông qua phương pháp SMART sẽ xây dựng được bộ tiêu chí trong đó các tiêu chí phải liên quan trực tiếp đến các mục tiêu và các hoạt động đóng cửa mở sau khai thác, các tiêu chí có thể được gán trọng số bằng cách sử dụng phương pháp đo lường hoặc bán định lượng, các tiêu chí phải phù hợp với các mục tiêu đóng cửa và bối cảnh xã hội, môi trường và quy định của địa phương. Phương pháp này giúp tập trung vào mục tiêu cụ thể và xác định rõ ràng những gì bạn muốn đạt được. Điều này giúp bạn định hình hướng đi và cung cấp sự phân định trong việc lựa chọn hoạt động và tài nguyên [21, 22].

### 2.2.4. Phương pháp SAW (Simple Additive Weighting)

Phương pháp trọng số đơn giản dựa trên lý thuyết giá trị đa thuộc tính và sự độc lập của các thuộc tính. Phương pháp này sử dụng các hàm cộng tuyến tính để tính giá trị của mỗi phương án dưới dạng Value Theory (VT), với giả thiết độc lập của các thuộc tính.

Để đánh giá mức độ phù hợp của phương án lựa chọn bằng cách gán điểm cho tiêu chí: so sánh tương đối tính chất tác động (thông qua các tiêu chí) được thực hiện bằng cách cho điểm. Đối với một phương án cải tạo phục hồi và đóng cửa mỏ đá cụ thể, tùy theo mức độ phù hợp của phương án và tùy theo loại dự án, các tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của phương án đóng cửa mỏ sẽ đáp ứng các mức độ khác nhau với các tiêu chí. Nghiên cứu sử dụng thang điểm theo 5 bậc [18, 23].

### 2.2.5. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process)

Đây là một phương pháp xác định trọng số khi cần phải ra quyết định với rất nhiều tiêu chuẩn khác nhau. Bằng việc xác định một thứ tự sắp xếp của những tiêu chuẩn theo mức độ tăng hoặc giảm dần mà ta tìm được một quyết định cuối cùng hợp lý nhất. Phương pháp này nhằm xác định mức độ quan trọng của từng tiêu chí trong bộ tiêu chí đánh giá [15–18].

## 2.3. Xử lý số liệu

Kết quả khảo sát, phân tích, lấy mẫu được thu thập, tổng hợp, phân loại và xử lý đánh giá bằng phần mềm Microsoft Excel, các phương pháp xây dựng bộ tiêu chí đánh giá, xây dựng bảng điểm để gán điểm cho từng tiêu chí và ứng dụng phân tích thứ bậc để xác định mức độ quan trọng của tiêu chí từ đó xác định mức độ phù hợp của từng tiêu chí thông qua việc tổng hợp điểm số của tiêu chí với giá trị mức độ quan trọng của tiêu chí, từ đó xác định phương án phù hợp nhất.

#### 2.4. Khảo sát thực địa và xây dựng bộ tiêu chí

Nhóm nghiên cứu đã thực hiện khảo sát khu vực khai thác và khu vực cảnh quan xung quanh với các yếu tố về điều kiện tự nhiên, dân cư, kinh tế, văn hóa - xã hội, điều kiện địa hình, địa chất, khí tượng thủy văn, hệ sinh thái khu vực làm cơ sở để xây dựng các phương án CTPHMT có thể áp dụng. Thông qua đó cũng xác định các mục tiêu của công tác CTPHMT cần đạt được phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, chính trị của địa phương. Mục tiêu chung của công tác CTPHMT cho mỏ đá VLXD Đông Núi Cô Tô là sau khi kết thúc khai thác là giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tái tổ chức và phục hồi hệ sinh thái bị ảnh hưởng. Công tác này không chỉ đơn thuần là tái tạo các loại cây cỏ hay tái thiết lập diện tích trước đây của mỏ, mà còn bao gồm một loạt các biện pháp hữu ích nhằm khôi phục môi trường tự nhiên đa dạng và bền vững [9, 24–26].

Mục tiêu cụ thể: Điều kiện tự nhiên của khu vực mỏ có đáy moong kết thúc nằm trên mực nước thông thủy (theo thiết kế cơ sở của dự án). Vị trí khai thác trên địa hình núi cao, khi kết thúc khai thác tạo thành vùng có địa hình thấp hơn so với khu vực sườn núi phía Tây, nhưng về phía Đông lại có địa hình bằng với xung quanh. Đặc điểm địa hình sau khi kết thúc khai thác là nghiêng thoải về phía Đông, trong quá trình khai thác sẽ tạo độ dốc về phía Đông để thoát nước tự nhiên, nếu dùng đất nơi khác đắp vào để tạo thành sườn núi như lúc chưa khai thác là không khả thi do tốn nhiều chi phí và không có vật liệu để san lấp. Phù hợp với quy hoạch phát triển, quy hoạch sử dụng đất của địa phương (kết quả lấy ý kiến chính quyền địa phương đối với phương án cải tạo, phục hồi môi trường đính kèm phụ lục). Phù hợp với điều kiện thực tế tại dự án, hài hòa cảnh quan sử dụng đất khu vực lân cận (các mỏ khai thác xung quanh) và tâm lý của người dân (kết quả tham vấn ý kiến của người dân có khả năng bị tác động bởi dự án) [9, 27]. Phương án cải tạo, phục hồi môi trường phù hợp với cấu tạo địa chất, đặc điểm thổ nhưỡng, thành phần thạch học và chất lượng môi trường của khu vực mỏ.

Từ các mục tiêu nêu trên, cơ sở để xây dựng bộ tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của phương án CTPHMT được phân thành bộ tiêu chí. Khung tiêu chí này được xây dựng dựa trên các đặc điểm về tự nhiên, cảnh quan môi trường, điều kiện kinh tế, văn hóa xã hội, tính an toàn và hiệu quả mang lại cho cộng đồng, địa phương và doanh nghiệp. Bộ tiêu chí được xây dựng đáp ứng được 4 nguyên tắc trên gồm:

Nguyên tắc 1. Phù hợp với đặc điểm tự nhiên khu vực mỏ: bao gồm các tiêu chí liên quan đến: địa hình khu mỏ và cảnh quan môi trường xung quanh; đặc điểm nước mặt; nước ngầm; đặc điểm khí hậu; chất lượng không khí; đặc điểm thổ nhưỡng; quy mô diện tích; đặc điểm địa chất trong khu mỏ. Các tiêu chí này rất quan trọng trong việc quyết định hình thức sử dụng đất sau đóng cửa mỏ.

Nguyên tắc 2. Phù hợp với đặc điểm kinh tế xã hội vùng: gồm các tiêu chí liên quan đến dân số, điều kiện cơ sở hạ tầng, công nghiệp, du lịch dịch vụ, lịch sử văn hóa. Đảm bảo tính hài hòa giữa hình thức sử dụng mặt bằng sau khai thác mỏ với quy hoạch phát triển kinh tế xã hội địa phương.

Nguyên tắc 3. Đảm bảo an toàn môi trường: hình thức sử dụng đất mỏ sau khai thác phải đảm bảo ổn định vật lý, ổn định hóa học, ổn định sinh học và an toàn cho con người không gây ô nhiễm môi trường và sự cố rủi ro.

Nguyên tắc 4. Hiệu quả kinh tế: hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ có mang lại lợi ích cho cộng đồng, lợi ích cho địa phương và chủ doanh nghiệp.

Dựa trên phương pháp SMART nghiên cứu chọn ra bộ tiêu chí gồm 23 tiêu chí quan trọng dùng để đánh giá trọng số và được tóm tắt ở Bảng 1. Trong đó: i) Phù hợp đặc điểm tự nhiên của khu vực mỏ - 8 tiêu chí; ii) Phù hợp đặc điểm kinh tế - xã hội khu vực - 5 tiêu chí; iii) Đảm bảo an toàn môi trường - 5 tiêu chí; iv) Hiệu quả kinh tế - 5 tiêu chí. Theo đó, đưa ra các điều kiện để đánh giá điểm đạt được của từng tiêu chí khi đánh giá lựa chọn.

**Bảng 1.** Bộ tiêu chí đánh giá mức độ phù hợp của phương án cải tạo phụ hồi môi trường và đóng cửa mỏ.

Nhóm tiêu chí		Tiêu chí cụ thể	Phân tích lựa chọn các tiêu chí	
I	Đặc điểm tự nhiên	T1	Địa hình khu mỏ và cảnh quan môi trường	Địa hình khu có mỏ là một tiêu chí đặc biệt quan trọng trong việc quyết định hình thức sử dụng đất sau đóng cửa mỏ. Vị trí khai thác trên địa hình núi cao, khi kết thúc khai thác nghiêng thoải về phía Đông, trong quá trình khai thác sẽ tạo độ dốc về phía Đông để thoát nước tự nhiên.
		T2	Nước mặt	Do địa hình đồi núi nên khi cải tạo cần xem xét các yếu tố về nước mặt, các công trình thoát nước và tránh xói mòn rửa trôi bề mặt
		T3	Nước ngầm	Nguồn cung cấp nước ngầm cho dự án sau khi cải tạo để phục vụ các nhu cầu về chăm sóc thực vật hoặc phục vụ nhu cầu phát triển của phương án.
		T4	Điều kiện khí hậu	Phương án cải tạo và đóng cửa mỏ phải phù hợp với điều kiện khí hậu để có thể phát triển du lịch dịch vụ, công nghiệp điện mặt trời hoặc phương án phục hồi thảm thực vật.
		T5	Chất lượng môi trường không khí	Chất lượng môi trường không khí khu vực mỏ phải phù hợp với phương án cải tạo và đóng cửa mỏ để có thể phát triển du lịch dịch vụ, công nghiệp điện mặt trời hoặc phương án phục hồi thảm thực vật.
		T6	Đặc điểm thổ nhưỡng	Đặc điểm thổ nhưỡng có liên quan đến sự phát triển của thực vật trong tái phủ xanh mặt bằng và phục hồi hệ sinh thái.
		T7	Quy mô diện tích	Quy mô diện tích tương ứng với hình thức phương án lựa chọn.
		T8	Đặc điểm địa chất	Đặc điểm địa chất quyết định tính ổn định của công trình sau cải tạo, điều kiện để lựa chọn các phương án về xây dựng cơ sở hạ tầng, khu công nghiệp, khu tái định cư hoặc chôn lấp rác thải,...
II	Đặc điểm kinh tế xã hội	T9	Quy mô dân số	Mật độ dân số có liên quan mật thiết đến hiệu quả sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ.
		T10	cơ sở hạ tầng	cơ sở hạ tầng bao gồm hệ thống giao thông, bến cảng và số điểm giải trí và phục vụ cộng đồng. Cơ sở hạ tầng đáp ứng các yêu cầu của phương án đóng cửa mỏ được lựa chọn phù hợp với điều kiện phát triển thực tế của khu vực.
		T11	Công nghiệp	Có thể sử dụng mặt bằng để chuyển đổi mục đích xây dựng nhà xưởng phục vụ phát triển công nghiệp cũng như khả năng đáp ứng nhu cầu phát triển công nghiệp của dự án từ các nhà máy trong khu vực.
		T12	Du lịch dịch vụ	Điều kiện để chuyển đổi mục đích sử dụng đất khi cải tạo khu mỏ sau khai thác thành khu du lịch sinh thái, khu nghỉ dưỡng hoặc nhà hàng khách sạn phục vụ nhu cầu phát triển du lịch, dịch vụ.
		T13	Lịch sử văn hóa	Xem xét kết hợp phát triển dịch vụ du lịch nhằm phục vụ du khách tham quan các địa điểm di tích lịch sử văn hóa.
III	Đảm bảo an toàn và môi trường	T14	ổn định vật lý	Tất cả các công trình phải được tính toán đảm bảo an toàn và phục vụ đúng chức năng theo thiết kế, bền vững, không xói mòn và mất an toàn gây sự cố rủi ro cho sức khỏe cộng đồng lâu dài.
		T15	ổn định hóa học	Các môi trường không khí, đất và nước phải được đảm bảo về thành phần hóa học không gây ảnh hưởng tới sức khỏe con người và sự phát triển của hệ sinh thái. Các điều kiện này cần được đảm bảo đang dần cải thiện theo hướng tốt hơn.
		T16	ổn định sinh học	Môi trường sinh học được khôi phục thành một hệ sinh thái tự nhiên, cân bằng và đa dạng sinh học không lựa chọn các giống cây ngoại lai có thể gây xâm hại hoặc tổn thương tới hệ sinh thái tự nhiên của khu vực.
		T17	An toàn cho con người	Đảm bảo các yếu tố về sức khỏe và sự phát triển bền vững của con người, phương án đóng cửa mỏ có tính đến việc chuyển đổi công việc mới cho người lao động mất việc làm do đóng cửa mỏ.
		T18	Phòng ngừa sự cố rủi ro	Cạy bẫy các tảng đá treo đảm bảo an toàn trên bờ mỏ khi kết thúc khai thác, thiết kế hệ thống rãnh thoát nước đảm bảo tránh các sự cố lũ lụt có thể xảy ra.

Nhóm tiêu chí		Tiêu chí cụ thể	Phân tích lựa chọn các tiêu chí	
IV	Hiệu quả kinh tế	T19	Lợi ích cộng đồng	Hình thức sử dụng đất đáp ứng được mong muốn và lợi ích của cộng đồng khu mỏ. Ý kiến cộng đồng về hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ cần được thu thập để hiểu nhu cầu và tính khả thi của hình thức chọn;
		T20	Lợi ích cho địa phương	Hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ có phù hợp với quy hoạch và lợi ích của địa phương
		T21	Lợi ích cho doanh nghiệp	Chi phí đóng cửa mỏ và hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ mang lại lợi nhuận cho chủ đầu tư sẽ đảm bảo tuổi thọ của hình thức sử dụng mặt bằng sau đóng cửa mỏ và lợi ích của các bên liên quan.
		T22	Chỉ số phục hồi đất	Tiêu chí so sánh hiệu quả của phương án CTPHMT của các phương án mang lại so với hiện trạng trước khi thực hiện dự án
		T23	Tổng chi phí CTPHMT	Đánh giá xem doanh nghiệp có khả năng thực hiện phương án CTPHMT với số tiền tương ứng hay không

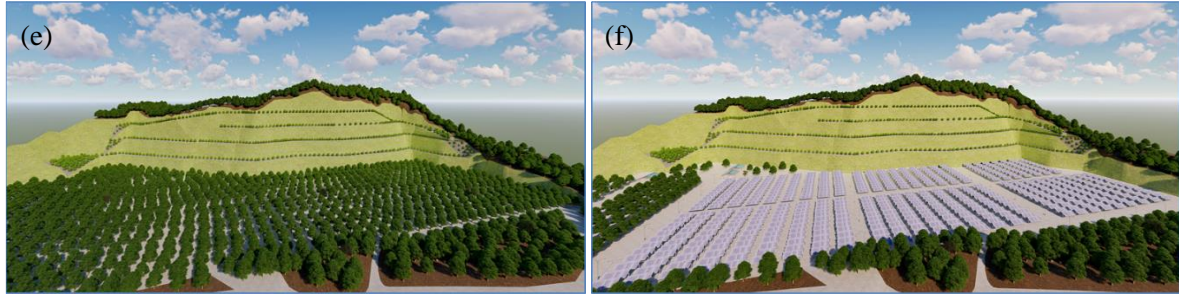
### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.2. Ứng dụng phương pháp phân tích đa tiêu chí để lựa chọn phương án CTPHMT hợp lý cho mỏ đá VLXD Đông Núi Cô Tô

Theo điều kiện cụ thể của mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô, với diện tích các đai bảo vệ sẽ thực hiện gia cố đảm bảo an toàn sau đó phủ 30 cm đất màu trên mặt tầng và gieo hạt cỏ để tạo thảm thực vật xanh, tránh rửa trôi và xói lở. Phần diện tích được cải tạo theo các phương án là phần đáy mỏ, mặt bằng sân công nghiệp sau khi đã tháo dỡ các công trình. Điều kiện tự nhiên của khu vực mỏ có đáy moong kết thúc nằm trên mực nước thông thủy, khi kết thúc khai thác tạo thành vùng có địa hình thấp hơn so với khu vực sườn núi phía Tây, nhưng về phía Đông lại có địa hình bằng với xung quanh. Đặc điểm địa hình sau khi kết thúc khai thác là nghiêng thoải về phía Đông, trong quá trình khai thác sẽ tạo độ dốc về phía Đông để thoát nước tự nhiên. Theo điều kiện cụ thể của mỏ có thể đề xuất các phương án CTPHMT và đóng cửa mỏ như sau:

Phương án 1: Cải tạo thành khu sinh thái, nghỉ dưỡng với địa hình núi cao cảnh quan khu vực có tầm nhìn rộng và điều kiện cơ sở hạ tầng tốt thuận lợi phát triển khu sinh thái nghỉ dưỡng. Phương án này một phần diện tích được sử dụng để xây dựng cơ sở hạ tầng, hồ nước, bể bơi còn lại vẫn thực hiện trồng cây xanh để tạo cảnh quan nên vừa mang lại hiệu quả giá trị sử dụng đất vừa có ý nghĩa trong công tác phục hồi cảnh quan môi trường. Tuy nhiên, phương án phụ thuộc nhiều vào điều kiện kinh tế xã hội và mật độ dân cư khu vực cũng như các yếu tố về cảnh quan và khí hậu (Hình 2a).





**Hình 2.** (a) Cải tạo thành khu sinh thái, nghỉ dưỡng, (b) Cải tạo thành khu vui chơi giải trí, (c) Cải tạo thành mặt bằng công nghiệp, (d) Cải tạo thành khu du lịch kỹ thuật phục vụ nghiên cứu, (e) Trồng rừng tái tạo hệ sinh thái, (f) Cải tạo để sản xuất điện mặt trời.

Phương án 2: Cải tạo thành khu vui chơi giải trí với diện tích mặt bằng cải tạo 18,5 ha thuận lợi phát triển thành khu vui chơi giải trí với các tổ hợp vui chơi và có thể tạo bể bơi nhân tạo. Phương án này phân diện tích giành cho cơ sở hạ tầng chiếm tỷ trọng lớn lượng cây xanh cũng được tái tạo nhưng không nhiều. Phụ thuộc vào điều kiện kinh tế xã hội và mật độ dân cư khu vực cũng như các yếu tố về cảnh quan và khí hậu (Hình 2b).

Phương án 3: Chuyển đổi toàn bộ mặt bằng cần cải tạo thành mặt bằng công nghiệp. Với điều kiện địa phương có thể hình thành nhà máy cung cấp bê tông và các vật liệu bê tông cốt thép nhằm phục vụ nhu cầu xây dựng và phát triển cơ sở hạ tầng địa phương như cầu, cống,... Đây là phương án khả thi bởi điều kiện khu vực hiện rất cần mặt bằng để phát triển công nghiệp nói chung (Hình 2c).

Phương án 4: Cải tạo khu vực thành khu du lịch kỹ thuật phục vụ nghiên cứu với phương án này sẽ giữ lại một phần các bờ mỏ, xây dựng các nhà trưng bày và phòng hội thảo, khu vực nhà nghỉ và cung cấp dịch vụ để phục vụ thăm quan và nghiên cứu. Phương án này được áp dụng ở một số mỏ trên thế giới và hiện tại ở Việt Nam chưa có địa điểm nào áp dụng. Ý nghĩa của phương án mang lại là rất tích cực nhưng tính hấp dẫn của phương án thì chưa được khẳng định (Hình 2d).

Phương án 5: Trồng rừng tái tạo lại thảm thực vật và hệ sinh thái. Thực hiện phủ 0,7m đất màu trên toàn bộ diện tích khu vực đáy mỏ, mặt bằng sân công nghiệp để trồng cây keo lai với mật độ 1600 cây/ha. Phương án này hiện được áp dụng rộng rãi ở hầu hết các dự án khai thác mỏ ở Việt Nam khi kết thúc khai thác. Phương án này có giá trị về mặt phục hồi cảnh quan, sinh thái và môi trường. Tuy nhiên, giá trị đất sử dụng sau đóng cửa mỏ không cao và việc lấy lượng đất phủ để cải tạo mặt bằng với diện tích lớn lại gây tác động môi trường cho khu vực lân cận (Hình 2e).

Phương án 6: Cải tạo toàn bộ mặt bằng đáy mỏ và khu vực phụ trợ để sản xuất điện mặt trời. Phương án này đã được áp dụng cho nhiều mỏ trên thế giới và cũng đã được xem xét nghiên cứu thử nghiệm ở Việt Nam. Trong giai đoạn khó khăn về sản xuất và tiêu thụ điện như hiện nay thì đây có vẻ là một phương án khả thi và có tính mới. Tuy nhiên, phương án này lại ảnh hưởng rất nhiều bởi lượng bức xạ mặt trời và số giờ nắng phân bố trong năm. Khu vực tỉnh An Giang thuận lợi phát triển sản xuất điện mặt trời vào mùa nắng còn mùa mưa số giờ nắng ít hiệu quả lại thấp. Hiện tại khu vực địa phương cũng đã có đơn vị đầu tư hệ thống sản xuất điện mặt trời mang lại hiệu quả tích cực. Tuy nhiên, vốn đầu tư xây dựng cơ bản cho phương án là cao (Hình 2f).

**Bảng 2.** Sàng lọc phương án đóng cửa mỏ, sử dụng mặt bằng phù hợp cho mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô.

STT	Phương án (PA)	Ký hiệu PA	Sàng lọc phương án
1	Khu sinh thái - nghỉ dưỡng	PA1	X
2	Khu vui chơi giải trí	PA2	X
3	Công nghiệp chuyển đổi	PA3	X
4	Du lịch kỹ thuật phục vụ đào tạo nghiên cứu	PA4	X
5	Khu trồng rừng	PA5	X
6	Sản xuất điện mặt trời	PA6	X



Với 6 phương án nêu trên ta tiến hành đánh giá cho điểm theo số chỉ tiêu đạt được cho từng tiêu chí khi thực hiện phương án.

**Bảng 3.** Đánh giá điểm các tiêu chí theo từng phương án.

STT	Chỉ tiêu	Điểm số					
		PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6
<i>I Đặc điểm tự nhiên</i>							
1	Địa hình khu mô và cảnh quan môi trường	4	3	4	4	5	3
2	Nước mặt	3	2	4	4	3	3
3	Nước ngầm	3	2	2	3	2	4
4	Điều kiện khí hậu	2	2	4	4	3	5
5	Chất lượng môi trường không khí	3	2	3	4	4	3
6	Đặc điểm thổ nhưỡng	1	4	1	4	3	4
7	Quy mô diện tích	4	5	5	4	4	5
8	Đặc điểm địa chất	3	3	4	4	2	3
<i>II Đặc điểm kinh tế xã hội</i>							
9	Mật độ dân số	3	3	4	2	2	4
10	Cơ sở hạ tầng	3	2	4	2	3	3
11	Công nghiệp	2	2	5	3	2	3
12	Du lịch và dịch vụ	3	2	3	3	2	3
13	Lịch sử văn hóa	1	1	1	1	1	1
<i>III Đảm bảo an toàn và môi trường</i>							
14	Ổn định vật lý	3	3	3	3	4	2
15	Ổn định hóa học	3	3	3	3	4	3
16	Ổn định sinh học	4	2	1	3	5	1
17	An toàn cho con người	4	2	2	4	5	3
18	Phòng ngừa sự cố rủi ro	3	2	3	3	4	4
<i>IV Hiệu quả kinh tế</i>							
19	Lợi ích cộng đồng	3	3	4	4	4	5
20	Lợi ích cho địa phương	3	3	4	2	1	5
21	Lợi ích cho doanh nghiệp	5	3	5	1	1	4
22	Chỉ số phục hồi đất	3	2	3	2	3	3
23	Tổng chi phí CTPHMT	2	2	3	3	4	3

Việc đánh giá cho điểm chỉ dừng lại ở mức độ hoàn thành từng tiêu chí riêng lẻ. Để đánh giá mức độ hoàn thành mục tiêu chung cần phải đánh giá mức độ quan trọng của các tiêu chí với nhau. Trong các phương án đưa ra thì mức độ quan trọng của các tiêu chí là khác nhau và điểm đạt được của các tiêu chí theo các phương án cũng là khác nhau. Do vậy, cần phân tích và so sánh các tiêu chí để phân cấp về mức độ quan trọng của các tiêu chí trong phương án mới có thể đánh giá mức độ hợp lý của phương án theo các tiêu chí. Đối với việc phân tích so sánh này thì phù hợp có thể sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP hoặc phân tích mờ FAHP để so sánh đánh giá. Trong phạm vi nghiên cứu tác giả áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP [15,16].

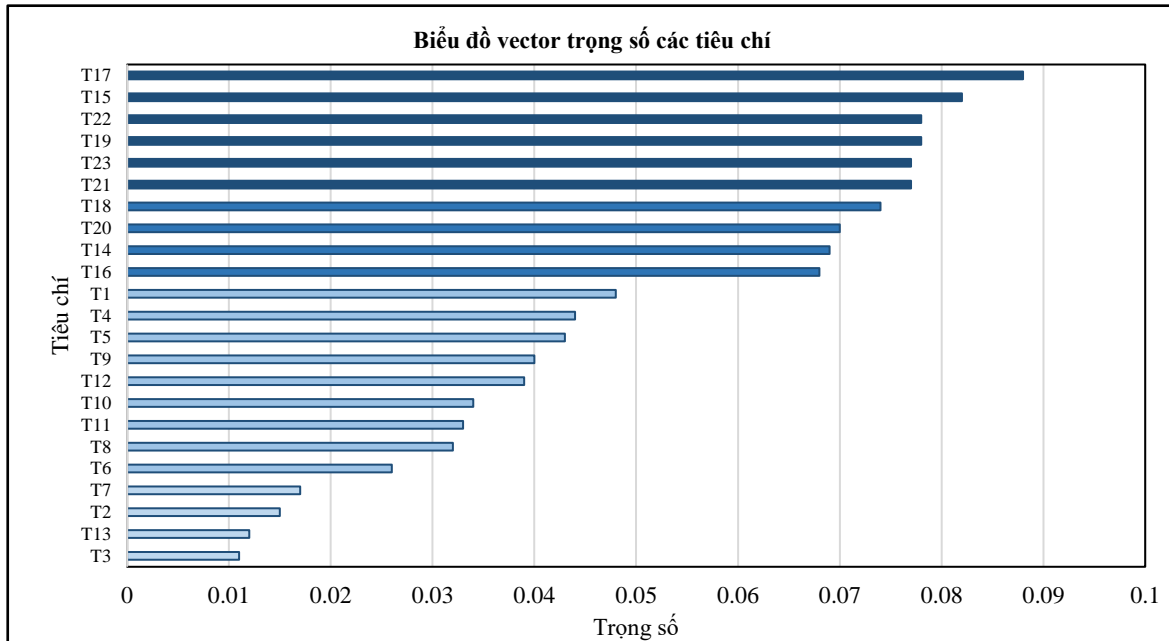
Giá trị cốt lõi của tiêu chí và phương án được thể hiện qua giá trị trọng số. Đây là yếu tố chính quyết định đến điểm số xếp hạng phương án. Xét trên tỷ số nhất quán cho thấy, kết quả đánh giá cho điểm của chuyên gia đều phù hợp với yêu cầu của kỹ thuật phân tích thứ bậc AHP đưa ra ( $CR \leq 10\%$  đối với ma trận có kích thước lớn hơn  $23 \times 23$ ). Với bộ tiêu chí tương ứng với 6 phương án CTPHMT được xây dựng, giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh (

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{23} \lambda_i}{23} = 23,803$$
;
 Chỉ số nhất quán  $CI: CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0,040137$ . RI là chỉ số ngẫu

nhiên tương ứng với ma trận  $23 \times 23$  có giá trị 1,59. Để chấp nhận giá trị trọng số, cần kiểm tra lại tính nhất quán qua tỉ số nhất quán (CR) trong cách chấm điểm của chuyên gia [11, 18]. Tỷ số nhất quán CR được xác định:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,040137}{1,59} = 0,0252 = 2,52\% < 10\%$$

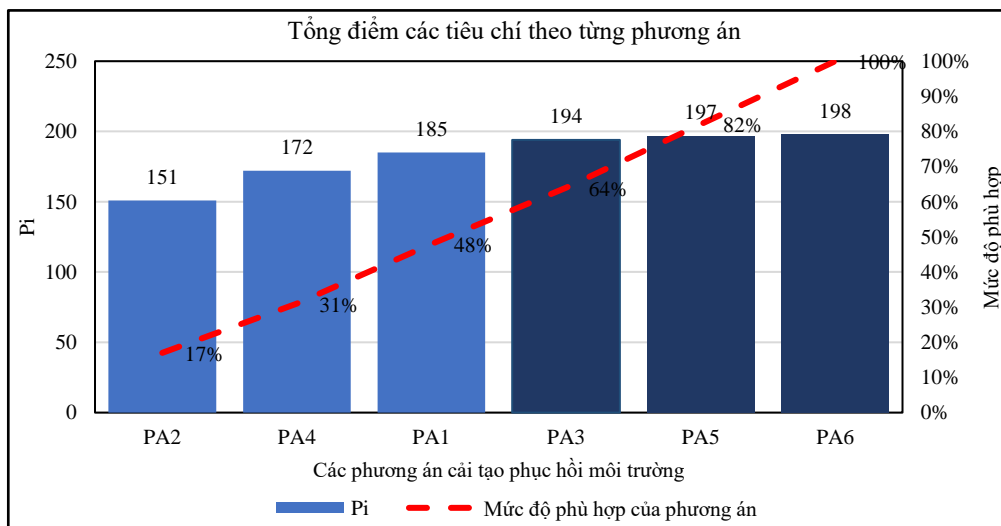
Như vậy, với giá trị CR = 2,52% nhỏ hơn 10% là đảm bảo tính nhất quán của kết quả. Giá trị trọng số được xác định theo biểu đồ hình 3. Trong đó: I- Nhóm các tiêu chí “rất quan trọng”, là các tiêu chí không thể thiếu (T17; T15; T22; T19; T23; T21); II- Nhóm các tiêu chí có tầm ảnh hưởng trực tiếp tới mức độ phù hợp của phương án CTPHMT (T18; T20; T14; T16); III - Nhóm các tiêu chí có tầm ảnh hưởng gián tiếp tới mức độ phù hợp của phương án CTPHMT (T1; T4; T5; T9; T12; T10; T11; T8; T6); IV- Nhóm các tiêu chí ít có tầm ảnh hưởng đến mức độ phù hợp của phương án (T7; T2; T13; T3).



Hình 3. Biểu đồ Vector trọng số các tiêu chí.

### 3.3. Lựa chọn phương án CTPHMT hợp lý cho mỏ đá VLXD Đông Cô Tô

Sau cùng, Kết quả tính toán điểm số các phương án được thực hiện trên phép nhân ma trận giữa giá trị trọng số của phương án theo 23 tiêu chí (T1 ÷ T23, ma trận kích thước  $n \times 23$ ) và giá trị trọng số (ma trận kích thước  $23 \times 1$ ) [11, 18]. Chỉ số mức độ phù hợp của phương án “Pi” là tổng các tác động đến mức độ phù hợp của phương án theo cường độ tác động. Được xác định bằng tổng các giá trị của điểm số đạt được của tiêu chí nhân trọng số mức độ quan trọng của tiêu chí. Giá trị này được xác định cho 6 phương án CTPHMT tại mỏ đá xây dựng Đông Núi Cô Tô thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Mức độ phù hợp của các phương án.

Như vậy, theo tính toán với 6 phương án đưa ra, thì 3 phương án 3,5,6 có số điểm khá tương đồng có thể áp dụng cho mỏ, phương án 6 - cải tạo để sản xuất điện mặt trời có tổng điểm lớn nhất 198 với mức độ phù hợp được đánh giá tương ứng là 100%, phù hợp với chiến lược phát triển năng lượng sạch, hạn chế phát thải khí nhà kính là hướng đi phù hợp với xu thế phát triển năng lượng hiện nay. Phương án 5 trồng rừng tái tạo hệ sinh thái, có ý nghĩa về mặt phục hồi cảnh quan và hệ sinh thái khu vực đạt 197 điểm tương ứng với mức độ phù hợp 82%, đây cũng là phương án được phê duyệt theo báo cáo đánh giá tác động môi trường của dự án. Phương án 3 công nghiệp chuyển đổi có mức điểm phù hợp là 194 tương ứng với mức độ phù hợp 64%, phương án này cũng rất khả thi khi áp dụng cho điều kiện khu mỏ. Các mức độ phù hợp được xác định theo mức độ của 6 phương án với nhau.

#### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đáp ứng mục tiêu là đánh giá tính hợp lý của các phương án CTPHMT đã được lựa chọn khi lập dự án khai thác cho các mỏ đá VLXD nói chung trong huyện, đề xuất bổ sung những nội dung và giải pháp hợp lý hơn như sau:

Thứ nhất, phương án CTPHMT các mỏ đá VLXD được nghiên cứu phù hợp với điều kiện địa hình khu vực, phù hợp với quy hoạch sử dụng đất của địa phương: đáy mỏ kết thúc thì được trồng cây hoặc chuyển mục đích sử dụng đất thành đất xây dựng (nếu hết khoáng sản); bãi thải (đất thừa được sử dụng làm đất san lấp) được cải tạo và trồng cây để ổn định bãi thải và bảo vệ môi trường; mặt bằng, các công trình phụ trợ được san gạt và trồng cây; đường vận chuyển được cải tạo, trồng cây hai bên đường và bàn giao cho địa phương quản lý, sử dụng vào mục đích khác có hiệu quả hơn.

Thứ hai, trong 6 phương án đưa ra, thì 3 phương án 3,5,6 có số điểm khá tương đồng có thể áp dụng cho mỏ, phương án 6 - cải tạo để sản xuất điện mặt trời có tổng điểm lớn nhất 198 với mức độ phù hợp được đánh giá tương ứng là 100%, phù hợp với chiến lược phát triển năng lượng sạch, hạn chế phát thải khí nhà kính là hướng đi phù hợp với xu thế phát triển năng lượng hiện nay. Các mức độ phù hợp được xác định theo mức độ của 6 phương án với nhau.

Thứ ba, so với phương án CTPHMT được lựa chọn cho dự án là phủ đất trồng cây nhằm tái tạo hệ sinh thái cũng được xem xét đánh giá với số điểm phù hợp rất cao. Tuy nhiên, theo phương pháp đánh giá này thì phương án được lựa chọn là phương án cải tạo thành khu sản xuất điện mặt trời. Điều này chỉ ra với việc lập báo cáo theo rất ít phương án như hiện nay có thể bỏ qua nhiều phương án CTPHMT hiệu quả và phù hợp hơn có thể áp dụng.

Tuy trong giới hạn nội dung nghiên cứu không thể đưa ra được nhiều phương án hơn nữa để thể hiện tính vượt trội của nghiên cứu, nhưng kết quả đánh giá phương án CTPHMT đã chọn phù hợp với định hướng phát triển và quy hoạch của tỉnh An Giang.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.N.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.N.H.; Xử lý số liệu: D.N.H.; Viết bản thảo bài báo: D.N.H.; Chính sửa bài báo: D.N.H.

**Lời cam đoan:** Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

#### Tài liệu tham khảo

1. Columbia Center of Sustainable Investment, UNDP. UN sustainable development solutions network and world economic forum 2016: Mapping mining to the sustainable development goals: An atlas. 2016. Online available: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/poverty-reduction/mapping-mining-to-the-sdgs%2D%2Dan-atlas.html>.
2. Kretschmann, J.; Efremenkova, A.; Aleksey, K. From mining to post-mining: the sustainable development strategy of the German hard coal mining industry. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2017**, *50*, 012024.

3. Kretschmann, J. Post-mining—a holistic approach. *Min. Metall. Explor.* **2020**, 37, 1401–1409.
4. Clark, A.L.; Clark, J.C. VIII. An international overview of legal frameworks for mine closure. Environmental Law Alliance Worldwide: Eugene, OR, USA, 2005.
5. Asr, E.T.; Kakaie, R.; Ataei, M.; Mohammadi, M.R.T. A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *J. Cleaner Prod.* **2019**, 229, 213–231.
6. Hà, N.M. Nghiên cứu ứng dụng tổ hợp các giải pháp cải tạo, phục hồi hệ sinh thái khu vực bãi thải và khu vực khai thác khoáng sản nhằm ngăn ngừa hoang mạc hóa, sử dụng đất hiệu quả, bền vững vùng Tây Nguyên. Đề tài KH-CN cấp Quốc Gia, Viện hàn Lâm Khoa học Việt Nam, 2020.
7. Phương, H.C. Nghiên cứu các giải pháp công nghệ và quản lý nhằm phát triển bền vững các mỏ khai thác vật liệu xây dựng ở Việt Nam. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2016.
8. Việt, P.H.; Hoàn, Đ.N.; Hoa, L.T.T.; Thảo, L.Q. Đánh giá tác động môi trường kinh tế - xã hội do hoạt động khai thác đá vật liệu xây dựng trên địa bàn tỉnh Bình Dương. *Tap chí Khí tượng thủy văn* **2023**, 746, 56–69.
9. Quý, N.Đ.; Hạnh, N.V. Hoàn phục môi trường mỏ Việt Nam. Tuyển tập Hội nghị Khoa học về Tài nguyên và Môi trường, 2001.
10. Giao, H.S.; Nam, B.X.; Toàn, M.T. Bảo vệ môi trường trong khai thác mỏ. Nhà xuất bản Từ điển Bách Khoa Hà Nội, 2010.
11. Lý, C.Đ. Hướng dẫn phương pháp đánh giá đa tiêu chí dùng trong phân hạn các đối tượng nghiên cứu doanh nghiệp hay địa phương, 2012.
12. Center for International Forestry Research (CIFOR). guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators, Indonesia, 2019.
13. STsolaki-Fiaka, S.; Bathrellos, G.D.; Skilodimou, H.D. Multi - criteria decision analysis for an abandoned quarry in the Evros region (NE Greece). *Land* **2018**, 7, 43. doi:10.3390/land7020043.
14. Worrall, R.; Neil, D.; Brereton, D.; Mulligan, D. Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *J. Cleaner Prod.* **2009**, 17(16), 1426–1434.
15. Thắng, V.Q.; Quân, N.T. Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để lựa chọn loại hợp đồng dự án sử dụng trong dự án thực hiện theo hình thức đối tác công tư. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* **2015**.
16. Bascetin, A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. *Environ. Geol.* **2007**, 52, 663–672.
17. Lý, C.Đ. Ứng dụng tiến trình phân tích cấp bậc (Analytic Hierarchy Process) đánh giá tính bền vững cho các tỉnh thành – Trường hợp nghiên cứu tỉnh Bình Dương. *Tap chí Tài nguyên và Môi trường* **2012**.
18. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* **2008**, 1(1), 83–98.
19. Hạnh, H.T.H. Nghiên cứu xây dựng mô hình sử dụng đất hợp lý cho các khu vực khai thác đá xây dựng và sét ở vùng kinh tế trọng điểm phía Nam. Luận án Tiến sĩ, Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
20. Hạnh, H.T.H.; Thủy, H.T.T.; Lý, C.Đ. Ứng dụng phương pháp phân tích đa tiêu chí và tiến trình phân tích cấp bậc định hướng sử dụng mặt bằng sau khai thác mỏ. *Tap chí Tài nguyên Môi trường*, **2012**, 22, tr. 156.
21. Butler, C.R.; Hynds, R.E.; Gowers, K.H.; Lee, D.D.H.; Brown, J.M.; Crowley, C.; ... Janes, S.M. Rapid expansion of human epithelial stem cells suitable for airway tissue engineering. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **2016**, 194(2), 156–168.

22. Meldungen, A. Online available: <https://www.arbeitsagentur.de/news/arbeitsmarkt-2020> (accessed 4 July 2020) in German.
23. Bainton, N.; Holcombe, S. A critical review of the social aspects of mine closure. *Resour. Policy* **2018**, 59, 468–478.
24. Lechner, A.M.; McIntyre, N.; Witt, K.; Raymond, C.M.; Arnold, S.; Scott, M.; Rifkin, W. Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. *Environ. Modell. Software* **2017**, 93, 268–328. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.020>.
25. McHaina, D.M. Environmental planning considerations for the decommissioning, closure and reclamation of a mine site. *Int. J. Surf. Min. Reclam. Environ.* **2001**, 15(3), 163–176.
26. Lei, K.; Pan, H.; Lin, C. A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. *Ecol. Eng.* **2016**, 90, 320–325. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.080>.
27. Việt, P.H.; Tước, Đ.T. Phương pháp lựa chọn mô hình đóng cửa cho các mỏ khai thác đá xây dựng tại tỉnh Bình Dương. *Tap chí Công nghiệp mỏ* **2020**, 17–24.

## **Application of multicriteria analysis method to select suitable environmental restoration options for the limestone quarry in East Co To mountain in An Giang province**

**Do Ngoc Hoan**<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Lecturers, Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology; dongochuan@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Innovations for sustainable and responsible mining (ISRM), Hanoi University of Mining and Geology; dongochuan@humg.edu.vn

**Abstract:** Post-mining environmental rehabilitation is a crucial activity aimed at safeguarding the environment and fostering sustainability within mining operations. This study applies a multi-criteria evaluation approach to select post-mining environmental rehabilitation options, considering six viable post-mining alternatives. By surveying the actual conditions of the research subject, specific, measurable, achievable, relevant, and time-bound (SMART) objectives are identified to analyze post-mining goals. A set of criteria is developed to assess the suitability of various post-mining options applicable to mining sites. Scoring for each criterion is conducted using the Simple Additive Weighting (SAW) method, followed by analytic hierarchy process (AHP) analysis to determine the importance of each option based on criteria. The most suitable post-mining option is identified as the one with the highest overall score, aligning best with the initial objectives. This method allows for simultaneous evaluation of multiple post-mining alternatives against 23 comprehensive criteria, facilitating precise assessments compared to previous practices at the Dong Nui Co To limestone quarry.

**Keywords:** Environmental restoration; Post-mining; Limestone quarry; Multicriteria analysis.