

SIMULATION OF MATERIALS FOR CEMENT PLANT USING MATLAB

Ha Thi Thinh*, Nguyen Thi Kha

Nam Dinh University of Technology Education

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 10/9/2025	This paper discusses the use of Matlab/Simulink as a base tool for both simulation and solution to raw mix calculation in clinker production in cement plant. Since this environment allows us to construct intuitive block- diagram models, it can be used as a good training and research tool to investigate intricate processes visually, safely, and inexpensively. In clinker manufacture, in addition to technological and operational parameters, the chemical composition of raw materials, mainly its principal oxides (CaO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃), is very important for product quality control. Based on this foundation, the paper develops a raw mix calculation process and to build a Matlab/Simulink model in order to simulate the links between the different raw material components, and assess the effect of changes in mix proportions on clinker properties. Simulation results show that the model can deliver accurate outcomes with high reliability, presenting a clear and flexible tool to better assist learners and researchers for an effective approach to real production processes by maintaining technology optimization. The work can be summed up as follows: the use of Simulink for raw mix computations not only improves efficiency in teaching and learning, but also has practical implications in industry for cement production.
Revised: 30/11/2025	
Published: 30/11/2025	
KEYWORDS	
Matlab	
Raw mix calculation	
Clinker production	
Simulation	
Cement industry	

MÔ PHỎNG TÍNH PHỐI LIỆU CHO NHÀ MÁY XI MĂNG BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

Hà Thị Thịnh*, Nguyễn Thị Kha

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 10/9/2025	Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng Matlab/Simulink trong mô phỏng và giải bài toán tính phối liệu cho sản xuất Clinker tại nhà máy xi măng. Simulink được đánh giá là công cụ hiệu quả trong đào tạo và nghiên cứu nhờ khả năng xây dựng mô hình trực quan, dễ thao tác, giúp phân tích các quá trình phức tạp một cách sinh động, an toàn và tiết kiệm chi phí. Trong sản xuất Clinker, bên cạnh yếu tố công nghệ và kỹ thuật vận hành, thành phần hoá học của nguyên liệu, đặc biệt là các oxit chính như CaO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , đóng vai trò then chốt quyết định chất lượng sản phẩm. Trên cơ sở đó, bài báo xây dựng quy trình tính toán phối liệu và triển khai mô hình trên Matlab/Simulink nhằm mô phỏng quan hệ giữa các thành phần nguyên liệu, đồng thời đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi tỷ lệ phối trộn đến chất lượng Clinker. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình đáp ứng tốt yêu cầu thực tiễn, cung cấp công cụ trực quan, tin cậy, hỗ trợ người học và nhà nghiên cứu tiếp cận nhanh hơn với quá trình sản xuất, đồng thời mở ra khả năng tối ưu hóa công nghệ. Kết luận của nghiên cứu khẳng định việc ứng dụng Simulink trong tính phối liệu vừa có giá trị trong giảng dạy – học tập, vừa mang ý nghĩa thực tiễn đối với sản xuất xi măng.
Ngày hoàn thiện: 30/11/2025	
Ngày đăng: 30/11/2025	
TỪ KHÓA	
Matlab	
Tính toán phối liệu	
Sản xuất clinker	
Mô phỏng	
Công nghiệp xi măng	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.13584>

* Corresponding author. Email: hathinh.nute@gmail.com

1. Giới thiệu

Ngành công nghiệp xi măng giữ vai trò then chốt trong phát triển hạ tầng, song lại bao gồm những quy trình hết sức phức tạp, đặc biệt ở khâu sản xuất clinker – giai đoạn trung tâm của toàn bộ dây chuyền. Chất lượng clinker không chỉ phụ thuộc vào công nghệ lò nung và điều kiện vận hành, mà quan trọng hơn là thành phần hóa học của nguyên liệu đầu vào, đặc biệt các ôxít chính CaO, SiO₂, Al₂O₃ và Fe₂O₃ [1] - [3]. Do đó, việc tính toán chính xác tỷ lệ phối liệu được coi là bước cốt lõi nhằm đảm bảo chất lượng clinker và hiệu quả sản xuất.

Trong những năm gần đây, các công cụ số và kỹ thuật mô phỏng ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong đào tạo kỹ thuật và nghiên cứu công nghiệp, nhằm nâng cao chất lượng giảng dạy cũng như rút ngắn khoảng cách giữa lý thuyết và thực tiễn. Matlab với công cụ Simulink được đánh giá là một trong những môi trường mô phỏng mạnh mẽ nhất nhờ khả năng mô hình hóa hệ thống động dưới dạng sơ đồ khối, cho phép phân tích nhiều kịch bản khác nhau một cách trực quan, an toàn và tiết kiệm chi phí [4] - [6].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu tập trung vào tối ưu hóa chất lượng clinker và tính toán phối liệu dựa trên các phương pháp hóa học, thống kê hay nhiệt động [1] - [3], [7], [8], nhưng vẫn còn thiếu các mô hình mô phỏng có thể áp dụng đồng thời cho cả đào tạo và thực tiễn sản xuất. Các nghiên cứu quốc tế gần đây đã nhấn mạnh tiềm năng của mô hình mô phỏng động [4], [5], phương pháp kiểm chứng thực nghiệm [9], cũng như các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo trong dự đoán và tối ưu chất lượng clinker [10]. Bên cạnh đó, các phương pháp mô phỏng nhiệt động cũng được đề xuất nhằm tối ưu hóa phối liệu với nguyên liệu thay thế, góp phần vào mục tiêu sản xuất xi măng bền vững [11].

Các phương pháp truyền thống để tính phối liệu chủ yếu dựa trên cân bằng hoá học theo hệ số bảo hoà vôi, mô đun silic và mô đun nhôm, được xác định từ phân tích hoá học nguyên liệu đầu vào. Tuy nhiên, các phương pháp này thường yêu cầu nhiều lần lặp tính thủ công, thiếu khả năng phân tích độ nhạy và dự báo khi thành phần nguyên liệu thay đổi. Gần đây, các kỹ thuật tính toán hiện đại kết hợp tối ưu hoá, mô phỏng động và trí tuệ nhân tạo cũng được nghiên cứu để cải thiện độ chính xác và giảm chi phí thí nghiệm.

Nghiên cứu này nhằm xây dựng mô hình Matlab/Simulink để mô phỏng quá trình tính phối liệu trong sản xuất clinker. Mô hình cho phép xác định các chỉ tiêu chất lượng quan trọng như hệ số bảo hoà vôi (LSF), mô đun silic (SIM) và mô đun nhôm (ALM), tập trung vào việc xác định tỷ lệ phối liệu hợp lý, chưa đi sâu phân tích định lượng ảnh hưởng của các kịch bản thay đổi tỷ lệ phối trộn đến các tính chất khác của clinker. Đóng góp chính của nghiên cứu bao gồm: (i) cung cấp công cụ mô phỏng trực quan, linh hoạt, góp phần nâng cao hiệu quả giảng dạy và học tập trong lĩnh vực công nghệ xi măng; và (ii) đề xuất khung ứng dụng thực tiễn hỗ trợ tối ưu hóa quy trình sản xuất clinker trong các nhà máy xi măng.

2. Phương pháp nghiên cứu

Giả sử ta cần chạy phối liệu gồm từ 1 đến n cấu tử có các thành phần hoá học tương ứng với 4 ôxít chính sau:

Cấu tử 1: C₁ A₁ S₁ F₁

Cấu tử 2: C₂ A₂ S₂ F₂

Cấu tử n: C_n A_n S_n F_n

Với C, S, A, F là thành phần % theo khối lượng các ôxít CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ trong Clinker.

2.1. Quy trình tính toán

2.1.1. Lựa chọn hệ số và mô đun Clinker chế tạo

Tuỳ theo phương pháp sản xuất và yêu cầu chất lượng Clinker mà người ta chọn hệ số bảo hoà vôi và các mô đun silic, mô đun Alumin sao cho hợp lý (cao hay thấp). Có các hệ số mô đun cơ bản sau:

$$\text{- Hệ số bão hoà vôi được tính như sau: } LSF = \frac{100.C}{2,8.S + 1,18.A + 0,65.F} \quad (1)$$

Với xi măng Pooclang thường: $LSF = 95 \div 100$

$$\text{- Môđun silic: } SIM = \frac{S}{A + F} \quad (2)$$

Với xi măng Pooclang thì $SIM = 1,7 \div 3,5$

$$\text{- Môđun nhôm: } ALM = \frac{A}{F} \quad (3)$$

Với xi măng Pooclang thì $ALM = 1 \div 3$

2.1.2. Chuyển tất cả các nguyên liệu khô chưa nung về dạng khô đã nung

Mục đích của việc này là để đồng nhất giữa nguyên liệu khô khi chưa nung về trạng thái Clinker đã khô. Vì trong quá trình nung luyện Clinker có sự mất mát khối lượng của nguyên liệu do sự mất nước hay sự chuyển hoá các chất. Công thức chuyển đổi như sau:

$$C_n = \frac{C_n^0}{100 - MKN_n} \times 100 \quad (4) \quad S_n = \frac{S_n^0}{100 - MKN_n} \times 100 \quad (5)$$

$$A_n = \frac{A_n^0}{100 - MKN_n} \times 100 \quad (6) \quad F_n = \frac{F_n^0}{100 - MKN_n} \times 100 \quad (7)$$

Trong đó: C_n, S_n, A_n, F_n : là thành phần % theo khối lượng các ô xít $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$ trong Clinker đã nung của cầu tử thứ n ; $C_n^0, S_n^0, A_n^0, F_n^0$ là thành phần % theo khối lượng các ô xít $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$ trong Clinker trong nguyên liệu khô chưa nung của cầu tử thứ n ; MKN_n là khối lượng mất khi nung của cầu tử n .

2.1.3. Tính toán các hệ số và các mô đun cho từng cầu tử của nguyên liệu

Sau khi tiến hành chuyển đổi giữa nguyên liệu chưa nung và Clinker đã nung rồi áp dụng các công thức (1), (2), (3) ta sẽ tính được các hệ số cũng như mô đun của từng cầu tử trong nguyên liệu.

Mặt khác, tùy theo từng loại xi măng mà ta có các hệ số và mô đun cần có cho mỗi loại Clinker. Do đó ta tính được các hệ số sai lệch các thành phần ôxít của nguyên liệu với yêu cầu.

Sai lệch của ôxít canxi cho từng cầu tử với yêu cầu:

$$\Delta C_n = C_n \left(1 - \frac{LSF}{LSF_n} \right) \quad (8)$$

Sai lệch của ôxít silic cho từng cầu tử với yêu cầu:

$$\Delta S_n = S_n \left(1 - \frac{SIM}{SIM_1} \right) \quad (9)$$

Sai lệch của ôxít nhôm cho từng cầu tử với yêu cầu:

$$\Delta A_n = A_n \left(1 - \frac{ALM}{ALM_n} \right) \quad (10)$$

2.1.4. Xác định tỷ lệ các cầu tử có trong nguyên liệu

Gọi tỷ lệ các cầu tử khi trộn vào nhau là $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$.

Ta có phương trình liên hệ sau:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \Delta C_i \cdot X_i = \Delta C_1 \cdot X_1 + \Delta C_2 \cdot X_2 + \dots + \Delta C_n \cdot X_n = 0 \\ \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cdot X_i = \Delta S_1 \cdot X_1 + \Delta S_2 \cdot X_2 + \dots + \Delta S_n \cdot X_n = 0 \\ \sum_{i=1}^n \Delta A_i \cdot X_i = \Delta A_1 \cdot X_1 + \Delta A_2 \cdot X_2 + \dots + \Delta A_n \cdot X_n = 0 \\ \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1 \end{cases} \quad (11)$$

Giải hệ (11) ta tìm được các giá trị $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Đây là tỷ lệ các cấu tử trong Clinker khô sau khi nung. Vì vậy ta phải xác định được tỷ lệ các cấu tử trong nguyên liệu dạng khô trước khi nung. Ta có mối liên hệ giữa tỷ lệ của các cấu tử trong Clinker và trong nguyên liệu khi chưa nung như sau:

$$X_i^0 = \frac{X_i}{100 - MKN_i} \times 100 \quad (12)$$

Tuỳ thuộc vào công nghệ sản xuất xi măng được áp dụng là công nghệ lò đứng hay công nghệ lò quay mà trong nguyên liệu trước khi đưa vào lò có than hay không có than trộn cùng. Nếu là công nghệ lò quay thì trong nguyên liệu đưa vào lò không có than cám, còn nếu là công nghệ lò đứng thì người ta phải trộn than cám cùng với bột liệu trước khi đưa vào lò.

Nếu có than trộn cùng thì trong Clinker tạo thành bao giờ cũng có thêm lượng tro than. Lượng này có mặt hoàn toàn không ảnh hưởng đến hoá tính của xi măng mà nó chỉ có vai trò như là một phụ gia trợ. Khi tính toán tỷ lệ các thành phần nguyên liệu ta cũng phải tính đến nó nhưng cuối cùng chúng ta phải đưa về tỷ lệ các thành phần không có tro than theo công thức sau:

$$X_{i'}^0 = \frac{X_i^1}{\sum_{i=1}^n X_i^0 - X_{than}^0} \times 100(\%) \quad (13)$$

Với $X_{i'}^0$ là tỷ lệ tro than trong thành phần nguyên liệu.

Nguyên liệu đưa vào lò bao giờ cũng có một độ ẩm nhất định. Tuỳ thuộc vào công nghệ sản xuất xi măng mà quyết định độ ẩm của nguyên liệu là bao nhiêu. Với phương pháp ướt thì nguyên liệu vào lò ở dạng bùn với độ ẩm từ 36 ÷ 42%, với phương pháp bán khô thì độ ẩm tiêu chuẩn là 12 ÷ 14%, với phương pháp khô thì độ ẩm nguyên liệu được khống chế từ 1 ÷ 2%.

Trong khi tính toán phối liệu ta cũng không thể bỏ qua độ ẩm của các cấu tử. Do đó sau khi tính cho nguyên liệu khô thì ta cần phải đưa về dạng nguyên liệu bao gồm độ ẩm theo công thức sau:

$$X_{i''}^0 = X_{i'}^0 \left(\frac{100}{100 - W_i} \right) \quad (14)$$

Với W_i là độ ẩm của cấu tử thứ i .

Từ kết quả này, ta tính được tỷ lệ % các cấu tử tạo nên nguyên liệu theo yêu cầu theo công thức:

$$\%X_i' = \frac{X_{i''}^0}{\sum_{i=1}^n X_{i''}^0} \times 100 \quad (15)$$

2.2. Bài toán tính phối liệu cho nhà máy xi măng

Phương pháp sản xuất là công nghệ lò quay, phương pháp khô nên trong thành phần nguyên liệu đầu vào không có than cám và độ ẩm cũng không cao. Nguyên liệu đầu vào cho trong Bảng 1.

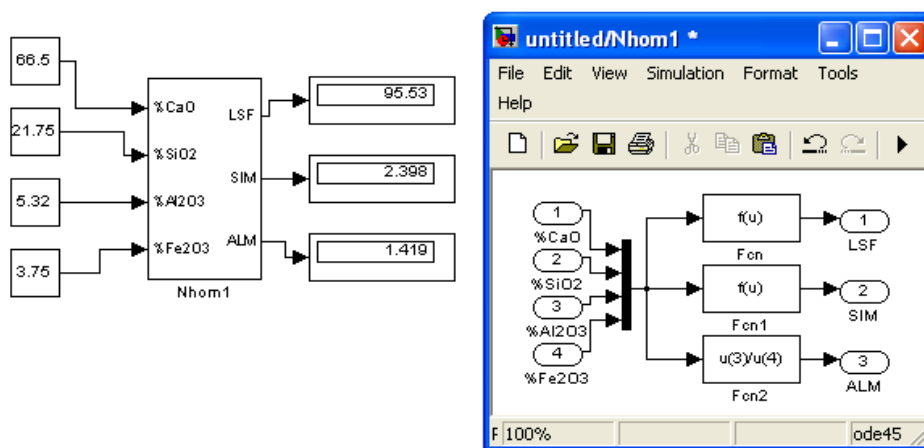
Bảng 1. Thành phần nguyên liệu đầu vào

Nguyên liệu	Thành phần hoá học									
	C	S	A	F	Mg	SO ₃	CK	MKN	Z	W
Đá vôi	53,9	0,9	0,6	0,3	0,4	0,1	0,79	43,01	100	1,5
Đá sét	2,71	61,53	15,99	6,84	1,61	0	3,18	8,14	100	10,5
Quặng sắt	1,30	41,80	6,40	42,4	0,3	0,3	0,10	7,40	100	1,1
Cát Silic	1,9	85,00	5,30	3,90	0,2	0,1	0,90	2,70	100	6,0

2.3. Mô hình Matlab/Simulink giải bài toán tính phối liệu cho nhà máy xi măng

Tuỳ theo yêu cầu của Clinker xi măng mà người ta lựa chọn hệ số và mô đun dựa trên thành phần của các ôxít chính trong Clinker: CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. Trong bài toán này ta chọn: % CaO = 66,5%; % SiO₂ = 21,75%; % Al₂O₃ = 5,32%; % Fe₂O₃ = 3,75%. Còn lại 2,68% là thành phần các ôxít khác như: R₂O, TiO₂, MgO, MnO₂...

Sau khi ta đã chọn được tỷ lệ các ôxít trong thành phần liệu đầu vào, ta xây dựng mô hình Simulink như Hình 1 dựa vào công thức (1), (2), (3) để mô phỏng và tính toán các hệ số và mô đun của Clinker:

**Hình 1.** Sơ đồ mô phỏng tính các hệ số và mô đun của Clinker từ % các ôxít

Sau khi tính được các hệ số mô đun của clinker, ta xây dựng mô hình Simulink dựa vào công thức (8), (9), (10) để tính sai lệch tĩnh giữa các ô xít trong nguyên liệu so với yêu cầu như Hình 2. Hình 3 là mô hình Simulink giúp giải hệ phương trình (11) với các ẩn là X_1 , X_2 , X_3 , X_4 . Đây là tỷ lệ các cấu tử trong Clinker khô sau khi nung. Từ hệ phương trình (11) ta có:

$$X_1 = \frac{1}{C_1} (-C_2 X_2 - C_3 X_3 - C_4 X_4)$$

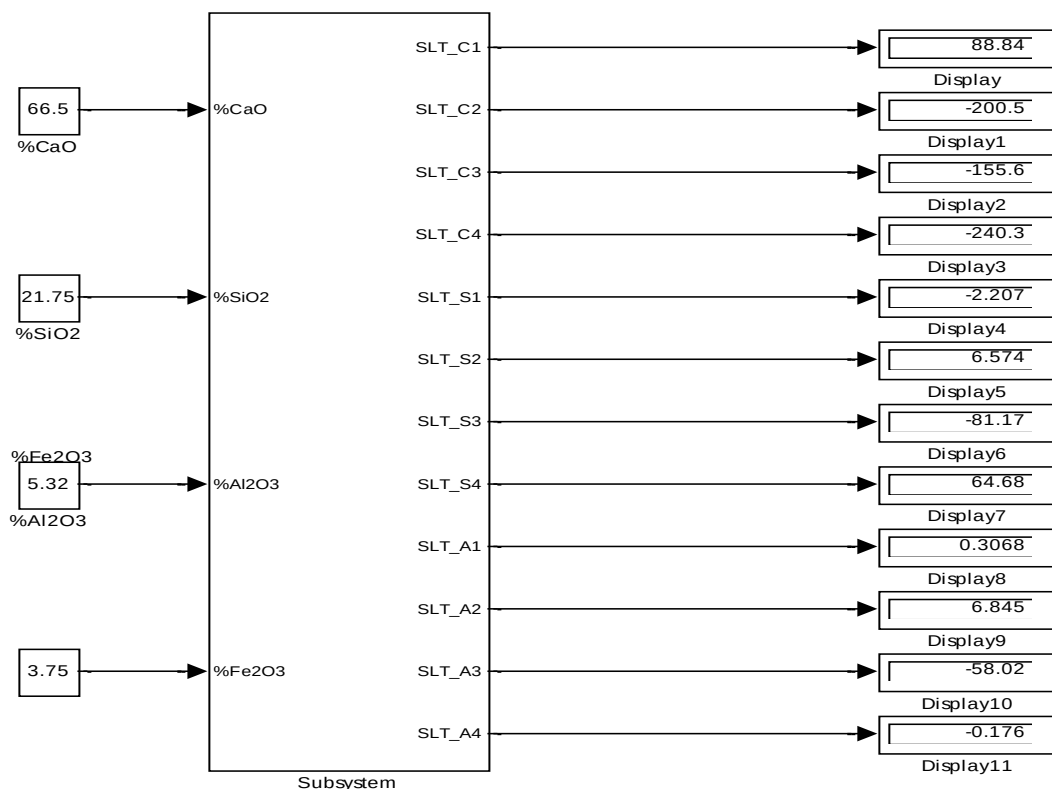
$$X_2 = \frac{1}{S_2} (-S_1 X_1 - S_3 X_3 - S_4 X_4)$$

$$X_3 = \frac{1}{A_3} (-A_1 X_1 - A_2 X_2 - A X_4)$$

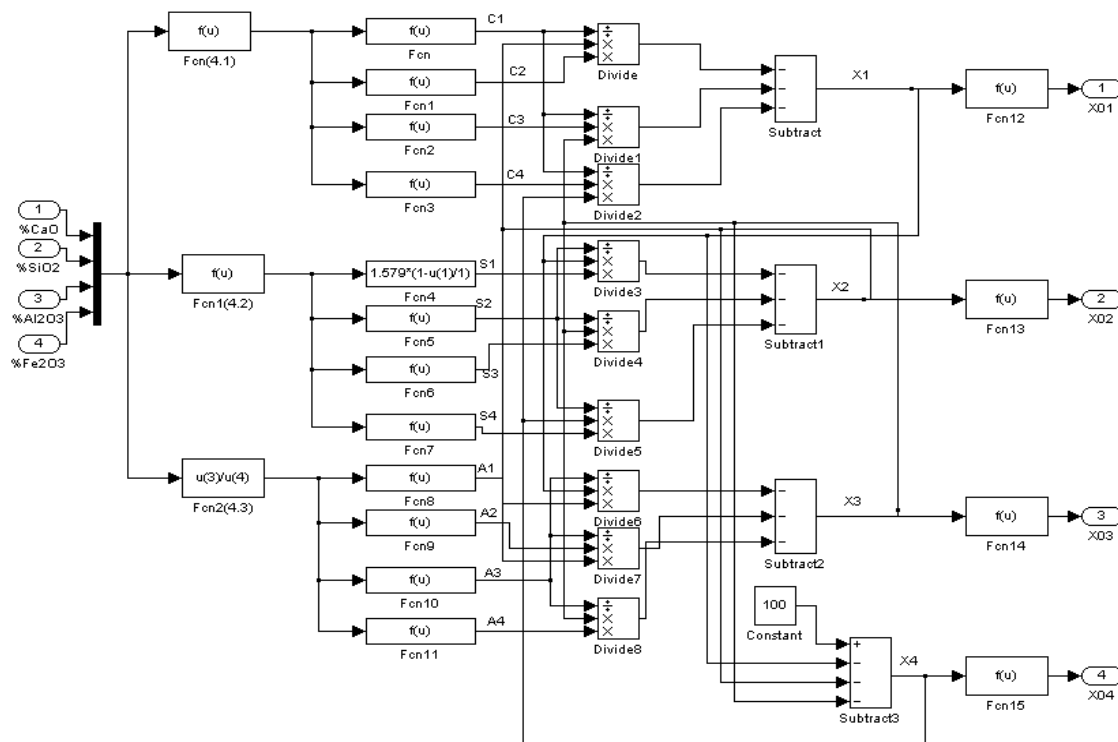
$$X_4 = 100 - X_1 - X_2 - X_3$$

Với các khối tính toán trong Simulink ghép ra và kết nối như Hình 3 đã giúp tìm ra nghiệm X_i . Nếu hệ càng nhiều ẩn, việc sử dụng Matlab/Simulink càng thể hiện sự ưu việt so với việc tính toán bằng tay hay một số phần mềm khác.

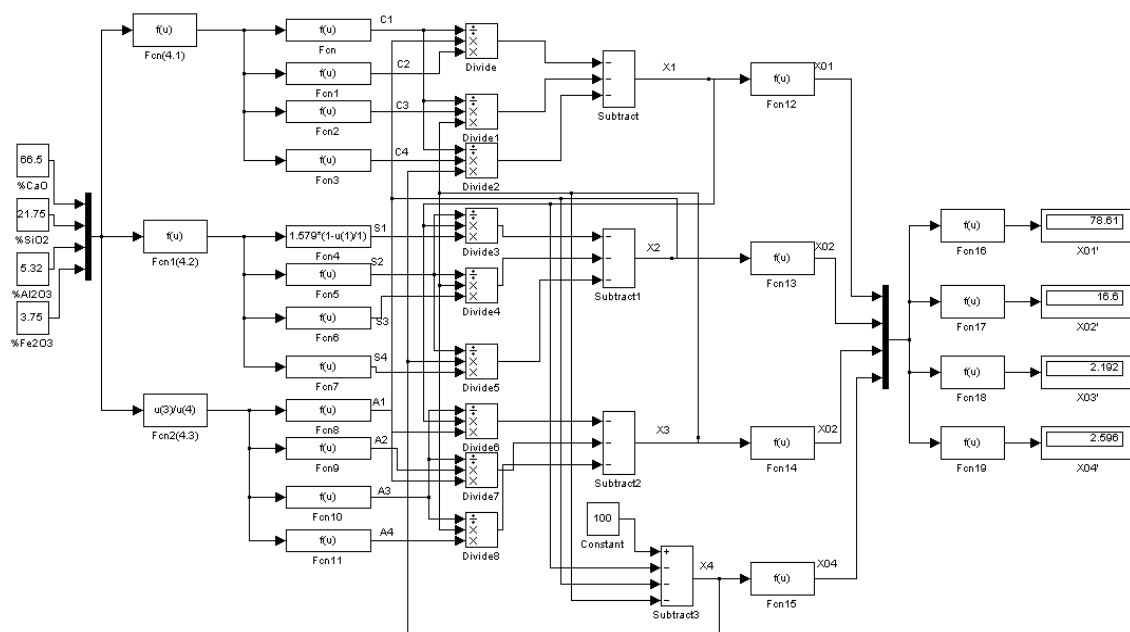
Cũng trong Hình 3, các ẩn X_{01} , X_{02} , X_{03} , X_{04} là tỷ lệ các cấu tử trong Clinker khô trước khi nung được tính từ X_1 , X_2 , X_3 , X_4 thông qua hàm Fcn 12, 13, 14, 15 dựa vào công thức (12).



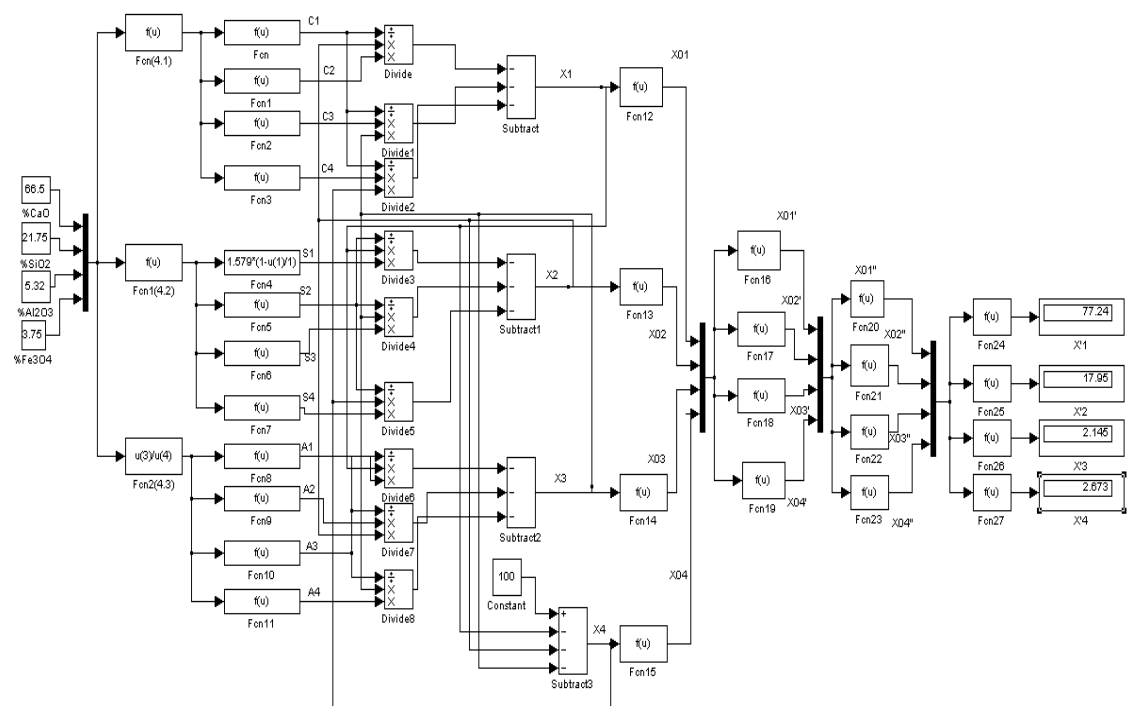
Hình 2. Sơ đồ mô phỏng tính toán sai lệch tình giữa các ôxit trong nguyên liệu



Hình 3. Sơ đồ tính tỷ lệ cấu từ giữa các ô xít trong nguyên liệu sau khi nung và trước khi nung



Hình 4. Sơ đồ tính tỷ lệ các thành phần không có tro than



Hình 5. Sơ đồ tính tỷ lệ thực của các cấu tử

Thông qua hàm $Fcn 16, 17, 18, 19$ lập dựa theo công thức (13) trong Hình 4 tính được tỷ lệ các thành phần không có tro than $X01', X02', X03', X04'$.

Thông qua hàm $Fcn 20, 21, 22, 23$ lập dựa theo công thức (14) trong Hình 5 tính được tỷ lệ các thành phần không có tro than có chứa độ ẩm $X01'', X02'', X03'', X04''$.

Thông qua hàm $Fcn 24, 25, 26, 27$ lập dựa theo công thức (15) trong Hình 5 tính được tỷ lệ các cấu tử tạo nên nguyên liệu theo yêu cầu $X1', X2', X3', X4'$.

3. Kết quả và bàn luận

Từ Bảng 1 ta chuyển các nguyên liệu khô chưa nung về dạng khô đã nung theo các công thức (4), (5), (6), (7). Ta được kết quả ở Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần nguyên liệu sau khi chuyển đổi về dạng khô đã nung

Nguyên liệu	Thành phần hoá học							
	C	S	A	F	Mg	SO ₃	CK	Z
Đá vôi (CaO)	94,578	1,579	1,053	0,526	0,702	0,175	1,386	100
Đá sét (Al ₂ O ₃)	2,95	66,982	17,407	7,446	1,753	0	3,462	100
Quặng sắt (Fe ₂ O ₃)	1,404	45,14	6,911	45,788	0,324	0,324	0,108	100
Cát silic (SiO ₂)	1,953	87,359	4,008	5,447	0,206	0,103	0,925	100

Sau khi đã chuyển đổi các nguyên liệu từ dạng khô chưa nung về dạng khô đã nung. Ta tính hệ số và mô đun của các cấu tử trong nguyên liệu theo các công thức (1), (2), (3), kết quả cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Các hệ số và mô đun của các cấu tử trong nguyên liệu

Nguyên liệu	LSF	SIM	ALM
Đá vôi (CaO)	1574,82	1,000	2,002
Đá sét (Al ₂ O ₃)	1,385	2,695	2,338
Quặng sắt (Fe ₂ O ₃)	0,854	0,857	0,151
Cát silic (SiO ₂)	0,770	9,239	1,359

Như vậy, tùy theo yêu cầu của Clinker xi măng mà người ta lựa chọn hệ số và mô đun dựa trên thành phần của các ôxít chính trong Clinker: CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình Matlab/Simulink để tính toán phối liệu sản xuất clinker dựa trên các chỉ tiêu cơ bản LSF, SIM và ALM. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình phản ánh chính xác mối quan hệ giữa thành phần nguyên liệu và các chỉ tiêu phối liệu, đồng thời cung cấp công cụ thuận tiện để kiểm tra nhanh ảnh hưởng của việc thay đổi tỷ lệ nguyên liệu đến giá trị các chỉ tiêu này. Thuật toán được cài đặt đơn giản, dễ triển khai trong môi trường đào tạo và hỗ trợ kỹ sư công nghệ trong việc lựa chọn phối liệu hợp lý. Các kết quả đạt được khẳng định tính khả thi của phương pháp và là cơ sở cho các nghiên cứu mở rộng trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] V. C. Phan, *Portland Cement Production Technology*. Hanoi, Vietnam: Science and Technology Publishing House, 2004.
- [2] V. C. Phan, *Rotary Kiln Cement Production Technology*. Hanoi, Vietnam: Science and Technology Publishing House, 2004.
- [3] Q. C. Nguyen, *Cement Production Technology*. Hanoi, Vietnam: Construction Publishing House, 2006.
- [4] J. L. Svensen *et al.*, “Dynamical Simulation Model of the Pyro-Process in Cement Clinker Production,” *arXiv preprint arXiv:2504.02886*, Apr. 2025.
- [5] J. L. Svensen *et al.*, “A Dynamical Simulation Model of a Cement Clinker Rotary Kiln,” *arXiv preprint arXiv:2405.03200*, May 2024.
- [6] D. A. Nguyen, *Automation of Production Processes*, Hanoi, Vietnam: Science and Technology Publishing House, 2016.
- [7] V. C. Phan, *Vertical Kiln Cement Production Technology*. Hanoi, Vietnam: Science and Technology Publishing House, 2001.
- [8] P. Hewlett, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, 5th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2019.
- [9] M. Türkseven, “Modeling and validation of a clinker production process,” *Journal of Process Control*, vol. 136, pp. 103–115, 2025.
- [10] S. J. Fayaz *et al.*, “Industrial-scale Prediction of Cement Clinker Phases using Machine Learning,” *Communications Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, May 2025.
- [11] J. P. Gonçalves, “Analysis and optimization of cement clinker quality using thermodynamic simulations,” *Cement and Concrete Research*, vol. 175, 2024, Art. no. 106508.