

NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG BÊ TÔNG GEOPOLYMER VÀ CÁT BIỂN Ở TỈNH QUẢNG BÌNH (CŨ) TRONG XÂY DỰNG CÁC CÔNG TRÌNH CHỊU MẶN VEN BIỂN

TRẦN NGỌC LONG
Trường Đại học Vinh

1. Đặt vấn đề

Tỉnh Quảng Bình cũ (nay là tỉnh Quảng Trị) cũng như nhiều địa phương khác, tình trạng khan hiếm cát xây dựng ngày càng nghiêm trọng do khai thác quá mức. Việc này gây ra nhiều hệ lụy tiêu cực như sạt lở bờ sông, ô nhiễm môi trường, thay đổi dòng chảy và ảnh hưởng đến đất nông nghiệp.

Theo Báo Quảng Trị, Sở Xây dựng cho biết, nhu cầu cát xây dựng tăng cao trong khi cát sông ngày càng cạn kiệt, không thể tái tạo. Để giải quyết vấn đề này, có thể thay thế bằng cát ven biển. Hiện nay, cát chủ yếu khai thác từ các sông lớn như Kiến Giang, Gianh, Son, Roòn, Long Đại... Tuy nhiên, khai thác quá mức làm giảm mực nước, tăng độ dốc đáy sông, gây xói lở bờ và ảnh hưởng đến khu vực thượng nguồn [4].

Theo quy hoạch phát triển vật liệu xây dựng tỉnh Quảng Bình (cũ), dự báo nhu cầu cát năm 2025 khoảng 1,56 - 1,86 triệu m³. Trong khi đó, cát ven biển chủ yếu phục vụ san lấp (do nhiễm mặn), còn nguồn cát sông ngày càng khan hiếm. Vì vậy, việc nghiên cứu sử dụng cát ven biển để sản xuất bê tông xi măng và vữa xây dựng nhằm giảm giá thành mà vẫn đảm bảo chất lượng là rất cần thiết [5].

Trước nhu cầu xây dựng ngày càng lớn, Quảng Bình (cũ) đã và đang triển khai nhiều dự án trọng điểm như đường cao tốc Bắc - Nam giai đoạn 2021-2025. Để đảm bảo nguồn vật liệu thi công, Chính phủ đã ban hành các nghị quyết cấp phép khai thác khoáng sản theo cơ chế đặc thù, đồng thời tỉnh cũng chỉ đạo các đơn

vị liên quan thực hiện kế hoạch cung ứng vật liệu.

Trước tình trạng cát tự nhiên cạn kiệt và tác động tiêu cực của việc khai thác, tỉnh đã đưa ra phương án hỗ trợ khai thác cát sông có kiểm soát. Đồng thời, việc đầu tư dây chuyền sản xuất cát nhân tạo từ đá thải mỏ đang được xem là giải pháp kinh tế bền vững, góp phần cung cấp vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường và đáp ứng nhu cầu phát triển.

Mặt khác, các công trình bê tông cốt thép vùng ven biển xuống cấp nhanh do môi trường có nồng độ muối cao, độ ẩm lớn và gió mạnh. Ion Cl⁻ từ hơi nước biển, sương muối thấm thấu vào bê tông, ăn mòn cốt thép, làm giảm khả năng chịu lực, gây rạn nứt. Đồng thời, quá trình cacbonat hóa do CO₂ trong không khí cũng làm giảm độ kiềm, khiến cốt thép dễ bị ăn mòn hơn. Cộng thêm nữa là do đặc điểm của chu kỳ thủy triều - khô hạn liên tục làm tăng mạnh tốc độ hư hại kết cấu bê tông vùng nước lên xuống.

Tình trạng công trình bê tông cốt thép bị xuống cấp không chỉ xảy ra ở vùng ven biển mà còn tại các khu công nghiệp, công rãnh do tiếp xúc với môi trường axit. Khi công trình, dự án suy giảm, xuống cấp nhanh chóng, thời gian khai thác bị rút ngắn lại, điều này có nghĩa là hiệu quả kinh tế kém.

Như vậy, cần phải có những nghiên cứu để bổ sung nguồn cát cho ngành xây dựng, đồng thời cần phải có biện pháp về vật liệu để kháng lại sự ăn mòn của Cl⁻, axit để tăng hiệu quả các dự án, công trình xây dựng. Như vậy “Nghiên

cứu và ứng dụng bê tông Geopolymer và cát biển ở tỉnh Quảng Bình (cũ) trong xây dựng các công trình chịu mặn ven biển” là một nghiên cứu cần thiết, đáp ứng thực trạng hiện nay.

2. Kết quả nghiên cứu

Để giải quyết bài toán cần phải tìm loại vật liệu chịu được trong môi trường biển, môi trường axit để thay thế bê tông truyền thống, bê tông Geopolymer là vật liệu đáp ứng được các yêu cầu này. Loại bê tông này sử dụng được với cát biển, nước biển, do vậy vừa chịu được ăn mòn Clo, vừa sử dụng nguồn cát biển thay thế cát sông đang thiếu hiện nay.

Các nghiên cứu lý thuyết về bê tông Geopolymer đã đưa ra các ưu điểm của nó như sau [1, 2]:

- *Độ bền cao hơn.* Chịu nén tốt, cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer có thể đạt từ 40 - 100MPa, cao hơn so với bê tông thường; Chống mài mòn cao, có khả năng chịu mài mòn tốt hơn, phù hợp cho công trình yêu cầu độ bền cao.

- *Chống ăn mòn hóa học tốt.* Khả năng chống axit, sunfat và nước biển vượt trội hơn so với bê tông xi măng thông thường, giúp kéo dài tuổi thọ công trình.

- *Khả năng chịu nhiệt cao.* Có thể chịu nhiệt lên đến 1.000 - 1.200°C (không bị mất cường độ đáng kể), giúp giảm nguy cơ hư hỏng trong điều kiện cháy nổ. Với bê tông truyền thống, khi đạt 800 - 1.000°C, cấu trúc bê tông có thể bị phá hủy hoàn toàn do sự phân hủy của C-S-H và mất nước trong các khoáng chất xi măng.

- *Giảm phát thải CO₂, thân thiện với môi trường.* Không sử dụng xi măng Portland, thay vào đó là tro bay, xỉ lò cao hoặc metakaolin, giúp giảm đến 80% lượng CO₂ so với bê tông truyền thống.

- *Khả năng chống thấm tốt.* Mật độ vi cấu trúc đặc chắc hơn giúp giảm độ thấm nước, thích hợp cho các công trình thủy lợi, cầu

đường và kết cấu ngầm.

- *Công nghệ sản xuất linh hoạt.* Có thể sử dụng các nguồn nguyên liệu khác nhau như tro bay, xỉ lò cao, giúp tận dụng phế thải công nghiệp và giảm chi phí nguyên vật liệu.

- *Thời gian đông kết nhanh* (có thể điều chỉnh được). Bê tông Geopolymer có thể đông kết nhanh hơn bê tông xi măng truyền thống, giúp rút ngắn thời gian thi công.

Những ưu điểm trên của bê tông Geopolymer là vượt trội hơn so với bê tông xi măng truyền thống.

Để ứng dụng được, có hiệu quả cao bê tông Geopolymer vào điều kiện, đặc điểm địa phương Quảng Bình (cũ) thì cần thiết phải thực hiện các khảo sát về nguồn, chất lượng cát và nước biển. Đồng thời khảo sát thực trạng sự suy giảm, xuống cấp các công trình bê tông cốt thép đầu mối ven biển.

Quan sát nguồn cát, nước biển, tiếp theo tiến hành thiết kế cấp phối, thử nghiệm các tính chất cơ lý của bê tông Geopolymer [2, 3]. Cuối cùng tiến hành nghiên cứu ứng dụng đúc mẫu cấu kiện ở hiện trường.

Nghiên cứu đã thực hiện khảo sát đánh giá thực trạng các công trình bê tông cốt thép ven biển của tỉnh Quảng Bình (cũ). Khảo sát đã thực hiện từ xã ven biển của tỉnh Quảng Bình (cũ). Kết quả khảo sát thực trạng đã cho thấy, công trình bê tông cốt thép truyền thống đã xuống cấp rất nghiêm trọng, nhiều công trình không thể khai thác được, nhiều công trình khai thác nhưng hiệu quả, năng suất không cao.

Nhiều công trình bị rỉ sét, lớp bê tông bảo vệ cốt thép bị mài mòn, bong tróc. Như vậy, sẽ làm giảm tuổi thọ công trình, giảm thời gian khai thác công trình, hiệu quả dự án kém.

Đánh giá chung về cát biển ở tỉnh Quảng Bình (cũ) có hàm lượng muối khá cao. Kết quả phân tích hàm lượng muối và Sunfat, cụ thể: Đối với cát: hàm lượng Clorua (cl-) dao động từ 0,009 - 0,011%, sunfat (SO₄--): 0,089 -

0,292%. Đối với nước biển: hàm lượng Clorua (cl-): 14,897 - 16,724 mg/l; sunfat (SO4--): 1,966 - 2,369 mg/l. So với cát lòng sông thì cát ven biển có độ sạch cao hơn, hàm lượng tạp chất thấp, môđun độ lớn nhỏ, lớp phong hóa sâu từ 0,5 - 1m. Hàm lượng Clo, sunfat sẽ ảnh hưởng tỉ lệ thành phần bê tông Geopolyme.

Trữ lượng cát khoảng trên 11,1 triệu m³, thành phần cát, thành phần hạt đảm bảo các chỉ tiêu quy định trong tiêu chuẩn, quy chuẩn.

Từ đặc điểm cát, nước biển, đã thực hiện nghiên cứu thiết kế được 12 loại cấp phối bê tông Geopolymer khác nhau, tương ứng cường độ từ 10 - 30Mpa.

Nghiên cứu đã thực hiện nghiên cứu ứng dụng đúc cấu kiện tại hiện trường, trong đó đã thực hiện đúc 15 công bê tông ly tâm, 40 viên gạch block chấn sóng, 10 tấm đan bê tông.

3. Một số giải pháp

Để đưa bê tông Geopolymer ứng dụng có hiệu quả tại tỉnh Quảng Bình (cũ) thì cần thiết thực hiện các nhóm giải pháp sau:

- *Thứ nhất*, nhóm giải pháp về kiến nghị chính sách và cơ chế hỗ trợ đối với UBND tỉnh Quảng Bình (cũ)

Cần sớm ban hành chính sách khuyến khích sử dụng bê tông geopolimer trong các công trình công cộng như cầu đường, bờ kè, đê

Bảng 1. Nhóm 1: 6 cấp phối có xi lò cao

TT	Đá 10-20	Đá 5-10	Cát	Tro bay	Xi lò cao	AAS	Nước	AD
CP1	756	324	680	240	160	61	153	1.844
CP2	756	324	680	240	160	61	153	1.844
CP3	756	324	680	240	160	61	153	1.844
CP4	756	324	680	240	160	71	153	1.884
CP5	756	324	680	240	160	51	153	1.804
CP6	756	324	680	240	160	61	156	0

Bảng 2. Nhóm 2: 6 cấp phối không có xi lò cao

TT	Đá 10-20	Đá 5-10	Cát	Tro bay	Xi lò cao	AAS	Nước	AD
CP1	756	324	680	420	0	61	153	1.924
CP2	756	324	680	420	0	61	153	1.924
CP3	756	324	680	420	0	61	153	1.924
CP4	750	320	680	420	0	85	143	2.02
CP5	756	324	680	420	0	51	153	1.884
CP6	756	324	680	420	0	61	156	1.924

Các tính chất cơ lý của bê tông geopolimer như cường độ, môđun đàn hồi, chống thấm cũng đã được thử nghiệm và cho kết quả tốt. Các kết quả về tính chất cơ lý tương tự hoặc cao hơn, tốt hơn bê tông xi măng truyền thống.

biển, nhà ở xã hội.

Có chính sách về ưu đãi thuế, hỗ trợ vốn vay cho doanh nghiệp đầu tư sản xuất và ứng dụng bê tông Geopolymer.

Tỉnh sớm xây dựng các tiêu chuẩn kỹ thuật,

Hình ảnh các cấu kiện được đúc bằng bê tông Geopolymer



quy trình kiểm định phù hợp với điều kiện thực tế của địa phương.

Tỉnh sớm cho xây dựng các mô hình công trình tiêu biểu bằng bê tông Geopolymer để làm mẫu cho các dự án khác.

Đẩy mạnh ứng dụng bê tông Geopolymer trong các dự án xây dựng lớn của tỉnh nhằm tăng tính tin cậy, tạo lòng tin trong xã hội.

Ủy ban nhân dân tỉnh cần có chính sách hỗ trợ doanh nghiệp sản xuất bê tông Geopolymer: Ưu đãi thuế và hỗ trợ tài chính cho doanh nghiệp đầu tư sản xuất bê tông Geopolymer từ cát biển, giúp giảm chi phí sản xuất và thúc đẩy ứng dụng rộng rãi; Cung cấp vốn vay ưu đãi hoặc hỗ trợ một phần chi phí nghiên cứu, thử nghiệm công nghệ sản xuất bê tông Geopolymer từ cát biển; Xây dựng chương trình xúc tiến thương mại, hỗ trợ doanh nghiệp tiếp cận thị trường trong nước và quốc tế.

- *Thứ hai*, nhóm giải pháp về phát triển chuỗi cung ứng nguyên liệu và sản xuất

Ủy ban nhân dân tỉnh sớm có cơ chế, chính sách về khuyến khích các doanh nghiệp địa phương đầu tư vào sản xuất bê tông Geopolymer, tận dụng nguồn nguyên liệu sẵn có như cát biển, tro bay, xỉ than. Từ đó giảm giá thành sản phẩm và thúc đẩy ứng dụng rộng rãi trong xây dựng.

Khuyến khích các doanh nghiệp đầu tư

công nghệ để xử lý cát biển, loại bỏ tạp chất và tối ưu hóa tính chất vật liệu.

Tỉnh sớm hình thành mạng lưới cung ứng nguyên liệu và bê tông thành phẩm, giúp giảm chi phí vận chuyển và giá thành sản phẩm.

- *Thứ ba*, nhóm giải pháp về tổ chức các khóa đào tạo, hội thảo và nâng cao nhận thức cộng đồng

Tổ chức các hội thảo, khóa đào tạo cho kỹ sư, nhà thầu, chủ đầu tư về lợi ích và phương pháp sử dụng bê tông Geopolymer.

Tạo điều kiện và hợp tác với các trường đại học, viện nghiên cứu để cải tiến công nghệ sản xuất bê tông Geopolymer từ nguồn cát biển, cát nhiễm mặn tại tỉnh Quảng Bình (cũ).

Tăng cường truyền thông nâng cao nhận thức của người dân và doanh nghiệp về tính bền vững, tiết kiệm chi phí và bảo vệ môi trường khi sử dụng loại vật liệu này.

- *Thứ tư*, nhóm giải pháp đối với Chính phủ, Bộ Xây dựng về phát triển bền vững ứng dụng bê tông Geopolymer vào thực tiễn

Chính phủ, Bộ Xây dựng cần sớm xây dựng, hoàn thiện và ban hành khung pháp lý: Bộ tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật đối với bê tông Geopolymer.

Nhà nước xây dựng các chương trình phát triển bê tông Geopolymer cần lồng ghép vào việc sử dụng các chương trình phát triển đô thị xanh,

phát triển bền vững và chống biến đổi khí hậu.

Nhà nước kêu gọi đầu tư từ các tổ chức trong và ngoài nước để hỗ trợ nhằm phát triển bê tông Geopolymer.

Chính phủ cần có các chính sách hỗ trợ, đồng thời kết nối với các địa phương khác để nhân rộng chia sẻ kinh nghiệm và mở rộng thị trường tiêu thụ bê tông Geopolymer.

Chính phủ cũng cần xây dựng các quy định chặt chẽ về khai thác cát biển, đảm bảo không gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và hệ sinh thái ven biển.

- *Thứ năm*, nhóm giải pháp và khuyến cáo khai thác cát biển ở tỉnh Quảng Bình (cũ)

Việc khai thác cát biển ở tỉnh Quảng Bình (cũ) để sản xuất bê tông Geopolymer cần tuân theo các khuyến cáo quan trọng nhằm đảm bảo phát triển bền vững, bảo vệ môi trường và duy trì nguồn tài nguyên lâu dài. Dưới đây là một số giải pháp khuyến cáo:

+ Đánh giá tác động môi trường trước khi khai thác. Trong đó: Tiến hành nghiên cứu kỹ lưỡng về tác động của việc khai thác cát biển đối với hệ sinh thái ven biển, đặc biệt là xói lở bờ biển và ảnh hưởng đến hệ sinh thái biển; Xây dựng báo cáo đánh giá tác động môi trường cho từng khu vực khai thác, đảm bảo tuân thủ quy định của Bộ Nông nghiệp và Môi trường.

+ Lựa chọn phương pháp khai thác hợp lý. Trong đó: Sử dụng công nghệ khai thác tiên tiến để hạn chế xói lở bờ biển, giảm thiểu ảnh hưởng đến hệ sinh thái ven biển; Hạn chế khai thác gần các khu vực nhạy cảm như rừng ngập mặn, cửa sông, bờ kè bảo vệ đê biển; Định hướng khai thác ở các khu vực có trữ lượng cát ổn định và được quy hoạch hợp lý.

+ Khai thác có kế hoạch và đảm bảo tái tạo tài nguyên. Trong đó: Áp dụng khai thác theo lộ trình quy hoạch, tránh khai thác ồ ạt gây mất cân bằng tự nhiên; Nghiên cứu khả năng bổ sung cát từ nguồn bồi đắp tự nhiên để đảm bảo tài nguyên không bị cạn kiệt; Phối hợp với các

nhà khoa học để có phương án quản lý khai thác bền vững.

+ Tuân thủ các quy định pháp luật về khai thác cát biển. Trong đó: Thực hiện đúng các quy định của Chính phủ về quản lý và khai thác tài nguyên khoáng sản; Cần có sự kiểm soát chặt chẽ của cơ quan quản lý địa phương để tránh tình trạng khai thác trái phép, gây ảnh hưởng đến môi trường.

+ Xây dựng quy hoạch và quản lý khai thác cát biển bền vững. Trong đó: Lập quy hoạch khai thác cát biển tại tỉnh Quảng Bình (cũ), xác định các khu vực có thể khai thác và các khu vực cần bảo vệ nghiêm ngặt; Áp dụng giấy phép khai thác có điều kiện, chỉ cấp phép cho các đơn vị có đủ năng lực công nghệ xử lý cát biển; Xây dựng hệ thống giám sát khai thác bằng công nghệ GPS, camera hoặc báo cáo sản lượng theo thời gian thực để kiểm soát việc khai thác cát hợp pháp.

- *Thứ sáu*, nhóm giải pháp đối với vật liệu xây dựng

Bê tông Geopolymer là bê tông chịu mặn (Clo), axit, sử dụng cát biển, nước biển và đã được nghiên cứu ứng dụng thành công trong điều kiện địa phương tỉnh Quảng Bình (cũ). Bê tông geopolymer nên được đưa vào sử dụng với các công trình đầu mối ven biển của tỉnh Quảng Bình (cũ) để chống lại sự ăn mòn khí hậu biển, tăng tuổi thọ, từ đó tăng hiệu quả dự án, tăng hiệu quả đầu tư.

Đối với các công trình xây dựng đang tồn tại, để tăng hiệu quả sử dụng, tăng tuổi thọ công trình thì nên sử dụng vữa bê tông Geopolymer trát và mặt ngoài nhằm ngăn chặn sự xâm nhập muối (Clo).

Với những công trình đặc thù trong môi trường axit như công trình xử lý nước thải công nghiệp và sinh hoạt; bể chứa hóa chất; nhà máy hóa chất; chuồng trại chăn nuôi,.. của tỉnh thì cần sử dụng bê tông Geopolymer để tăng khả năng sử dụng, tăng hiệu quả dự án.

4. Kết luận

- Tỉnh Quảng Bình (cũ) có chiều dài biển hơn (116km), địa hình dốc về phía biển, nhiều sông ra biển. Ven biển có nhiều hệ thống công trình đầu mối phục vụ giao thông, nông nghiệp, nhiều công trình xã hội, dân sinh. Do khí hậu biển nên hệ thống công trình đầu nguồn bằng bê tông cốt thép đã xuống cấp, suy giảm chất lượng rất nghiêm trọng, tình trạng hỏng hóc xảy ra phổ biến, nhiều công trình không còn khả năng khai thác, hoặc tuổi thọ khai thác không còn lâu. Điều này đã ảnh hưởng đến năng suất, hiệu quả khai thác công trình, hiệu quả kinh tế các dự án giảm, từ đó sản xuất nông nghiệp giảm. Qua đó cho thấy, tỉnh Quảng Bình (cũ) đang cần khối lượng lớn bê tông Geopolymer để chống mặn cho các công trình ven biển và nhiều công trình hạ tầng kỹ thuật tiếp xúc với axit.

- Do đặc điểm địa hình nên biển tỉnh Quảng Bình (cũ) có trữ lượng cát lớn so với các vùng biển khác trong nước, chất lượng tốt, đảm bảo các yêu cầu tiêu chí kỹ thuật. Ven biển hình thành các dải cồn cát có độ cao thay đổi từ 2 - 3m đến 30 - 40m, nơi rộng nhất đạt 7km, độ dốc lớn, trữ lượng cát ven bờ nhiều. Cũng do đặc điểm địa hình, khí hậu nên cát ở đây sạch, hạt đều, thành phần hạt và các đặc điểm khác đảm bảo yêu cầu dùng cho xây dựng. Trữ lượng cát ven biển khoảng 11,1 triệu m³ (chưa kể phần cát ngập nước).

- Quảng Bình cũ (nay là tỉnh Quảng Trị) là tỉnh đang phát triển, nhu cầu xây dựng rất lớn,

nhiều dự án xây dựng lớn, trọng điểm nên cần nguồn cung cát rất lớn như đường cao tốc, đường sắt tốc độ cao... Do vậy, tỉnh cần phải tính đến phương án về việc khai thác, sử dụng nguồn cát biển để bổ sung nguồn cát sông.

- Nhiệm vụ đã nghiên cứu thành công các tính chất cơ lý của bê tông Geopolymer như cường độ, mô đun đàn hồi, chống thấm với nguồn đầu vào là cát biển, nước biển tỉnh Quảng Bình (cũ). Kết quả cho thấy, các chỉ tiêu bằng hoặc cao hơn so với bê tông truyền thống, đảm bảo quy chuẩn, tiêu chuẩn. Các tính chất về độ bền của bê tông Geopolymer tốt hơn nhiều so với bê tông truyền thống, như độ bền về chịu mặn, chịu axit...

- Nhiệm vụ nghiên cứu cấp phối bê tông Geopolymer và nghiên cứu ứng dụng bê tông Geopolymer sản xuất một số cấu kiện (cống ly tâm, viên block chắn sóng, tấm đan) đã đạt được kết quả sau: Thiết kết được 12 loại cấp phối bê tông Geopolymer tương ứng với cường độ từ 10 - 30Mpa; Nghiên cứu ứng dụng đã thực hiện: 15 cống ly tâm, 40 viên gạch block chắn sóng, 10 tấm đan bằng bê tông Geopolymer; Bê tông Geopolymer là loại vật liệu mới, có giá thành tương đương với bê tông truyền thống. Bê tông Geopolymer được gọi là loại vật liệu xanh, nó phù hợp với nguồn vật liệu đầu vào của địa phương tỉnh Quảng Bình (cũ). Bê tông Geopolyme được sử dụng sẽ mang lại hiệu quả kinh tế đối với các dự án đầu tư xây dựng có bê tông cao, tuổi thọ công trình lớn, đặc biệt đối với các công trình, dự án ven biển ■

Tài liệu tham khảo:

1. Đào Văn Đông, Trịnh Hoàng Sơn, *Chất kết dính và bê tông Geopolyme*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 2021.
2. Trần Việt Hưng, “*Nghiên cứu thành phần, đặc tính cơ lý của bê tông Geopolymer tro bay và ứng dụng cho kết cấu cầu hầm*”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật Trường Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2017.
3. Trịnh Hoàng Sơn, Đào Văn Đông, *Nghiên cứu công nghệ và chất lượng bê tông Geopolymer sử dụng tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn S95 tại trạm trộn hiện trường*.
4. Xuân Vương, *Tiềm năng cát ven biển*. <https://baoquangbinh.vn/kinh-te/202007/tiem-nang-cat-ven-bien-2178898/>.
5. Trung tâm Kỹ thuật Tài nguyên và Môi trường, *Báo cáo tóm tắt nghiên cứu sử dụng cát ven biển để sản xuất bê tông xi măng và vữa xây dựng*, 2024.