■Ngày nhận bài: 23/6/2025 ■Ngày sửa bài: 09/7/2025 ■Ngày chấp nhận đăng: 21/7/2025

Tối ưu hóa mạng lưới vận tải phục vụ xuất khẩu sầu riêng tươi từ Tây Nguyên sang Trung Quốc - trường hợp của tỉnh Đắk Lắk

Optimizing the transport network for fresh durian export from Vietnam's central highlands to China - a case of Dak Lak province

> CN NGUYỄN THỊ TRÂM, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA*, KS NGUYỄN THANH DANH
Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia TP.HCM
*Email: htthoa@hcmiu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này kế thừa mô hình tối ưu hóa mạng lưới vận tải đa mục tiêu bằng phương pháp quy hoạch tuyến tính nguyên hỗn hợp đã được nhóm tác giả công bố trước đó nhằm đánh giá khả năng ứng dụng trong hoạt động xuất khẩu sầu riêng từ tỉnh Đắk Lắk sang Trung Quốc. Dữ liệu đầu vào bao gồm vị trí vùng trồng, điểm đóng gói, trung tâm phân phối, thị trường nhập khẩu, ma trận chi phí - thời gian và giới hạn bảo quản 168 giờ. Mô hình được giải bằng phần mềm CPLEX với ba kịch bản: Tối ưu chi phí, tối ưu thời gian và tối ưu đa mục tiêu. Kết quả cho thấy sự đánh đổi rõ rệt giữa chi phí và thời gian vận chuyển. Đặc biệt, trong khoảng trọng số từ 0,65 đến 0,75, chỉ số tổng hợp Q giảm và ổn định, phản ánh khả năng đạt trạng thái cân bằng hợp lý giữa hai mục tiêu. Mô hình cho thấy tiềm năng ứng dụng thực tiễn trong thiết kế mạng lưới logistics phù hợp với từng mục tiêu kinh doanh và đặc thù thị trường.
Từ khóa: Mô hình MILP; mạng lưới vận tải; tối ưu đa mục tiêu.

ABSTRACT

This study builds upon a previously published multi-objective transportation network optimization model using the Mixed-Integer Linear Programming (MILP) method to evaluate its applicability to the export of fresh durian from Dak Lak province to China. Input data include the locations of planting areas, packing stations, distribution centers, import markets, a cost–time matrix, and a preservation time limit of 168 hours. The model is solved using CPLEX software under three scenarios: cost minimization, time minimization and multi-objective optimization. Results indicate a clear trade-off between transportation cost and delivery time. Notably, in the weight range from 0.65 to 0.75, the composite index Q decreases and remains stable, indicating the potential to achieve a reasonable balance between the two objectives. The model demonstrates strong practical potential for designing logistics networks aligned with specific business goals and market characteristics.
Keywords: MILP model; multi-objective optimization; transportation network.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, Việt Nam đã khẳng định vị thế là một trong những quốc gia xuất khẩu sầu riêng quan trọng tại khu vực châu Á, đặc biệt là sang thị trường Trung Quốc. Theo số liệu từ Hiệp hội Rau quả Việt Nam (VINAFRUIT), tỷ trọng sầu riêng Việt Nam trong tổng kim ngạch nhập khẩu của Trung Quốc đã tăng từ 23,73% trong nửa đầu năm 2023 lên 32,81% trong cùng kỳ năm 2024 [1].

Khu vực Tây Nguyên, đặc biệt là tỉnh Đắk Lắk đang nổi lên như trung tâm sản xuất và cung ứng sầu riêng phục vụ xuất khẩu. Tuy nhiên, tốc độ mở rộng vùng trồng và sản lượng gia tăng nhanh chóng đã tạo ra áp lực lớn đối với hệ thống logistics, đặc biệt trong khâu thu gom, bảo quản và vận chuyển đến các thị trường tiêu thụ

trong khoảng thời gian cho phép. Thị trường Trung Quốc hiện đang chứng kiến sự cạnh tranh ngày càng khốc liệt từ các quốc gia xuất khẩu sầu riêng truyền thống như Thái Lan và Malaysia. Trong bối cảnh đó, việc xây dựng một mạng lưới vận tải hiệu quả là điều kiện then chốt để bảo đảm chất lượng sản phẩm và nâng cao năng lực cạnh tranh của nông sản Việt Nam trên thị trường quốc tế.

Trên cơ sở dữ liệu thực tế về vị trí vùng trồng, cơ sở đóng gói, chi phí và thời gian vận chuyển, nghiên cứu này kế thừa mô hình tối ưu hóa tuyến vận tải đa mục tiêu sử dụng phương pháp quy hoạch tuyến tính nguyên hỗn hợp (MILP) từ công trình trước và tiếp tục phát triển bằng cách áp dụng vào một tình huống thực tiễn nhằm đề xuất phương án thiết kế mạng lưới vận tải tối ưu phục vụ hoạt động xuất khẩu sầu riêng từ khu vực Tây Nguyên đến các điểm tiêu thụ tại miền Đông Nam Trung Quốc. Mục tiêu của nghiên cứu là đồng thời tối ưu hóa chi phí vận chuyển và thời gian giao hàng, qua đó nâng cao hiệu quả chuỗi cung ứng nông sản tươi sống trong bối cảnh cạnh tranh quốc tế ngày càng gia tăng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc tối ưu hóa mạng lưới vận tải nhằm nâng cao hiệu quả phân phối và giảm chi phí, đồng thời duy trì chất lượng nông sản tươi trong quá trình thu gom và vận chuyển. [2] đã phát triển mô hình định tuyến phương tiện tích hợp, giúp giảm chi phí phân phối và đảm bảo giao hàng đúng thời gian, góp phần nâng cao tính bền vững trong chuỗi cung ứng nông sản. [3] đề xuất mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu nhằm đồng thời giảm chi phí và suy giảm độ tươi trong các giai đoạn thu hoạch, lưu trữ và vận chuyển. Trong bối cảnh thương mại điện tử nông sản phát triển, [4] ứng dụng thuật toán đàn kiến cải tiến để xây dựng lộ trình giao hàng tiết kiệm năng lượng, giúp giảm đáng kể chi phí vận chuyển. Bên cạnh đó, vấn đề quản trị mạng lưới logistics cũng được quan tâm, đặc biệt với các mô hình phân quyền hoàn toàn trong điều phối chuỗi, cho thấy hiệu quả trong việc rút ngắn thời gian xử lý và giảm chi phí logistics, nhất là đối với các hộ nông dân nhỏ tại các nước đang phát triển [5]. Những nghiên cứu trên nhấn mạnh vai trò của các yếu tố như phân bổ nguồn lực, lập lịch đơn hàng, tối ưu hóa tuyến đường và cấu trúc quản trị trong việc thiết kế mạng lưới vận tải hiệu quả cho nông sản tươi. Nghiên cứu này kế thừa mô hình quy hoạch tuyến tính nguyên hỗn hợp đa mục tiêu (MILP) đã được nhóm tác giả xây dựng và công bố trên Tạp chí Xây dựng, số tháng 7/2025 [6]. Mô hình cho phép tối ưu đồng thời hai mục tiêu là tổng chi phí và tổng thời gian vận chuyển trong thiết kế mạng lưới logistics đa tầng với các biến quyết định dạng liên tục và nhị phân, phù hợp với bài toán tổ hợp trong chuỗi cung ứng nông sản tươi.

Trên nền tảng mô hình toán đã được thiết lập, nghiên cứu này tập trung vào giai đoạn mô phỏng với bộ dữ liệu thực tế do doanh nghiệp xuất khẩu sầu riêng cung cấp nhằm kiểm chứng tính khả thi và hiệu quả ứng dụng mô hình trong điều kiện vận hành cụ thể. Dữ liệu đầu vào bao gồm: (i) Vị trí 15 vùng trồng (Loading Points - LP), 6 điểm đóng gói (Export Packing Houses - EP), 4 trung tâm phân phối tại cửa khẩu và cảng biển (Distribution Points - DP) và 3 thị trường nhập khẩu tại Trung Quốc (Import Areas - IA); (ii) ma trận chi phí và thời gian vận chuyển giữa các cấp nút; (iii) năng lực xử lý tại từng điểm trung gian và (iv) giới hạn bảo quản sản phẩm nhằm duy trì chất lượng sầu riêng tươi trong suốt chuỗi cung ứng lạnh. Hệ thống tuyến vận chuyển được cấu hình theo ba phương thức chính, phản ánh thực tiễn triển khai: (1) Vận chuyển bằng xe tải lạnh 15 tấn (tương đương 1 TEU) từ vùng trồng đến điểm đóng gói; (2) vận chuyển bằng container lạnh 40'RF (2 TEU) đường bộ từ điểm đóng gói đến trung tâm phân phối tại biên giới phía Bắc và (3) vận chuyển bằng container lạnh 40'RF đường biển từ điểm đóng gói đến cảng Cát Lái và tiếp tục đến thị trường nhập khẩu qua tuyến hàng hải.

Từng cung đường trong mạng lưới được gán chi phí và thời gian cụ thể tương ứng với phương thức vận chuyển đã chọn, đảm bảo tuân thủ các yêu cầu kỹ thuật của chuỗi cung ứng lạnh và điều kiện thực tế như tải trọng, cự ly và hình thức khai thác. Toàn bộ dữ liệu đầu vào được tích hợp vào mô hình MILP và tiến hành giải theo ba kịch bản: (i) tối ưu chi phí; (ii) tối ưu thời gian và (iii) tối ưu đa mục tiêu. Phân tích được triển khai qua hai bước: Đầu tiên, mô hình được giải theo từng hàm mục tiêu đơn để xác định giá trị tối ưu riêng biệt cho chi phí và thời gian. Sau đó, hai kỹ thuật giải đa mục tiêu được áp dụng gồm: (1) Phương pháp gán trọng số (weighted sum), khảo sát các nghiệm với trọng số chi phí $w_1 \in [0;1]$ và (2) phương pháp Minimax nhằm xác định nghiệm có độ lệch tổng hợp nhỏ nhất so với các giá trị tối ưu đơn mục tiêu đã xác định trước đó. Mô hình được giải bằng phần mềm IBM ILOG CPLEX với đầu ra bao gồm tổng chi phí, tổng thời gian và chỉ số tích hợp Q nhằm cung cấp cơ sở định lượng rõ ràng để đánh giá hiệu quả vận hành và lựa chọn cấu hình mạng lưới phù hợp với mục tiêu chiến lược của doanh nghiệp trong từng bối cảnh thị trường cụ thể.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Các tham số đầu vào được trình bày tổng quan trong Bảng 1, bao gồm thông tin về số điểm vùng trồng, cơ sở đóng gói, điểm phân phối, khu vực nhập khẩu, nhu cầu thị trường và các ràng buộc vận hành thực tế như ngưỡng thời gian bảo quản sầu riêng tươi.

Bảng 1. Tổng quan tham số đầu vào của mô hình

Thành phần	Giá trị
Vùng trồng	15 điểm khảo sát tại tỉnh Đắk Lắk
Cơ sở đóng gói	6 cơ sở đóng gói được doanh nghiệp sử dụng
Điểm phân phối	4 (gồm 3 cửa khẩu và 1 cảng Cát Lái)
Khu vực nhập khẩu	3 khu vực tiêu thụ tại Trung Quốc (r1: Thâm Quyến, r2: Hạ Môn, r3: Ninh Ba)
Nhu cầu xuất khẩu	96 TEU (r_1 = 44 TEU; r_2 = 36 TEU; r_3 = 16 TEU)
Ngưỡng thời gian bảo quản (ω)	168 giờ (7 ngày), tương ứng với giới hạn thời gian vận chuyển toàn tuyến
Đơn vị chi phí	1.000 đồng
Đơn vị thời gian	Giờ
Phương thức vận chuyển áp dụng	M1: LP>EP; M2: EP>DP và DP>IA; M3: DP>IA qua Cảng Cát Lái

- Kịch bản 1 - Tối ưu hóa chi phí:

Trong kịch bản ưu tiên tối thiểu hóa chi phí (w_1 = 1,0), mô hình xác định phương án vận tải hiệu quả nhất khi toàn bộ hàng hóa được gom từ l_4, đóng gói tại e_4, sau đó phân phối qua ba tuyến: $l_4>e_4>d_3>r_1$; $l_4>e_4>d_1>r_2$ và $l_4>e_4>d_2>r_3$. Mô hình tối ưu hóa chi phí vận chuyển được thiết lập nhằm hướng tới mục tiêu giảm thiểu tổng chi phí, với chi phí tối ưu đạt được là c*=4,942 tỷ đồng, áp dụng

cho ba khu vực nhập khẩu trong mạng lưới. Chi tiết về chi phí và thời gian vận chuyển từng tuyến được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tối ưu hóa chi phí theo từng tuyến vận chuyển

Tuyến vận chuyển	Chi phí (triệu đồng / TEU)	Nhu cầu (TEU)	Tổng chi phí (triệu đồng)	Thời gian vận chuyển (giờ)
l4>e4>d3>r1	53.001	44	2.332,044	60,58
l4>e4>d1>r2	59.101,5	36	2.127,654	62,39
l4>e4>d2>r3	30.135,75	16	482,172	73,46
Tổng cộng		**96**	**4.941,870**	

- Kịch bản 2 - Ưu tiên thời gian giao hàng:

Với mục tiêu rút ngắn tối đa thời gian vận chuyển trong kịch bản 2, mô hình lựa chọn tuyến nhanh nhất: $l_2>e_3>d_2>r_1/r_2$ và $l_2>e_3>d_1>r_3$. Phương tiện m_1 được sử dụng cho chặng LP>EP và m_2 cho các chặng còn lại. Kết quả cho thấy thời gian giao hàng giảm đáng kể, nhưng chi phí toàn hệ thống tăng lên 5,85 tỷ đồng, cao hơn 18,38% so với kịch bản tối ưu chi phí. Mô hình tối ưu hóa thời gian được thiết lập nhằm mục tiêu giảm thiểu tổng thời gian giao hàng, với thời lượng trung bình đạt được là t*=56,86 giờ. Cụ thể, thời gian giao hàng trung bình tại ba khu vực nhập khẩu lần lượt là t^*_{r1}=49,26, t^*_{r2}=54,37 và t^*_{r3}=66,94 giờ. Bảng 3 dưới đây thể hiện chi tiết kết quả vận hành trong kịch bản này.

Bảng 3. Kết quả tối ưu hóa thời gian theo từng tuyến vận chuyển

Tuyến vận chuyển	Chi phí (triệu đồng / TEU)	Nhu cầu (TEU)	Tổng chi phí (triệu đồng)	Thời gian vận chuyển (giờ)
l2>e3>d2>r1	58.491	44	2.573,604	49,26
l2>e3>d2>r2	65.026,75	36	2.340,963	54,37
l2>e3>d1>r3	58.481,5	16	935,704	66,94
Tổng cộng		**96**	**5.850,271**	

- Kịch bản 3 - Tối ưu đa mục tiêu:

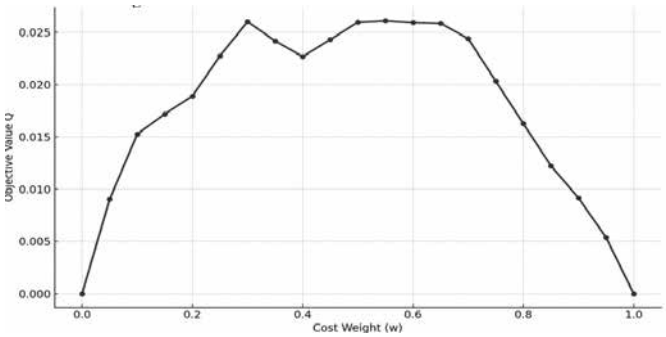
Kết quả mô phỏng theo phương pháp gán trọng số cho thấy khi trọng số chi phí (w_1) tăng từ 0 đến 1, tổng chi phí vận chuyển giảm từ 5,85 xuống 4,94 tỷ đồng (giảm 15,5%), trong khi thời gian giao hàng tăng từ 56,86 lên 65,48 giờ (tăng 15,2%), phản ánh rõ mối quan hệ đánh đổi giữa hai mục tiêu đối lập. Kết quả phân tích cung cấp cơ sở định lượng rõ ràng để doanh nghiệp lựa chọn trọng số phù hợp với ưu tiên chiến lược, chẳng hạn như ưu tiên thời gian (w_1 thấp) trong mùa cao điểm hoặc ưu tiên chi phí (w_1 cao) trong giai đoạn vận hành ổn định. Bảng 4 trình bày chi tiết kết quả theo từng mức w_1.

Bảng 4. Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu theo trọng số chi phí

Trọng số chi phí (w_1)	Chi phí (1.000 đồng)	Δ chi phí %	Trọng số thời gian (w_2)	Thời gian (giờ)	Δ thời gian %	Q (Độ lệch)
0	5.850.271	18,38	**1**	56,86	-	0
0,05	5.834.651	18,07	**0,95**	57,34	0,84	0,00903
0,1	5.663.260	14,60	**0,9**	57,82	1,69	0,01526
0,15	5.408.915	9,45	**0,85**	58,01	2,02	0,01719
0,2	5.408.915	9,45	**0,8**	58,01	2,02	0,01890
0,25	5.391.315	9,09	**0,75**	58,57	3,01	0,02274
0,3	5.221.904	5,67	**0,7**	58,97	3,71	0,02602
0,35	5.221.904	5,67	**0,65**	58,97	3,71	0,02417
0,4	5.221.904	5,67	**0,6**	58,97	3,71	0,02267
0,45	5.208.704	5,40	**0,55**	59,37	4,41	0,02430
0,5	5.198.540	5,19	**0,5**	59,80	5,17	0,02597
0,55	5.162.812	4,47	**0,45**	60,16	5,80	0,02611
0,6	5.155.552	4,32	**0,4**	60,36	6,16	0,02594
0,65	5.138.480	3,98	**0,35**	61,04	7,35	0,02586
0,7	5.012.948	1,44	**0,3**	61,48	8,13	0,02439
0,75	5.012.948	1,44	**0,25**	61,48	8,13	0,02032
0,8	5.012.948	1,44	**0,2**	61,48	8,13	0,01626
0,85	5.012.948	1,44	**0,15**	61,48	8,13	0,01223

0,9	4.990.376	0,98	**0,1**	62,06	9,15	0,00915
0,95	4.968.708	0,54	**0,05**	62,97	10,75	0,00537
1	4.941.870	-	**0**	65,48	15,16	0

Hình 1 minh họa đường cong Pareto của chỉ số tổng hợp Q đại diện cho độ lệch chuẩn hóa giữa hai mục tiêu khi w_1 tăng từ 0 đến 1 cho thấy rõ ba pha đặc trưng. Ở pha đầu (w_1 từ 0,00 đến 0,25) mô hình ưu tiên thời gian, chi phí gần như không thay đổi trong khi thời gian tăng nhẹ và Q tăng dần phản ánh sự mất cân bằng khi mục tiêu thời gian bị điều chỉnh. Ở pha giữa (w_1 từ 0,30 đến 0,65) cả hai mục tiêu cùng ảnh hưởng đến cấu trúc luồng hàng, Q đạt giá trị cực đại tại $w_1 = 0,55$ cho thấy mức xung đột cao nhất giữa chi phí và thời gian. Đây là vùng nhạy cảm, cần được cân nhắc kỹ trong thực tiễn. Ở pha cuối (w_1 từ 0,70 đến 1,00), mô hình nghiêng hẳn về tối ưu chi phí, thời gian tăng mạnh nhưng Q lại giảm nhanh về 0, cho thấy sự hội tụ đến phương án tối ưu chi phí. Khung đề xuất tạo điều kiện thuận lợi cho việc xây dựng các chiến lược vận tải thích ứng với các ưu tiên chiến lược được xác định. Chẳng hạn, khi việc giảm thời gian giao hàng là quan trọng, đặc biệt đối với các mặt hàng dễ hư hỏng như sầu riêng tươi, nên sử dụng tham số lý tưởng trong khoảng w = 0,1 đến 0,2. Trong các tình huống nhạy cảm về chi phí với số lượng lớn, các giá trị w cao từ 0,85 đến 1,0 sẽ có lợi hơn cho việc ưu tiên giảm chi phí. Việc lựa chọn w trong khoảng phù hợp với mục tiêu kinh doanh hoặc hướng đến phương án cân bằng giữa hiệu quả kinh tế và thời gian đáp ứng là một tiêu chí then chốt trong vận chuyển hàng hóa, đặc biệt với mặt hàng nông sản tươi như sầu riêng.



Hình 1. Đường biến thiên của chỉ số mục tiêu theo trọng số ưu tiên chi phí

Nguồn: Kết quả mô phỏng từ mô hình MILP của tác giả

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã áp dụng mô hình lập trình tuyến tính nguyên hỗn hợp đa mục tiêu (MILP) để tối ưu hóa mạng lưới vận tải bốn tầng phục vụ xuất khẩu sầu riêng từ Đắk Lắk sang Trung Quốc. Kết quả cho thấy, kịch bản ưu tiên chi phí ($w_1 = 1,0$) cho tổng chi phí thấp nhất (4,94 tỷ đồng) nhưng thời gian giao hàng dài (65,48 giờ), phù hợp với các lô hàng lớn không cần giao nhanh. Ngược lại, phương án ưu tiên thời gian ($w_1 = 0,0$) rút ngắn thời gian còn 49,26 giờ nhưng chi phí tăng lên 5,85 tỷ đồng, phù hợp với hàng tươi sống như sầu riêng. Đặc biệt, trong khoảng trọng số từ 0,65 đến 0,75, mô hình cho thấy khả năng cân bằng hiệu quả giữa hai mục tiêu. Điều này khẳng định tầm quan trọng của việc lựa chọn trọng số phù hợp để xây dựng phương án vận chuyển tối ưu theo đặc thù từng thị trường.

Tuy nhiên, mô hình hiện tại chưa xét đến các yếu tố bất định như thời tiết, tắc nghẽn giao thông hoặc biến động nhu cầu, cũng như chưa tích hợp chi phí bảo quản lạnh hay yếu tố phát thải carbon là các thành phần quan trọng với chuỗi cung ứng nông sản tươi. Do đó, việc áp dụng mô hình vào thực tiễn nên được cân nhắc thực hiện trên phạm vi thử nghiệm nhỏ và trong thời gian ngắn trước khi áp dụng vào toàn bộ chuỗi cung ứng. Qua đó, doanh nghiệp có thể hạn chế rủi ro từ những yếu tố bất định và hoàn thiện lại mô hình kinh doanh theo phương án phù hợp nhất. Trong tương lai, nghiên cứu cần mở rộng theo hướng: (i) Đưa yếu tố rủi ro vào mô hình; (ii) bổ sung các tiêu chí bền vững và (iii) phát triển công cụ ứng dụng thực tiễn nhằm hỗ trợ doanh nghiệp xuất khẩu ra quyết định nhanh chóng và linh hoạt hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Hiệp hội Rau quả Việt Nam (2025), Bản tin rau quả thế giới tuần lễ từ 21 - 25/4/2025.

[2]. Fernando, W. M., Thibbotuwawa, A., Perera, H. N., Nielsen, P., & Kilic, D. K. (2024), An integrated vehicle routing model to optimize agricultural products distribution in retail chains, Cleaner Logistics and Supply Chain, 10, 100137.

[3]. Li, L., Li, S., Li, W., & Zhou, F. (2023), Freshness-driven vehicle routing problem: Modeling and application to the fresh agricultural product pick-storage-transportation, J. Ind. Manage, Optim, 19, 6218-6243.

[4]. Zahran, S. (2024), Optimizing supply chain management of fresh E-commerce agri-consumer products using energy-efficient vehicle routing, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 70(1), 1685-1693.

[5]. Perdana, T., Tjahjono, B., Kusnandar, K., Sanjaya, S., Wardhana, D., & Hermiatin, F. R. (2023), Fresh agricultural product logistics network governance: insights from small-holder farms in a developing country, International Journal of Logistics Research and Applications, 26(12), 1761-1784.

[6]. Nguyễn Thị Trâm, Hồ Thị Thu Hòa, Nguyễn Thanh Danh (2025), Nghiên cứu mô hình tối ưu hóa mạng lưới vận tải phục vụ hàng nông sản xuất khẩu, Tạp chí Xây dựng, số tháng 7, ISSN: 2734-9888.