

Mô hình tính độ thấm của môi trường lỗ rỗng dưới điều kiện bão hòa

Nguyễn Mạnh Hùng^{1,2,3*}, Nguyễn Văn Nghĩa¹, Phạm Minh Tân⁴, Lương Duy Thành¹

¹Trường Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội;

²Viện sau đại học, trường Đại học Phenikaa;

³Viện nghiên cứu tiên tiến, trường Đại học Phenikaa;

⁴Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.

*Email: nguyenvanhhung@tlu.edu.vn

Nhận bài: 12/9/2023; Hoàn thiện: 08/11/2023; Chấp nhận đăng: 15/11/2023; Xuất bản: 10/12/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2023.141-148>

TÓM TẮT

Độ thấm của môi trường lỗ rỗng là một tham số đặc trưng cho khả năng truyền dẫn nước trong môi trường lỗ rỗng. Độ thấm có vai trò quan trọng chi phối dòng chảy của nước và sự chuyển động của các chất ô nhiễm dưới mặt đất và các tầng ngậm nước. Độ thấm phụ thuộc vào đặc điểm của môi trường lỗ rỗng như kích thước lỗ rỗng, sự phân bố lỗ rỗng, sự kết nối giữa chúng, độ rỗng, v.v. Trong báo cáo này, chúng tôi xây dựng mô hình tính độ thấm của môi trường lỗ rỗng dưới điều kiện bão hòa sử dụng mô hình ống mao dẫn tuân theo phân bố fractal. Mô hình chỉ ra quan hệ giữa độ thấm và đặc điểm của môi trường lỗ rỗng như kích thước lỗ rỗng, độ xốp, độ uốn khúc và tham số đặc trưng cho phân bố lỗ rỗng. Kết quả chỉ ra có sự phù hợp tốt giữa mô hình đề xuất với số liệu và mô hình khác đã được công bố.

Từ khóa: Độ thấm; Môi trường lỗ rỗng; Độ rỗng; Ống mao dẫn; Phân bố fractal.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Khái niệm môi trường lỗ rỗng được sử dụng rộng rãi và liên quan đến nhiều lĩnh vực khoa học và kỹ thuật. Môi trường lỗ rỗng có thể là tự nhiên (môi trường địa chất) như đất, cát, đá trầm tích thường gặp trong kỹ thuật, nông nghiệp và khoa học trái đất, v.v. hoặc có thể nhân tạo như vật liệu phân tách, xúc tác, màng lọc, v.v. thường được dùng trong kỹ thuật hóa học. Trong hiện tượng thấm, độ thấm của môi trường lỗ rỗng là một tham số đặc trưng cho khả năng truyền dẫn nước. Độ thấm có vai trò quan trọng chi phối dòng chảy của nước và sự chuyển động của các chất ô nhiễm dưới mặt đất và các tầng ngậm nước. Các nhà Thủy văn học cần biết giá trị của độ thấm của đất cho các mô hình thủy văn hoặc dự đoán dòng chảy của nước qua các khu vực khác nhau. Các nhà nông nghiệp dựa trên độ thấm để quyết định tốc độ tưới cũng như dự đoán được sự xói mòn hoặc sự rửa trôi các chất dinh dưỡng của đất. Các kỹ sư địa kỹ thuật dựa trên độ thấm để thiết kế các hồ chứa nước, thiết kế nền đường, v.v. Độ thấm phụ thuộc vào đặc điểm của môi trường lỗ rỗng như kích thước lỗ rỗng, sự phân bố lỗ rỗng, sự kết nối giữa chúng, độ rỗng,... Hiện nay, có nhiều cách tiếp cận được sử dụng để nghiên cứu hiện tượng thấm trong môi trường lỗ rỗng như phương pháp trung bình thể tích, phương pháp môi trường hiệu dụng, phương pháp lý thuyết thấm, phương pháp phân tích đường tới hạn, hoặc các phương pháp mô phỏng như phương pháp phần tử hữu hạn, lưới Boltzman v.v. Một trong các phương pháp được sử dụng phổ biến là phương pháp mô hình ống mao dẫn (OMD) do sự đơn giản nhưng hiệu quả trong việc thu nhận mô hình giải tích và do đó dễ dàng dự đoán ảnh hưởng của các tham số đặc trưng cho môi trường lỗ rỗng lên các hiện tượng truyền dẫn nói chung và hiện tượng thấm nói riêng [1, 2].

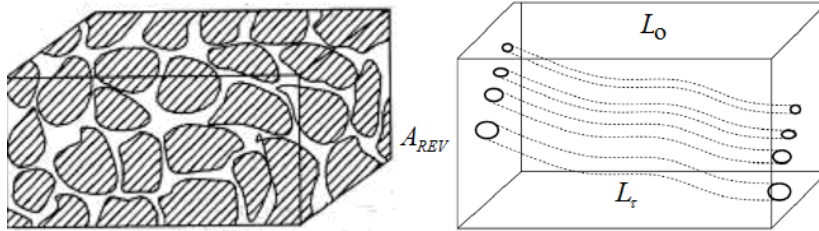
Trong phương pháp mô hình OMD, môi trường lỗ rỗng được coi gần đúng như tập hợp của các ống mao dẫn song song có kích thước khác nhau tuân theo một hàm phân bố nào đó (hình 1). Có nhiều hàm phân bố được đề xuất để nghiên cứu các hiện tượng truyền dẫn cho môi trường lỗ rỗng như phân bố fractal [3, 4], phân bố xác suất loga chuẩn [5], phân bố lệch [2]. Trong báo cáo này, chúng tôi sử dụng mô hình OMD tuân theo phân bố fractal để xây dựng mô hình tính độ thấm trong môi trường lỗ rỗng dưới điều kiện bão hòa. Mô hình chỉ ra sự phụ thuộc của độ thấm

vào đặc điểm của môi trường lỗ rỗng như kích thước lỗ rỗng lớn nhất, độ xốp, độ uốn khúc và tham số đặc trưng cho phân bố lỗ rỗng. Tiếp đó, chúng tôi so sánh và kiểm chứng mô hình với số liệu thực nghiệm và mô hình khác đã được công bố.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH

Để xây dựng mô hình cho độ thấm trong môi trường lỗ rỗng, chúng tôi xét một khối lỗ rỗng cơ sở hình lập phương (REV) có chiều dài L_o (m) và tiết diện ngang A_{REV} (m²) vuông góc với hướng dòng chảy (hình 1). Theo mô hình OMD, khối REV được coi gần đúng như tập hợp của các ống mao dẫn hình trụ song song với bán kính thay đổi từ giá trị nhỏ nhất r_{min} (m) đến giá trị lớn nhất r_{max} (m). Điều kiện bão hòa là điều kiện khi tất cả các ống mao dẫn trong REV ngậm hay chứa đầy nước và do đó, chúng đóng góp vào độ thấm của REV. Hàm phân bố theo kích thước $f(r)$ được định nghĩa là hàm sao cho số ống mao dẫn có bán kính trong khoảng từ r đến $r + dr$ được cho bởi $f(r)dr$ [4]. Như vậy, tổng số ống mao dẫn trong khối REV được xác định bởi:

$$N = \int_{r_{min}}^{r_{max}} f(r)dr \quad (1)$$



Hình 1. Môi trường lỗ rỗng gần đúng như tập hợp của các ống mao dẫn song song.

Theo phân bố fractal, hàm $f(r)$ được cho bởi [3, 4]:

$$f(r) = Dr_{max}^D r^{-D-1} \quad (r_{min} \leq r \leq r_{max}) \quad (2)$$

trong đó, D ($1 < D < 2$) là tham số fractal (không thứ nguyên), đặc trưng cho phân bố lỗ rỗng.

Lưu lượng dòng chảy q (m³/s) trong một ống mao dẫn riêng lẻ bán kính r and chiều dài L_r tuân theo định luật Poiseuille [6]:

$$q(r) = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta L_r} \quad (3)$$

trong đó, ΔP (Pa) là độ chênh lệch áp suất giữa hai đầu ống mao dẫn và η (Pa.s) là hệ số nhớt của chất lỏng. Như vậy, lưu lượng tổng cộng qua khối REV là tổng của lưu lượng qua từng ống mao dẫn ngậm nước và được xác định bởi:

$$Q = \int_{r_{min}}^{r_{max}} q(r) f(r) dr \quad (4)$$

Từ các phương trình (2), (3), (4), ta có:

$$Q = \frac{\pi r_{max}^4 \Delta P}{8\eta L_r} \frac{D}{4-D} \left[1 - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}} \right)^{4-D} \right] \quad (5)$$

Mặt khác, lưu lượng dòng tổng cộng tuân theo định luật Darcy dưới dạng [7]:

$$Q = \frac{kA_{REV} \Delta P}{\eta L_o} \quad (6)$$

trong đó, k (m^2) là độ thấm của môi trường lỗ rỗng.

Theo định nghĩa, độ rỗng ϕ (không thứ nguyên) là tỷ số giữa thể tích lỗ rỗng V_p trong REV và thể tích khối REV đang xét V_{REV}

$$\phi = \frac{V_p}{V_{REV}} \quad (7)$$

Do vậy, ta có:

$$\phi = \frac{\int_{r_{min}}^{r_{max}} \pi r^2 L_r f(r) dr}{A_{REV} L_o} \quad (8)$$

Thay hàm phân bố $f(r)$ từ phương trình (2) vào (8), ta được

$$\phi = \frac{\pi L_r r_{max}^2}{A_{REV} L_o} \frac{D}{2-D} \left[1 - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}} \right)^{2-D} \right] \quad (9)$$

Kết hợp các phương trình (5), (6) và (9), chúng tôi thu nhận được biểu thức giải tích cho độ thấm:

$$k = \frac{\phi r_{max}^2}{8\tau^2} \frac{2-D}{4-D} \frac{1 - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}} \right)^{4-D}}{1 - \left(\frac{r_{min}}{r_{max}} \right)^{2-D}} \quad (10)$$

trong đó, $\tau = \frac{L_r}{L_o}$ (không thứ nguyên) được định nghĩa là độ uốn khúc của môi trường lỗ rỗng (chú ý $\tau \geq 1$).

Phương trình (10) là đóng góp chính của chúng tôi trong báo cáo này. Nó cho thấy sự phụ thuộc của độ thấm vào tính chất của môi trường lỗ rỗng (ϕ , τ , r_{min} , r_{max} và D). Từ phương trình (10), ta có thể dự đoán được độ thấm từ tính chất của môi trường. Trong môi trường địa chất, thì r_{min} thường nhỏ hơn rất nhiều lần so với r_{max} và do đó tỷ số r_{min}/r_{max} có thể bỏ qua [1, 4]. Do vậy, phương trình (10) có thể viết lại dưới dạng:

$$k = \frac{\phi r_{max}^2}{8\tau^2} \frac{2-D}{4-D} \quad (11)$$

Cần chú ý rằng, bán kính lỗ rỗng lớn nhất r_{max} có thể được xác định bằng các phương pháp như thủy ngân thâm nhập (mercury intrusion method), đo đẳng nhiệt hấp phụ và khử hấp phụ khí (gas adsorption-desorption isotherm method), ảnh kính hiển vi điện tử quét (**scanning electron microscope**), v.v.. [8, 9]. Ngoài ra, đối với môi trường lỗ rỗng không có kết như cát, đất, người ta có thể tính gần đúng r_{max} từ đường kính hạt trung bình d và độ rỗng ϕ qua mối liên hệ [10]

$$r_{max} = \frac{d}{4} \left(\sqrt{\frac{\phi}{1-\phi}} + \sqrt{\frac{1}{1-\phi}} \right) \quad (12)$$

Độ uốn khúc τ có thể được tính gần đúng từ độ rỗng ϕ qua biểu thức [11]

$$\tau = \frac{\phi}{1 - (1-\phi)^{2/3}} \quad (13)$$

Tham số fractal D có thể được xác định thực nghiệm bằng phương pháp đếm hộp (box-

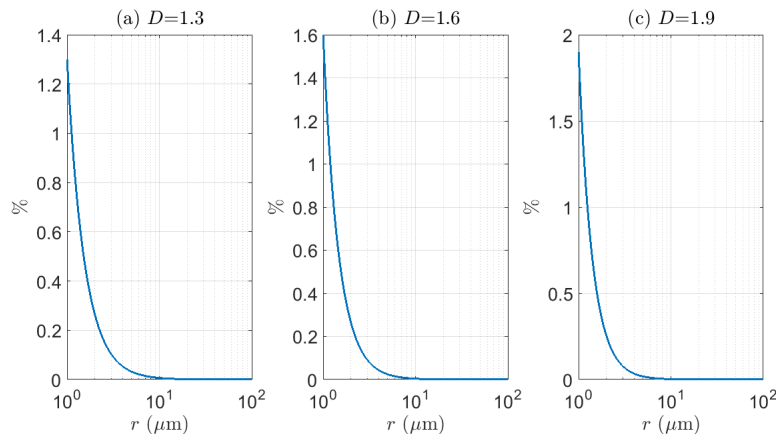
counting method) [3]. Tuy nhiên, với các mẫu được sử dụng trong báo cáo này thì giá trị của D là chưa biết. Do vậy, chúng tôi sử dụng tham số D để khớp số liệu thực nghiệm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

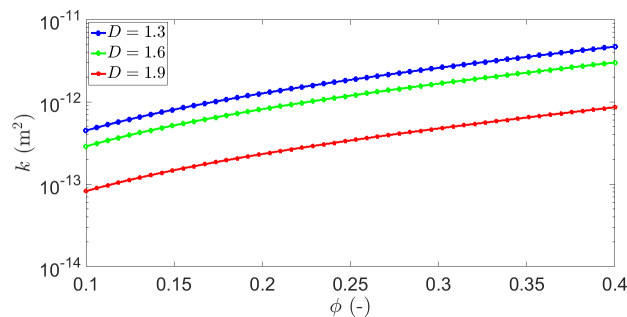
3.1. Độ nhạy của mô hình

Trong hình 2, chúng tôi chỉ ra sự thay đổi của hàm phân bố (tính theo tỷ lệ phần trăm hay tỷ số $f(r)/N$) theo kích thước lỗ rỗng từ phương trình (2) với các giá trị đại diện $r_{\min} = 1 \mu\text{m}$, $r_{\max} = 100 \mu\text{m}$ và 3 giá trị của tham số fractal D (1,3, 1,6 và 1,9). Kết quả chỉ ra, đối với phân bố fractal thì số ống mao dẫn có kích thước nhỏ hơn chiếm chủ yếu trong tổng số ống mao dẫn của môi trường. Ngoài ra, khi D tăng thì tỷ lệ số ống mao dẫn có kích thước nhỏ tăng hay nói cách khác có nhiều ống mao dẫn có kích thước nhỏ hơn khi D lớn.

Từ các phương trình (11) - (13), chúng tôi chỉ ra sự nhạy của mô hình hay sự thay đổi của độ thấm theo các tham số đặc trưng cho môi trường như độ rỗng ϕ , kích thước hạt d và tham số fractal D . Cụ thể, hình 3 cho thấy sự thay đổi của độ thấm k theo độ rỗng ϕ ứng với giá trị đại diện $d = 20 \mu\text{m}$ và 3 giá trị của D ($D = 1,3, 1,6$ và $1,9$). Chú ý rằng, r_{\max} được tính từ d và ϕ sử dụng phương trình (12) và τ được tính từ ϕ sử dụng (13). Kết quả chỉ ra độ thấm k tăng theo độ rỗng ϕ và giảm theo tham số fractal D . Sự tăng của độ thấm k theo độ rỗng ϕ phù hợp với các kết quả thực nghiệm và các công bố khác [12, 13]. Sự giảm của độ thấm k theo tham số fractal D được giải thích trên cơ sở kết quả trình bày ở hình 2. Cụ thể khi D tăng, số ống mao dẫn có kích thước nhỏ tăng lên và số ống mao dẫn có kích thước lớn giảm đi (tổng số ống mao dẫn không đổi). Khi đó, khả năng truyền dẫn nước của môi trường sẽ giảm và độ thấm sẽ giảm đi.



Hình 2. Sự thay đổi của hàm phân bố lỗ rỗng (tính theo tỷ lệ phần trăm) theo kích thước với các giá trị đại diện $r_{\min} = 1 \mu\text{m}$, $r_{\max} = 100 \mu\text{m}$ cho 3 giá trị của tham số fractal D (1,3, 1,6 và 1,9).



Hình 3. Sự thay đổi của độ thấm k theo độ rỗng ϕ ứng với giá trị đại diện $d = 20 \mu\text{m}$ và 3 giá trị của D ($D = 1,3, 1,6$ và $1,9$).

3.2. So sánh mô hình với số liệu thực nghiệm và mô hình đã công bố

Từ phương trình (11), chúng tôi có thể tính được độ thấm từ các tham số đặc trưng cho môi trường lỗ rỗng như ϕ , τ , r_{max} và D . Trên cơ sở các số liệu thực nghiệm mà chúng tôi thu thập được từ năm công bố bao gồm độ rỗng ϕ , đường kính hạt d và độ thấm đo được k_e [14-18] (xem bảng 1), chúng tôi có thể tính được độ thấm k_t và so sánh nó với số liệu thực nghiệm k_e (hình 4). Quy trình tính toán như đã trình bày trong mục 3.1 đối với hình 3. Cụ thể, r_{max} được tính từ d và ϕ sử dụng (12) và τ được tính từ ϕ sử dụng (13). Do tham số D chưa được biết, nên chúng tôi tìm nó như tham số khớp số liệu thực nghiệm. Qua hàm `fminsearch` trong Matlab, chúng tôi tìm $D = 1.1$ cho tất cả các mẫu sao cho sai số bình căn quân phương nhỏ nhất. Kết quả so sánh trong hình 4 chỉ ra mô hình có thể giải thích khá tốt số liệu thực nghiệm. Tuy nhiên, kết quả lý thuyết có xu hướng lớn hơn giá trị thực nghiệm. Điều này, có thể giải thích là do tham số fractal D có thể thay đổi ít nhiều từ mẫu này sang mẫu khác chứ không cố định $D = 1.1$. Ngoài ra, độ uốn khúc τ có thể thay đổi theo kích thước lỗ rỗng chứ không phải không đổi như được dùng trong tính toán của chúng tôi [19].

Như đã trình bày, có rất nhiều mô hình lý thuyết cho phép dự đoán độ thấm từ đặc điểm, tính chất của môi trường lỗ rỗng. Một trong các mô hình đơn giản được đề xuất bởi Glover và các cộng sự cho các mẫu không có kết (ứng với các mẫu trong bảng 1) có dạng [15]:

$$k = \frac{d^2 \phi^{3m}}{4am^2} \tag{14}$$

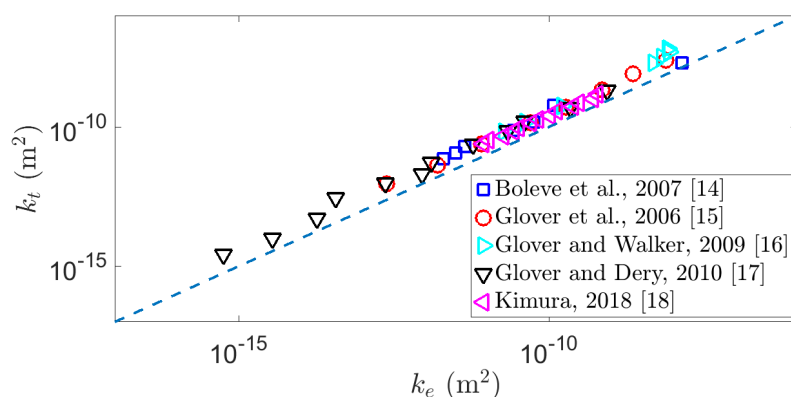
trong đó, m và a là các tham số lần lượt có nhận giá trị 1.5 và 8/3 cho các mẫu hạt thủy tinh hoặc cát.

Từ các giá trị của d và ϕ trong bảng 1, chúng tôi tính được k theo mô hình đề xuất bởi [15] - phương trình (14) và so sánh với với mô hình đề xuất của chúng tôi - công thức (11) (xem hình 5 cho một mẫu đại diện bởi [18]). Kết quả cho thấy có sự phù hợp tốt giữa hai mô hình và số liệu thực nghiệm đã công bố về đáng điều tuy có sự khác biệt về giá trị. Nguyên nhân của sự khác biệt có thể liên quan đến sự thay đổi của D và τ như đã trình bày ở trên.

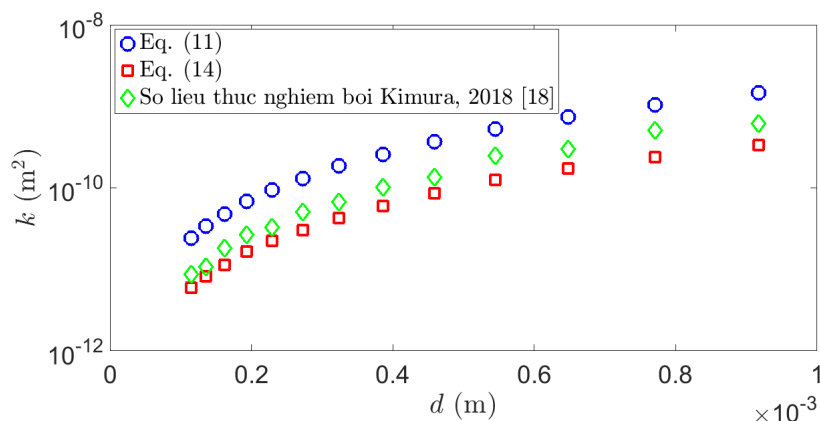
Bảng 1. Giá trị thực nghiệm cho kích thước hạt d , độ rỗng ϕ và độ thấm k_e của các mẫu lỗ rỗng sử dụng trong hình 4 và hình 5 (gồm mẫu hạt thủy tinh).

Mẫu	d (μm)	ϕ (-)	k (10^{-12} m^2)	Tài liệu tham khảo
Hạt thủy tinh	56	0.4	2.0	[14]
	72	0.4	3.1	
	93	0.4	4.4	
	181	0.4	27	
	256	0.4	56	
	512	0.4	120	
	3000	0.4	14000	
Hạt thủy tinh	20	0.4009	0.24	[15]
	45	0.3909	1.6	
	106	0.3937	8.1	
	250	0.3982	50.5	
	500	0.3812	186.8	
	1000	0.3954	709.9	
	2000	0.3856	2277.3	
	3350	0.3965	7706.9	
Hạt thủy tinh	3000	0.398	4892	[16]

	4000	0.385	6706	
	5000	0.376	8584	
	6000	0.357	8262	
	256	0.399	41.2	
	512	0.389	164	
	181	0.382	18.6	
Hạt thủy tinh	1.05	0.411	0.00057	[17]
	2.11	0.398	0.00345	
	5.01	0.380	0.0181	
	11.2	0.401	0.0361	
	21.5	0.383	0.228	
	31	0.392	0.895	
	47.5	0.403	1.258	
	104	0.394	6.028	
	181	0.396	21.53	
	252	0.414	40.19	
	494	0.379	224	
	990	0.385	866.7	
Thủy tinh	115	0.366	8.8	[18]
	136	0.364	10.7	
	162	0.363	18.3	
	193	0.364	26.7	
	229	0.362	33.0	
	273	0.358	51.0	
	324	0.358	67.4	
	386	0.356	102.1	
	459	0.358	134.3	
	545	0.36	246.2	
	648	0.358	299	
	771	0.357	510.4	
	917	0.356	611.9	



Hình 4. So sánh độ thấm tính từ mô hình đề xuất k_t và độ thấm thực nghiệm k_e cho các mẫu hạt thủy tinh từ các tài liệu tham khảo [14-18]. Đường nét đứt là đường 1:1.



Hình 5. So sánh giữa mô hình đề xuất - phương trình (11), mô hình của Glover và các cộng sự - phương trình (14) và số liệu công bố trong [18].

4. KẾT LUẬN

Trong báo cáo này, chúng tôi đã xây dựng mô hình tính độ thấm của môi trường lỗ rỗng dưới điều kiện bão hòa sử dụng mô hình OMD tuân theo phân bố fractal. Mô hình đề xuất chỉ ra sự phụ thuộc của độ thấm vào đặc điểm của môi trường lỗ rỗng như kích thước lỗ rỗng lớn nhất, độ rỗng, độ uốn khúc và tham số fractal. Kết quả so sánh chỉ ra có sự phù hợp tốt giữa mô hình đề xuất với số liệu và mô hình khác đã được công bố. Mô hình cho phép dự đoán độ thấm của môi trường lỗ rỗng từ đặc điểm, tính chất của nó. Trong hướng nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ tính đến sự thay đổi của độ uốn khúc theo kích thước lỗ rỗng trong mô hình để có sự phù hợp hơn cho môi trường lỗ rỗng thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Soldi M, Guarracino L and Jougnot D, "A simple hysteretic constitutive model for unsaturated flow", *Transport in Porous Media*, 120, 271-285, (2017).
- [2]. Jackson M. D, "Characterization of multiphase electrokinetic coupling using a bundle of capillary tubes model", *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 113, 005490, (2008).
- [3]. Yu B, Cheng P, "A fractal permeability model for bi-dispersed porous media". *Int J Heat Mass Transf*, 45, 2983-2993, (2002).
- [4]. Duy Thanh, Luong, et al. "A physically based model for the electrical conductivity of water-saturated porous media" *Geophysical Journal International*, 219, 866-876, (2019).
- [5]. Ghanbarian, Behzad. "Applications of critical path analysis to uniform grain packings with narrow conductance distributions: II. Water relative permeability" *Advances in Water Resources*, 137, 103524, (2020).
- [6]. Landis, E. M., "Poiseuille's law and the capillary circulation", *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 103, 432-443, (1933).
- [7]. Buckingham E., "Studies on the movement of soil moisture", US Department of Agriculture, Bureau of Soils no. 38, USDA, Washington, DC, 61 pp, (1907).
- [8]. Sing, K.S., "Characterization of porous materials: past, present and future", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 241, 3-7, (2004).
- [9]. Widiatmoko, E., Abdullah, M. and Khairurrijal, "A method to measure pore size distribution of porous materials using scanning electron microscopy images", *Aip conference proceedings*, 1284, 23-26, (2010).
- [10]. Liang M, Yang S, Miao T and Yu B, "Analysis of electroosmotic characters in fractal porous media", *Chemical Engineering Science*, 127 (2015).
- [11]. Du Plessis J. P and Masliyah J. H, "Flow through isotropic granular porous media", *Transp. Porous Media*, 6, 207-221, (1991).

-
- [12]. Kozeny J, “*Über kapillare leitung des wassers im boden aufsteigversickerung und anwendung auf die bemassung*” Math-Naturwissen-schaften, 136, 271-306, (1927).
- [13]. Revil A and Cathles L. M., “*Permeability of shaly sands*”, Water Resources Research, 3, 651-662, (1999).
- [14]. Bole`ve A, Crespy A, Revil A, Janod F and Mattiuzzo J. L., “*Streaming potentials of granular media: Influence of the dukhin and reynolds numbers*”, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 112, 1-14, (2007).
- [15]. Glover P, Zadjali I. I and Frew K. A., “*Permeability prediction from micp and nmr data using an electrokinetic approach*”, Geophysics, 71, 49-60, (2006).
- [16]. Glover P. W. J and Walker E., “*Grain-size to effective pore-size transformation derived from electrokinetic theory*”, Geophysics, 74, 17-29, (2009).
- [17]. Glover P. W. J and Dery N., “*Streaming potential coupling coefficient of quartz glass bead packs: Dependence on grain diameter, pore size, and pore throat radius*”, Geophysics, 75, 225-241, (2010).
- [18]. Kimura M., “*Prediction of tortuosity, permeability, and pore radius of water-saturated unconsolidated glass beads and sands*”, The Journal of the Acoustical Society of America, 141, 3154-3168, (2018).
- [19]. Thanh L. D, Jougnot D, Solazzi S. G, Nghia, N. V, Van Do P, “*Dynamic streaming potential coupling coefficient in porous media with different pore size distributions*”, Geophys. J. Int., 229, 720–735, (2022).

ABSTRACT

A model for permeability of porous media under fully saturated conditions

Permeability is an important parameter that describes the ability of a porous medium to transmit water under saturated or nearly saturated conditions. It governs the flow of fluids and migration of contaminants beneath the ground surface, especially in soils and aquifers. The permeability depends on properties of porous media such as porosity, cementation, pore size, pore size distribution, pore shape and pore connectivity. In this work, we develop a model for permeability in porous media under saturated conditions using a capillary bundle model. The proposed model relates the permeability to properties of porous media such as maximum pore radius, minimum pore radius, porosity, tortuosity and fractal dimension for pore space. The model is then successfully compared to existing experimental data and a widely used model from the literature.

Keywords: Permeability; Porous media; Porosity; Capillary; Fractal.