



Danh sách nội dung có sẵn tại [ScienceDirect](#)

Điện toán mềm ứng dụng

trang chủ tạp chí: www.elsevier.com/locate/asoc



Các phương pháp phân tích độ nhạy trong phân tích quyết định đa tiêu chí:

Một đánh giá có hệ thống

Jakub Więckowski [a](#) , Wojciech Sałabun [a,b](#),

Nhóm nghiên cứu về Hệ thống hỗ trợ quyết định thông minh, Khoa Trí tuệ nhân tạo và Toán ứng dụng, Khoa Khoa học máy tính và Công nghệ thông tin, Đại học Công nghệ West Pomeranian tại Szczecin, ul. Żołnierska 49, 71-210, Szczecin, Ba Lan b Viện Viễn thông Quốc gia, ul. Szachowa 1, Warsaw, 04-894, Ba Lan

THÔNG TIN BÀI VIẾT

Từ khóa:
Phân tích độ nhạy
MCDA
Tổng quan tài liệu
PRISMA
Ra quyết định
Khung phân tích độ nhạy

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực Phân tích Quyết định Đa Tiêu chí (MCDA), việc triển khai phân tích độ nhạy đã trở thành một phương pháp tiếp cận cơ bản để kiểm tra tính vững chắc và độ tin cậy của kết quả thu được. Tầm quan trọng của nó nằm ở khả năng hiểu sâu hơn về những thay đổi tiềm ẩn ảnh hưởng đến tính khả thi của các biến thể quyết định đang được đánh giá. Thông qua các phương pháp luận khác nhau, nó cho thấy tính dễ bị tổn thương của kết quả trước những thay đổi trong dữ liệu cơ sở, từ đó cung cấp thông tin giá trị hỗ trợ việc ra quyết định. Bài báo nghiên cứu này tập hợp 250 nghiên cứu liên quan đến việc ứng dụng phân tích độ nhạy trong bối cảnh đa tiêu chí. Sử dụng phương pháp tiếp cận có cấu trúc của phương pháp PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), nghiên cứu này cung cấp một quy trình đánh giá toàn diện. Mục tiêu chính là xác định và phân loại các kỹ thuật phân tích độ nhạy phổ biến được giải thích trong tài liệu và mô tả một khuôn khổ được lựa chọn để tạo điều kiện thuận lợi cho việc thực hiện các kỹ thuật này. Nghiên cứu chứng minh tầm quan trọng của phân tích độ nhạy trong việc nâng cao độ tin cậy của kết quả MCDA và đóng góp vào lĩnh vực hỗ trợ quyết định.

1. Giới thiệu

Phân tích Quyết định Đa Tiêu chí (MCDA) là một nhóm các kỹ thuật đề xuất các giải pháp để đánh giá các phương án quyết định liên quan đến một tập hợp các tiêu chí theo một cách có cấu trúc [1]. Các phương pháp này rất cần thiết trong Hệ thống Hỗ trợ Quyết định (DSS), nhằm hỗ trợ người ra quyết định đưa ra các lựa chọn hợp lý dựa trên dữ liệu sẵn có [2]. Giải pháp chính của các phương pháp MCDA là sử dụng dữ liệu đầu vào, xác định mục tiêu của loại tiêu chí, mức độ liên quan của chúng và việc xác định các phương án quyết định liên quan đến các tham số này. Sau đó, các bước tiếp theo và các phép biến đổi toán học sẽ xác định giá trị ưu tiên cho các phương án thay thế, mô tả mức độ hấp dẫn của chúng so với các phương án khác. Phương pháp này có lợi thế và hữu ích cho người ra quyết định trong trường hợp các vấn đề đang xem xét phức tạp và chứa nhiều tiêu chí hoặc phương án quyết định [3]. Đây là những trường hợp mà khả năng phân tích của người ra quyết định đang giảm sút, và các hệ thống dựa trên phương pháp MCDA đảm bảo tính toán kết quả nhanh chóng và hiệu quả. Một lợi thế bổ sung của các hệ thống này là tính lặp lại của các phép tính được thực hiện và không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài, điều này thường không thể tránh khỏi nếu chỉ dựa vào kiến thức chuyên môn [4]. Mỗi phương pháp được đề xuất trong

nhóm MCDA được đặc trưng bởi một cách tiếp cận riêng biệt để có được kết quả cuối cùng [5,6]. Do đó, họ dựa vào các số liệu khác nhau trong các phép tính của mình, có thể được áp dụng phổ biến bất kể phương pháp nào [7]. Một cách tiếp cận phổ biến là sử dụng các phương pháp chuẩn hóa dữ liệu khác nhau [8,9], các kỹ thuật trọng số tiêu chí chủ quan và khách quan [10-12], số liệu khoảng cách [13] hoặc giải mở dữ liệu trong môi trường mờ [14-16].

Một kỹ thuật thường được sử dụng trong tính toán đa tiêu chí là phân tích độ nhạy [17]. Nó cho phép kiểm tra tính vững chắc của kết quả trước những thay đổi nhất định [18]. Hơn nữa, phân tích độ nhạy khám phá mối quan hệ giữa đầu ra và đầu vào của quy trình [19]. Khi phát triển DSS chỉ dựa trên phương pháp MCDA, cần lưu ý rằng một chuyên gia sử dụng hệ thống như vậy sẽ không có kiến thức toàn diện về những thay đổi có thể xảy ra trong dữ liệu đầu vào và tác động của chúng đến kết quả cuối cùng. Thường có sự khác biệt nhỏ về giá trị ưu tiên giữa các biến thể quyết định được đánh giá [6,20].

Điều này cho thấy sức hấp dẫn tương tự của chúng, vì vậy, cần đặc biệt chú ý đến việc chỉ ra những thay đổi có thể xảy ra trong thứ hạng do việc điều chỉnh các tham số đầu vào của mô hình. Đây chính xác là nơi phân tích độ nhạy hoạt động. Các mô hình hỗ trợ quyết định sử dụng

Tác giả liên hệ tại: Viện Viễn thông Quốc gia, ul. Szachowa 1, Warsaw, 04-894, Ba Lan.
Địa chỉ email: jakub-wieckowski@zut.edu.pl (J. Więckowski), w.salabun@il-pib.pl (W. Sałabun).
Địa chỉ web: <http://www.comet.edu.pl/> (W. Sałabun).

các giả định hoàn chỉnh, cung cấp kiến thức toàn diện và hỗ trợ quan trọng hơn cho người ra quyết định [21].

Cũng đáng đề cập rằng phân tích độ nhạy là một phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau [17]. Đây là một kỹ thuật đa năng cho phép tìm kiếm các giải pháp khả thi, khiến nó hữu ích cho nhiều nghiên cứu. Có những bài đánh giá tài liệu về phân tích độ nhạy cho thấy ứng dụng của nó trong các lĩnh vực được chọn. Pamucar và Biswas đã giải quyết vấn đề so sánh hiệu suất thị trường của tài sản mã hóa metaverse với một khuôn khổ ra quyết định lai mới với phân tích độ nhạy được sử dụng để liên quan đến phân tích độ nhạy của các mô hình môi trường [22]. Mahmutagić và cộng sự đã chỉ đạo nghiên cứu của họ để đánh giá hiệu quả của xe nâng trong các hệ thống kho bãi với các giá trị trọng lượng khác nhau để kiểm tra tác động của chúng đến kết quả [23]. Pang và cộng sự đã cung cấp một đánh giá có hệ thống về phân tích độ nhạy cho ứng dụng xây dựng [24]. Các tác giả đã trình bày ưu và nhược điểm của các phương pháp chính thống để phân tích độ nhạy và lời khuyên thực tế về việc lựa chọn phương pháp. Pianosi và cộng sự vào năm 2016 đã trình bày một đánh giá có hệ thống với quy trình làm việc thực tế liên quan đến phân tích độ nhạy của các mô hình môi trường [25]. Các tác giả đã cung cấp các hướng dẫn thực tế, thảo luận về các lựa chọn quan trọng và đưa ra các ví dụ từ tài liệu để làm nổi bật các xu hướng. Năm 2005, Saltelli và cộng sự đã trình bày tổng quan về các ứng dụng của phân tích độ nhạy trong các mô hình hóa học [26], trong khi Baio và Dawid vào năm 2015 đã hướng nghiên cứu của họ theo hướng chỉ ra các ứng dụng của phân tích độ nhạy xác suất trong kinh tế y tế [27]. Rao và Sujatha đã giải quyết vấn đề lựa chọn công nghệ xử lý chất thải y tế, kiểm tra tính mạnh mẽ của kết quả với các bộ trọng số tiêu chí khác nhau [28]. Hơn nữa, sự kết hợp giữa các giả định về MCDA và phân tích độ nhạy có thể được tìm thấy trong các mô hình quyết định hướng tới giải quyết các vấn đề liên quan đến phát triển năng lượng tái tạo [29, 30], lựa chọn vật liệu [31,32], vận tải [33–35] và tính bền vững [36,37], trong số những vấn đề khác. Nhiều tác phẩm hướng tới việc nhấn mạnh vai trò của phân tích độ nhạy trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên, có một khoảng trống nghiên cứu rõ ràng trong lĩnh vực ra quyết định kết hợp với phân tích độ nhạy. Các bài đánh giá tài liệu tập trung vào các lĩnh vực hoạt động được chọn hoặc đã lỗi thời và không xem xét các nghiên cứu và hướng mới để áp dụng phân tích độ nhạy trong việc ra quyết định.

Năm 1967, Rappaport đã trình bày về phân tích độ nhạy trong ra quyết định [38], tương ứng với chủ đề được mô tả. Tuy nhiên, bài tổng quan này đã được thực hiện cách đây nhiều năm và do đó không theo kịp các phương pháp nghiên cứu mới. Người ta cũng có thể tìm thấy các bài tổng quan về ra quyết định không gian [39], đánh giá kinh tế [40] hoặc hệ thống điện [41]. Tuy nhiên, các công trình này không đề cập đến vấn đề một cách toàn diện và chúng tập trung vào việc sử dụng có mục tiêu các phương pháp ra quyết định kết hợp với phân tích độ nhạy. Do đó, cần đề xuất một bài tổng quan xem xét các phương pháp nghiên cứu mới để chỉ ra việc sử dụng phân tích độ nhạy hiện tại trong ra quyết định.

Bài báo này trình bày một tổng quan toàn diện về các phương pháp phân tích độ nhạy trong các vấn đề ra quyết định, giải quyết một khoảng trống nghiên cứu đáng kể trong các tài liệu hiện có. Sử dụng phương pháp luận PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) [42], nghiên cứu này xem xét một cách có hệ thống sự giao thoa giữa phân tích độ nhạy và Phân tích Quyết định Đa Tiêu chí (MCDA). Thông qua một quy trình đánh giá nghiêm ngặt, bài báo phân loại và mô tả các kỹ thuật phân tích độ nhạy khác nhau, cung cấp những hiểu biết sâu sắc về điểm mạnh và hạn chế của chúng. Đóng góp chính nằm ở việc phân loại một cách có hệ thống các lớp phân tích độ nhạy, hỗ trợ các nhà nghiên cứu và chuyên gia trong việc lựa chọn các phương pháp tiếp cận phù hợp cho các vấn đề ra quyết định cụ thể. Cuối cùng, nghiên cứu này không chỉ tổng hợp kiến thức hiện có mà còn cung cấp hướng dẫn thực tế để định hướng phân tích độ nhạy trong bối cảnh ra quyết định. Những đóng góp chính của nghiên cứu bao gồm:

- hệ thống hóa kiến thức về các kỹ thuật phân tích độ nhạy được sử dụng trong việc ra quyết định
- chỉ ra những ưu điểm và nhược điểm của các giải pháp có sẵn
- trình bày các phân loại lớp phân tích độ nhạy

các hành động

- chỉ ra quá trình lựa chọn các phương pháp phân tích độ nhạy để đưa ra quyết định vấn đề

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần 2 trình bày tổng quan về kiến thức hiện tại trong lĩnh vực phân tích độ nhạy trong việc ra quyết định liên quan đến phương pháp đánh giá PRISMA. Phần 3 trình bày phân loại các phương pháp phân tích độ nhạy được xác định dựa trên tổng quan tài liệu. Phần 4 mô tả các khung phân tích độ nhạy được lựa chọn và trình bày các tình huống sử dụng mà các khung được trình bày có thể được áp dụng.

Phần 5 trình bày thảo luận về nghiên cứu đã thực hiện. Cuối cùng, trong Phần 6, các kết luận được rút ra từ nghiên cứu và bản tóm tắt được trình bày.

2. Hiện đại: Phương pháp PRISMA

Do PRISMA bao gồm nhiều lĩnh vực của quy trình đánh giá và được xác định là giải quyết các vấn đề chung cho nhiều lĩnh vực nghiên cứu, một số bước đề xuất không thể được sử dụng trong các đánh giá được thực hiện trong một số lĩnh vực nhất định. Việc lựa chọn các bước từ phương pháp luận PRISMA dựa trên việc giới hạn các giai đoạn đánh giá đề xuất để chỉ bao gồm các yếu tố quan trọng nhất, vì đánh giá đề xuất về Phân tích độ nhạy trong lĩnh vực MCDA nhằm mục đích cung cấp thêm thông tin về phân loại phân tích độ nhạy và mô tả khuôn khổ phân tích độ nhạy, mở rộng phạm vi của phương pháp luận PRISMA thông thường. Do đó, chúng tôi quyết định sử dụng phương pháp luận PRIMA đã được sửa đổi để đáp ứng các giả định đã đưa ra. Sáu bước của quy trình PRISMA tiêu chuẩn đã được sử dụng trong đánh giá này, với mô tả được trình bày dưới đây.

2.1. Nguồn thông tin

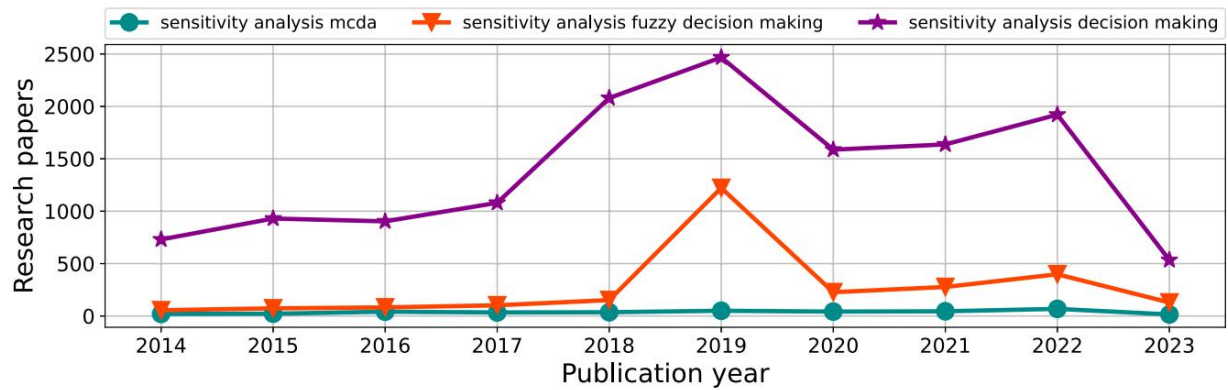
Nền tảng Mendeley được sử dụng như một nguồn thông tin. Đây là một công cụ toàn diện để tìm kiếm các bài báo học thuật đã được xuất bản trong các lĩnh vực nghiên cứu cụ thể. Nền tảng này bao gồm quyền truy cập vào các bài báo từ nhiều lĩnh vực khác nhau, và việc tìm kiếm dựa trên việc so khớp các từ khóa trong bản thảo với các cụm từ do người dùng cung cấp. Ứng dụng Mendeley liên tục cập nhật các cơ sở dữ liệu hiện có với các bài báo mới được xuất bản. Nó đảm bảo người dùng có thể truy cập vào các xu hướng nghiên cứu mới nhất trong các lĩnh vực đã chọn. Tuy nhiên, có một số công cụ khác để tìm kiếm bài báo trong cơ sở dữ liệu nghiên cứu học thuật, chẳng hạn như Scopus, Web of Science (còn gọi là Web of Knowledge), ScienceDirect và IEEE Explore. Ba công cụ đầu tiên được đề cập có cơ sở dữ liệu đa ngành, trong khi công cụ cuối cùng dành riêng cho lĩnh vực Kỹ thuật. Các công cụ được liệt kê là các lựa chọn thay thế cho công cụ được sử dụng trong bài đánh giá này. Tuy nhiên, lựa chọn cuối cùng được xác định bởi khả năng kiểm soát các tài liệu tham khảo đã được xem xét trong công cụ Mendeley và cách thức xuất và quản lý các mục thuận tiện. Hơn nữa, công cụ này có cấu trúc đơn giản, dễ hiểu và trực quan, giúp truy cập thuận tiện vào các bài báo khoa học trong lĩnh vực đã chọn.

2.2. Chiến lược tìm kiếm

Để lọc ra các bài báo hướng đến các chủ đề liên quan đến nghiên cứu về tác động của phân tích độ nhạy đối với kết quả phân tích quyết định đa tiêu chí, các từ khóa được chọn đã được sử dụng để thu hẹp phạm vi tìm kiếm. Các cụm từ như:

- phân tích độ nhạy mcda, • phân tích độ nhạy ra quyết định, • phân tích độ nhạy ra quyết định mờ

đã được sử dụng. Các từ khóa được cung cấp đóng vai trò là phương tiện lọc các bản ghi có sẵn trong cơ sở dữ liệu nền tảng Mendeley và cho phép tìm kiếm trong cơ sở dữ liệu có sẵn để truy xuất các bài báo nghiên cứu đã công bố trong lĩnh vực phân tích độ nhạy kết hợp với một lĩnh vực ra quyết định cụ thể. Vì phương pháp phân tích độ nhạy được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu, nên cần tập trung quy trình tìm kiếm



Hình 1. Số lượng bài báo nghiên cứu trong những năm 2014-2023 liên quan đến các từ khóa khác nhau được sử dụng trong cơ sở dữ liệu Mendeley.

về lĩnh vực ra quyết định. Nó mang đến cơ hội tạo ra một cái nhìn tổng quan hoàn toàn tập trung vào chủ đề được giao và làm nổi bật các phương pháp nghiên cứu hiện đang được sử dụng.

Các từ khóa được sử dụng trong chiến lược tìm kiếm được lựa chọn dựa trên sự phản ánh chính xác của chúng về lĩnh vực đánh giá được thực hiện, cụ thể là Phân tích quyết định đa tiêu chí trong môi trường rõ ràng và mờ (sử dụng cụm từ mcda, ra quyết định và ra quyết định mờ như một phần của từ khóa) và các kỹ thuật Phân tích độ nhạy (cụm từ phân tích độ nhạy trong các từ khóa được đề xuất. Sử dụng các từ khóa được chọn cho phép tìm kiếm các bài báo trong lĩnh vực cụ thể này đồng thời hạn chế lĩnh vực tiềm năng của các bài báo được đánh giá có thể phức tạp hơn và không liên quan trực tiếp đến lĩnh vực nếu sử dụng nhiều từ khóa hơn. Chúng cũng cho phép tìm kiếm chung nhưng tập trung vào lĩnh vực ra quyết định và phân tích độ nhạy, điều mà không thể đạt được bằng cách sử dụng các kỹ thuật MCDA hoặc phương pháp phân tích độ nhạy cụ thể trong các từ khóa.

2.3. Các mục dữ liệu

Quá trình tuyển chọn tập trung vào việc lựa chọn các bài báo nghiên cứu hướng đến bất kỳ lĩnh vực ứng dụng nào trong các bài toán phân tích quyết định đa tiêu chí kết hợp với phân tích độ nhạy. Chúng tôi giả định rằng bài tổng quan này sẽ xem xét việc sử dụng chung các kỹ thuật đã đề cập, bất kể lĩnh vực ứng dụng. Vì các bài tổng quan hiện có liên quan đến lĩnh vực này dựa trên việc so sánh các phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong từng loại bài toán cụ thể, nên việc mở rộng quan điểm và kết hợp các công trình nghiên cứu từ các lĩnh vực ứng dụng khác nhau để so sánh các phương pháp luận đã sử dụng và cung cấp một cái nhìn tổng quan về các kỹ thuật đó là rất đáng giá. Cách tiếp cận này được thúc đẩy bởi mong muốn so sánh cách các kỹ thuật phân tích độ nhạy được sử dụng trong nghiên cứu đa ngành hiện nay. Trọng tâm là các bài báo được xuất bản sau năm 2014 để cung cấp cái nhìn tổng quan về các phương pháp nghiên cứu mới nhất. Với sự phát triển nhanh chóng của lĩnh vực ra quyết định, được đánh dấu bằng sự xuất hiện của các kỹ thuật và phương pháp nghiên cứu mới, việc chúng tôi lựa chọn kết hợp các ấn phẩm mới nhất trong phạm vi bài tổng quan được đề xuất nhằm làm nổi bật các chiến lược đương đại được sử dụng trong đánh giá đa tiêu chí, kết hợp với phân tích độ nhạy của kết quả.

Ngoài ra, tất cả các bài báo khoa học đều được xem xét, bất kể tác giả, nhà xuất bản, hệ số tác động hay số lượng trích dẫn. Việc lựa chọn bài báo để đánh giá cũng không bị ảnh hưởng bởi phương pháp và loại hình tài trợ nghiên cứu.

2.4. Lựa chọn nghiên cứu

Sử dụng các phương pháp tìm kiếm được mô tả ở trên, chúng tôi có thể lọc các bản ghi theo cách thu hẹp phạm vi tìm kiếm vào chủ đề ra quyết định, kết hợp với phân tích độ nhạy. Hình 1 cho thấy sơ đồ số lượng tìm kiếm bài báo khoa học tùy thuộc vào từ khóa được sử dụng cho cơ sở dữ liệu ứng dụng Mendeley. Luồng

Biểu đồ cho thấy các kết quả trùng khớp nhất trong cơ sở dữ liệu được tìm thấy cho các từ khóa: phân tích độ nhạy, ra quyết định. Năm 2019, có gần 2500 bài báo nghiên cứu đáp ứng yêu cầu khớp với từ khóa tìm kiếm được cung cấp. Mặt khác, cũng có thể thấy số lượng bài báo được công bố trong lĩnh vực này đã tăng từ năm 2014 đến năm 2019. Do đó, có thể suy ra rằng sự quan tâm đến chủ đề phân tích độ nhạy trong ra quyết định đang trở thành một vấn đề ngày càng quan trọng. Trong năm 2020 và 2021, số lượng bài báo được công bố ít hơn, nhưng vẫn ở mức cao hơn so với năm 2017. Đối với năm 2022, có thể thấy sự gia tăng về số lượng bài báo được công bố.

Hơn nữa, vào năm 2023, có sự sụt giảm rõ rệt trong các bài báo phù hợp, nhưng điều này liên quan đến việc xem xét các bài báo đã xuất bản và quy trình xuất bản đang diễn ra của các bài báo khoa học có thể có vào cuối năm nay. Hơn nữa, có thể thấy rằng có sự gia tăng đáng kể các bài báo khoa học phù hợp vào năm 2019 đối với từ khóa phân tích độ nhạy ra quyết định mờ , trong đó gần 1200 công trình nghiên cứu đã được quan sát. Mặt khác, từ khóa phân tích độ nhạy mcda đảm bảo ít sự trùng khớp nhất từ các cụm từ tìm kiếm được đề xuất. Điều này có thể là do thực tế là từ khóa này chứa chữ viết tắt của Phân tích quyết định đa tiêu chí (MCDA), có thể không được sử dụng thường xuyên trong tiêu đề bản thảo hoặc phần từ khóa như tên đầy đủ của các kỹ thuật đó. Tuy nhiên, có thể thấy rằng vẫn còn nhiều công trình hướng đến các vấn đề liên quan đến việc ra quyết định với phân tích độ nhạy, điều này xác nhận rằng lĩnh vực này đang được liên tục kiểm tra và phát triển.

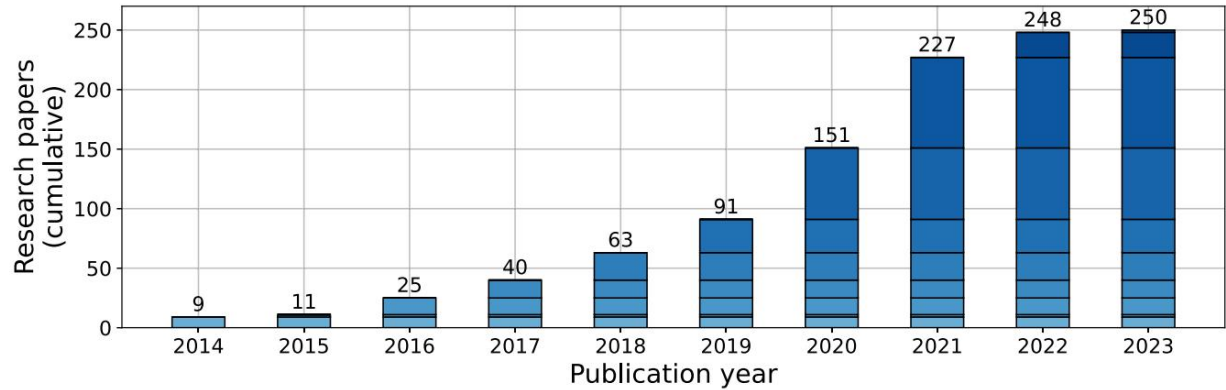
Bài tổng quan được trình bày liên quan đến 250 bài báo nghiên cứu hướng đến các vấn đề về ra quyết định và phân tích độ nhạy. Để trình bày các giải pháp hiện đang được sử dụng trong lĩnh vực này, các bài báo được đưa vào bài tổng quan đã được xuất bản từ năm 2014 đến năm 2023. Hình 2 thể hiện sự phân bố tích lũy của các bài báo nghiên cứu được đưa vào bài tổng quan trong suốt thời gian này. Có thể thấy rằng hầu hết các công trình được xuất bản trong khoảng thời gian từ năm 2020 đến năm 2021. Hơn một nửa số công trình được đưa vào bài tổng quan.

Bài tổng quan đã được trình bày trong giai đoạn này. Bài tổng quan này cung cấp cái nhìn tổng quan cập nhật về các phương pháp luận và phương pháp phân tích độ nhạy hiện đang được sử dụng. Để cung cấp quyền truy cập vào các bài báo nghiên cứu được xem xét trong bài tổng quan, các công trình được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu Mendeley đã được xuất sang các tệp định dạng .ris và .bib và có sẵn trong một kho lưu trữ mở [43].

Bài tổng quan này nhằm mục đích bao quát toàn diện một chủ đề cụ thể về phân tích độ nhạy trong các vấn đề ra quyết định, bao gồm nhiều góc nhìn, phương pháp luận và phát hiện khác nhau. Việc sử dụng số lượng bài báo lớn hơn giúp cung cấp cái nhìn tổng quan toàn diện hơn về chủ đề này.

Hơn nữa, sau khi xem xét một số lượng bài báo nhất định, chúng tôi nhận thấy một điểm bão hòa, trong đó các bài báo mới không bổ sung đáng kể những hiểu biết hoặc thông tin mới mẻ vào cuộc thảo luận. Dựa trên điều này, chúng tôi quyết định đưa vào 250 bài báo, tạo thành một mẫu đại diện, phản ánh đầy đủ các chủ đề và xu hướng chính trong lĩnh vực này.

Trong quá trình đánh giá, các mục đã được phân loại và mô tả liên quan đến các phương pháp được sử dụng để đánh giá đa tiêu chí, kỹ thuật phân tích độ nhạy hoặc vấn đề được xem xét.



Hình 2. Phân bố loại hình ứng dụng phân tích độ nhạy trong ra quyết định trong 250 bài báo khoa học được đánh giá.

Dựa trên đó, có thể thiết lập sự phân bố của các bài báo nghiên cứu có tính đến lĩnh vực ứng dụng cụ thể. Hình 3 trình bày trực quan về sự phân bố của các bài báo nghiên cứu được xem xét liên quan đến lĩnh vực nghiên cứu mà công trình hướng đến (A) và phương pháp được sử dụng để phân tích độ nhạy của kết quả (B). Biểu đồ đầu tiên (A) cho thấy lĩnh vực quan trọng nhất được quan tâm trong các bài báo từ bài đánh giá là dành cho các vấn đề về tính bền vững (39,6%), hiện là một vấn đề rất phổ biến và quan trọng. Lĩnh vực lớn thứ hai được xác định là các vấn đề liên quan đến GIS (Hệ thống thông tin địa lý) (19,6%), trong khi lĩnh vực ứng dụng có thể nhìn thấy thứ ba là Chăm sóc sức khỏe (14,0%). Các bài báo còn lại được hướng đến các lĩnh vực khác nhau và được phân loại là nhóm Khác (26,8%). Nó bao gồm các công trình liên quan đến vị trí nhà ở [44], quảng cáo [45], cơ sở hạ tầng giao thông [46] và giáo dục [47], trong số những lĩnh vực khác. Có thể thấy rằng các mô hình quyết định có phân tích độ nhạy được áp dụng cho nhiều vấn đề đa tiêu chí khác nhau và do đó, mở rộng các lĩnh vực tiềm năng thực tế của các hệ thống đó.

Biểu đồ thứ hai (B) trình bày sự phân bố của các phương pháp phân tích độ nhạy được sử dụng trong các mô hình quyết định gặp phải trong các bài báo được đánh giá. Phần lớn các trường hợp sử dụng được bao phủ bởi các phương pháp dựa trên việc thay đổi trọng số tiêu chí (77,2%). Phương pháp riêng biệt khác được xác định là thay đổi các giá trị mô tả các phương án thay thế, điều này chuyển thành thực hiện các sửa đổi trong ma trận quyết định (6,8%). Tuy nhiên, phương pháp này ít phổ biến hơn gần 12 lần so với kỹ thuật đầu tiên. Các kỹ thuật còn lại để thực hiện phân tích độ nhạy được nhóm lại với nhau và được dán nhãn là Khác (16,0%). Các phương pháp đó xem xét việc áp dụng Mô phỏng Monte Carlo [48], Phân tích độ nhạy dựa trên phương sai [49], Sobol'-MCDA [50] hoặc sửa đổi các tham số phương pháp cho Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) [51] hoặc TODIM (từ viết tắt trong tiếng Bồ Đào Nha có nghĩa là Quyết định tương tác và đa tiêu chí) [52].

2.4.1. Các lĩnh vực ứng dụng của mô hình MCDA sử dụng phân tích độ nhạy

Như sự phân bố các chủ đề được đề cập trong bài viết tổng quan cho thấy, các mô hình quyết định sử dụng phân tích độ nhạy được áp dụng trong nhiều lĩnh vực. Dựa trên các bài nghiên cứu từ bài tổng quan, chúng tôi đã xác định được ba lĩnh vực thực tiễn đặc biệt đang được nỗ lực thực hiện để xác định các lựa chọn hợp lý nhất cho các phương án quyết định.

2.4.1.1. Các vấn đề quyết định về tính bền vững.

Đầu tiên là vấn đề về tính bền vững. Do nhu cầu ngày càng tăng đối với các giải pháp được sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường, sử dụng vật liệu bền vững và hiệu quả hơn, hoặc giảm thiểu rủi ro, nên các hệ thống được thiết kế để tăng hiệu quả đang được đặc biệt chú trọng. Phân tích độ nhạy của các giải pháp được áp dụng trong lĩnh vực này cho phép chỉ ra liệu các phương án quyết định khác có thể thay thế các lựa chọn tiềm năng hấp dẫn nhất hay không.

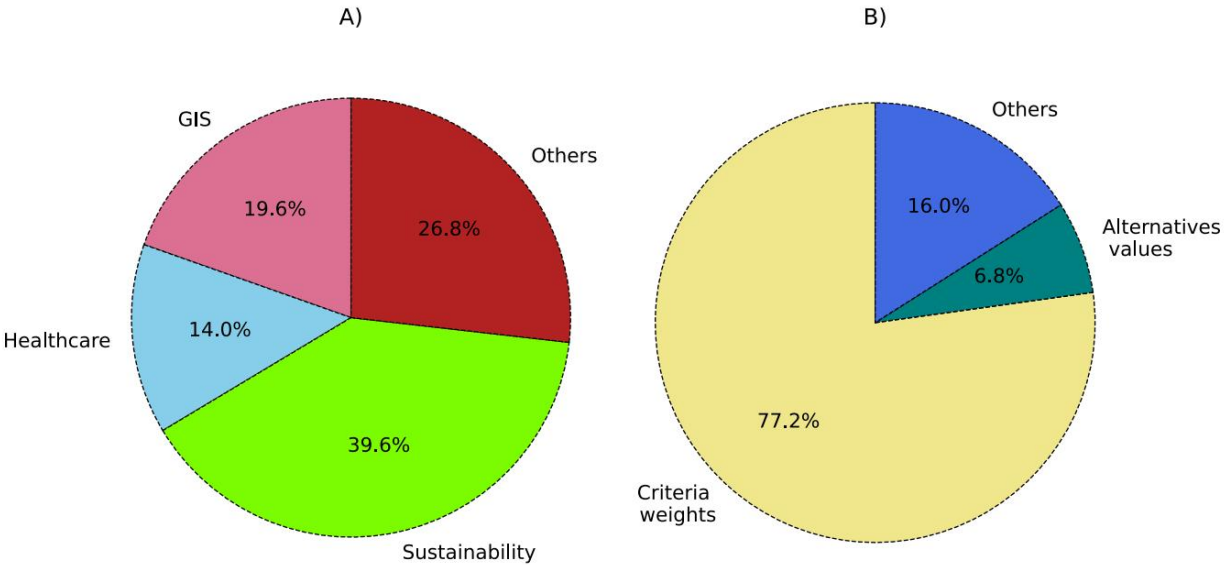
trong những trường hợp cụ thể về sự thay đổi các tham số đầu vào. Các nhà nghiên cứu sử dụng nhiều kỹ thuật khác nhau để đạt được kết quả mong muốn là xác định tính vững chắc của kết quả trước các sửa đổi. Wu và cộng sự đã hướng nghiên cứu của họ đến việc lựa chọn địa điểm tối ưu cho năng lượng gió phân tán [53]. Mô hình dựa trên Số mờ trực quan tam giác và phương pháp TODIM mờ, trong khi tính vững chắc của kết quả được kiểm tra bằng cách áp dụng sửa đổi trọng số tiêu chí $\pm 10\%$ và 20% cho mỗi trọng số sau đó. Stoycheva và cộng sự [54] đã đề xuất một khuôn khổ MCDA cho sản xuất bền vững trong ngành công nghiệp ô tô bằng cách sử dụng Lý thuyết giá trị đa thuộc tính (MAVT). Vì mô hình đã xác định được cấu trúc cho các tiêu chí cấp chính và cấp dưới, nên mọi tiêu chí cho tiêu chí cấp chính đều được sử dụng trong phân tích độ nhạy để thay đổi các trọng số tiếp theo và xác minh ảnh hưởng của chúng đến kết quả. Zyoued và cộng sự đã sử dụng các phương pháp AHP mờ và TOPSIS mờ để xác định khuôn khổ quản lý thất thoát nước [55]. Các tác giả đã áp dụng phân tích độ nhạy bằng cách sử dụng 45 tổ hợp trọng số đại diện cho tầm quan trọng của các tiêu chí trong bài toán quyết định. Taylan và cộng sự đã đánh giá các hệ thống năng lượng bằng cách sử dụng Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR và Fuzzy TOPSIS [56].

Hai phương pháp phân tích độ nhạy đã được sử dụng để xác minh tính mạnh mẽ của kết quả. Đầu tiên, tham số trong phương pháp Fuzzy VIKOR biểu thị trọng số của tiện ích nhóm tối đa đã được sửa đổi. Thứ hai, Phân tích bao phủ dữ liệu mờ (DEA) được sử dụng kết hợp với phương pháp Fuzzy VIKOR để kiểm tra mức độ mà mỗi hệ thống năng lượng có thể chuyển đổi đầu vào thành đầu ra. Carmo và cộng sự đã giải quyết vấn đề xếp hạng các hệ thống sản phẩm khi xem xét Đánh giá tính bền vững vòng đời (LCSA) không chắc chắn [57]. Các tác giả đã thực hiện phân tích độ nhạy bằng các phương pháp MCDA được chọn, cụ thể là Tổng trọng số, AHP, TOPSIS và Phương pháp tổ chức xếp hạng ưu tiên để làm giàu đánh giá (PROMETHEE) II, và so sánh các kết quả thu được. Asif và Chen tập trung vào việc phát triển một hệ thống để giảm phát thải khí từ quá trình khai thác [58]. Kết hợp các phương pháp AHP và PROMETHEE để đánh giá đa tiêu chí

và mô phỏng Monte Carlo cho phân phối xác suất của trọng số tiêu chí cho phép xác định một phương pháp đáng tin cậy để lựa chọn các giải pháp kiểm soát ô nhiễm không khí. Dabous và cộng sự đã trình bày một khuôn khổ hỗ trợ quyết định đa tiêu chí để đánh giá các đoạn mặt đường được thúc đẩy bởi một phương pháp tiếp cận có tính bền vững [59]. Phân tích độ nhạy được áp dụng trong nghiên cứu dựa trên việc thay đổi trọng số tiêu chí. Các tác giả chỉ ra rằng phương pháp này nhằm mục đích hiểu mức độ thay đổi trong các yếu tố quyết định có thể ảnh hưởng đến các kết quả liên quan đến quyết định được đề xuất. Lin và cộng sự đã đề xuất một phương pháp lập bản đồ rủi ro môi trường về ô nhiễm mô uzani bỏ hoang tiềm ẩn [60]. Để kiểm tra tính vững chắc của các kết quả, các tác giả đã sử dụng phương pháp One At A Time (OAT) để điều chỉnh dần các trọng số tiêu chí tiếp theo.

2.4.1.2. Các vấn đề quyết định của hệ thống thông tin địa lý.

Lĩnh vực thứ hai được xác định trong đó các mô hình quyết định với các bài kiểm tra phân tích độ nhạy được sử dụng nhiều nhất là Hệ thống thông tin địa lý. Bởi



Hình 3. Phân bố của: (A) lĩnh vực nghiên cứu; (B) loại ứng dụng phân tích độ nhảy trong 250 bài báo khoa học được đánh giá.

Sử dụng các phương pháp MCDA cho các vấn đề GIS, có thể xác định các vị trí được chứng minh là lựa chọn thỏa đáng nhất cho các vấn đề nhất định. Matos và cộng sự đã hướng tới giải quyết vấn đề lựa chọn các bể chứa năng lượng khí nén phù hợp nhất [61]. Để đạt được mục đích này, phương pháp Trọng số cộng tính đơn giản (SAW) đã được sử dụng để đánh giá các vị trí liên quan đến tính hấp dẫn của chúng. Để kiểm tra tính mạnh mẽ của các giải pháp, các giá trị trọng số tiêu chí đã được sửa đổi bằng cách cung cấp phần trăm sửa đổi với bước thay đổi 5%. Ghorbanzadeh và cộng sự đã sử dụng Quy trình mạng phân tích (ANP) để phân tích độ nhảy và độ không chắc chắn dựa trên GIS của một vấn đề đánh giá rủi ro [49]. Các tác giả đã quyết định sử dụng mô phỏng Monte Carlo và Phân tích độ nhạy toàn cầu (GSA) và cụ thể hơn là phương pháp dựa trên phương sai để kiểm tra xem có thể đạt được bất kỳ cải thiện nào về độ chính xác hay không bằng cách thay đổi trọng số tiêu chí thu được từ phương pháp ANP. Mặt khác, de Brito và cộng sự đã xác định một mô hình MCDA cho tình trạng dễ bị tổn thương do lũ lụt [62]. Bằng cách áp dụng các thay đổi trong giá trị trọng số tiêu chí, các tác giả muốn chỉ ra các yếu tố dễ bị tổn thương nhạy cảm nhất với các thay đổi trọng số và gây ra sự khác biệt trong xếp hạng. Ayyildiz và cộng sự đã hướng nghiên cứu của họ vào việc tích hợp các phương pháp AHP và Đánh giá tổng tích có trọng số (WASPAS) với số mở Pythagore để giải quyết vấn đề lựa chọn địa điểm trại tị nạn ở Istanbul [63].

Phân tích độ nhạy được sử dụng bằng cách thay đổi trọng số tiêu chí chính để quan sát những thay đổi tiềm ẩn trong thứ hạng của các phương án thay thế. Ding và cộng sự đã áp dụng phương pháp Fuzzy AHP và Fuzzy TOPSIS để lựa chọn vị trí của trung tâm cuộc gọi trong ngành di động [64]. Giá trị của trọng số toàn cục và cục bộ đã được điều chỉnh để chỉ ra tính ổn định của mô hình. Gao và cộng sự đã xác định khuôn khổ ra quyết định đa tiêu chí cho việc lựa chọn địa điểm dự án quang điện trên mái nhà quy mô lớn bằng phương pháp SAW mở trực quan và TOPSIS mở trực quan [65].

Phân tích độ nhạy tập trung vào việc đánh giá thái độ rủi ro của Người ra quyết định (DM) và được thực hiện trong ba kịch bản: (1) thay đổi giá trị của tham số từ 1 đến 10, (2) thay đổi giá trị của từ 0 đến 1, (3) và thay đổi giá trị của tham số từ 0 đến 1.

Tất cả các yếu tố được sử dụng trực tiếp trong hàm triển vọng để điều chỉnh hiệu suất của mô hình. Wang và Dang sử dụng DEA, Fuzzy AHP và Fuzzy WASPAS để tối ưu hóa vị trí các nhà máy điện gió [66]. Dựa trên mức độ đáng kể của các tiêu chí từ phương pháp Fuzzy AHP, năm tiêu chí quan trọng nhất đã được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của việc điều chỉnh trọng số theo $\pm 10\%$, 20% và 30% . Wu và cộng sự đã trình bày một khuôn khổ quyết định để lựa chọn địa điểm nhà máy điện gió ngoài khơi [67]. Bằng cách sử dụng phương pháp Promethee mở trực quan và mô hình hóa

Thái độ của DM đối với sự không chắc chắn được thể hiện bởi tham số này, cho phép đánh giá các biến thể quyết định đã xem xét và chỉ ra tính vững chắc của kết quả. Pamučar và cộng sự đã hướng nghiên cứu của họ vào việc lựa chọn vị trí trung tâm hậu cần [68]. Vì mục đích này, bộ phương pháp MCDA được chọn đã được sử dụng, cụ thể là các phương pháp COPRAS, TOPSIS, VIKOR và Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE).

Nghiên cứu này nhằm chỉ ra phương pháp nào trong số các phương pháp được chọn là kỹ thuật có khả năng chống chịu tốt nhất với những thay đổi về trọng số tiêu chí.

2.4.1.3. Các vấn đề quyết định chăm sóc sức khỏe.

Lĩnh vực ứng dụng thứ ba được đề cập trong các bài báo được đánh giá lại liên quan đến các vấn đề chăm sóc sức khỏe. Từ các đánh giá ứng dụng đã thực hiện có trong tài liệu, có thể thấy rằng các hệ thống quyết định rất quan trọng trong lĩnh vực này vì chúng có thể cải thiện đáng kể chất lượng và độ tin cậy của các lựa chọn [69,70]. Wang và cộng sự đã đề xuất một phương pháp phân kỳ Jensen-Shannon trực giác mở có giá trị khoảng và áp dụng nó trong chẩn đoán y tế [71]. Kỹ thuật phân tích độ nhạy đã xem xét mức độ sai số của chuyên gia quyết định. Phương pháp được sử dụng dựa trên việc xác định tham số biểu thị sai số nhỏ trong ma trận quyết định, sau đó được thêm vào một trong các phương án thay thế trong ma trận quyết định, và các giá trị còn lại của các biến thể quyết định vẫn được giữ nguyên. Nó đại diện cho phương pháp OAT với việc thực hiện các thay đổi trong các giá trị thay thế. Ghorui và cộng sự đã đề xuất một mô hình để xác định các yếu tố rủi ro chủ yếu liên quan đến sự lây lan của COVID-19 bằng phương pháp MCDA mở do dự [72]. Các tác giả đã quyết định sửa đổi trọng số tiêu chí để xác định các yếu tố rủi ro quan trọng nhất theo phương pháp AHP mở.

Vấn đề liên quan đến đại dịch COVID-19 cũng đã được Ecer và Pamucar [73] giải quyết. Kỹ thuật Đo lường các phương án thay thế và Xếp hạng theo Giải pháp thỏa hiệp (MARCOS) trong môi trường trực giác mờ đã được sử dụng để xác định hiệu suất của các công ty bảo hiểm về mặt dịch vụ chăm sóc sức khỏe.

Tính ổn định của mô hình đã được kiểm tra bằng cách thay đổi trọng số tiêu chí cho các DM khác nhau với 50 kịch bản trọng số đã chuẩn bị. Hơn nữa, 50 kịch bản kiểm tra trọng số tiêu chí đã được cung cấp, đây là một phương pháp khác được sử dụng để xác minh tính mạnh mẽ của mô hình. Bài kiểm tra phân tích độ nhạy ứng dụng cuối cùng đã xem xét việc so sánh với các kỹ thuật MCDA mở trực quan khác. Looman và cộng sự đã thực hiện nghiên cứu nhằm đánh giá chương trình chăm sóc sức khỏe ban đầu cho người cao tuổi yếu ở Hà Lan [74]. Các kịch bản trọng số tiêu chí đã được so sánh về sự khác biệt trong thứ hạng thu được, trong đó các tiêu chí

Sự liên quan được xác định trong khảo sát giữa các bệnh nhân và bằng cách sử dụng phương pháp trọng số Swing đã được phân tích. Peters và cộng sự cố gắng xác định lựa chọn nguồn nước uống hấp dẫn nhất ở Tây Nam Bangladesh [75]. Mô phỏng Monte Carlo với 1000 lần chạy đã được áp dụng làm kỹ thuật phân tích độ nhạy để xác định trọng số tiêu chí từ phân phối chuẩn Gauss. Schug và cộng sự đã sử dụng phương pháp MCDA để phát triển hồ sơ hiệu quả-an toàn của thuốc giảm đau dùng cho phụ nữ được sử dụng trong điều trị đau sau phẫu thuật [76]. Ba phương pháp phân tích độ nhạy đã được áp dụng để đánh giá: (1) giá trị của điểm ưu tiên với trọng số bằng 0 được đặt vào việc tiết kiệm opioid, (2) giá trị của điểm hiệu quả được trọng số độc lập với điểm an toàn, (3) và tác động của các tiêu chí cụ thể đến hiệu suất thuốc tổng thể. Reddy và cộng sự đã sử dụng phương pháp AHP để ưu tiên các chủ đề hướng dẫn y tế công cộng [77]. Các kịch bản trọng số tiêu chí khác nhau đã được chuẩn bị để thực hiện phân tích độ nhạy nhằm chỉ ra những thay đổi trong thứ tự cuối cùng của các chủ đề. Chapple và cộng sự đã áp dụng các kỹ thuật MCDA vào việc sử dụng được lý trị liệu lâm sàng cho hội chứng bàng quang hoạt động quá mức [78].

Phân tích độ nhạy được thực hiện bằng cách chỉ thay đổi các giá trị trọng số của tiêu chí loại lợi ích từng cái một. Diaby và Goeree đã xác định hướng dẫn từng bước để đưa ra quyết định về việc hoàn trả trong chăm sóc sức khỏe [79]. Nhiều phương pháp để xác minh tính mạnh mẽ của các mô hình đã được sử dụng, ví dụ, điều chỉnh giá trị của hệ số biểu diễn yếu tố hiện thực, thay đổi trọng số của một tiêu chí trong khi điều chỉnh giá trị của các tiêu chí khác hoặc thay đổi mức độ mong muốn bằng cách sử dụng mô hình lập trình mục tiêu tuyến tính, trong số những phương pháp khác. Etim et al. đã thực hiện đánh giá MCDA về các hệ thống quản lý chất thải y tế ở Nigeria [80]. Các phương pháp AHP, Fuzzy AHP và Fuzzy TOPSIS đã được sử dụng cho mục đích này. Các tác giả đã cung cấp một bài kiểm tra phân tích độ nhạy dựa trên việc thay đổi trọng số của tiêu chí. Các giá trị trọng số được thay đổi riêng biệt giữa 0% và 100% để phản ánh sự thay đổi trọng số trong các tiêu chí khác cho phù hợp.

2.4.2. Các phương pháp phân tích độ nhạy được sử dụng trong các mô hình MCDA

Phạm vi của các phương pháp phân tích độ nhạy cũng có thể được xác định dựa trên các yếu tố dữ liệu ban đầu bị biến đổi. Việc lựa chọn các yếu tố nhất định và việc biến đổi chúng có thể ảnh hưởng đến các khía cạnh khác nhau của đánh giá đa tiêu chí. Hơn nữa, việc thực hiện các thử nghiệm như vậy có thể rút ra nhiều kết luận khác nhau, cho phép thực hiện các hành động cụ thể để đưa ra những lựa chọn hợp lý nhất.

2.4.2.1. Sửa đổi trọng số tiêu chí.

Xét về các phương pháp được sử dụng để phân tích độ nhạy của các giải pháp trong các nghiên cứu được đưa vào tổng quan, có thể thấy một lĩnh vực nổi bật chiếm ưu thế. Phần lớn công trình chủ yếu tập trung vào việc phân tích tính vững chắc của các mô hình quyết định trước những thay đổi về giá trị của các trọng số tiêu chí được xác định là đầu vào trong các phép tính.

Sử dụng phương pháp này trong các nghiên cứu về độ ổn định của mô hình cho phép xác định tác động của những thay đổi về mức độ liên quan của các tham số quyết định đối với những thay đổi tiềm ẩn trong vị trí xếp hạng của các biến thể quyết định đang được xem xét. Việc mô hình hóa mức độ liên quan của các trọng số tiêu chí cũng giúp thu thập thông tin về các mối quan hệ mới nổi giữa các tiêu chí. Mặc dù sử dụng phương pháp nghiên cứu để phân tích độ nhạy từ một lĩnh vực, các phương pháp tiếp cận đối với các bài kiểm tra cụ thể về tính mạnh mẽ của các giải pháp đối với sự thay đổi do các nhà nghiên cứu có công trình được đưa vào bài đánh giá đề xuất lại rất đa dạng. Devenci tập trung vào việc lựa chọn vị trí lưu trữ hydro dưới lòng đất [81]. Để khám phá tác động của việc thay đổi trọng số tiêu chí, tác giả đã thay đổi các trọng số tiêu chí tiếp theo từ 0,1 thành 1,0 trong khi các trọng số khác vẫn giữ nguyên.

Yazdani và cộng sự đã xác định một khuôn khổ hỗ trợ quyết định cho việc đánh giá hệ thống vận tải hàng hóa bền vững [82]. Phương pháp sử dụng các trọng số tiêu chí khác nhau đã xem xét việc tạo ra 45 kịch bản khác nhau, trong đó ba nhóm riêng biệt được xác định là trọng số tiêu chí được tăng lần lượt 25%, 65% và 100%. Vì chỉ có một giá trị trọng số tiêu chí được tăng tại một thời điểm, nên các giá trị trọng số còn lại được giảm 35%. Chang và cộng sự đã phát triển một mô hình để lựa chọn kế hoạch khẩn cấp bằng cách sử dụng Nhóm Đa Tiêu chí Mơ Trục quan

Tiếp cận ra quyết định [83]. Các tác giả đã trình bày hai cách mô hình hóa trọng số tiêu chí. Thứ nhất, giá trị trọng số được tăng lên 30%. Thứ hai, các giá trị đó được giảm đi 60%. Mỗi lần, một giá trị trọng số tiêu chí được sửa đổi. Do đó, cần phải điều chỉnh các trọng số tiêu chí còn lại để đáp ứng yêu cầu tổng trọng số bằng 1. Nó đã tạo ra 24 thí nghiệm để tiến hành và các thứ hạng thu được đã được so sánh về sự khác biệt đã xảy ra. Xu và Dong đã tiến hành đánh giá toàn diện về các hệ thống sản xuất amoniac bền vững [84]. Các tác giả đã xem xét 12 yếu tố quyết định và chỉ định lại các trọng số ban đầu bằng nhau cho các tiêu chí tiếp theo với giá trị là 0,23 và các trọng số còn lại được đặt với các giá trị bằng nhau là 0,07. Một cách tiếp cận tương tự về kiểm tra phân tích độ nhạy đã được Panchal và cộng sự sử dụng để lựa chọn đầu bền vững cho sản xuất sạch hơn trong các ngành công nghiệp dúc của Ấn Độ [85]. Giá trị trọng số tương ứng với hệ số phát thải được đặt thành 0,60, trong khi các trọng số tiêu chí khác được đưa ra các trọng số bằng nhau. Hơn nữa, các tác giả đã sử dụng cùng một phương pháp để mô hình hóa tiêu chí phụ cụ thể bằng cách điều chỉnh giá trị của các tiêu chí phụ còn lại. Dogan đã đề cập đến nghiên cứu về việc lựa chọn công nghệ khai thác quy trình bằng phương pháp Fuzzy AHP [86]. Trong phần phân tích độ nhạy, trọng số của mỗi tiêu chí được thay đổi từ 0 thành 1 với bước 0,1.

Các trọng số tiêu chí khác được chỉ định theo tỷ lệ với tầm quan trọng ban đầu của chúng để đáp ứng điều kiện tổng bằng 1. Hashemizadeh và cộng sự đã đề xuất một mô hình quyết định để đánh giá rủi ro đầu tư năng lượng tái tạo tại các quốc gia tham gia sáng kiến Vành đai và Con Đường [87]. Để thực hiện kiểm tra độ mạnh của kết quả, các tác giả đã sử dụng một phương pháp dựa trên việc sửa đổi trọng số tiêu chí từng cái một theo 10%, 20% và 50%. Maliene và cộng sự đã chỉ đạo nghiên cứu của họ để kiểm tra sự phân tán của các giá trị tầm quan trọng tương đối góp phần vào sự không chắc chắn về thứ hạng dựa trên vấn đề khả năng chi trả nhà ở thực tế [88]. Trong phương pháp đề xuất đầu tiên để xác minh độ mạnh của kết quả, các tác giả đã mô hình hóa những thay đổi nhỏ (5%) và lớn (50%) trong trọng số tiêu chí bằng cách tăng và giảm giá trị trong khi giữ nguyên các trọng số còn lại. Phương pháp thứ hai xác định tiêu chí quan trọng nhất dựa trên sự thay đổi tương đối nhỏ nhất về phần trăm được quan sát thấy trong khi so sánh thứ hạng cho các thay đổi trọng số tiêu chí tiếp theo. Kechagias và cộng sự đã đánh giá hoạt động chuỗi cung ứng bằng các phương pháp AHP và PROMETHEE [89]. Các tác giả đã sử dụng 10 kịch bản khác nhau để đánh giá trọng số tiêu chí nhằm phân tích những khác biệt tiềm ẩn trong kết quả.

Một cách tiếp cận tương tự đã được nhiều nhà nghiên cứu sử dụng, ví dụ như Fuentes và Vervoort, trong đó họ sử dụng 7 kịch bản [90], Pagone và cộng sự với 4 phân phối trọng số khác nhau [91], Russo và cộng sự với 24 cấu hình trọng số khác nhau [92] và Agboola và cộng sự với 9 kịch bản cho trọng số tiêu chí đã được áp dụng [93].

2.4.2.2. Sửa đổi giá trị thay thế.

Phương pháp thứ hai, nổi bật về số lượng ứng dụng trong nghiên cứu, là thao tác dữ liệu trên các giá trị đại diện cho đặc điểm của các phương án so với các tiêu chí trong bài toán. Phương pháp này cung cấp cái nhìn sâu sắc về tác động của việc sửa đổi các giá trị xác định các biến thể quyết định lên tính hấp dẫn của chúng. Trái ngược với phương pháp đầu tiên, được sử dụng phổ biến nhất trong các bài báo được đưa vào tổng quan, việc mô hình hóa các giá trị của các phương án sử dụng giả định về các sửa đổi được thực hiện trong các giá trị của ma trận quyết định thay vì trong các giá trị của

các trọng số tiêu chí mô tả mức độ liên quan của các tiêu chí quyết định trong quá trình đánh giá. Điều quan trọng là phải chỉ ra rằng việc sửa đổi giá trị của các phương án thay thế có thể thể hiện hiệu quả đạt được khi đàm phán các điều khoản hợp đồng hoặc lựa chọn thông số kỹ thuật sản phẩm với các thông số khác, trong số những thông số khác. Điều này giúp chỉ ra thứ tự cường độ cần đạt được đối với một biến thể quyết định nhất định và các giá trị mô tả nó so với các tiêu chí nhất định để được phân loại là hấp dẫn hơn hay kém hấp dẫn hơn. Trong các nghiên cứu được xem xét trong bài đánh giá, các tác giả đã sử dụng các phương pháp tiếp cận khác nhau để có được kết quả về độ tin cậy của kết quả đối với sự thay đổi. Feizi và cộng sự đã đề xuất một khuôn khổ để đánh giá các biện pháp hiệu suất giao thông đa diện cho các thành phố thông minh [94].

Bên cạnh việc kiểm tra tác động của việc thay đổi trọng số tiêu chí đơn lẻ trong

kết quả mô hình, các tác giả quyết định sử dụng phân tích độ nhạy với một giá trị đo hiệu suất duy nhất để kiểm tra sự không chắc chắn của giá trị định lượng của các phương án thay thế riêng lẻ trong mỗi tiêu chí. Humphries Choptiany và Pelot đã xác định một mô hình MCDA được tích hợp với khuôn khổ đánh giá rủi ro cho việc thu giữ và lưu trữ carbon [95]. Các tác giả quyết định áp dụng phân tích độ nhạy khi xem xét việc sửa đổi giá trị tiêu chí, cho thấy rằng nó cung cấp thêm kiến thức cho những người ra quyết định về tính mạnh mẽ của kết quả đối với các yếu tố bên ngoài. Trong phương pháp được trình bày, mỗi giá trị tiêu chí được sửa đổi $\pm 10\%$ giá trị trung bình của nó. Hơn nữa, mô phỏng Monte Carlo đã được sử dụng để khám phá tác động của phân phối xác suất của các giá trị tiêu chí đối với khả năng tồn tại tổng thể của các phương án thay thế. Maréchal và cộng sự đã hướng nghiên cứu của họ tới Managed Aquifer Recharge (MAR) [96].

Để kiểm tra tính ổn định của mô hình, các tác giả đã lên kế hoạch thử nghiệm theo phương pháp này bằng cách sử dụng tỷ lệ biến thiên của một yếu tố liên quan đến biến thiên của một yếu tố khác. Phân tích độ nhạy của chi phí bình quân hóa của sơ đồ MAR đã được tính toán cho tất cả các tham số đầu vào. Elavarasan và cộng sự đã sử dụng mô hình MCDA dựa trên các phương pháp Fuzzy AHP và Fuzzy TOPSIS để đánh giá việc quản lý tải trọng phía cầu dựa trên sự hài lòng của người dùng cho một tòa nhà công nghiệp [97]. Hai yếu tố tiêu chí quan trọng đã được xác định, từ đó phương pháp phân tích độ nhạy sử dụng việc sửa đổi các giá trị thay thế liên quan đến các tiêu chí đã cho đã được thực hiện. Mô phỏng HOMER đã được sử dụng cho mục đích này. Các giá trị bức xạ mặt trời được điều chỉnh từ 4,90 đến 5,10, và các giá trị nhu cầu tải dao động từ 278 đến 320. Manikkawahandi và cộng sự

đã giải quyết vấn đề mở rộng hệ thống hồ chứa đã năng Mahaweli ở Sri Lanka [98]. Các phương pháp MAVT và ELECTRE III đã được sử dụng để xác định mô hình quyết định. Các tác giả đã áp dụng phương pháp phân tích độ nhạy dựa trên việc kiểm tra cả hiệu suất thuộc tính và trọng số của người ra quyết định. Vì mục đích này, 1000 lần chạy mô phỏng Monte Carlo đã được thực hiện bằng cách thay đổi $\pm 20\%$ giá trị hiệu suất thuộc tính và trọng số tiêu chí. Alinezhad và cộng sự đã kiểm tra phân tích độ nhạy của phương pháp SAW [99]. Các tác giả đã đề xuất một phương pháp mới để phân tích độ nhạy của các vấn đề MCDA dựa trên việc thay đổi một phần tử của ma trận quyết định và nhấn mạnh rằng kỹ thuật được đề xuất cho phép xác định những thay đổi trong kết quả của một vấn đề quyết định. Các ví dụ đã đề cập cho thấy rằng các kỹ thuật phân tích khác nhau có thể được sử dụng để sửa đổi các giá trị thuộc tính và có thể tạo ra các kết quả mà từ đó có thể trích xuất thêm kiến thức để cung cấp cái nhìn toàn diện về vấn đề cho người ra quyết định.

Hơn nữa, nó dẫn đến việc đưa ra quyết định có ý thức hơn, tính đến những thay đổi tiềm ẩn do tính không chắc chắn của các đặc điểm của các biến thể quyết định.

2.4.3. Phân tích các chỉ tiêu khoa học và cấu trúc kết nối

Dựa trên các bài báo được đưa vào tổng quan, 20 bài báo được trích dẫn nhiều nhất được trình bày trong Bảng 1, cùng với số lần trích dẫn của các bài báo, phương pháp luận được sử dụng trong nghiên cứu, cách tiếp cận phân tích độ nhạy được sử dụng, vấn đề quyết định được giải quyết, năm xuất bản và tài liệu tham khảo đến bài báo. Điều đáng chú ý là hơn một nửa số bài báo được trình bày trong tổng quan, cụ thể hơn là 11 bài báo, được dành riêng để sửa đổi trọng số tiêu chí. Hai trong số các nghiên cứu phổ biến nhất đã xem xét việc so sánh hiệu suất của các phương pháp MCDA trong một vấn đề nhất định. Đối lại, 5 nghiên cứu tập trung vào việc sửa đổi các tham số của các phương pháp được sử dụng để đánh giá các biến thể ra quyết định. Ngược lại, khi phân tích các vấn đề thực tế được giải quyết, các công trình nghiên cứu chủ yếu hướng đến việc lựa chọn nhà cung cấp, lựa chọn địa điểm trạm năng lượng tái tạo, đánh giá rủi ro hoặc đánh giá chất lượng hoạt động kinh doanh. Điều này chứng minh phạm vi rộng lớn của các ứng dụng thực tế của các mô hình ra quyết định sử dụng nghiên cứu phân tích độ nhạy và nhấn mạnh tính phổ biến và tính phù hợp của nghiên cứu này trong số các đối tượng học thuật.

Để trình bày mối liên hệ giữa phạm vi các công trình được xem xét trong bài tổng quan đã thực hiện, công cụ VOS Viewer đã được sử dụng để tạo biểu đồ kết nối. Dữ liệu văn bản đã được phân tích, có tính đến các từ trong tóm tắt, từ khóa và tiêu đề của bài báo.

Các tác phẩm từ các bài báo đã được đánh giá. Ngưỡng ban đầu được thiết lập liên quan đến số lần xuất hiện của các từ tiếp theo bằng 20 lần xuất hiện. Kết quả là thu được mạng lưới gồm 79 nút với 4 cụm riêng biệt. Tuy nhiên, một số nút được xác định trong mạng lưới mang tính tổng quát và không đề cập đến chủ đề nghiên cứu hoặc cách thức tiến hành nghiên cứu phân tích độ nhạy. Vì mục đích này, 11 nút đã được loại bỏ khỏi mạng lưới, cụ thể là các nút đại diện cho các từ: thời gian, Thổ Nhĩ Kỳ, tiểu thuyết, sử dụng, thuật ngữ, tập hợp, bổ sung, nghiên cứu, công việc, bài báo và dữ liệu.

Đồ thị kết nối được tạo ra được trình bày trong Hình 4. Có thể thấy rằng các nút có số lượng kết nối với các nút khác nhiều nhất là các nút đại diện cho các từ: tiêu chí, phương pháp tiếp cận, phân tích độ nhạy và mô hình. Xét các nút đại diện cho các kỹ thuật MCDA, AHP và tên đầy đủ của nó (Quy trình Phân tích Thứ bậc) được xác định là những nút có nhiều tham chiếu nhất trong nghiên cứu được xem xét.

giấy tờ. Khi các lĩnh vực của các vấn đề quyết định, tính bền vững, nhà cung cấp và GIS đã được xác định trong mạng lưới đã xác định. Mặt khác, các nút biểu thị trọng số tiêu chí, kịch bản và tiêu chí đánh giá đều hiển thị rõ ràng và có liên hệ trực tiếp với các phương pháp phân tích độ nhạy dựa trên việc điều chỉnh tầm quan trọng của tiêu chí. Dựa trên biểu đồ được trình bày, có thể thấy những nút nào đóng vai trò quan trọng nhất trong các bài báo nghiên cứu được xem xét. Hơn nữa, cần lưu ý rằng không phải tất cả các nút đều được xem xét, vì điều kiện ban đầu yêu cầu số lần xuất hiện tối thiểu là 20 trong mạng. Tất cả các nút dưới ngưỡng này đều không được đưa vào hình ảnh hóa. Vì vậy, có thể xác định các cụm từ phổ biến nhất được sử dụng trong các tác phẩm được đưa vào đánh giá, dựa trên đó có thể chỉ ra các lĩnh vực ứng dụng và phương pháp phân tích độ nhạy phổ biến nhất.

2.5. Nguy cơ sai lệch trong nghiên cứu

Điều đáng chú ý là mỗi bài báo được chọn để đánh giá đều được kiểm tra thủ công để đảm bảo rằng chúng đáp ứng các tiêu chí đưa vào. Do đó, cuối cùng, hơn 250 nghiên cứu khoa học về vấn đề ra quyết định với phân tích độ nhạy đã được xem xét. Mỗi tác phẩm được đọc đều được xem xét cẩn thận về phân tích độ nhạy, mô tả ứng dụng của nó và kết quả tính toán thu được. Cũng cần lưu ý rằng các bài báo được chọn ngẫu nhiên. Điều này có nghĩa là không có tác giả cụ thể, không có tạp chí cụ thể hoặc số lượng trích dẫn nào ảnh hưởng đến việc xem xét một bài báo nhất định trong bài đánh giá. Sau đó, miễn là các điều kiện ban đầu được đáp ứng, các nghiên cứu như vậy đã được thêm vào cơ sở dữ liệu bộ sưu tập trong trình quản lý tham chiếu Mendeley, đây là công cụ chính để quản lý mục. Do thiếu tự động hóa và cách thủ công mà các bài báo được chọn, nên có thể dự kiến sẽ có sai lệch biên trong bài đánh giá.

Tuy nhiên, việc duy trì cách tiếp cận khách quan và tính ngẫu nhiên trong việc lựa chọn công việc khiến cho sự thiên vị này trở nên nhỏ và không ảnh hưởng nhiều đến kết quả đánh giá.

2.6. Sự chắc chắn của bằng chứng

Xét đến số lượng nghiên cứu hiện có trong lĩnh vực ra quyết định sử dụng phân tích độ nhạy, việc thực hiện một đánh giá toàn diện, xem xét tất cả các nghiên cứu đã công bố là không thể. Ngoài ra, cần lưu ý rằng các bài báo nghiên cứu mới đang được phát triển liên tục, làm tăng thêm số lượng bài báo trong lĩnh vực này. Dựa trên điều này, chúng tôi đã quyết định đưa 250 bài báo nghiên cứu vào đánh giá để trình bày chính xác nhất có thể sự phân bố và cách thức áp dụng các kỹ thuật phân tích độ nhạy để kiểm tra tính vững chắc của thứ hạng. Chỉ các bài báo đáp ứng các điều kiện đưa vào mới được xem xét, giới hạn phạm vi trong một lĩnh vực trực tiếp thuộc mối quan tâm của đánh giá này. Hơn nữa, cần lưu ý rằng các bài báo đáp ứng các tiêu chí đã đặt ra sau đó được chọn ngẫu nhiên, góp phần vào tính khách quan và tăng cường tính chắc chắn và công bằng của cách các bài báo được đưa vào đánh giá. Tỷ lệ phân bố các đối tượng nghiên cứu và kỹ thuật được sử dụng trong phân tích độ nhạy

Bảng 1

20 bài báo được trích dẫn nhiều nhất trong bài đánh giá về việc áp dụng phân tích độ nhạy trong các vấn đề phân tích quyết định đa tiêu chí.

Trích dẫn	Phương pháp luận	Phương pháp phân tích độ nhạy	Vấn đề	Năm	Thảo luận giải quyết
648	MARCOS	So sánh kết quả cho 21 kịch bản trọng số	Lựa chọn nhà cung cấp bền vững trong chăm sóc sức khỏe	2020	[100]
564	TODIM	Sửa đổi giá trị tham số trong phương pháp TODIM	Lựa chọn nhà cung cấp xanh	2017	[52]
505	TOPSIS mờ	Sửa đổi giá trị tham số trong phương pháp Entropy Hệ thống cung cấp năng lượng tái tạo		2015	[101]
269	OWA, AHP	Monte Carlo và Global SA cho trọng số tiêu chí	Đánh giá mức độ không chắc chắn của bản đồ nguy cơ sạt lở đất	2014	[102]
258	AHP mờ, TOPSIS mờ	Thay thế trọng số tiêu chí đơn từ Fuzzy AHP	Quản lý thất thoát nước	2016	[55]
256	ANP mờ, DEMATEL mờ, Fuzzy TOPSIS, Có trọng số Lập trình mục tiêu	Sửa đổi tham số ảnh hưởng đến hàm mục tiêu	Lựa chọn nhà cung cấp bền vững và đáng tin cậy	2020	[103]
241	Phương pháp Tốt nhất-Tệ nhất Mờ, Fuzzy CoCoSo	Sửa đổi và các thông số ảnh hưởng đến việc tính toán chuỗi trọng số của các nhà cung cấp	Lựa chọn nhà cung cấp bền vững	2020	[104]
232	Phương pháp Tốt nhất-Tệ nhất Mờ, VIKOR mờ	Sửa đổi giá trị tham số, thay đổi trọng số tiêu chí ±20% và 30%, ba tiêu chí thử nghiệm của Wang và Triantaphyllou	Xác định chế độ hỏng hóc và các mô hình phân tích hiệu ứng	2018	[51]
230	TOPSIS mờ	Thay đổi trọng số tiêu chí tiếp theo từng cái một	Ưu tiên năng lượng tái tạo <small>các giải pháp thay thế năng lượng</small>	2017	[105]
209	MEREC, ANOM	Thay đổi số lượng các phương án thay thế và tiêu chí để tạo trọng số	Xác định phương pháp trọng số mục tiêu mới	2021	[106]
197	Hình ảnh mờ dựa trên phép chiếu chuẩn hóa VIKOR	Sửa đổi giá trị tham số trong phương pháp VIKOR	Đánh giá rủi ro của dự án xây dựng	2018	[107]
191	TOPSIS mờ loại 2 khoảng cách, VIKOR	So sánh kết quả cho sáu kịch bản trọng số tiêu chí	Đánh giá công nghệ tài chính đầu tư vào các ngân hàng châu Âu	2021	[108]
179	AHP	Thay đổi trọng số tiêu chí tiếp theo từng cái một	Mô hình hóa bản đồ khả năng chịu lũ lụt của các khu vực khô cằn	2020	[109]
172	ANP	Thay đổi trọng số tiêu chí tiếp theo từng cái một	Lập kế hoạch chính sách năng lượng tái tạo	2020	[110]
171	AHP, PROMETHEE II	Thay đổi trọng số tiêu chí tiếp theo theo ±10%, 20% và 30%	Lựa chọn địa điểm cho các trạm năng lượng gió ngoài khơi bền vững	2021	[111]
171	NHÀ PHÉ BÌNH, Pythagore Fuzzy CoCoSo	So sánh kết quả cho các phương pháp đánh giá trọng số tiêu chí khác nhau	Đánh giá ngành công nghiệp 5G	2020	[112]
169	FUCOM, MARCOS	So sánh các phương pháp MCDA khác nhau	Đánh giá nguồn nhân lực trong một Công ty Vận tải	2020	[113]
166	SAW, MOORA, VIKOR, COPRAS, CODAS, TOPSIS, D'IDEAL, MABAC, PROMETHEE, ORESTE		Lựa chọn vị trí cho trung tâm hậu cần	2018	[114]
154	AHP mờ, TOPSIS mờ	So sánh kết quả cho các kịch bản trọng số tiêu chí khác nhau	Lựa chọn nhà cung cấp xanh trong thời đại Công nghiệp 4.0	2021	[115]
146	DEMATEL mờ	So sánh kết quả bằng cách thay đổi đầu vào của trọng số cụm	Đánh giá các địa điểm du lịch sinh thái phát triển	2016	[116]

được thể hiện trong Hình 3 tương ứng trên (A) và (B) do đó nên được xử lý với một số mức độ xác suất vì không thể thực hiện được một cách tiếp cận toàn diện và xem xét tất cả các nghiên cứu có sẵn trong này khu vực. Tuy nhiên, cũng cần nhấn mạnh rằng tập hợp các ứng dụng các công cụ và phương pháp nghiên cứu được sử dụng để phát triển những điều sau đây việc xem xét tài liệu góp phần vào thiết kế có cấu trúc của nó và cách nó được đã được thực hiện. Phương pháp PRISMA đã ảnh hưởng đến việc sử dụng khuôn khổ theo đó các giai đoạn tiếp theo của quá trình đánh giá nên diễn ra, cũng như nhấn mạnh nơi cần chú ý cụ thể nên được trả tiền khi tiến hành nghiên cứu và mô tả kết quả. Điều này góp phần tăng cường sự tin cậy vào kết quả thu được.

hơn là nếu một đánh giá như vậy đã được thực hiện mà không có một định nghĩa rõ ràng khuôn khổ phương pháp luận.

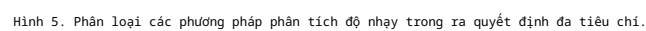
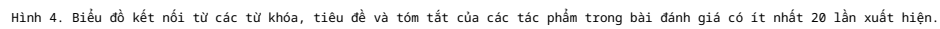
3. Phân loại phân tích độ nhạy

Dựa trên đánh giá đã thực hiện, có thể xác định được phân loại cốt lõi của các phương pháp phân tích độ nhạy được sử dụng trong các công trình nghiên cứu hướng đến các vấn đề phân tích quyết định đa tiêu chí. Phân loại đề xuất được trình bày trong Hình 5. Các danh mục chính đã được xác định và quá trình lựa chọn liên quan đến nhiều khoa học khác nhau mục đích đã được trình bày. Để chỉ ra cách thức thể loại cụ thể

của phương pháp phân tích độ nhạy ảnh hưởng đến kết quả thu được thông qua quá trình tính toán và cách chúng có thể đóng góp vào việc xác định độ tin cậy của kết quả, các danh mục đã xác định được mô tả dưới đây.

3.1. Thể loại 1 - Cách tiếp cận

Khi lập kế hoạch cho một thí nghiệm để đo lường độ mạnh mẽ của kết quả của một phân tích đa tiêu chí để thay đổi, các cách tiếp cận khác nhau có thể được sử dụng để kiểm tra những thay đổi trong các tham số đầu vào. tạo ra dữ liệu xác định những thay đổi tiềm năng trong mô hình thông tin đầu vào có thể được thực hiện ngẫu nhiên. Sau đó, chúng ta đang xử lý với phương pháp tiếp cận xác suất. Phương pháp này được đặc trưng bởi nhiều lần lặp lại quá trình tạo dữ liệu, được áp dụng trong suốt quá trình ra quyết định. Nó phản ánh một sự ngẫu nhiên nhất định có thể xảy ra trong vấn đề, trong đó mỗi lần lặp lại của nghiên cứu thể hiện khả năng của một tập dữ liệu mới và các điều kiện đánh giá tiềm năng. Các kết quả thu được với phương pháp này cho phép xác định cách tính ngẫu nhiên của dữ liệu ảnh hưởng đến sức hấp dẫn của các giải pháp được đề xuất. Sự lặp lại nhiều lần của tính toán quá trình này có thể chỉ ra với xác suất nào một cái cụ thể kết quả thu được từ nghiên cứu là có thể. Sử dụng cách tiếp cận này, nó là có thể xác minh tính ngẫu nhiên xuất hiện trong vấn đề ảnh hưởng như thế nào



J. Więckowski và W. Sałabun		Điện toán mềm ứng dụng 148 (2023) 110915	
<p>những thay đổi tiềm ẩn trong kết quả. Trong phương pháp phân tích độ nhạy xác suất trong quá trình ra quyết định, có thể sử dụng các kỹ thuật như mô phỏng Monte Carlo, phân tích dựa trên phương sai và phương pháp Bayes, cùng nhiều kỹ thuật khác.</p>		<p>Kết quả. Các kỹ thuật phân tích độ nhạy hiện có hỗ trợ cả hai lĩnh vực, do đó tính vững chắc của các kết quả đề xuất từ mô hình đa tiêu chí có thể được kiểm tra hiệu quả. Điều này không thay đổi thực tế là việc phân biệt loại dữ liệu nào cần thực hiện nghiên cứu phân tích độ nhạy là rất quan trọng, vì điều này sẽ ảnh hưởng đến việc lựa chọn các kỹ thuật phù hợp cho mục đích này.</p>	
<p>Ngược lại, nếu nghiên cứu dựa trên phương pháp đã được phát triển trước đó để thay đổi dữ liệu đầu vào và không bao gồm yếu tố ngẫu nhiên trong quá trình, có thể sử dụng các phương pháp dựa trên thay đổi giá trị xác định. Trái ngược với phương pháp xác suất, chuyên gia thực hiện phân tích phải xác định một tập hợp các giá trị cụ thể để sử dụng nhằm sửa đổi dữ liệu đầu vào. Các tổ hợp dữ liệu đã phát triển sau đó được sử dụng trong một quy trình tính toán, từ đó thu được kết quả cuối cùng.</p>		<p>3.4. Thể loại 4 - Sửa đổi tham số</p> <p>Một lĩnh vực mà chuyên gia có thể điều chỉnh các điều kiện để khám phá tính mạnh mẽ của các mô hình quyết định đối với những thay đổi trong các giá trị đầu vào là xác định các tham số cần thay đổi. Điều quan trọng là các mục tiêu của nghiên cứu phải được xác định rõ ràng để có thể lựa chọn phương pháp tiếp cận phù hợp và kỹ thuật phân tích độ nhạy phù hợp với mục đích. Khi chuyên gia muốn nghiên cứu tác động của việc thay đổi giá trị của các thuộc tính mô tả các biến thể quyết định, nên chọn một phương pháp có tính đến việc điều chỉnh các giá trị có trong ma trận quyết định được xác định cho bài toán đa tiêu chí. Phương pháp này cho phép điều chỉnh các giá trị đặc trưng cho các phương án đang phân tích để có thể chỉ ra cách thức một thay đổi tiềm ẩn trong các giá trị của các tiêu chí đã chọn ảnh hưởng đến sức hấp dẫn của phương án quyết định đó. Nó cũng cho phép mô hình hóa các biến thể đầu vào khả thi và cho phép chỉ ra mức độ thay đổi cho phép tăng hoặc giảm sức hấp dẫn của một phương án nhất định.</p>	
<p>3.2. Thể loại 2 - Phạm vi</p> <p>Phân loại các phương pháp thực hiện phân tích độ nhạy có thể được thực hiện theo phạm vi thay đổi được thực hiện. Trong tài liệu, có thể tìm thấy hai loại chính liên quan đến phạm vi thay đổi dữ liệu trong các nghiên cứu kết hợp phân tích độ nhạy theo phương pháp tiếp cận đa tiêu chí, đó là phạm vi toàn cục và phạm vi cục bộ. Loại thứ nhất dựa trên việc xem xét tất cả các tham số chính được tính đến trong bài toán quyết định. Điều này có nghĩa là mỗi yếu tố được xem xét trong bài toán đa tiêu chí được phân tích trong bối cảnh tác động của sự thay đổi giá trị của nó đến kết quả thu được. Điều này đảm bảo một cách tiếp cận toàn diện đối với vấn đề được đặt ra và hiểu được tác động của những thay đổi tiềm ẩn trong từng tham số đến kết quả. Mặt khác, nên áp dụng phương pháp tiếp cận cục bộ nếu nghiên cứu chỉ tập trung vào các yếu tố được chọn lọc, đồng thời cũng đại diện cho các tham số cấp dưới trong bài toán. Phương pháp này chỉ tính đến việc sửa đổi một nhóm các yếu tố cụ thể sao cho các giá trị tham số khác được giữ nguyên. Theo định nghĩa, việc xác định các tham số cục bộ nên giới hạn các yếu tố thành các yếu tố có thể sửa đổi được và thực sự có thể thay đổi. Trong phương pháp này, giả định rằng chuyên gia có thể xác định những yếu tố nào cần được kiểm tra để sửa đổi giá trị của chúng.</p>		<p>Khi các giá trị mô tả đặc điểm của các biến thể quyết định có trong ma trận quyết định được giữ nguyên, có thể sử dụng phương pháp tiếp cận các sửa đổi liên quan đến các tiêu chí đã xác định ảnh hưởng đến đánh giá. Trong tình huống này, một chuyên gia muốn mô hình hóa các thay đổi trong đầu vào của vấn đề đang được giải quyết có thể lựa chọn một trong hai phương pháp phản ánh các sửa đổi đối với các giá trị liên quan đến các tiêu chí. Phương pháp đầu tiên liên quan đến việc sửa đổi các giá trị của trọng số được gán cho từng tiêu chí. Quá trình này cho phép khám phá mối quan hệ giữa tầm quan trọng của một tham số cụ thể và mức độ hấp dẫn của các tùy chọn quyết định đang được xem xét. Phương pháp thay đổi các giá trị trong vectơ trọng số tiêu chí cho phép biểu diễn mức độ liên quan khác nhau của các yếu tố này trong vấn đề để có thể xác định cách mô hình được xác định sẽ phản ứng với các thay đổi trong sở thích đánh giá.</p>	
<p>Mặt khác, nếu chuyên gia không được trang bị kiến thức đó hoặc không chắc chắn về những yếu tố nào cần được xem xét, thì có thể áp dụng phương pháp tiếp cận toàn diện, cho phép xem xét các yếu tố tiếp theo trong vấn đề.</p>		<p>Một cách tiếp cận khả thi khác để điều chỉnh tập hợp các tiêu chí trong bài toán là sử dụng cơ chế loại trừ các yếu tố được chọn khỏi đánh giá đa tiêu chí. Phương pháp này bao gồm việc điều chỉnh ma trận quyết định sao cho các cột trong ma trận tương ứng với các tiêu chí bị loại khỏi bài toán cũng bị bỏ qua khi thực hiện các phép tính. Bằng cách này, có thể xác định tầm quan trọng của từng tiêu chí trong bài toán và mức độ ảnh hưởng của chúng đến sự khác biệt trong kết quả đề xuất. Việc loại trừ các tiêu chí được chỉ định khỏi bài toán cho phép mô hình hóa ý định loại trừ một yếu tố đánh giá nhất định. Ngoài ra, nó còn chỉ ra mối quan hệ giữa các tiêu chí liên quan đến đánh giá thu được từ mô hình đa tiêu chí.</p>	
<p>3.3. Thể loại 3 - Kiểu dữ liệu</p> <p>Tính toán đa tiêu chí được thực hiện trong hai lĩnh vực chính, phụ thuộc vào những bất định phát sinh trong các bài toán quyết định. Khi dữ liệu được biết chính xác, các đánh giá đa tiêu chí được thực hiện trên các số liệu rõ ràng. Mặt khác, khi bài toán có bất định, các phần mở rộng khác nhau của tập mở được sử dụng để biểu diễn dữ liệu không chắc chắn. Dựa trên hai lĩnh vực đã được xác định này, cũng có thể phân loại các phương pháp được sử dụng trong tính toán đa tiêu chí có tính đến phân tích độ nhạy của kết quả. Đối với dữ liệu đầy đủ, phương pháp mô hình hóa dữ liệu rõ ràng được sử dụng. Ngược lại, với những bất định có thể xảy ra và dữ liệu bị thiếu trong bài toán, phương pháp mờ được áp dụng.</p>		<p>3.5. Thể loại 5 - Các yếu tố đã sửa đổi</p> <p>Việc điều tra tính vững chắc của kết quả phân tích đa tiêu chí đối với sự thay đổi cũng có thể được chia theo số lượng yếu tố cần sửa đổi. Các phương pháp tiếp cận hiện có cho phép mô hình hóa các thay đổi của một hoặc nhiều tham số trong bài toán đồng thời, nhờ đó chuyên gia có thể chọn số lượng tham số và chỉ ra các yếu tố cụ thể cần sửa đổi theo cách xác định và có kế hoạch. Đối với các phương pháp dựa trên việc sửa đổi giá trị của từng phần tử, nên sử dụng kỹ thuật Lần lượt từng phần tử (OAT). Chúng cũng được gọi bằng một tên khác, cụ thể là Lần lượt từng phần tử (OFAT). Hai thuật ngữ này có thể được sử dụng thay thế cho nhau và đề cập đến các tình huống trong đó một tham số duy nhất từ bài toán quyết định do chuyên gia lựa chọn bị sửa đổi. Một quy trình như vậy nhằm xem xét tác động của những thay đổi đối với một</p>	

một tham số có thể được lặp lại nhiều lần, có tính đến việc sửa đổi các tham số tiếp theo được chỉ ra trong bài toán để có thể biết được kết quả tiềm năng và sức hấp dẫn của các lựa chọn quyết định với các sửa đổi đã lên kế hoạch.

Phương pháp OAT giả định việc điều chỉnh một tham số duy nhất trong một nghiên cứu duy nhất. Nếu chuyên gia cân nhắc khả năng điều chỉnh giá trị của nhiều yếu tố, nên sử dụng các kỹ thuật khác để chọn tập hợp các tham số cần thay đổi. Nếu nghiên cứu bao gồm việc điều chỉnh giá trị của tất cả các yếu tố trong bài toán cùng một lúc, nên sử dụng phương pháp Tất cả cùng một lúc (AAT). Mặt khác, nếu chỉ điều chỉnh giá trị của một tập hợp các tham số được chọn, nên sử dụng phương pháp Nhiều cùng một lúc (MAT). Phương pháp sau cho phép linh hoạt trong việc xác định các tập hợp tham số cần điều chỉnh, cho phép chuyên gia chuẩn bị nghiên cứu dựa trên nhiều tập hợp đã xác định.

Nó cho phép các kết quả tiềm năng và tác động của những thay đổi trong các giá trị tham số từ các tập hợp riêng lẻ đối với việc đánh giá các biến thể quyết định được được biết đến.

3.6. Thể loại 6 - So sánh kỹ thuật

Do sự sẵn có của nhiều kỹ thuật được phát triển trong việc ra quyết định đa tiêu chí, nhiều kỹ thuật khác nhau có thể được sử dụng để thiết kế các mô hình ra quyết định. Các kỹ thuật này được phát triển dựa trên các giả định và phép biến đổi toán học riêng biệt, và do đó, kết quả của chúng có thể khác nhau đáng kể. Điều này đặt ra một vấn đề và thách thức cho các chuyên gia trong việc lựa chọn các kỹ thuật này sao cho kết quả thu được là đáng tin cậy. Dựa trên sự sẵn có của nhiều phương pháp có thể được sử dụng trong mô hình hóa đa tiêu chí, có thể xác định các phương pháp khác nhau để nghiên cứu phân tích độ nhạy của các kết quả được đề xuất.

Khi lập kế hoạch nghiên cứu về tính bền vững của kết quả trước những thay đổi và nhằm mục đích kiểm tra tác động của các kỹ thuật khác nhau làm thay đổi dữ liệu đầu vào trong một bài toán quyết định, có thể sử dụng các phương pháp khác nhau để xác định trọng số tiêu chí và chuẩn hóa dữ liệu. Phương pháp đầu tiên dựa trên các phương pháp trọng số cho phép lựa chọn một tập hợp các phương pháp xác định trọng số bằng một phương pháp khác.

Nó cho phép xác định kết quả của mô hình theo tầm quan trọng khác nhau của từng tiêu chí trong bài toán. Các kết quả thu được sau đó có thể được so sánh với nhau để ghi nhận những khác biệt tiềm ẩn phát sinh từ các kịch bản khác nhau. Chuyên gia có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để xác định trọng số một cách khách quan (Equal, Entropy, Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC), và Integrated Determination of Objective Criteria Weight (IDOCRIW), cùng nhiều phương pháp khác) và chủ quan (ví dụ: Analytical Hierarchy Process (AHP), Ranking Comparison (RANCOM), Full Consistency Method (FUCOM), và Kemeny Median Indicator Ranks Accordance (KEMIRA)). Trong trường hợp chuẩn hóa, chuyên gia có thể chọn kỹ thuật sẽ được sử dụng để chuẩn hóa dữ liệu trong ma trận quyết định khi bắt đầu tính toán mô hình. Do sự tồn tại của các chuẩn hóa khác nhau-

Do các kỹ thuật chuẩn hóa và sự khác biệt rõ ràng giữa ảnh hưởng của chúng đến kết quả thu được, lựa chọn này có tác động quan trọng đến kết quả đề xuất. Các phương pháp như chuẩn hóa Sum, Min-Max, Vector, Linear hoặc Max, cùng nhiều phương pháp khác, có thể được sử dụng để thực hiện chuẩn hóa dữ liệu.

Khi phân tích độ nhạy nhằm mục đích bao gồm tính mạnh mẽ của kết quả đối với những thay đổi trong các số liệu được sử dụng trong từng phương pháp MCDA, thì có thể sử dụng hai nhóm kỹ thuật để thay đổi cách tiếp cận khi tính toán kết quả. Một là số liệu khoảng cách, được sử dụng trong nhiều phương pháp để định lượng sự khác biệt giữa các biến thể quyết định nhất định. Một chuyên gia có thể lập kế hoạch khám phá tính ổn định của kết quả đối với những thay đổi trong các số liệu được sử dụng trong quy trình của phương pháp, sau đó so sánh kết quả và xác định xem những thay đổi này có ảnh hưởng đến thứ hạng được đề xuất hay không. Các số liệu như khoảng cách Euclidean, khoảng cách Hamming, hoặc khoảng cách đỉnh, cùng một số số liệu khác, có thể được sử dụng. Mặt khác, nhóm kỹ thuật thứ hai là các số liệu cho phép tính toán các giá trị rõ ràng từ các số mờ. Chúng chỉ áp dụng cho các phương pháp MCDA mờ, sử dụng dữ liệu dưới dạng tập mờ trong

Các phép tính và sau đó chuyển đổi các giá trị này thành số chính xác khi tính toán kết quả cuối cùng. Hiệu suất của các phương pháp MCDA mờ cũng khác biệt đáng kể khi kết hợp với các hàm điểm khác nhau, do đó việc lựa chọn chúng cũng ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả phân tích ra quyết định. Trong môi trường không chắc chắn dựa trên Số Mờ Tam Giác (TFN), người ta có thể lựa chọn các kỹ thuật như phương pháp giải mờ Trung bình, Diện tích Trung bình hoặc Trung bình có trọng số.

Mặt khác, trong lĩnh vực Số mờ trực quan (IFS), các phương pháp như điểm Chen, Kharal, Thakur hoặc Wei chẳng hạn đều khả dụng.

Một chuyên gia đang lập kế hoạch nghiên cứu phân tích độ nhạy của các mô hình đa tiêu chí có thể sử dụng thêm hai phương pháp không làm thay đổi giá trị của dữ liệu đầu vào và không thay đổi loại số liệu được sử dụng trong phép tính bằng phương pháp MCDA. Một trong những phương pháp đó là sửa đổi các tham số cụ thể cho các phương pháp được chọn từ trường MCDA. Một phương pháp như vậy là phương pháp VIKOR, sử dụng tham số này. Giá trị của nó quyết định cách tính toán các ưu tiên trong giai đoạn cuối của phép tính. Theo mặc định, giá trị của tham số này được đề xuất đặt là 0,5. Tuy nhiên, nó hoàn toàn có thể điều chỉnh được và việc thay đổi giá trị này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả thu được. Một kỹ thuật khác dựa trên giá trị được chỉ định rõ ràng cho các tham số phương pháp là, ví dụ, phương pháp TODIM, với các phép tính dựa trên giá trị của tham số. Có thể thực hiện một nghiên cứu trong đó giá trị của tham số phương pháp được sửa đổi và tác động của sự thay đổi này được quan sát thấy trong kết quả của mô hình quyết định. Một biến thể khác của nghiên cứu độ bền

vững là sử dụng nhiều phương pháp MCDA cho bài toán quyết định được chỉ định. Do sự khác biệt trong các giả định của các phương pháp này và các cách tiếp cận khác nhau đối với các phép biến đổi được thực hiện trong các bước tính toán tiếp theo, kết quả của các phương pháp này có thể khác nhau đáng kể. Điều này gây khó khăn cho việc chỉ ra nên sử dụng phương pháp MCDA nào cho một bài toán nhất định. Do đó, có thể sử dụng nhiều kỹ thuật để giải một bài toán duy nhất để xem liệu các sở thích lựa chọn khác nhau có xuất hiện hay không và chúng khác nhau mạnh đến mức nào. Các phương pháp như Đánh giá Tỷ lệ Cộng (ARAS), Đánh giá dựa trên Khoảng cách từ Giải pháp Trung bình (EDAS), Đánh giá Tỷ lệ Phục tạp (COPRAS), Phương pháp Đối tượng Đặc trưng (COMET), Sắp xếp Ưu tiên Ổn định Hướng tới Giải pháp Lý tưởng (SPOTIS), hoặc Kỹ thuật Sắp xếp Ưu tiên theo Độ tương đồng với Giải pháp Lý tưởng (TOPSIS), cùng nhiều phương pháp khác, có sẵn cho chuyên gia.

Việc lựa chọn một tập hợp các phương pháp và giải quyết một bài toán nhất định bằng cách sử dụng chúng có thể cho thấy giải pháp nào là lựa chọn ưu tiên nhất. Ngoài ra, cần lưu ý rằng việc áp dụng các phương pháp tính toán khác nhau sẽ thu được nhiều vectơ kết quả. Điều này, đến lượt nó, cho phép sử dụng các phương pháp để xác định thứ hạng thỏa hiệp, từ đó tạo ra một thứ hạng chung, có tính đến kết quả từ các phương pháp khác nhau.

Dựa trên các danh mục phân đoạn đã xác định của các phương pháp phân tích độ nhạy trong các bài toán quyết định, chuyên gia có thể xác định các lĩnh vực cần được đưa vào nghiên cứu. Sử dụng phân loại được chỉ ra trong sơ đồ ở Hình 5, việc lựa chọn các kỹ thuật và phương pháp để phân tích độ nhạy của các giải pháp mô hình quyết định có thể được thực hiện một cách có cấu trúc và có sơ đồ. Ngoài ra, dựa trên điều này, chuyên gia có thể đưa ra lựa chọn có ý thức hơn về cách kiểm tra tính vững chắc của kết quả đối với sự thay đổi nhờ khả năng so sánh các phương pháp hiện có và lựa chọn một giải pháp chuyên biệt cho bài toán quyết định được đặt ra.

Việc xem xét lại các công trình nghiên cứu chuyên sâu về các vấn đề ra quyết định với phân tích độ nhạy đã xác định được các phương pháp tiếp cận phổ biến nhất được sử dụng trong lĩnh vực này. Các phương pháp này được trình bày trong Bảng 2, trong đó có năm phương pháp được phân loại theo các danh mục được thể hiện trong sơ đồ Hình 5. Có thể thấy rằng trong một số lĩnh vực, không phải tất cả các danh mục đều có các kỹ thuật được chỉ ra tương ứng với phương pháp phân tích độ nhạy được sử dụng để tạo ra kết quả. Điều này được quyết định bởi thực tế là một số phương pháp tiếp cận loại trừ lẫn nhau, do đó việc chọn một kỹ thuật từ một danh mục sẽ loại trừ khả năng chọn một kỹ thuật từ danh mục khác. Trong Bảng 2, điều này xảy ra trong trường hợp

Bảng 2

Xác định các lớp phương pháp phân tích độ nhạy phổ biến nhất trong Phân tích quyết định đa tiêu chí.

Lớp học	Thế loại					
	1	2	3	4	5	6
1	Xác suất	Toàn cầu	giòn	Ma trận quyết định	-	-
2	Xác suất	Toàn cầu/Địa phương	Sắc nét/Mờ	Tiêu chí trọng số	-	-
3	xác định	Toàn cầu	giòn	Tiêu chí trọng số	Từng cái một	Phương pháp cân nhắc
4	xác định	-	Sắc nét/Mờ	-	-	Phương pháp MCDA
5	xác định	Toàn cầu	Sắc nét/Mờ	Ma trận quyết định	-	Chuẩn hóa

a Chỉ ra rằng hai cách tiếp cận được liệt kê có thể được sử dụng thay thế cho nhau.

của các lớp dựa trên phương pháp xác suất, trong đó lựa chọn của kỹ thuật này ngăn cản việc lựa chọn các kỹ thuật từ danh mục 6 về kỹ thuật so sánh từ việc được xác định. Ngược lại, trong trường hợp của lớp 4, trong đó phương pháp tiếp cận xác định đối với phương pháp MCDA so sánh được xác định, việc lựa chọn các phần tử trong danh mục 4 về sửa đổi tham số hoặc trong danh mục 5 về các phần tử đã sửa đổi không thể được được chỉ định. Đáng chú ý, các lớp được xác định chủ yếu tập trung vào các sửa đổi liên quan đến các giá trị của trọng số tiêu chí. Hai trong số các cách tiếp cận cũng cho phép thao tác dữ liệu ma trận quyết định. Ngoài ra, hầu hết Các phương pháp tiếp cận cho phép sử dụng hoán đổi dữ liệu rõ ràng và dữ liệu mờ. Từ các lớp được hiển thị, có thể thấy rằng phân tích độ nhạy hiện tại các cách tiếp cận tập trung vào các vấn đề hạn chế và được lựa chọn của việc kiểm tra sự mạnh mẽ của bảng xếp hạng, do đó tạo cơ hội để phát triển những thứ mới phương pháp luận cho mục đích này.

4. Xem xét lại các khuôn khổ phân tích độ nhạy

Thông tin bổ sung quan trọng có thể được chỉ ra từ phân tích độ nhạy của kết quả thu được từ các mô hình MCDA tạo thành các khuôn khổ phát triển hướng tới việc trình bày các phương pháp tiếp cận có thể được áp dụng để kiểm tra tính vững chắc của các kết quả. Dựa trên các bước đề xuất để tiến hành phân tích độ nhạy của kết quả từ đánh giá đa tiêu chí, nó có thể trích xuất thêm kiến thức về tính mạnh mẽ và những kết quả có thể đạt được với các điều kiện ban đầu khác nhau. Hơn nữa, các khuôn khổ phát triển nhằm mục đích xác định một cấu trúc cách tiếp cận để kiểm tra độ nhạy của kết quả và tập trung vào các mục tiêu khác nhau của phân tích độ nhạy có thể giúp kiểm tra các mục tiêu khác nhau Các lĩnh vực hiệu suất của mô hình đa tiêu chí. Dựa trên các khuôn khổ được trình bày trong tài liệu, các phương pháp luận được lựa chọn đã được trình bày trong [Bảng 3](#), trong đó mục tiêu của phân tích độ nhạy, năm xuất bản, tác giả và tài liệu tham khảo cho bài nghiên cứu được trình bày. các khuôn khổ được trình bày trong [Bảng 3](#) được lựa chọn dựa trên sự sẵn có của ký hiệu chính thức và mô tả của đề xuất các phương pháp tiếp cận và xác minh phân tích độ nhạy đã xác định kỹ thuật trong các vấn đề quyết định thực tế. Hơn nữa, nghiên cứu các bài báo với phương pháp luận xác định đã được lựa chọn dựa trên đề xuất áp dụng các kỹ thuật phân tích độ nhạy vào các vấn đề đa tiêu chí nói chung. Nó có nghĩa là không xem xét các khuôn khổ nhằm mục đích chỉ hoạt động trong các điều kiện cụ thể như quyết định đa tiêu chí không gian [\[117\]](#), đa tiêu chí chăm sóc sức khỏe quyết định [\[118\]](#), và bất kỳ quyết định nào khác được chỉ đạo cụ thể và phạm vi cách tiếp cận. Có thể thấy rằng các khuôn khổ có sẵn để tiến hành phân tích độ nhạy của các kết quả thu được từ đánh giá đa tiêu chí xem xét các mục tiêu khác nhau nhằm mục đích kiểm tra tính mạnh mẽ của các kết quả khác nhau. Hơn nữa, cần chỉ ra rằng Có hai lĩnh vực hoạt động chính mà khuôn khổ được trình bày hướng đến. Các lĩnh vực này bao gồm việc điều chỉnh trọng số tiêu chí để xác định các tiêu chí quan trọng nhất và nhạy cảm nhất trong quyết định vấn đề và việc sửa đổi các giá trị của các yếu tố trong quyết định ma trận để xác định mức độ tin cậy và để bị tổn thương nhất tham số có thể gây ra những thay đổi trong đánh giá. Hơn nữa, nó có thể được thấy rằng những khu vực này tương ứng với các cách tiếp cận ứng dụng của phân tích độ nhạy được xác định trong bài đánh giá và được thể hiện trong [Hình 3\(B\)](#). Để

trình bày các giả định chính của các khuôn khổ được lựa chọn cho độ nhạy phân tích trong việc ra quyết định, ba phương pháp được trình bày trong [Bảng 3](#) được mô tả.

Các khuôn khổ được chọn cho mô tả chi tiết đã được chọn dựa trên cách tiếp cận của họ để thực hiện phân tích độ nhạy đánh giá trong các vấn đề đa tiêu chí. Nó nhằm mục đích trình bày các khuôn khổ với nhiều giả định khác nhau và nhiều kỹ thuật khác nhau có thể được sử dụng cho việc kiểm tra phân tích độ nhạy. Hơn nữa, nó cho phép cung cấp mô tả về nhiều cách tiếp cận có thể được sử dụng cho việc này mục đích và cho người đọc thấy mức độ tin cậy của kết quả có thể được xác định dựa trên các kỹ thuật khác nhau. Mỗi kỹ thuật được chọn các khuôn khổ được mô tả chi tiết đề xuất ba cách tiếp cận khác nhau cho tiến hành phân tích độ nhạy trong các vấn đề đa tiêu chí, trong đó đưa ra chín cách tiếp cận được trình bày.

4.1. Phương pháp Wolters và Mareschal

Tổng quan đầu tiên về phương pháp đề xuất cho phân tích độ nhạy trong quá trình ra quyết định xem xét khuôn khổ được trình bày bởi Wolters và Mareschal vào năm 1995 [\[123\]](#). Các tác giả đề xuất một phương pháp để thực hiện phân tích độ nhạy của việc ra quyết định đa tiêu chí dựa trên ba kỹ thuật riêng biệt. Để kiểm tra tính mạnh mẽ của kết quả, khung trình bày:

- một cách tiếp cận để đánh giá độ nhạy của thứ hạng đối với những thay đổi trong việc đánh giá tất cả các phương án thay thế liên quan đến các tiêu chí đã cho
- một cách tiếp cận để chỉ ra ảnh hưởng của những thay đổi trong điểm tiêu chí của một phương án thay thế, đại diện cho các sửa đổi trong một ma trận quyết định
- một cách tiếp cận để chỉ ra sự sửa đổi tối thiểu của trọng số cần thiết để thúc đẩy một giải pháp thay thế cho vị trí thứ nhất trong xếp hạng

Các tác giả nhấn mạnh rằng hai cách tiếp cận đầu tiên nhằm mục đích cho phép sử dụng đánh giá MCDA trong các trường hợp động, trong khi thứ ba cách tiếp cận được mô tả như một biện pháp để phân tích tổng không gian của tiêu chí trọng số. Trong cách tiếp cận được trình bày đầu tiên, các tác giả đã mô hình hóa những thay đổi tiềm năng trong hai tiêu chí đã chọn với sáu giá trị ngưỡng được xác định trước đó thể hiện sự gia tăng tiềm năng của các giá trị mô tả các phương án thay thế. Sau đó, dựa trên các tiêu chí đã chọn và ngưỡng, các giá trị trong ma trận quyết định cho tất cả các biến thể quyết định và hai tiêu chí cụ thể đó đã được sửa đổi bằng cách tăng giá trị trong các cột cùng một lúc. Có sáu giá trị ngưỡng, các tác giả đã thu được sáu ma trận quyết định khác nhau với các giá trị thay đổi trong hai các cột được chọn đại diện cho các tiêu chí đã cho. Các ma trận này là sau đó được sử dụng để thực hiện đánh giá đa tiêu chí dựa trên đó bảng xếp hạng đã được thiết lập. Thông qua cách tiếp cận này, các tác giả nhằm mục đích chỉ ra cách điểm đánh giá tiềm năng có thể thay đổi theo thời gian trên các giá trị ngưỡng được mô hình hóa tương ứng với những thay đổi tiềm ẩn trong các giá trị đặc trưng cho các biến thể quyết định. Để áp dụng kỹ thuật này trong việc phân tích tính mạnh mẽ của kết quả, những thay đổi có thể có trong các giá trị cần được biết để xác định ngưỡng.

Cách tiếp cận thứ hai được trình bày liên quan đến việc sửa đổi các giá trị tiêu chí cho một phương án thay thế được chọn. Các tác giả đã chọn 4 phương án thay thế mà các thay đổi giá trị cho 3 tiêu chí đã được thực hiện. Mục tiêu là sử dụng

Bảng 3			
Các khuôn khổ được lựa chọn để thực hiện phân tích độ nhạy của kết quả thu được từ mô hình MCDA.			
Mục tiêu phân tích độ nhạy	Năm	Tác giả	Tham khảo giải quyết
Xác định tiêu chí quan trọng nhất và giá trị quan trọng nhất trong ma trận quyết định	1997	Triantaphyllou, E., Sánchez, A.	[119]
Kiểm tra tính ổn định của giải pháp khi thay đổi trọng số tiêu chí, Tính nhất quán của kết quả dựa trên sự thay đổi của thang đo, Sự nhất quán của kết quả dựa trên những thay đổi của việc xây dựng tiêu chí	2017	Pamučar, D., Božanić, D., Randelović, A.	[68]
Xác định phương án tối ưu tiềm năng dựa trên phân tích khoảng cách cho thấy sự thống trị của các biến thể quyết định	2001	Proll, LG., Salhi, A., Rios Insua, D.	[120]
Xác định cách mô hình hóa sự không chắc chắn của các yếu tố đầu vào mô hình và trọng số tiêu chí	1999	Saltelli, A., Tarantola, S., Trần, K.	[17]
Kiểm tra độ nhạy cảm với hiện tượng đảo ngược thứ hạng với sự chuyển đổi tuyến tính của các mục tiêu, việc xây dựng lại mục tiêu có đi có lại và loại bỏ các phương án thay thế	2023	Nabavi, SR., Wang, Z., Rangaiah, GP.	[121]
Chọn một nhóm phương pháp MCDA đảm bảo kết quả mạnh mẽ nhất	2017	Haddad, M.	[122]
Kiểm tra mức độ tin cậy của các phần tử ma trận quyết định dựa trên ước tính sai số giá trị	2018	Mukhametzyanov, I., Pamučar, D.	[114]
Xác định độ nhạy của thứ hạng đối với những thay đổi trong việc đánh giá các phương án thay thế theo các tiêu chí nhất định, Ảnh hưởng của những thay đổi cụ thể trong các tiêu chí nhất định điểm số của các lựa chọn thay thế, Giá trị ngưỡng của các tiêu chí thay đổi trọng lượng để thúc đẩy một giải pháp thay thế đến vị trí thứ 1	1995	Wolters, WTM, Mareschal, B.	[123]
Xác định tiêu chí quan trọng nhất mà sự thay đổi tương đối nhỏ nhất về giá trị trọng số làm thay đổi thứ hạng, Xác định độc lập tác động của từng tiêu chí đến kết quả MCDA	2018	Maliene, V., Dixon-Gough, R., Malys, N.	[88]

các lần lặp lại để tăng quy mô thay đổi trong các biến thể quyết định và giành được vị trí thứ nhất cho phương án được thử nghiệm. Các tác giả chỉ ra rằng các giá trị trong ma trận quyết định đã giảm đi một tiêu chí. Tuy nhiên, các tác giả chỉ đề cập đến việc sửa các giá trị của hai tiêu chí khác và không cho thấy cách sửa đổi cụ thể đã được thực hiện. Kết quả được trình bày dưới dạng phạm vi khoảng cho các kịch bản được thử nghiệm sau đó và nhằm mục đích chỉ ra phạm vi của thay đổi cho một tiêu chí cụ thể đảm bảo phương án thay thế đã cho vị trí thứ nhất trong bảng xếp hạng. Kỹ thuật được trình bày có thể được áp dụng cho các vấn đề trong đó các biến thể quyết định được chọn có các tham số khác nhau đặc trưng liên quan đến các điều kiện đầu vào khác nhau. Hơn nữa, các tiêu chí trong cách tiếp cận này nên được lựa chọn cẩn thận, vì chỉ có các yếu tố mà các giá trị tương ứng trong ma trận quyết định có thể thay đổi nên được xem xét.

Phương pháp tiếp cận được đề xuất cuối cùng để tiến hành phân tích độ nhạy trong vấn đề ra quyết định liên quan đến việc chỉ ra sự sửa đổi tối thiểu của các trọng số tiêu chí để đảm bảo phương án quyết định cụ thể Vị trí thứ nhất trong bảng xếp hạng. Vì mục đích này, các tác giả đã đề xuất ứng dụng của Lập trình tuyến tính (LP) với các ràng buộc khác nhau được sử dụng theo nhiều cách kết hợp khác nhau để tạo ra các kịch bản thử nghiệm khác nhau. Dựa trên kết quả thu được, người ta kết luận rằng đối với những người có thứ hạng cao các lựa chọn thay thế, ngưỡng xác định của giá trị trọng số để thay đổi sẽ thấp. Ngược lại, với vị trí thấp hơn của phương án thay thế trong bảng xếp hạng, giá trị trọng số tiêu chí được chỉ định để thay đổi sẽ có ý nghĩa hơn. Hơn nữa, Wolters và Mareschal đã tích hợp đã trình bày các phương pháp tiếp cận vào phương pháp PROMETHEE II, cho phép họ thực hiện phân tích độ nhạy trong quá trình ra quyết định. Trong Kết luận nghiên cứu, các tác giả chỉ ra rằng việc áp dụng khuôn khổ phân tích độ nhạy được đề xuất cho phép xác định xem có thể lựa chọn giải pháp thay thế một cách hợp lý khi xem xét các tiêu chí cụ thể yêu cầu về trọng số do người ra quyết định đưa ra.

4.2. Phương pháp luận của Pamučar, Božanić và Randelović

Khung trình bày thứ hai để kiểm tra phân tích độ nhạy của kết quả mô hình quyết định được trình bày bởi Pamučar, Božanić, và Randelović [68]. TOPSIS, COPRAS, VIKOR và ELECTRE các phương pháp đã được lựa chọn để kiểm tra phân tích độ nhạy được đề xuất cách tiếp cận. Trong nghiên cứu của mình, các tác giả nhóm quá trình ra quyết định thành hai giai đoạn. Giai đoạn đầu tiên xem xét việc áp dụng Phương pháp MCDA, trong khi phương pháp thứ hai được xác định là phương pháp kiểm tra của phân tích tính nhất quán của các phương pháp được sử dụng. Mục tiêu chính của cách tiếp cận được trình bày là để chỉ ra phương pháp MCDA giữ phần lớn các ưu tiên trong các kịch bản trong quá trình thay đổi giá trị trọng số và giữ thứ hạng ổn định trong trường hợp phép đo thay đổi cách xây dựng thang đo và tiêu chí. Là những kỹ thuật chính cần được sử dụng để đánh giá tính nhất quán của kết quả, các tác giả chỉ ra:

- đánh giá độ ổn định của dung dịch theo sự thay đổi về trọng lượng của tiêu chí
- đánh giá tính nhất quán của kết quả dựa trên thay đổi thang đo cho các tiêu chí định tính
- đánh giá tính nhất quán của kết quả dựa trên sự thay đổi của cách xây dựng tiêu chí

Là phương pháp tiếp cận được đề xuất đầu tiên, các phương pháp MCDA đã được kiểm tra về tính ổn định của chúng, và vì mục đích này, các tiêu chí trọng số kỹ thuật thay đổi đã được chỉ ra. Mục tiêu của nó là xác định cách sự thay đổi về trọng số tiêu chí dẫn đến sự khác biệt trong thứ hạng thu được. Các tác giả chỉ ra rằng loại phân tích này có thể được sử dụng để xác nhận xếp hạng được xác định thông qua các mô hình toán học và để lựa chọn lựa chọn tối ưu. Tuy nhiên, họ nhấn mạnh rằng việc sửa đổi chỉ dựa vào về các tiêu chí trọng số không đủ để đưa ra kết luận về độ tin cậy của kết quả. Các tác giả đã bổ sung phương pháp tiếp cận đầu tiên bằng hai kỹ thuật bổ sung để đề xuất một phương pháp toàn diện

phương pháp đảm bảo tính ổn định của các mô hình quyết định. Đánh giá các thay đổi của thang đo được chỉ ra là một trong những kỹ thuật phân tích độ nhạy bổ sung. Giả định chính là điều kiện Độc lập của Thang đo Đo lường (MSI) được xây dựng để chỉ ra cái gọi là tính độc lập của điều kiện thang giá trị. Để đo các giá trị cơ bản trên các thang đo khác nhau, phép biến đổi affine dương được biểu thị là $= +$ được trình bày, trong đó $=$ là hằng số trong điều kiện > 0 . Các tác giả nhấn mạnh rằng các kết quả thu được thông qua các phương pháp MCDA phải giống nhau đối với các thang đo khác nhau. Nó sẽ chuyển thành một kết quả đánh giá duy nhất khi trong một vấn đề quyết định, ví dụ, chiều dài được trình bày dưới dạng mét, kilômét hoặc dặm. Điểm đánh giá cũng phải giống nhau khi các thuộc tính định tính được đo trên thang đo 1, 2, 3, 4, 5 hoặc phép biến đổi affine dương của nó $= 2 - 1$, tạo ra thang đo 1, 3, 5, 7, 9 .

Là phương pháp cuối cùng trong số các phương pháp được đề xuất để phân tích tính ổn định và nhất quán của kết quả MCDA, các tác giả tập trung vào cách thức xây dựng tiêu chí và những thay đổi trong định nghĩa của nó. Điều kiện Độc lập Xây dựng Tiêu chí (CFI) được xác định là một yêu cầu đối với tính hợp lý trong lựa chọn của một người ra quyết định. Điều kiện này đề cập đến vấn đề xây dựng tiêu chí theo nhiều cách khác nhau và chỉ ra rằng các công thức tương đương về mặt chuẩn mực không nên ảnh hưởng đến sở thích cá nhân của các chuyên gia. Trong quá trình ra quyết định, điều kiện này đề cập đến việc thay đổi các loại tiêu chí thành các loại đối lập, đảo ngược hướng mục tiêu của nó (từ loại chỉ phí sang loại Lợi ích, và từ loại Lợi ích sang loại chỉ phí).

Vì quyết định do chuyên gia đưa ra trong quá trình đánh giá phải nhất quán, bất chấp việc thay đổi cách thức xây dựng tiêu chí, các tác giả chỉ ra rằng các phương pháp MCDA phải đáp ứng cùng một điều kiện khi chúng được áp dụng để phản ánh hành vi của chuyên gia. Là một vấn đề thực tế, việc lựa chọn vị trí trung tâm hậu cần đã được sử dụng. Dựa trên các thí nghiệm đã thực hiện, các tác giả chỉ ra rằng ba trong số bốn phương pháp được áp dụng không cung cấp kết quả đáng tin cậy, đó là các phương pháp COPRAS, TOPSIS và ELECTRE. Tuy nhiên, họ cũng giải quyết rằng kết luận này được rút ra cụ thể cho vấn đề quyết định được sử dụng và không thể khái quát hóa. Hơn nữa, họ nhấn mạnh rằng các phương pháp MCDA chỉ là công cụ hỗ trợ người ra quyết định trong quá trình ra quyết định, đề xuất cho họ những lựa chọn hợp lý nhất.

Người ra quyết định phải đưa ra quyết định cuối cùng dựa trên sở thích cá nhân của mình.

4.3. Phương pháp của Nabavi, Wang và Rangaiah

Khung phân tích độ nhạy được mô tả gần đây nhất được đề xuất bởi Nabavi, Wang và Rangaiah [121]. Các tác giả tập trung vào việc thiết lập phương pháp luận có thể được sử dụng để kiểm tra độ nhạy của kết quả đối với hiện tượng Đảo ngược Thứ hạng (RR), một kết quả phổ biến và không mong muốn có thể thấy trong nhiều phương pháp MCDA. Vì mục đích này, những thay đổi trong ma trận quyết định hoặc mục tiêu (DOM) được đánh giá bằng 3 loại sửa đổi:

- chuyển đổi tuyến tính của một mục tiêu (LTO) • tái cấu trúc mục tiêu qua lại (ROR) • loại bỏ các phương án thay thế (RA)

Sau khi thực hiện các phương pháp được trình bày để điều chỉnh phân tích độ nhạy, các tác giả đề xuất xem xét kết quả trên ba khía cạnh: đánh giá tác động lên phương án đề xuất, tác động lên 3 phương án xếp hạng cao nhất và tác động lên thứ hạng của tất cả các phương án, ví dụ như sử dụng hệ số tương quan thứ hạng Spearman. Khung đề xuất nhằm mục đích cung cấp thông tin chi tiết và khuyến nghị về các phương pháp MCDA tương đối mạnh mẽ hơn cho các loại ứng dụng khác nhau, từ đó giúp đưa ra quyết định sáng suốt và có ý thức hơn.

Giả định Biến đổi tuyến tính của mục tiêu (LTO) đề cập đến khái niệm Độc lập của thang giá trị (IVS) hoặc Độc lập công thức tiêu chí (CFI) do Pamučar và cộng sự trình bày trong [68].

Nabavi, Wang và Rangaiah cũng nhấn mạnh rằng yếu tố này rất quan trọng trong việc xác định thứ hạng cuối cùng và những thay đổi trong công thức tiêu chí sẽ không ảnh hưởng đến thứ tự tương đối của các phương án thay thế.

Trong nghiên cứu, các tác giả đã sử dụng phép biến đổi tuyến tính ($= 3 + 4$) để xác định giá trị của các mục tiêu. Công thức hóa mục tiêu tương hỗ (ROR) phản ánh cách xác định hướng của các mục tiêu cho các tiêu chí tiếp theo trong vấn đề quyết định. Vì các loại tiêu chí có thể được thiết lập là Lợi nhuận để tối đa hóa giá trị và chi phí để tối thiểu hóa giá trị, ROR giả định rằng một mục tiêu cụ thể có thể được xây dựng lại tương đương. Dựa trên điều này, đối với một loại tiêu chí lợi nhuận, nó có thể được xác định là tối thiểu hóa $1 /$ lợi nhuận hoặc hằng số – lợi nhuận và thứ hạng vẫn phải giữ nguyên. Có tính đến điều này, các mục tiêu được trình bày dưới dạng càng nhỏ càng tốt hoặc càng lớn càng tốt sẽ không ảnh hưởng đến quá trình ra quyết định. Hơn nữa, các tác giả chỉ ra rằng nên áp dụng LTO và ROR trước khi dữ liệu từ ma trận quyết định được chuẩn hóa.

Việc loại bỏ các lựa chọn thay thế (RA) đề cập đến yếu tố có tác động trực tiếp đến việc đảo ngược thứ tự các lựa chọn thay thế trong bảng xếp hạng. Nó thể hiện tình huống trong đó các phương án quyết định đã cho bị loại khỏi ma trận quyết định, khiến chúng không còn được xem xét trong quá trình ra quyết định. Sự thay đổi này không làm thay đổi thứ hạng vị trí thu được từ các phương pháp MCDA. Tuy nhiên, hiện tượng nghịch lý Đảo ngược Thứ hạng là một vấn đề phổ biến trong nhiều kỹ thuật đa tiêu chí. Các tác giả chỉ ra rằng nguyên nhân của vấn đề này là do việc dựa vào Giải pháp Lý tưởng Tích cực (PIS) và Giải pháp Lý tưởng Tiêu cực (NIS) trong quá trình đánh giá ở các phương pháp đã chọn. Vì mục đích này, các tác giả đề xuất kiểm chứng các phương pháp MCDA đã chọn bằng một phương pháp có cấu trúc để thực hiện các sửa đổi trong ma trận quyết định. Phương pháp đầu tiên xem xét việc loại bỏ tất cả các phương án được xếp hạng cao nhất khỏi tập dữ liệu. Sau đó, các phương án quyết định còn lại nên được xáo trộn và dựa trên đó, 10% các phương án được đặt lên đầu bảng xếp hạng nên bị loại bỏ. Trong trường hợp số đầu phẩy động đại diện cho 10% số lượng các phương án, số này nên được làm tròn đến số nguyên gần nhất. Các tác giả chỉ ra những lợi thế chính của việc loại trừ các phương án quyết định được xếp hạng cao nhất vì nó sẽ ảnh hưởng đáng kể đến việc đánh giá các phương pháp đã cho vì các phương pháp khác nhau có thể có nhiều phương án được xếp hạng cao nhất. Hơn nữa, họ nhấn mạnh rằng khi loại bỏ một số biến thể quyết định có thứ hạng thấp nhất trong tập hợp nhỏ các lựa chọn thay thế, nó sẽ chỉ xem xét một vài lựa chọn, điều này hạn chế khả năng bị loại bỏ ngẫu nhiên sau quá trình xáo trộn.

Các tác giả đã kiểm chứng khuôn khổ đề xuất cho phân tích độ nhạy của các kết quả thu được bằng cách sử dụng các kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí với 8 phương pháp MCDA phổ biến và mới nhất và sử dụng chúng cho 16 vấn đề ứng dụng. Các phương pháp Đánh giá dựa trên khoảng cách kết hợp (CODAS), COPRAS, Phân tích quan hệ Gray (GRA), So sánh diện tích xấp xỉ biên đa thuộc tính (MABAC), Phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phân tích tỷ lệ (MOORA), Xếp hạng ưu tiên trên cơ sở khoảng cách trung bình lý tưởng (PROBID), SAW và TOPSIS đã được sử dụng. Mười hai trong số mười sáu vấn đề được phân loại là Tập nhỏ có ít hơn 20 phương án thay thế (SSA) và bốn vấn đề được đánh dấu là Tập lớn có hơn 50 phương án thay thế (LSA). Hơn nữa, mỗi vấn đề quyết định được xem xét từ 5 đến 13 tiêu chí. Các tác giả kết luận rằng một số phương pháp trọng số được sử dụng trong quá trình ra quyết định nhạy cảm hơn với LTO, ROR và RA. Hơn nữa, RA có tác động lớn hơn đến một tập hợp nhỏ các phương án so với trường hợp một tập hợp lớn các phương án. Hơn nữa, các tác giả nhấn mạnh rằng ROR có tác động lớn nhất đến thứ hạng các phương án cho cả tập hợp nhỏ và tập hợp lớn các biến thể quyết định, mặc dù sử dụng các phương pháp trọng số khác nhau. Điều này cho thấy việc thực hiện phân tích độ nhạy dựa trên phương pháp đề xuất cho phép người ra quyết định đưa ra quyết định sáng suốt hơn.

5. Thảo luận

Một đánh giá về các công trình liên quan đến lĩnh vực ra quyết định bằng cách sử dụng phân tích độ nhạy đã chỉ ra rằng các phương pháp tiếp cận khác nhau được sử dụng để kiểm tra

Độ tin cậy của bảng xếp hạng được xác định bởi hiệu suất của các phương pháp MCDA. Theo việc xác định các lĩnh vực thực tiễn chính mà các mô hình ra quyết định sử dụng phân tích độ nhạy được áp dụng, có thể thấy rằng các vấn đề được giải quyết thường xuyên nhất là các vấn đề liên quan đến tính bền vững, chăm sóc sức khỏe và Hệ thống Thông tin Địa lý (GIS) nhằm lựa chọn các địa điểm hấp dẫn nhất. Tuy nhiên, đây chỉ là những lĩnh vực thực tiễn chính được xác định từ công trình trong bài đánh giá, và cần lưu ý rằng các hệ thống hỗ trợ quyết định dựa trên phân tích độ nhạy cũng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực ra quyết định khác.

Do sự phổ biến của các kỹ thuật trong việc kiểm tra phân tích độ nhạy của kết quả, người ta đã ghi nhận sự thống trị đáng kể của các phương pháp dựa trên việc thao tác các giá trị trong vectơ trọng số tiêu chí.

Việc mô hình hóa các thay đổi trong giá trị của trọng số tiêu chí có thể được thực hiện theo một số cách, như bài đánh giá đã chỉ ra. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng các nghiên cứu phân tích độ nhạy trong nhiều công trình chỉ dựa trên việc xác định tác động của các thay đổi trong giá trị của trọng số tiêu chí lên thứ hạng, đây chỉ là một cách tiếp cận hơi hợt và không cho phép phân tích sâu về tính vững chắc của kết quả trước những thay đổi của các điều kiện ban đầu. Điều này đặt ra những thách thức về việc xác định cách thức tiến hành nghiên cứu về phân tích độ nhạy kết quả trong lĩnh vực ra quyết định để các phân tích được thực hiện có giá trị và toàn diện hơn.

Từ các phương pháp được xem xét, có thể xác định những lĩnh vực hoạt động đại diện cho những thách thức khi sử dụng phân tích độ nhạy trong việc ra quyết định đa tiêu chí. Một trong những thách thức chính được ghi nhận trong nghiên cứu tổng quan là việc thiếu một phương pháp tiếp cận toàn diện đối với phân tích độ nhạy của xếp hạng và việc chỉ kiểm tra tính vững chắc của kết quả trong một lĩnh vực được chọn. Hầu hết các công trình nghiên cứu cho thấy

tập trung vào việc xác định tác động của những thay đổi trong giá trị của trọng số tiêu chí đối với thứ hạng kết quả. Đây là một phương pháp cho phép khám phá các thứ hạng tiềm năng do sự thay đổi mức độ liên quan của từng tiêu chí. Tình huống này có thể mô hình hóa những thay đổi trong sở thích của người ra quyết định hoặc thay đổi trong việc ưu tiên trong quá trình tìm kiếm giải pháp mong muốn nhất. Tuy nhiên, đây là một cuộc kiểm tra hơi hợt và không khám phá nhiều khía cạnh mà những thay đổi đáng kể cũng có thể ảnh hưởng đến kết quả. Một đánh giá về các phương pháp nghiên cứu được đề xuất chỉ ra các phương pháp tiếp cận để nghiên cứu phân tích độ nhạy đã đề cập đến một số kỹ thuật khác nhau có thể được áp dụng trong nghiên cứu về tính mạnh mẽ của thứ hạng đối với sự thay đổi. Một lĩnh vực như vậy, bị bỏ qua trong nhiều tác phẩm, là mô hình hóa những thay đổi tiềm năng trong khu vực ma trận quyết định, nơi định lượng các chi tiết cụ thể của các biến thể quyết định.

Việc thay đổi ma trận quyết định rất quan trọng vì thông thường, các phép đo được thực hiện để thu được giá trị cho một tiêu chí bị ảnh hưởng bởi một số lỗi đo lường, do đó, việc biểu diễn dữ liệu trong chính bài toán quyết định có thể ảnh hưởng đến sự khác biệt đáng kể giữa các phép tính và trạng thái thực tế của vấn đề. Ngoài ra, việc mô hình hóa các thay đổi trong ma trận quyết định giúp chỉ ra mức độ thay đổi tiềm năng cần thiết để cải thiện thứ hạng, từ đó xác định các giá trị mà người ra quyết định có thể sử dụng để tạo lợi thế trong quá trình đàm phán hoặc trong việc lựa chọn các tham số riêng lẻ của một phương án quyết định nhất định.

Một vấn đề khác chưa được giải quyết thỏa đáng khi xem xét tính vững chắc của xếp hạng trước những thay đổi trong quá trình ra quyết định là việc thiếu cân nhắc đến sự khác biệt về hiệu suất giữa các phương pháp MCDA được chọn. Như nhiều nghiên cứu đã chỉ ra, khi đánh giá hiệu suất của các phương pháp đa tiêu chí được chọn, kết quả có thể khác nhau đáng kể giữa các kỹ thuật riêng lẻ trong cùng một bài toán quyết định.

Ngược lại, nó chuyển thành việc đề xuất các thứ hạng khác nhau để xác định lựa chọn ưu tiên nhất cho phương án quyết định. Tuy nhiên, giả sử dữ liệu ban đầu là giống nhau, thì một giải pháp ưu tiên nhất duy nhất và duy nhất cho một bài toán nhất định là điều được mong đợi. Điều này có thể gây ra vấn đề trong việc lựa chọn phương pháp đa tiêu chí phù hợp để giải quyết một bài toán nhất định, vì việc sử dụng hai kỹ thuật khác nhau có thể dẫn đến hai phương án khác nhau được chỉ ra là lựa chọn hợp lý nhất. Điều này dẫn đến nhu cầu so sánh hiệu suất của các phương pháp này và không dựa trên một phương pháp phân tích duy nhất, vì kết quả có thể khác nhau đối với các kỹ thuật khác. Dựa trên

Khi sử dụng nhiều kỹ thuật MCDA trong một bài toán quyết định nhất định, các phương pháp có thể được sử dụng để chỉ ra một bảng xếp hạng thỏa hiệp, có tính đến sự khác biệt tiềm ẩn trong bảng xếp hạng từ nhiều phương pháp. Bảng xếp hạng này chỉ ra lựa chọn hợp lý nhất dựa trên bảng xếp hạng đồng thuận của các phương án thay thế theo nhiều phương pháp, do đó, bảng xếp hạng thỏa hiệp được đề xuất có thể được coi là đáng tin cậy hơn bảng xếp hạng thu được từ việc đánh giá một phương pháp MCDA duy nhất. Một khía cạnh quan trọng khác khi lựa chọn các kỹ thuật đánh giá đa tiêu chí là cần lưu ý rằng các phương pháp này dựa trên nhiều thước đo, chẳng hạn như phép đo khoảng cách hoặc kỹ thuật chuẩn hóa.

Nghiên cứu được thực hiện trong quá trình so sánh kết quả của từng phương pháp MCDA sử dụng các số liệu khác nhau trong quá trình tính toán cho thấy yếu tố này cũng cần được xem xét trong quá trình thiết kế các mô hình ra quyết định, vì có sự khác biệt rõ ràng giữa các kết quả thu được khi sử dụng các biện pháp khoảng cách hoặc kỹ thuật chuẩn hóa khác nhau. Việc nghiên cứu tính vững chắc của các bảng xếp hạng dựa trên các số liệu khác nhau được sử dụng trong các phương pháp MCDA có thể cũng quan trọng trong nghiên cứu này như việc nghiên cứu các kịch bản khác nhau về trọng số tiêu chí, vì cả hai lĩnh vực kiểm tra đều có thể ảnh hưởng đáng kể đến thứ tự của các phương án trong bảng xếp hạng cuối cùng. Ngược lại, nhiều bài báo bỏ qua việc xác định ảnh hưởng của việc sử dụng các số liệu khác nhau trong từng phương pháp MCDA đối với kết quả cuối cùng. Mặt khác, khi so sánh các phương pháp MCDA đã chọn và cố gắng giải quyết một vấn đề quyết định nhất định bằng cách sử dụng chúng, việc khám phá tất cả các kết hợp có thể có của các phương pháp MCDA kết hợp với số liệu có thể tốn thời gian và dẫn đến nhiều kết hợp cần được kiểm tra. Điều này dẫn đến một thách thức trong việc đối mặt và xác định một phương pháp nghiên cứu phân tích độ nhạy để kiểm tra hiệu quả sự khác biệt về hiệu suất của các phương pháp MCDA khác nhau kết hợp với các số liệu đã chọn.

Một yếu tố quan trọng trong việc tiến hành nghiên cứu về phân tích độ nhạy và kết quả thu được là cách thức thực hiện các thí nghiệm liên quan. Để có được kết quả đáng tin cậy và có thể so sánh được, việc sử dụng cùng một công cụ để kiểm tra tính vững chắc của bảng xếp hạng là hợp lý. Tuy nhiên, vẫn còn thiếu các giải pháp phổ quát trong lĩnh vực này, cho phép sử dụng tự do và chuẩn hóa các kỹ thuật hiện có để nghiên cứu độ nhạy của thứ hạng với những thay đổi trong quá trình ra quyết định đa tiêu chí. Điều này tạo ra một khoảng trống nghiên cứu cần được lấp đầy để cung cấp các công cụ thống nhất và toàn diện cho cộng đồng học thuật giải quyết các vấn đề ra quyết định. Ngoài ra, còn thiếu các hệ số chuẩn hóa để xác định mức độ nhạy cảm của các giải pháp, do đó nhiều kết quả được tính toán bằng các công thức toán học khác nhau, được trình bày dưới các dạng hoặc đơn vị khác nhau. Điều này gây ra khó khăn trong việc so sánh độ tin cậy của các thứ hạng với nhau. Một vấn đề tương tự cũng phát sinh khi xác định các phương pháp nghiên cứu phân tích độ nhạy, trong đó các quy ước đặt tên khác nhau được sử dụng ngay cả đối với các kỹ thuật mô tả cùng một phương pháp nghiên cứu. Điều này có thể thấy rõ trong các khuôn khổ phân tích độ nhạy được thảo luận ở Phần 4, trong đó Pamučar và cộng sự và Nabavi và cộng sự sử dụng hai nhãn khác nhau cho một chỉ số mô tả việc xây dựng tiêu chí độc lập. Trong trường hợp này, các tên gọi Độc lập của Thang giá trị (IVS) hoặc Độc lập Xây dựng Tiêu chí (CFI) đều đề cập đến cùng một chỉ số, điều này có thể gây khó khăn trong việc diễn giải và xác định chính xác các phương pháp. Ngoài ra, nó có thể góp phần gây ra vấn đề trong việc xác định các kỹ thuật phân tích độ nhạy và vấn đề trong việc lựa chọn kỹ thuật phù hợp cho vấn đề nghiên cứu được đặt ra.

Hơn nữa, cách thức triển khai các phương pháp được thiết kế để kiểm tra tính vững chắc của bảng xếp hạng trong cùng một kỹ thuật có thể khác nhau, điều này cũng có thể dẫn đến các kết quả khác nhau khi sử dụng cùng một kỹ thuật nghiên cứu. Điều này đặt ra một vấn đề đáng kể trong việc phân tích độ nhạy của các bảng xếp hạng được tính toán từ phương pháp MCDA. Việc thiết lập các công cụ chuẩn hóa trong lĩnh vực này sẽ cho phép so sánh kết quả với nhau, đồng thời tăng khả năng tiếp cận nhiều kỹ thuật phân tích độ nhạy, điều này cũng có thể góp phần nâng cao tính toàn diện của các đánh giá độ tin cậy của bảng xếp hạng được thực hiện.

Từ các bài báo được đưa vào bài đánh giá, rõ ràng là sự chú ý đáng kể đã được hướng tới việc điều tra tác động của việc thay đổi trọng số tiêu chí đối với bảng xếp hạng kết quả. Nhiều

Các phương pháp tiếp cận đã được sử dụng cho mục đích này, chẳng hạn như việc tạo ra các kịch bản khác nhau dựa trên việc ưu tiên các tiêu chí khác nhau, việc tạo ra các vectơ trong số mới dựa trên những thay đổi có hệ thống đối với các giá trị ban đầu của các trọng số tiêu chí, hoặc việc sử dụng các mô phỏng xác suất để xác định xác suất lựa chọn cho các giá trị trọng số khác nhau. Ngược lại, như mô tả về các khuôn khổ được chọn đã chỉ ra, đây chỉ là một cách để kiểm tra tính vững chắc của thứ hạng khi thay đổi. Sự phổ biến của phương pháp này có thể là do việc tạo ra một vectơ trọng số mới và sử dụng nó trong các phép tính lại đa tiêu chí là một nhiệm vụ tương đối dễ dàng so với việc thiết kế một thí nghiệm để nghiên cứu những thay đổi trong các giá trị được chọn trong ma trận quyết định hoặc đánh giá chuẩn các phương pháp MCDA khác nhau bằng các số liệu được chọn. Kết quả thu được bằng cách kiểm tra những thay đổi về độ lớn của trọng số tiêu chí trong các bài toán quyết định là một yếu tố quan trọng của các kỹ thuật phân tích độ nhạy trong việc ra quyết định, vì nhiều phương pháp MCDA dựa vào vectơ trọng số này trong các phép tính của chúng. Tuy nhiên, phân tích này không nên chỉ dựa vào phương pháp tiếp cận này. Thay vào đó, nó nên được sử dụng như một phần bổ sung, hoặc như một yếu tố của phân tích độ nhạy tổng thể được thực hiện để nghiên cứu tính ổn định của xếp hạng. Bằng cách này, các kết luận, hiểu biết sâu sắc và kiến thức bổ sung từ nghiên cứu này có thể đóng góp nhiều hơn vào nhận thức của người ra quyết định về vấn đề cần giải quyết. Nó sẽ cho phép người ra quyết định đưa ra quyết định sáng suốt hơn, vì họ sẽ có thông tin về các kịch bản xếp hạng tiềm năng tùy thuộc vào các yếu tố ban đầu khác nhau.

Như kết quả của bài đánh giá được thực hiện cho thấy, tần suất áp dụng các kỹ thuật cụ thể để phân tích độ nhạy của kết quả từ các mô hình đa tiêu chí không tỷ lệ thuận với lượng và chất lượng thông tin mà một kỹ thuật cụ thể cung cấp. Các kỹ thuật được chọn có đóng góp cao hơn đáng kể vào nghiên cứu về độ mạnh của thứ hạng đối với sự thay đổi so với các kỹ thuật khác. Tuy nhiên, chúng không mang lại nhiều lợi ích và hiểu biết có giá trị hơn từ những thay đổi tiềm năng trong mô hình quyết định. Nghiên cứu đánh giá đã chỉ ra rằng việc sửa đổi giá trị của trọng số tiêu chí là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất. Việc phân tích kết quả khi xem xét các vectơ trọng số có phân phối giá trị khác nhau rất đơn giản để thực hiện, nhưng kết luận mà nó đưa ra lại hơi hợt so với các khả năng được đảm bảo bởi các kỹ thuật phân tích độ nhạy khác trong các vấn đề ra quyết định ứng dụng. Ngoài ra, khả năng đưa ra suy luận dựa trên kết quả từ các nghiên cứu chỉ dành riêng cho việc thay đổi giá trị của trọng số là hạn chế. Các kỹ thuật tập trung vào lĩnh vực nghiên cứu này nên được sử dụng như một phần của phương pháp tiếp cận nghiên cứu độ mạnh của xếp hạng toàn diện, trong đó nghiên cứu hướng đến việc xác định tác động của những thay đổi trong ma trận quyết định, xác suất thay đổi dựa trên mô phỏng xác suất, hoặc so sánh các số liệu và phương pháp hiện có trong quá trình ra quyết định, đảm bảo bổ sung kiến thức về tính ổn định của kết quả. Điều này đặt ra thách thức cho các nhà nghiên cứu, những người nghiên cứu các vấn đề đa tiêu chí, trong việc đưa khía cạnh rộng hơn của phân tích độ nhạy vào công việc của họ, để kết quả được trình bày có thể trở nên có giá trị hơn bằng cách xem xét các tham số khác nhau có khả năng ảnh hưởng đến sự khác biệt xuất hiện trong xếp hạng và các lựa chọn được đề xuất.

Phân tích độ nhạy trong quá trình ra quyết định là một yếu tố quan trọng vì lợi ích của kiến thức bổ sung có thể được chỉ ra bằng cách kiểm tra tính mạnh mẽ của kết quả đối với sự thay đổi. Quá trình này cho phép xác định các giá trị gây ra những thay đổi cụ thể trong thứ hạng, cho phép người ra quyết định đưa ra quyết định sáng suốt hơn dựa trên tổng thể thông tin được cung cấp. Như có thể thấy, việc sử dụng phân tích độ nhạy là một cách tiếp cận phổ biến để kiểm tra tính mạnh mẽ của các mô hình quyết định. Tuy nhiên, nhiều hệ thống được đề xuất vẫn chưa kết hợp kiểm tra độ nhạy của thứ hạng hoặc không áp dụng phương pháp tiếp cận toàn diện cho nghiên cứu của họ. Điều quan trọng là phải tìm hiểu về các kịch bản kết quả tiềm năng tùy thuộc vào sự thay đổi được mô hình hóa trong mô hình quyết định, do đó cung cấp cho người ra quyết định kiến thức đưa ra cho họ các lựa chọn khác nhau khi đưa ra các điều kiện ban đầu khác nhau.

Các hệ thống được đề xuất dựa trên phương pháp MCDA thường tập trung vào việc đánh giá nhiều biến thể quyết định với các đánh giá hơi khác nhau. Nó làm cho

Việc nghiên cứu tính vững chắc của các giải pháp được đề xuất là rất đáng giá, vì những thay đổi nhỏ trong giá trị dữ liệu ban đầu có thể ảnh hưởng đến sự xuất hiện của các khác biệt trong bảng xếp hạng được tính toán. Điều này liên quan trực tiếp đến khả năng biểu diễn dữ liệu không chính xác và sai số đo lường, những yếu tố cần được xem xét trong các bài toán ra quyết định. Việc trang bị cho các hệ thống ra quyết định các cơ chế bổ sung tập trung vào phân tích độ nhạy góp phần nâng cao độ tin cậy của chúng và cho phép người ra quyết định có kiến thức toàn diện hơn về vấn đề được đề xuất, từ đó tối đa hóa cơ hội đưa ra các lựa chọn hợp lý và hợp lý.

6. Kết luận

Các mô hình hỗ trợ quyết định liên tục được phát triển nhờ tính hữu ích và tiềm năng thực tiễn cao của chúng. Để cung cấp một phân tích toàn diện về không gian quyết định đang được xem xét, các kỹ thuật phân tích độ nhạy được sử dụng. Nó cũng cho phép khám phá mối quan hệ giữa đầu ra và đầu vào của quy trình, góp phần thu thập thêm kiến thức về những thay đổi tiềm ẩn đối với kết quả được đề xuất. Khi các lĩnh vực này liên tục phát triển và các phương pháp luận và cách tiếp cận mới được đề xuất để xem xét các vấn đề ra quyết định, việc tận dụng những phát triển mới nhất là rất quan trọng.

Tuy nhiên, trình độ hiện tại và các công trình nghiên cứu trong lĩnh vực này vẫn chưa được cập nhật, hoặc chưa tập trung vào việc áp dụng các mô hình quyết định dựa trên phân tích độ nhạy trong một số lĩnh vực thực tiễn. Để lấp đầy khoảng trống mới nổi và hệ thống hóa kiến thức trong lĩnh vực này, một nghiên cứu tổng quan đã được thực hiện về cách áp dụng các kỹ thuật phân tích độ nhạy trong Phân tích Quyết định Đa Tiêu chí.

Dựa trên các bước đã chọn của phương pháp luận PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), bài tổng quan tài liệu về các bài báo nghiên cứu hướng đến phân tích độ nhạy và Phân tích Quyết định Đa Tiêu chí đã được thực hiện. Nghiên cứu tập trung vào các bài báo được xuất bản sau năm 2014 để cung cấp cái nhìn tổng quan cập nhật về các phương pháp tiếp cận được sử dụng. Kết quả tổng quan được trình bày về mức độ phổ biến của lĩnh vực này trong tài liệu. Sự phân bố các bài báo trong bài tổng quan được trình bày có tính đến năm xuất bản, lĩnh vực ứng dụng thực tế và kỹ thuật phân tích độ nhạy được áp dụng trong nghiên cứu. Các phương pháp được các nhà nghiên cứu sử dụng đã được mô tả để trình bày cách thực hiện phân tích độ nhạy trong các vấn đề khác nhau liên quan đến hệ thống MCDA. Dựa trên bài tổng quan đã thực hiện, các loại chính của phương pháp tiếp cận phân tích độ nhạy đã được xác định và trình bày về phạm vi và mục đích của chúng. Hơn nữa, các hàm ý thực tế của việc áp dụng các kỹ thuật từ các loại nhất định đã được chỉ ra. Sau đó, các khuôn khổ phân tích độ nhạy đã được lựa chọn đã được trình bày và so sánh về các phương pháp nghiên cứu được đề xuất.

Việc phân tích các kỹ thuật được sử dụng để kiểm tra tính vững chắc của xếp hạng trước những thay đổi trong quá trình ra quyết định đa tiêu chí đã xác định những thách thức và khó khăn cần được giải quyết trong bối cảnh phân tích độ nhạy. Những thách thức và khó khăn này liên quan đến việc mở rộng phạm vi phân tích độ nhạy hiện đang được thực hiện, vốn thường chỉ giới hạn ở việc xem xét những thay đổi trong xếp hạng để đáp ứng với việc điều chỉnh trọng số tiêu chí. Việc tiến hành các nghiên cứu toàn diện hơn về tính vững chắc của xếp hạng, tập trung vào việc sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để nghiên cứu tác động của những thay đổi lên hiệu suất, từ đó thu thập được thông tin có ý nghĩa hơn, từ đó đưa ra những lựa chọn sáng suốt và hợp lý.

Bài đánh giá được thực hiện chỉ ra các phương pháp hiện đang được sử dụng trong lĩnh vực phân tích độ nhạy kết hợp với Phân tích Quyết định Đa Tiêu chí. Các loại kỹ thuật phân tích độ nhạy được xác định và trình bày giúp xác định lĩnh vực kỹ thuật nào có thể được lập kế hoạch cho một quá trình nghiên cứu nhằm xác định tính vững chắc của thứ hạng trước những thay đổi. Việc chỉ ra những thách thức mà các hệ thống hỗ trợ quyết định hiện tại gặp phải khi sử dụng phân tích độ nhạy sẽ làm nổi bật những điểm cần được nhấn mạnh trong nghiên cứu trong tương lai để tăng độ tin cậy của việc sử dụng các hệ thống này.

Tuyên bố đóng góp tác giả của CRediT

Jakub Więckowski: Khái niệm hóa, Phương pháp luận, Phần mềm, Xác thực, Phân tích chính thức, Điều tra, Tài nguyên, Quản lý dữ liệu, Viết - thảo luận gốc, Viết - đánh giá và chỉnh sửa, Hình dung. Wojciech Sałabun: Khái niệm hóa, Phương pháp luận, Xác thực, Điều tra, Viết - thảo luận gốc, Viết - đánh giá và chỉnh sửa, Giám sát, Quản lý dự án, Thu hút tài trợ.

Tuyên bố về lợi ích cạnh tranh

Các tác giả tuyên bố rằng họ không có bất kỳ lợi ích tài chính cạnh tranh hoặc mối quan hệ cá nhân nào có thể ảnh hưởng đến công việc được báo cáo trong bài báo này.

Tính khả dụng của dữ liệu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

Lời cảm ơn

Công trình được hỗ trợ bởi Trung tâm Khoa học Quốc gia Ba Lan 2021/41/B/HS4/01296 (WS)

Tài liệu tham khảo

[1] A. Ishizaka, P. Nemezy, Phân tích quyết định đa tiêu chí: Phương pháp và phần mềm, John Wiley & Sons, 2013.

[2] J. Razmak, B. Aouni, Hệ thống hỗ trợ quyết định và trợ giúp quyết định đa tiêu chí: tình trạng hiện đại và quan điểm, *J. Multi-Crit. Decis. Anal.* 22 (1-2) (2015) 101-117.

[3] M. Aruldos, TM Lakshmi, VP Venkatesan, Một cuộc khảo sát về các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí và các ứng dụng của nó, *Am. J. Inf. Syst.* 1 (1) (2013) 31-43.

[4] V. Brookes, M. Hernandez-Jover, B. Cowled, P. Holyoake, M. Ward, Xây dựng bức tranh: Ưu tiên các bệnh ngoại lai cho ngành chăn nuôi lợn ở Úc bằng cách sử dụng phân tích quyết định đa tiêu chí, Phòng ngừa. Thú y. Y khoa. 113 (1) (2014) 103-117.

[5] SK Sahoo, SS Goswami, Đánh giá toàn diện về các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (MCDM): Tiến bộ, ứng dụng và hướng đi trong tương lai, *Decis. Mak. Adv.* 1 (1) (2023) 25-48.

[6] W. Sałabun, J. Wątróbski, A. Shekhovtsov, Các phương pháp MCDA có thể so sánh được không? Nghiên cứu so sánh các phương pháp TOPSIS, VIKOR, COPRAS và PROMETHEE II, *Symmetry* 12 (9) (2020) 1549.

[7] J. Wątróbski, A. Bączkiewicz, W. Sałabun, pyrepo-mcda-Gói phần mềm MCDA dựa trên đối tượng tham chiếu, *SoftwareX* 19 (2022) 101107.

[8] I. Mukhametzyanov, Về sự phù hợp của thang đo chuẩn hóa đa chiều: Một ứng dụng cho các vấn đề ra quyết định, *Decis. Mak.: Appl. Quản lý. Anh.* 6 (1) (2023) 399-432.

[9] B. Paradowski, W. Sałabun, Kết quả của các phương pháp MCDA có đáng tin cậy không? Lựa chọn vật liệu để lưu trữ năng lượng nhiệt, *Procedia Comput. Sci.* 192 (2021) 1313-1322.

[10] G. Odu, Phương pháp trọng số cho kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí, *J. Khoa học ứng dụng, Môi trường, Quản lý.* 23 (8) (2019) 1449-1457.

[11] Ž. Stević, EK Zavadskas, FM Tawfiq, F. Tchier, T. Davidov, Mô hình ra quyết định đa tiêu chí mở dựa trên số Z để đánh giá công nghệ thông tin cho việc lấy hàng trong kho, *Appl. Sci.* 12 (24) (2022) 12533. [12] Ž. Stević, A. Ulutaş, S. Kozucuk, S. Memiş, E. Demir, A. Topal, Ç. Karamaşa, et al., Phân tích quản lý chuỗi cung ứng (SCM) và lựa chọn chiến lược SCM trong đại dịch COVID-19 bằng cách sử dụng mô hình MCDM thô mờ, *Complexity* 2023 (2023).

[13] B. Kizielewicz, J. Więckowski, J. Wątróbski, Nghiên cứu về các số liệu khoảng cách khác nhau trong phương pháp TOPSIS, trong: Công nghệ quyết định thông minh: Kỳ yếu Hội nghị KES-IDT lần thứ 13 năm 2021, Springer, 2021, trang 275-284.

[14] A. Ali, K. Ullah, A. Hussain, Một cách tiếp cận để ra quyết định đa thuộc tính dựa trên thông tin mềm trực giác mờ và luật hoạt động Aczel-Alsina, *J. Decis. Anal. Intell. Comput.* 3 (1) (2023) 80-89.

[15] MR Khan, K. Ullah, Q. Khan, Quyết định đa thuộc tính sử dụng toán tử tổng hợp Archimedean trong môi trường mờ hình cầu T, Rep. Máy móc. Anh. 4 (1) (2023) 18-38.

[16] B. Yatsalo, A. Korobov, A. Radaev, J. Qin, L. Martinez, Xếp hạng các số mờ độc lập và phụ thuộc và tính không truyền trong MCDA mờ, *IEEE Trans. Hệ thống mờ* 30 (5) (2021) 1382-1395.

[17] A. Saltelli, S. Tarantola, K. Chan, Vai trò của phân tích độ nhạy trong việc trình bày kết quả từ các nghiên cứu MCDA cho những người ra quyết định, *J. Multi-Crit. Decis. Anal.* 8 (3) (1999) 139-145.

[18] J. Zheng, C. Egger, J. Liener, Khung MCDA dựa trên kịch bản cho quy hoạch cơ sở hạ tầng nước thải trong điều kiện không chắc chắn, *J. Environ. Manage.* 183 (2016) 895-908.

[19] B. Iooss, A. Saltelli, Giới thiệu về phân tích độ nhạy, trong: Sổ tay định lượng bất định, Springer, 2017, trang 1103-1122.

[20] D. Bozanic, D. Tešić, D. Marinković, A. Milić, Mô hình hóa hệ thống thần kinh mờ như một hỗ trợ trong quá trình ra quyết định, *Rep. Mech. Eng.* 2 (1) (2021) 222-234.

[21] K. Hyde, HR Maier, C. Colby, Kết hợp sự không chắc chắn trong PROMETHEE Phương pháp MCDA, *J. Multi-Crit. Quyết định. Hậu môn.* 12 (4-5) (2003) 245-259.

[22] D. Pamucar, S. Biswas, Một khuôn khổ ra quyết định kết hợp mới để so sánh hiệu suất thị trường của tài sản tiền điện tử Metaverse, *Decis. Mak. Adv.* 1 (1) (2023) 49-62.

[23] E. Mahmutagić, Ž. Stević, Z. Nunić, P. Chatterjee, I. Tanackov, Mô hình ra quyết định tích hợp để phân tích hiệu quả của xe nâng trong hệ thống kho bãi, *Facta Univ. Ser.: Mech. Eng.* 19 (3) (2021) 537-553.

[24] Z. Pang, Z. O'Neill, Y. Li, F. Niu, Vai trò của phân tích độ nhạy trong phân tích hiệu suất tòa nhà: Đánh giá quan trọng, *Energy Build.* 209 (2020) 109659.

[25] F. Pianosi, K. Beven, J. Freer, JW Hall, J. Rougier, DB Stephenson, T. Wagener, Phân tích độ nhạy của các mô hình môi trường: Tổng quan hệ thống với quy trình làm việc thực tế, *Environ. Model. Softw.* 79 (2016) 214-232.

[26] A. Saltelli, M. Ratto, S. Tarantola, F. Campolongo, Phân tích độ nhạy cho các mô hình hóa học, *Chem. Rev.* 105 (7) (2005) 2811-2828.

[27] G. Baio, AP Dawid, Phân tích độ nhạy xác suất trong kinh tế y tế, *Stat. Phương pháp Med. Res.* 24 (6) (2015) 615-634.

[28] CN Rao, M. Sujatha, Phương pháp WASPAS mở dựa trên sự đồng thuận để lựa chọn công nghệ xử lý chất thải y tế, *Decis. Mak.: Quản lý ứng dụng. Kỹ thuật.* 6 (2) (2023) 600-619.

[29] I. Badi, Ž. Stević, MB Bouraima, Vượt qua trở ngại để phát triển năng lượng tái tạo ở Libya: Phương pháp tiếp cận MCDM hướng tới xây dựng chiến lược hiệu quả, *Quyết định. Mak. Khuyến cáo.* 1 (1) (2023) 17-24.

[30] R. Krishankumar, D. Pamucar, Giải quyết vấn đề xếp hạng rào cản trong việc áp dụng năng lượng sạch: Một phương pháp MCDM với sở thích mờ trực giao q-rung, *Int. J. Hệ thống kỹ thuật tri tuệ dựa trên kiến thức (Bản in trước)* (2023) 1-18.

[31] P. Chatterjee, VM Athawale, S. Chakraborty, Lựa chọn vật liệu sử dụng đánh giá tỷ lệ phức tạp và đánh giá các phương pháp dữ liệu hỗn hợp, *Mater. Des.* 32 (2) (2011) 851-860.

[32] S. Chatterjee, S. Chakraborty, Một phương pháp ra quyết định đa tiêu chí để lựa chọn vật liệu với phun mây in 3D, *Rep. Mech. Eng.* 4 (1) (2023) 62-79.

[33] M. Damjanović, Ž. Stević, D. Stanimirović, I. Tanackov, D. Marinković, Tác động của số lượng phương tiện đến an toàn giao thông: mô hình đa pha, *Facta Univ. Ser.: Mech. Anh.* 20 (1) (2022) 177-197.

[34] I. Balic, Ž. Stević, J. Ateljević, Z. Turskis, EK Zavadskas, A. Mardani, Một mô hình MCDM-SWOT-TOWS tích hợp mới để phân tích quyết định chiến lược trong công ty vận tải, *Facta Univ. Ser.: Mech. Anh.* 19 (3) (2021) 401-422.

[35] D. Tešić, D. Božanić, A. Puška, A. Milić, D. Marinković, Phát triển mô hình MARCOS mờ LMAW-xám MCDM để lựa chọn xe ben, Rep. Máy móc. Anh. 4 (1) (2023) 1-17.

[36] P. Chatterjee, M. Yazdani, S. Chakraborty, Mô hình hóa tính bền vững trong kỹ thuật: Góc nhìn đa tiêu chí, *World Scientific*, 2019.

[37] Q. Liu, Mô hình TOPSIS để đánh giá hiệu suất môi trường của công ty trong môi trường trực giác mờ, *Int. J. Knowl.-Based Intell. Eng. Syst.* 26 (2) (2022) 149-157.

[38] A. Rappaport, Phân tích độ nhạy trong việc ra quyết định, *Tài khoản. Sửa đổi* 42 (3) (1967) 441-456.

[39] MG Delgado, JB Sendra, Phân tích độ nhạy trong quá trình ra quyết định không gian đa tiêu chí: một bài đánh giá, *Đánh giá Rủi ro Sinh thái.* 10 (6) (2004) 1173-1187.

[40] L. Andronis, P. Barton, S. Bryan, Phân tích độ nhạy trong đánh giá kinh tế: kiểm toán thực tiễn hiện tại của NICE và đánh giá việc sử dụng và giá trị của nó trong việc ra quyết định., *Công nghệ Y tế. Đánh giá. (Winch. Engl.)* 13 (29) (2009) iii-ix.

[41] M. Ginocchi, F. Ponci, A. Monti, Phân tích độ nhạy và hệ thống điện: Chúng ta có thể thu hẹp khoảng cách không? *Đánh giá và hướng dẫn bắt đầu, Năng lượng* 14 (24) (2021) 8274.

[42] R. Sarkis-Onofre, F. Catalá-López, E. Aromataris, C. Lockwood, Cách sử dụng đúng Tuyên bố PRISMA, *Syst. Rev.* 10 (1) (2021) 1-3.

[43] J. Więckowski, Kho lưu trữ GitHub với các bài báo nghiên cứu được đưa vào bản đánh giá hệ thống, 2023, [Trực tuyến; truy cập XX-XXXX-2023], <https://github.com/jwieckowski/research/tree/main/Sensitivity%20Analysis%20review>.

[44] FA Ferreira, RW Spahr, MA Sunderman, Sử dụng phân tích quyết định nhiều tiêu chí (MCDA) để hỗ trợ ước tính giá trị nhà ở dân dụng, *Int. J. Chiến lược. Dự luật Quản lý.* 20 (4) (2016) 354-370.

[45] AH Salimi, A. Noori, H. Bonakdari, J. Masoempour Samakosh, E. Sharifi, M. Hassanvand, B. Gharabaghi, M. Agharazi, Khám phá vai trò của các loại hình quảng cáo trong việc cải thiện hành vi tiêu thụ nước: Ứng dụng phương pháp AHP mờ tích hợp và VIKOR mờ, *Sustainability* 12 (3) (2020) 1232.

[46] B. Muñoz, MG Romana, J. Ordóñez, Phân tích độ nhạy của phương pháp ra quyết định đa tiêu chí được phát triển để lựa chọn các loại hình tường chắn đất trên đường cao tốc đô thị, *Transp. Res. Proc.* 18 (2016) 135-139.

[47] JS Jeong, D. González-Gómez, Thích ứng với những thay đổi sự phạm của PST trong giáo dục toán học bền vững thông qua E-Learning đảo ngược: Xếp hạng các tiêu chí của nó với MCDA/F-DEMATEL, *Toán học* 8 (5) (2020) 858.

[48] T. Østergård, RL Jensen, SE Maagaard, Thiết kế tòa nhà ban đầu: Ra quyết định sáng suốt bằng cách khám phá không gian thiết kế đa chiều bằng cách sử dụng phân tích độ nhạy, *Energy Build.* 142 (2017) 8–22.

[49] O. Ghorbanzadeh, B. Feizizadeh, T. Blaschke, Đánh giá rủi ro đa tiêu chí bằng cách tích hợp phương pháp quy trình mạng phân tích vào phân tích độ nhạy và độ không chắc chắn dựa trên GIS , *Geomat. Nat. Hazards Risk* 9 (1) (2018) 127–151.

[50] A. Ganji, HR Maier, GC Dandy, Phương pháp phân tích độ nhạy Sobol được sửa đổi để ra quyết định trong các vấn đề môi trường, *Mô hình Môi trường. Phần mềm.* 75 (2016) 15–27.

[51] Z.-p. Tian, J.-q. Wang, H.-y. Zhang, Một cách tiếp cận tích hợp để phân tích chế độ lỗi và hiệu ứng dựa trên các phương pháp tốt nhất-tệ nhất mở, entropy tương đối và VIKOR , *Appl. Soft Comput.* 72 (2018) 636–646.

[52] J. Qin, X. Liu, W. Pedrycz, Phương pháp ra quyết định nhóm đa tiêu chí TODIM mở rộng để lựa chọn nhà cung cấp xanh trong môi trường mờ loại 2 , *European J. Oper. Res.* 258 (2) (2017) 626–638.

[53] Y. Wu, F. He, J. Zhou, C. Wu, F. Liu, Y. Tao, C. Xu, Lựa chọn địa điểm tối ưu cho dự án lưu trữ hydro kết hợp năng lượng gió phân tán bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận ra quyết định đa tiêu chí dựa trên hệ thống thông tin đại lý: Một trường hợp ở Trung Quốc, *J. Clean. Prod.* 299 (2021) 126985.

[54] S. Stoycheva, D. Marchese, C. Paul, S. Padoan, A.-s. Juhmani, I. Linkov, Khung phân tích quyết định đa tiêu chí cho sản xuất bền vững trong ngành công nghiệp ô tô, *J. Clean. Prod.* 187 (2018) 257–272.

[55] SH Ziyoud, LG Kaufmann, H. Shaheen, S. Samhan, D. Fuchs-Manusch, Một khuôn khổ quản lý thất thoát nước ở các nước đang phát triển trong môi trường mờ: Tích hợp AHP mờ với TOPSIS mờ, *Expert Syst. Appl.* 61 (2016) 86–105.

[56] O. Taylan, R. Alamoudi, M. Kabli, A. Aljifri, F. Ramzi, E. Herrera-Viedma, Đánh giá hệ thống năng lượng bằng cách sử dụng các phương pháp AHP mờ mở rộng, VIKOR mờ và TOPSIS để quản lý các ý kiến không hợp tác, *Sustainability* 12 (7) (2020) 2745.

[57] BBTd Carmo, M. Margni, P. Baptiste, Xếp hạng hệ thống sản phẩm dựa trên đánh giá tính bền vững của vòng đời không chắc chắn: Một phương pháp phân tích quyết định đa tiêu chí ngẫu nhiên, *Revista Admin. UFSM* 13 (2021) 850–874.

[58] Z. Asif, Z. Chen, Hệ thống phân tích quyết định đa tiêu chí tích hợp để giám sát thái khí từ quy trình khai thác, *Mô hình môi trường. Đánh giá.* 24 (2019) 517–531.

[59] SA Dabous, W. Zeiada, T. Zayed, R. Al-Ruzouq, Khung hỗ trợ quyết định đa tiêu chí dựa trên thông tin bền vững để xếp hạng và ưu tiên các đoạn vỉa hè, *J. Clean. Prod.* 244 (2020) 118755.

[60] Y. Lin, J. Hoover, D. Beene, E. Erdei, Z. Liu, Bản đồ rủi ro môi trường về ô nhiễm mỏ urani tiềm ẩn bị bỏ hoang tại Quốc gia Navajo, Hoa Kỳ, sử dụng phương pháp phân tích quyết định đa tiêu chí dựa trên GIS, *Environ. Sci. Pollut. Nghi quyết* 27 (2020) 30542–30557.

[61] CR Matos, JF Carneiro, P. Pereira da Silva, CO Henriques, Một phương pháp tiếp cận GIS-MCDA giải quyết các mối quan tâm về kinh tế-xã hội-môi trường để lựa chọn các bể chứa năng lượng khí nén phù hợp nhất, *Năng lượng* 14 (20) (2021) 6793.

[62] MM de Brito, A. Almoradie, M. Evers, Phân tích độ nhạy và độ không chắc chắn theo không gian trong mô hình để bị tổn thương do lũ lụt dựa trên MCDA, *Int. J. Geogr. Inf. Khoa học.* 33 (9) (2019) 1788–1806.

[63] E. Ayyildiz, M. Erdogan, A. Taskin Gumus, Tích hợp dựa trên sở mô Pythagoras của các phương pháp AHP và MASPAS cho vấn đề lựa chọn địa điểm trại tị nạn: một nghiên cứu trường hợp thực tế cho Istanbul, Thổ Nhĩ Kỳ, *Neural Comput. Appl.* 33 (22) (2021) 15751–15768.

[64] S. Ding, J. Xu, L. Dai, H. Hu, Lựa chọn vị trí trung tâm cuộc gọi của ngành công nghiệp di động theo hướng bền vững: phương pháp tiếp cận ra quyết định hai giai đoạn, *Smart Resil. Transp.* 3 (2) (2021) 177–201.

[65] J. Gao, F. Guo, Z. Ma, X. Huang, Khung ra quyết định đa tiêu chí cho việc lựa chọn địa điểm dự án quang điện trên mái nhà quy mô lớn dựa trên các tập mờ trực giác, *Appl. Soft Comput.* 102 (2021) 107098.

[66] C.-N. Wang, T.-T. Dang, et al., Tối ưu hóa vị trí của các nhà máy điện gió bằng cách sử dụng DEA và ra quyết định đa tiêu chí mờ: Một nghiên cứu điển hình tại Việt Nam, *IEEE Access* 9 (2021) 116265–116285.

[67] Y. Wu, Y. Tao, B. Zhang, S. Wang, C. Xu, J. Zhou, Khung quyết định lựa chọn địa điểm nhà máy điện gió ngoài khơi sử dụng phương pháp PROMETHEE trong môi trường trực giác mờ: Một trường hợp ở Trung Quốc, *Ocean Coast. Quản lý.* 184 (2020) 105016.

[68] DS Pamučar, D. Božanić, A. Radelović, Ra quyết định đa tiêu chí: An ví dụ về phân tích độ nhạy, *Serb. J. Manage.* 12 (1) (2017) 1–27.

[69] V. Diaby, K. Campbell, R. Goeree, Phân tích quyết định đa tiêu chí (MCDA) trong chăm sóc sức khỏe: phân tích thứ mục, *Oper. Res. Health C.* 2 (1–2) (2013) 20–24.

[70] AC Mühlbacher, A. Kaczynski, Đưa ra quyết định tốt trong chăm sóc sức khỏe với phân tích quyết định đa tiêu chí: việc sử dụng, nghiên cứu hiện tại và phát triển trong tương lai của MCDA, *Appl. Kinh tế Y tế. Chính sách Y tế* 14 (2016) 29–40.

[71] Z. Wang, F. Xiao, W. Ding, Phân kỳ Jensen-Shannon trực giác mờ có giá trị khoảng và ứng dụng của nó trong việc ra quyết định đa thuộc tính, *Appl. Intell.* (2022) 1–17.

[72] N. Ghorui, A. Ghosh, SP Mondal, MY Bajuri, A. Ahmadian, S. Salahshour, M. Ferrara, Xác định yếu tố rủi ro chủ yếu liên quan đến sự lây lan của COVID-19 bằng phương pháp MCDM mờ đa dự, *Res. Phys.* 21 (2021) 103811.

[73] F. Ecer, D. Pamucar, Kỹ thuật MARCOS trong môi trường mờ trực giác để xác định hiệu suất đại dịch COVID-19 của các công ty bảo hiểm về một dịch vụ chăm sóc sức khỏe, *Appl. Soft Comput.* 104 (2021) 107199.

[74] W. Looman, N. Bleijenberg, M. Karimi, M. Hoedemakers, N. de Wit, MR-v. Mülken, Phân tích quyết định đa tiêu chí về chương trình chăm sóc sức khỏe ban đầu tích hợp lấy con người làm trung tâm chủ động dành cho người cao tuổi yếu ớt tại Hà Lan: U-PROFIT., *Int. J. Chăm sóc toàn diện (IJIC)* 19 (2019).

[75] CN Peters, H. Baroud, GM Hornberger, et al., Phân tích quyết định đa tiêu chí về lựa chọn nguồn nước uống ở Tây Nam Bangladesh, *J. Water Resour. Kế hoạch.Quản lý.* 145 (2019) 05019004.

[76] S. Schug, E. Pogatzki-Zahn, LD Phillips, MN Essex, F. Xia, AJ Reader, R. Pawinski, Phân tích quyết định đa tiêu chí để phát triển hồ sơ hiệu quả-an toàn của thuốc giảm đau ngoài đường tiêu hóa được sử dụng trong điều trị đau sau phẫu thuật, *J. Pain Res.* (2020) 1969–1977.

[77] B. Reddy, M. Kelly, P. Thokala, S. Walters, A. Duenas, Ưu tiên các chủ đề hướng dẫn về sức khỏe cộng đồng tại Viện Quốc gia về Sức khỏe và Chăm sóc Xuất sắc bằng cách sử dụng Quy trình Phân cấp Phân tích, *Sức khỏe Cộng đồng* 128 (10) (2014) 896–903.

[78] CR Chapple, E. Mironska, A. Wagg, I. Milsom, DC Diaz, H. Koelbl, D. Pushkar, A. Tubaro, D. De Ridder, E. Chartier-Kastler, và cộng sự, Phân tích quyết định đa tiêu chí áp dụng cho việc sử dụng lâm sàng liệu pháp được lý đối với phức hợp triệu chứng bàng quang hoạt động quá mức, *Eur. Urol. Trọng tâm* 6 (3) (2020) 522–530.

[79] V. Diaby, R. Goeree, Cách sử dụng các phương pháp phân tích quyết định đa tiêu chí để ra quyết định hoàn trả trong chăm sóc sức khỏe: hướng dẫn từng bước, *Chuyên gia Rev. Được lý kinh tế. Kết quả Res.* 14 (1) (2014) 81–99.

[80] M.-A. Etim, S. Academe, P. Emenike, D. Omole, Ứng dụng phương pháp tiếp cận quyết định đa tiêu chí trong việc đánh giá hệ thống quản lý chất thải y tế tại Nigeria, *Bền vững* 13 (19) (2021) 10914.

[81] M. Deveci, Lựa chọn địa điểm lưu trữ hydro ngầm bằng cách sử dụng các tập mờ đa dự loại khoảng 2, *Int. J. Hydrogen Energy* 43 (19) (2018) 9353–9368.

[82] M. Yazdani, D. Pamucar, P. Chatterjee, S. Chakraborty, Phát triển khuôn khổ hỗ trợ quyết định để đánh giá hệ thống vận tải hàng hóa bền vững bằng cách sử dụng số liệu thô, *Int. J. Prod. Res.* 58 (14) (2020) 4325–4351.

[83] J.-P. Chang, Z.-S. Chen, S.-H. Xiong, J. Zhang, K.-S. Chin, Quyết định nhóm tiêu chí đa dạng mờ trực quan: Một mô hình hợp nhất có ứng dụng vào việc lựa chọn kế hoạch khẩn cấp, *IEEE Access* 7 (2019) 41958–41980.

[84] D. Xu, L. Dong, Đánh giá toàn diện các hệ thống sản xuất amoniac bền vững dựa trên việc ra quyết định đa thuộc tính mờ trong điều kiện thông tin lai, *Khoa học Năng lượng. Kỹ thuật.* 8 (6) (2020) 1902–1923.

[85] D. Panchal, P. Chatterjee, R. Sharma, RK Garg, Lựa chọn đầu bền vững cho sản xuất sạch hơn trong ngành công nghiệp đúc của Ấn Độ: Khung ra quyết định tích hợp ba giai đoạn, *J. Clean. Prod.* 313 (2021) 127827.

[86] O. Dogan, Lựa chọn công nghệ khai thác quy trình với AHP mờ hình cầu và phân tích độ nhạy, *Expert Syst. Appl.* 178 (2021) 114999.

[87] A. Hashemizadeh, Y. Ju, SMH Bamakan, HP Le, Đánh giá rủi ro đầu tư năng lượng tái tạo ở các quốc gia tham gia sáng kiến vành đai và con đường trong điều kiện bất ổn, *Năng lượng* 214 (2021) 118923.

[88] V. Maliene, R. Dixon-Gough, N. Malys, Sự phân tán của các giá trị tầm quan trọng tương đối góp phần vào sự không chắc chắn về thứ hạng: Phân tích độ nhạy của các phương pháp ra quyết định theo nhiều tiêu chí, *Appl. Soft Comput.* 67 (2018) 286–298.

[89] EP Kechagias, SP Gyalialis, GD Konstantakopoulos, GA Papadopoulos, Ứng dụng phương pháp tiếp cận đa tiêu chí để phát triển mô hình tham chiếu quy trình cho hoạt động chuỗi cung ứng, *Bền vững* 12 (14) (2020) 5791.

[90] I. Fuentes, RW Vervoort, Tính phù hợp của địa điểm và khả năng cung cấp nước cho dự án bổ sung tầng chứa nước được quản lý tại lưu vực Namoi, Úc, *J. Hydrol.: Reg. Stud.* 27 (2020) 100657.

[91] E. Pagone, K. Salonitis, M. Jolly, Bản đồ độ phân giải cao được tự động căn nhắc của phân tích quyết định đa tiêu chí cho các hệ thống sản xuất bền vững, *J. Clean. Prod.* 257 (2020) 120272.

[92] F. Russo, C. Oretto, R. Veropalumbo, Thực hành ứng dụng chất thải vào vỉa hè nhựa đường theo cách thân thiện với môi trường, *Appl. Sci.* 11 (19) (2021) 9268.

[93] O. Agboola, B. Akinnulli, B. Kareem, M. Akintunde, Quyết định về việc lựa chọn tỷ lệ chiều cao-đường kính tốt nhất cho thiết kế tối ưu của bể chứa dầu 13.000 m3, *Cogent Eng.* 7 (1) (2020) 1770913.

[94] A. Feizi, S. Joo, V. Kwigizile, J.-S. Oh, Một khuôn khổ toàn diện hướng tới tính bền vững và tăng trưởng thông minh: Đánh giá các biện pháp hiệu suất vận tải đa diện cho các thành phố thông minh, *J. Transp. Health* 19 (2020) 100956.

[95] JM Humphries Choptiany, R. Pelot, Mô hình phân tích quyết định đa tiêu chí và khuôn khổ đánh giá rủi ro cho việc thu giữ và lưu trữ carbon, *Risk Anal.* 34 (9) (2014) 1720–1737.

[96] J.-C. Thống chế, M. Bouzit, J.-D. Rinaudo, F. Moiroux, J.-F. Tuyet vọng, Y. Caballero, Lập bản đồ khả thi kinh tế của việc bổ sung nước ngầm được quản lý, *Nước* 12 (3) (2020) 680.

[97] RM Elavarasan, S. Leponraj, J. Vishnupriyan, A. Dheeraj, GG Sundar, Phân tích quyết định đa tiêu chí để quản lý tài nu cầu do sự hải lỏng của người dùng gây ra cho một tòa nhà tổ chức, *Renew. Năng lượng* 170 (2021) 1396–1426.

[98] TDS Manikkuwahandi, GM Hornberger, H. Baroud, Phân tích quyết định mở rộng hệ thống hồ chứa đa năng Mahaweli ở Sri Lanka, *J. Water Resour. Plann. Manage.* 145 (9) (2019) 05019013.

[99] A. Alinezhad, K. Sarrafha, A. Amini, Phân tích độ nhạy của kỹ thuật SAW: Tác động của việc thay đổi các yếu tố ma trận ra quyết định đối với thứ hạng cuối cùng của các phương án thay thế, Iran. J. Oper. Res. 5 (1) (2014) 82-94. [100] Ž. Stević, D. Pamučar, A. Puška, P. Chatterjee, Lựa chọn nhà cung cấp bền vững trong ngành chăm sóc sức khỏe bằng phương pháp MCDM mới: Đo lường các giải pháp thay thế và xếp hạng theo giải pháp Compromise (MARCOS), Comput. Ind. Eng. 140 (2020) 106231. [101] Ü. Şengül, M. Eren, SE Shiraz, V. Gezder, AB Şengül, Phương pháp TOPSIS mở để xếp hạng các hệ thống cung cấp năng lượng tái tạo ở Thổ Nhĩ Kỳ, Renew. Năng Lượng 75 (2015) 617-625.

[102] B. Feizizadeh, P. Jankowski, T. Blaschke, Một phương pháp phân tích độ nhạy và độ không chắc chắn rõ ràng về mặt không gian dựa trên GIS để phân tích quyết định đa tiêu chí, Comput. Geosci. 64 (2014) 81-95.

[103] EB Tirkolaee, A. Mardani, Z. Dashtian, M. Soltani, G.-W. Weber, Một phương pháp lai mới sử dụng ra quyết định mở và lập trình đa mục tiêu để lựa chọn nhà cung cấp bền vững-đáng tin cậy trong thiết kế chuỗi cung ứng hai cấp, J. Clean. Prod. 250 (2020) 119517.

[104] F. Ecer, D. Pamucar, Lựa chọn nhà cung cấp bền vững: Phương pháp tốt nhất tệ nhất mở tích hợp mới (F-BWM) và mô hình đa tiêu chí mở CoCoSo với Bonferroni (CoCoSo'B) , J. Clean. Prod. 266 (2020) 121981.

[105] M. Çolak, İ. Kaya, Ưu tiên các giải pháp thay thế năng lượng tái tạo bằng cách sử dụng mô hình MCDM mở tích hợp: Ứng dụng thực tế cho Thổ Nhĩ Kỳ, Renew. Duy trì. Năng Lượng sửa đổi 80 (2017) 840-853.

[106] M. Keshavarz-Ghorabae, M. Amiri, EK Zavadskas, Z. Turskis, J. Antuchevi- ciene, Xác định trọng số khách quan bằng phương pháp mới dựa trên hiệu ứng loại bỏ của tiêu chí (MEREC), Symmetry 13 (4) (2021) 525.

[107] L. Wang, H.-y. Zhang, J.-q. Wang, L. Li, Phương pháp VIKOR dựa trên phép chiếu chuẩn hóa mô hình ảnh để đánh giá rủi ro của dự án xây dựng, Appl. Soft Comput. 64 (2018) 216-226.

[108] G. Kou, Ö. Olgu Akdeniz, H. Dinçer, S. Yüksel, Fintech đầu tư vào các ngân hàng châu Âu: phương pháp ra quyết định đa chiều mở IT2 lai, Financ. Đổi mới 7 (1) (2021) 39.

[109] D. Souissi, L. Zouhri, S. Hammami, MH Msaddek, A. Zghibi, M. Dlala, Mô hình hóa MCDM-AHP dựa trên GIS để lập bản đồ khả năng chịu lũ lụt của các khu vực khô cằn, đông nam Tunisia, Geocarto Int. 35 (9) (2020) 991-1017.

[110] R. Alizadeh, L. Soltanisehat, PD Lund, H. Zamanisabzi, Cải thiện quy hoạch chính sách năng lượng tái tạo và ra quyết định thông qua phương pháp MCDM kết hợp, Chính sách năng lượng 137 (2020) 111174.

[111] M. Abdel-Basset, A. Gamal, RK Chakraborty, M. Ryan, Một phương pháp tiếp cận ra quyết định đa tiêu chí lai mới để lựa chọn vị trí các trạm năng lượng gió ngoài khơi bền vững: Một nghiên cứu điển hình, J. Clean. Prod. 280 (2021) 124462.

[112] X. Peng, X. Zhang, Z. Luo, Phương pháp MCDM mở Pythagore dựa trên CoCoSo và CRITIC với hàm điểm để đánh giá ngành công nghiệp 5G, Artif. Intell. Rev. 53 (5) (2020) 3813-3847.

[113] Ž. Stević, N. Brković, Một mô hình FUCOM-MARCOS tích hợp mới để đánh giá nguồn nhân lực trong một công ty vận tải, Logistics 4 (1) (2020) 4.

[114] I. Mukhametzhanov, D. Pamucar, Phân tích độ nhạy trong các vấn đề MCDM: A Phương pháp thống kê, Quyết định. Mak.: Ứng dụng. Quản lý. Anh. 1 (2) (2018) 51-80.

[115] A. Çalik, Một phương pháp AHP mở Pythagore và TOPSIS mở mới để lựa chọn nhà cung cấp xanh trong kỷ nguyên Công nghiệp 4.0, Soft Comput. 25 (3) (2021) 2253-2265.

[116] L. Gogović, D. Pamučar, D. Lukić, S. Marković, Mô hình MCDA GIS-Fuzzy DEMATEL để đánh giá các địa điểm phát triển du lịch sinh thái: Một nghiên cứu điển hình về vùng '' Dunavski ključ'', Serbia, Chính sách sử dụng đất 58 (2016) 348-365.

[117] A. Ligmann-Zielinska, P. Jankowski, Một khuôn khổ cho phân tích độ nhạy trong đánh giá nhiều tiêu chí không gian, trong: Khoa học thông tin địa lý: Hội nghị quốc tế lần thứ 5, GIScience 2008, Park City, UT, Hoa Kỳ, ngày 23-26 tháng 9 năm 2008. Biên bản báo cáo 5, Springer, 2008, trang 217-233.

[118] A. Moreno-Calderón, TS Tong, P. Thokala, Phần mềm phân tích quyết định đa tiêu chí trong việc thiết lập ưu tiên chăm sóc sức khỏe: một đánh giá có hệ thống, Pharmacoeconomics 38 (2020) 269-283.

[119] E. Triantaphyllou, A. Sánchez, Một phương pháp phân tích độ nhạy cho một số phương pháp ra quyết định đa tiêu chí xác định, Decis. Sci. 28 (1) (1997) 151-194.

[120] L. Proll, A. Salhi, D. Rios Insua, Cải thiện khuôn khổ dựa trên tối ưu hóa cho phân tích độ nhạy trong quá trình ra quyết định đa tiêu chí, J. Multi-Crit. Decis. Phân tích. 10 (1) (2001) 1-9.

[121] SR Nabavi, Z. Wang, GP Rangaiah, Phân tích độ nhạy của các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí cho các ứng dụng kỹ thuật, Ind. Eng. Chem. Res. (2023).

[122] MJM Haddad, Một khuôn khổ sử dụng phân tích độ nhạy để lựa chọn các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí, J. Comput. Syst. Eng. (2017) 413-419.

[123] W. Wolters, B. Mareschal, Các loại phân tích độ nhạy mới cho các phương pháp MCDM cộng, European J. Oper. Res. 81 (2) (1995) 281-290.