MÔ HÌNH VỀ TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA MÔI TRƯỜNG XỐP TRONG ĐIỀU KIỆN BÃO HÒA

Phạm Minh Tân[1], Nguyễn Thanh Tùng[1], Nguyễn Văn Toàn[2],
Lương Duy Thành[3], Nguyễn Văn Nghĩa[3*]

Tóm tắt: *Xác định độ dẫn điện của môi trường đất đá là rất quan trọng trong phương pháp địa vật lý, phương pháp này được sử dụng nhiều trong minh giải cấu trúc địa chất, trong tìm kiếm nước ngầm, địa kỹ thuật và môi trường. Trong nghiên cứu này, chúng tôi xây dựng mô hình lý thuyết để xác định độ dẫn điện của môi trường xốp trong điều kiện nước bão hòa bằng cách sử dụng mô hình ống mao dẫn. Mô hình đề xuất có liên quan đến độ dẫn điện của chất lỏng, độ dẫn điện bề mặt và các thông số về cấu trúc của môi trường xốp. Các kết quả từ mô hình được so sánh với số liệu thực nghiệm đã được công bố và đồng thời so sánh với mô hình khác. Mô hình này mở ra những khả năng mới để dự đoán tính dẫn điện của môi trường xốp.*

Từ khóa: Tính chất điện; Tính dẫn điện; Môi trường xốp; Bão hòa.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Đo độ dẫn điện của môi trường xốp chứa chất lỏng ở trạng thái bão hòa là rất quan trọng trong các ứng dụng địa chất, địa kỹ thuật, môi trường, trong thăm dò dầu mỏ và khoáng sản [1, 2]. Lý do là độ nhạy của nó được gây ra bởi các thông số khác nhau của môi trường xốp như là độ xốp, hàm lượng nước hoặc thành phần chất lỏng. Vì điện trở suất của khoáng chất trong môi trường xốp (ví dụ, khoáng thạch anh và cát) thường rất cao và chúng đóng vai trò cách điện. Do đó, sự dẫn điện trong môi trường xốp chứa chất lỏng ở trạng thái bão hòa chủ yếu xảy ra thông qua các ống mao dẫn chứa đầy chất lỏng do sự di chuyển của các ion. Ngoài ra, sự dẫn điện này cũng có thể gây ra trong các bề mặt khoáng chất tiếp xúc với chất lỏng và được đặc trưng bởi độ dẫn điện bề mặt [3]. Trong hầu hết các môi trường xốp và không chứa đất sét, độ dẫn điện σ của môi trường xốp ở trạng thái bão hòa với độ dẫn điện bề mặt không đáng kể được mô tả theo mối quan hệ thực nghiệm [4] là:

$$\sigma = \sigma_w \phi^m \quad (1)$$

Trong đó: ϕ là độ xốp của môi trường xốp; σ_w là độ dẫn điện của chất lỏng trong ống mao dẫn; m là số mũ được coi là không đổi đối với một loại đá nhất định.

Trong các tài liệu đã công bố, có nhiều mô hình xác định σ từ σ_w dựa vào tính chất của môi trường xốp sử dụng các phương pháp khác nhau như lý thuyết trung bình hiệu dụng, lý thuyết về sự thẩm thấu [5, 6]. Gần đây, lý thuyết fractal đã được chứng minh là hiệu quả để nghiên cứu hiện tượng vận chuyển trong môi trường xốp. Nó đã được áp dụng cho mô hình dẫn điện, nhưng không xét độ dẫn điện bề mặt [7]. Do đó, các mô hình dẫn điện có thể không phù hợp với thực nghiệm khi độ dẫn điện của chất lỏng thấp. Mới đây, mô hình dẫn điện của môi trường xốp chứa nước bão hòa là mô hình gồm một bó ống mao dẫn với sự phân bố kích thước ống khác nhau đã được nghiên cứu [8]. Trong mô hình đó, độ dẫn điện bề mặt đã được tính đến. Kết quả tính toán từ mô hình so sánh với kết quả thực nghiệm là rất phù hợp. Tuy nhiên, bên cạnh sự phân bố fractal cho ống mao dẫn; ở đây còn có sự phân bố khác cho mô hình ống mao dẫn [9]. Ví dụ, sự phân bố lệch cho ống mao dẫn (SPSD) đã được công bố là có thể áp dụng trong môi trường xốp [10-12].

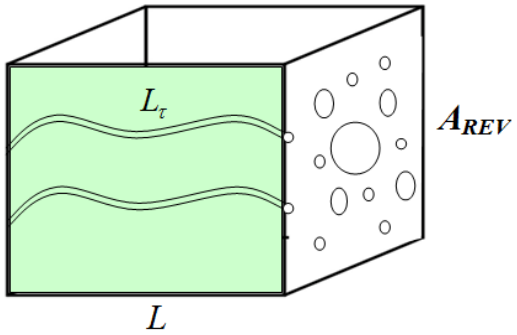
Do đó, trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một mô hình dẫn điện của môi trường xốp chứa nước ở trạng thái bão hòa hoàn toàn dựa trên phân bố SPSD. Mô hình đề xuất được thể hiện dưới dạng độ dẫn điện của nước, độ dẫn điện bề mặt và các thông số cấu trúc vi mô của môi trường xốp. Đầu tiên, kiểm tra độ nhạy của mô hình. Sau đó, kết quả từ mô hình được so sánh với số liệu thực nghiệm trong các tài liệu đã công bố.

2. PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH

Để có được độ dẫn điện trong môi trường xốp, chúng tôi coi thể tích một ô đặc trưng (REV) trong môi trường xốp là một khối lập phương có chiều dài L và thiết diện của REV vuông góc với hướng dòng chảy A_{REV} (hình 1). REV được khái quát như một bó ống mao dẫn với SPSD và cấu trúc ống mao dẫn với bán kính thay đổi từ bán kính nhỏ nhất r_{min} đến bán kính lớn nhất r_{max}. Số lượng ống có bán kính giữa r và $r + dr$ được cho bởi [10, 11]:

$$n(r)dr = D\left(\frac{r - r_{\max}}{r_{\min} - r_{\max}}\right)^{c} \tag{2}$$

Trong đó, D và c là hằng số. Với $c = 0$, bán kính ống mao dẫn phân bố đều giữa r_{min} và r_{max}. Khi c tăng, sự phân bố ống mao dẫn trở nên lệch về phía bán kính ống nhỏ hơn [10, 11].



Hình 1. *Môi trường xốp được khái quát như một bó ống mao dẫn.*

Nếu một ống mao dẫn của môi trường xốp có bán kính r và chiều dài L_τ chứa đầy nước thì điện trở R của ống mao dẫn được cho bởi [13]:

$$\frac{1}{R(r)} = \frac{\pi r^2 \sigma_w}{L_\tau} + \frac{2\pi r \Sigma_S}{L_\tau} \tag{3}$$

với Σ_S là độ dẫn điện bề mặt tại mặt phân cách giữa nước và chất rắn của ống mao dẫn. Như hình 1, chiều dài của ống mao dẫn L_τ luôn lớn hơn chiều dài L của REV và theo [14] thì:

$$L_\tau = \tau . L \tag{4}$$

Trong đó, τ là độ uốn khúc của môi trường xốp.

Tổng điện trở của REV bão hòa bởi nước (tất cả các ống mao dẫn chứa đầy nước song song) có thể nhận được là:

$$\frac{1}{R_0} = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \frac{1}{R(r)} n(r)dr \tag{5}$$

Kết hợp phương trình (2), (3), (4) và (5) thu được:

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_0} &= \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \left(\frac{\pi r^2 \sigma_W}{L_\tau(r)} + \frac{2\pi r \Sigma_S}{L_\tau(r)}\right) D\left(\frac{r - r_{\max}}{r_{\min} - r_{\max}}\right)^{c} dr \\ &= \frac{\pi D \sigma_W}{L\tau} \frac{r_{\max} - r_{\min}}{(1+c)(2+c)(3+c)} \left[2r_{\max}^2 + 2r_{\min} r_{\max}(1+c) + r_{\min}^2 (1+c)(2+c)\right] \\ &+ \frac{2\pi D \Sigma_S}{L\tau} \frac{r_{\max} - r_{\min}}{(1+c)(2+c)(3+c)} \left[r_{\max}(3+c) + 2r_{\min}(1+c)(3+c)\right]\end{aligned} \tag{6}$$

Mặt khác, tổng trở R_0 có thể được viết là:

$$R_0 = \frac{L}{\sigma A_{REV}} \tag{7}$$

Trong đó, σ là độ dẫn điện của nước bão hòa trong REV.

Độ xốp của REV được định nghĩa bởi [12] là:

$$\phi = \frac{V_p}{V_{REV}} \tag{8}$$

Trong đó, V_p là tổng thể tích của ống mao dẫn và V_{REV} là tổng thể tích của REV. Do đó, độ xốp được tính là:

$$\phi = \frac{\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \pi r^2 L_\tau n(r) dr}{A_{REV} L} \tag{9}$$

Kết hợp các phương trình (2), (4) và (9) cho kết quả:

$$\phi = \frac{\pi\tau D}{A_{REV}} \frac{r_{\max} - r_{\min}}{(1+c)(2+c)(3+c)} \left[2r_{\max}^2 + 2r_{\min} r_{\max}(1+c) + r_{\min}^2 (1+c)(2+c) \right] \tag{10}$$

Do đó, thu được:

$$A_{REV} = \frac{\pi\tau D}{\phi} \frac{r_{\max} - r_{\min}}{(1+c)(2+c)(3+c)} \left[2r_{\max}^2 + 2r_{\min} r_{\max}(1+c) + r_{\min}^2 (1+c)(2+c) \right] \tag{11}$$

Kết hợp các phương trình (6), (7) và (11) thu được độ dẫn điện:

$$\sigma = \frac{\phi\sigma_W}{\tau^2} + \frac{2\phi\sigma_S}{\tau^2} \frac{r_{\max}(3+c) + 2r_{\min}(1+c)(3+c)}{2r_{\max}^2 + 2r_{\min} r_{\max}(1+c) + r_{\min}^2 (1+c)(2+c)} \tag{12}$$

Phương trình (12) chỉ ra rằng độ dẫn điện của môi trường xốp trong điều kiện nước bão hòa phụ thuộc vào độ dẫn điện của nước trong ống mao dẫn σ_w, độ dẫn điện bề mặt Σ_S và các thông số vi cấu trúc của môi trường xốp (ϕ, $r_{\min}$, $r_{\max}$, c). Phương trình (12) có thể được viết lại thành:

$$\sigma = \frac{\phi\sigma_W}{\tau^2} + \frac{2\phi\Sigma_S}{\tau^2 r_{\max}} \frac{(3+c) + 2\alpha(1+c)(3+c)}{2 + 2\alpha(1+c) + \alpha^2(1+c)(2+c)} \tag{13}$$

Trong đó, $\alpha = r_{\min}/r_{\max}$ là tỉ số giữa bán kính nhỏ nhất và bán kính lớn nhất của ống.

Nếu phân bố kích thước ống không xác định, bán kính lớn nhất $r_{\max}$ có thể được ước tính từ đường kính hạt trung bình d của môi trường xốp [8, 15] như:

$$r_{\max} = \frac{d}{8} \left[\sqrt{\frac{2\phi}{1-\phi}} + \sqrt{\frac{\phi}{1-\phi}} + \sqrt{\frac{\pi}{4(1-\phi)}} - 1 \right] \tag{14}$$

Ngoài ra, độ uốn khúc được tính từ độ xốp ϕ của môi trường xốp bởi [16].

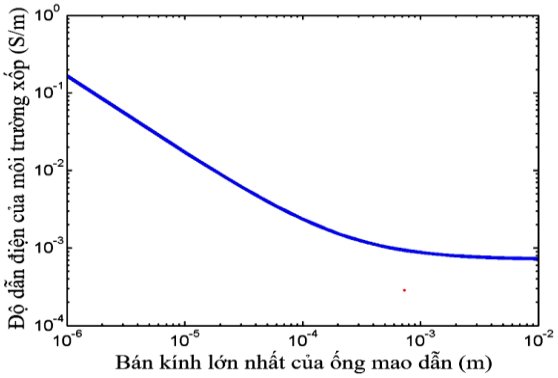
$$\tau = 1 + 0.5(1-\phi) \tag{15}$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ nhạy của mô hình

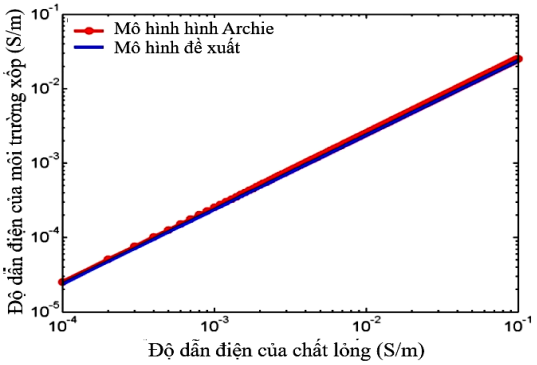
Để tính độ dẫn điện của môi trường xốp bão hòa dựa trên phương trình (13), chúng ta cần biết các tham số α, ϕ, τ, c, $r_{\max}$, σ_w và Σ_S. Giá trị $\alpha = 0{,}01$ thường được sử dụng cho các môi trường

dạng hạt như cát [8, 12]. Vì vậy, chúng tôi sử dụng giá trị đó trong bài báo này. Giá trị của ϕ và τ thường được cho đối với một môi trường xốp cụ thể. Giá trị của c được lấy trong nghiên cứu này là 28 cho môi trường dạng hạt [12]. Bán kính lớn nhất r_{max} có thể được tính thông qua phương trình (14) với đặc trưng về tính chất môi trường (d và ϕ). Độ uốn khúc của môi trường xốp được xác định từ phương trình (15). Hình 2 cho thấy sự biến thiên của độ dẫn điện σ với bán kính lớn nhất r_{max} được xác định từ phương trình (14) đối với giá trị α = 0,01, $\sigma_w = 3{,}0\times10^{-3}$ Sm^{-1}, $\Sigma_S = 0{,}5\times10^{-9}$ S và ϕ = 0,4. Lưu ý rằng, độ uốn khúc τ được tính từ phương trình (15) với ϕ = 0,4. Có thể thấy rằng, độ dẫn điện của môi trường xốp giảm khi tăng bán kính lỗ cực đại và tiến tới giá trị không đổi khi r_{max} vượt quá một giá trị nhất định. Nguyên nhân là do độ dẫn điện bề mặt không đáng kể đối với r_{max} lớn và do đó, độ dẫn điện của môi trường xốp không phụ thuộc vào r_{max} như mô tả bởi phương trình (13).



Hình 2. *Sự biến thiên của độ dẫn điện của môi trường xốp theo bán kính ống lớn nhất được tính từ phương trình (13) cho α = 0,01, $\sigma_w = 3{,}0\times10^{-3}$ Sm^{-1}, $\Sigma_S = 0{,}5\times10^{-9}$ S, ϕ = 0,4 và τ được tính từ phương trình (15).*

Hình 3 cho thấy sự so sánh giữa mô hình Archie được đưa ra bởi phương trình (1) và mô hình đề xuất được đưa ra bởi phương trình (13) đối với một mẫu hạt cát trong đó ϕ và m lần lượt là 0,4 và 1,5 [17, 18]. Vì mô hình Archie không tính đến độ dẫn điện bề mặt, do đó, để so sánh chúng tôi đặt Σ_S = 0 trong phương trình (13). Có thể thấy, mô hình được đề xuất cho một sự phù hợp rất tốt với mô hình Archie.

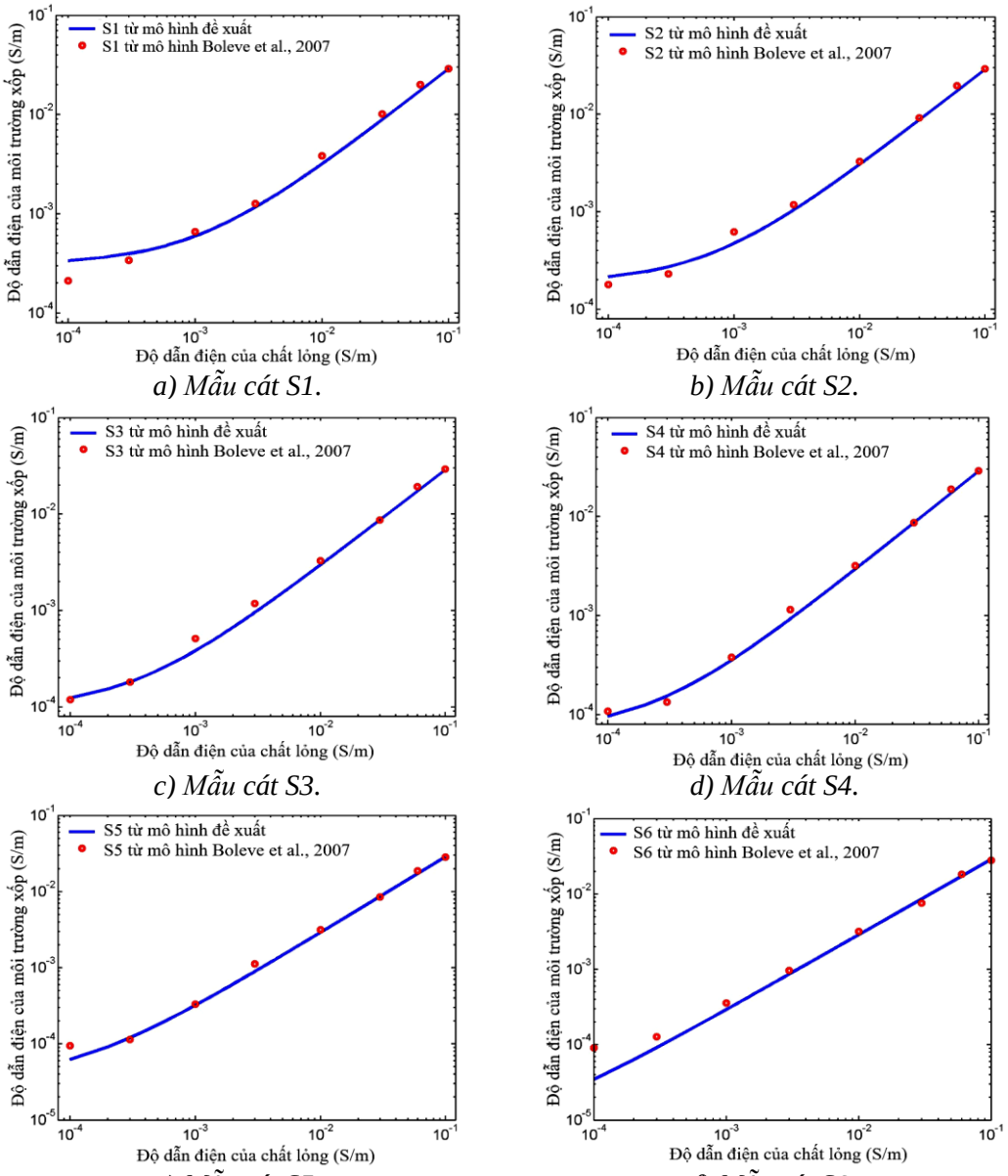


Hình 3. *Sự biến thiên của độ dẫn điện của môi trường xốp bão hòa theo độ dẫn điện của nước σ_w được trình bày từ mô hình Archie và mô hình đề xuất.*

3.2. Ảnh hưởng của ống mao dẫn bão hòa nước tới độ dẫn điện

Hình 4 cho thấy sự phụ thuộc của độ dẫn điện của môi trường cát đá bão hòa như một hàm của độ dẫn điện của nước trong ống mao dẫn đối với sáu loại cát có đường kính hạt khác nhau thu được từ thực nghiệm [17] (xem điểm chấm) và từ mô hình đề xuất cho bởi phương trình (13) (xem đường liền nét). Kích thước hạt trung bình của sáu loại cát ký hiệu là S1, S2, S3, S4, S5 và

S6 lần lượt là 56, 93, 181, 256, 512 và 3000 µm. Độ xốp đo được của các loại cát là ϕ = 0,40 bất kể kích thước của các hạt cát [17].



a) Mẫu cát S1. *b) Mẫu cát S2.*

c) Mẫu cát S3. *d) Mẫu cát S4.*

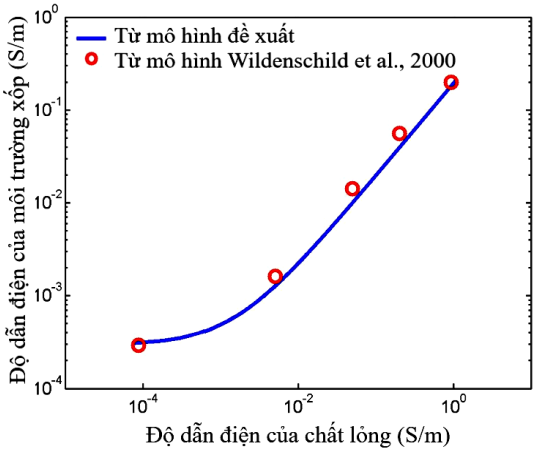
e) Mẫu cát S5. *f) Mẫu cát S6.*

Hình 4. *Độ dẫn điện của các mẫu hạt cát khác nhau biểu diễn theo độ dẫn điện của chất lỏng trong ống mao dẫn. Các điểm chấm được lấy từ [17]. Các đường liền nét từ mô hình đề xuất được trình bày bởi phương trình (13) với các thông số cho trong bảng 1. Tương ứng hình: a) Mẫu cát S1; b) Mẫu cát S2; c) Mẫu cát S3; d) Mẫu cát S4; e) Mẫu cát S5; f) Mẫu cát S6.*

Để kết quả mô hình phù hợp với số liệu thực nghiệm thể hiện trong hình 4, độ dẫn bề mặt được chọn bởi $\Sigma_S = 0{,}5\times10^{-9}$ S đối với tất cả các mẫu đã cho trong [8] đối với môi trường cát. Kết quả của mô hình rất phù hợp với số liệu thực nghiệm cho trong bảng 1. Như đã thấy trong hình 4, độ dẫn điện của chất lỏng càng lớn thì sự phụ thuộc của độ dẫn điện σ của môi trường vào độ dẫn điện của chất lỏng σ_w là tuyến tính. Lý do là, độ dẫn điện của chất lỏng lớn hoặc kích thước hạt lớn thì độ dẫn điện bề mặt là không đáng kể như đã chỉ ra bởi phương trình (13). Do đó, độ dẫn điện của các mẫu cát đá xốp bão hòa phụ thuộc tuyến tính vào độ dẫn điện của chất lỏng σ_w.

Bảng 1. *Các thông số được sử dụng trong mô hình để so sánh với số liệu thực nghiệm từ các nguồn khác nhau.*

Mẫu	d (μm)	ϕ (không đơn vị)	α (không đơn vị)	σ_w (Sm^{-1})	Σ_s (S)	c (không đơn vị)	Nguồn
S1	56	0,4	0,01	10^{-4} – 0,1	0,5x10^{-9}	28	[17]
S2	93	0,4	0,01	10^{-4} – 0,1	0,5×10^{-9}	28	[17]
S3	181	0,4	0,01	10^{-4} – 0,1	0,5×10^{-9}	28	[17]
S4	256	0,4	0,01	10^{-4} – 0,1	0,5×10^{-9}	28	[17]
S5	512	0,4	0,01	10^{-4} – 0,1	0,5×10^{-9}	28	[17]
S6	300	0,4	0,01	10^{-4} – 0,1	0,5×10^{-9}	28	[17]
SW	106	0,34	0,01	10^{-4} – 1,0	1,0×10^{-9}	28	[19]



Hình 5. *Độ dẫn điện của một mẫu cát biểu diễn theo độ dẫn điện của chất lỏng. Các điểm chấm được lấy từ [19]. Đường liền nét từ mô hình đề xuất được trình bày bởi phương trình (13) với các thông số cho trong bảng 1.*

Sự biến thiên của độ dẫn điện σ của môi trường xốp theo độ dẫn điện của nước σ_w đối với một mẫu cát chứa nước bão hòa khác (ký hiệu là SW ứng với các điểm chấm) thu được từ [19] được biểu diễn trong hình 5 (đường liền nét là kết quả được tính từ mô hình đề xuất với các thông số cho trong bảng 1), trong đó đường kính trung bình của các hạt của mẫu cát được suy ra từ [20]:

$$d = 2\theta\sqrt{8kF} \tag{16}$$

Trong đó: θ = 3,436 (không đơn vị) đối với mẫu hạt hình cầu; k và F tương ứng là hệ số thấm và hệ số hình thành của môi trường xốp (k = 6,16×10^{-12} m^2 và F = 4,9 đối với mẫu SW như đã báo cáo trong [19]). Do đó, d = 106 µm, thấy rằng mô hình cũng có sự thống nhất tốt với các số liệu thực nghiệm đã cho bởi [19].

4. KẾT LUẬN

Mô hình lý thuyết cho độ dẫn điện của môi trường xốp ở trạng thái bão hòa đã được phát triển trong bài báo này. Mô hình được suy ra với giả định rằng môi trường xốp có thể được biểu diễn bằng một bó các ống mao dẫn tuân theo phân bố lệch. Mô hình được đề xuất liên quan đến độ dẫn điện của chất lỏng σ_w, độ dẫn điện bề mặt Σ_S và các thông số cấu trúc vi mô của môi trường xốp (d, ϕ, α, c). Trước tiên, chúng tôi kiểm tra độ nhạy của mô hình. Sau đó, kết quả được so sánh với mô

hình Archie và số liệu thực nghiệm có sẵn trong tài liệu đã công bố. Kết quả cho thấy, sự phù hợp rất tốt giữa mô hình đề xuất trong bài báo này với số liệu thực nghiệm. Mô hình đơn giản này mở ra những khả năng mới để xác định tính dẫn điện của của các môi trường xốp khác.

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. Binley *et al*, *"The emergence of hydrogeo physics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales",* Water Resour. Res., **Vol. 51**, No. 6 (2015), pp. 3837-3866.

[2]. M. Lech *et al*, *"Applications of electrical resistivity surveys in solving selected geotechnical and environmental problems",* **Appl. Sci., Vol. 10** (2020), pp. 2263.

[3]. A. Revil *et al*, *"Theory of ionic-surface electrical conduction in porous media"*, Phys. Rev. B, **Vol. 55**, No. 3 (1997), pp. 1757-1773.

[4]. G. E. Archie, *"The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics"*, Petrol. Trans. AIME, **Vol. 146** (1942), pp. 54-62.

[5]. J. Cai *et al*, *"Electrical conductivity models in saturated porous media: a review"*, Earth Sci. Rev., **Vol. 171** (2017), pp. 419-433.

[6]. D. C. Herrick *et al*, *"Electrical efficiency a pore geometric theory for interpreting the electrical properties of reservoir rocks"*, Geophysics, **Vol. 59**, No. 6 (1994), pp. 918-927.

[7]. W. Wei *et al*, *"An electrical conductivity model for fractal porous media"*, Geophys. Res. Lett., **Vol. 42**, No. 12 (2015), pp. 4833-4840.

[8]. L. D. Thanh *et al*, *"A physically based model for the electrical conductivity of water-saturated porous media"*, **Geophys. J. Int**, **Vol. 219**, No. 2 (2019), pp. 866-876.

[9]. D. Jougnot *et al*, *"Exploring the effect of the pore size distribution on the streaming potential generation in saturated porous media, insight from pore network simulations"*, J. Geophys. Res: Solid Earth, **Vol. 124**, No.6 (2019), pp. 5315-5335.

[10]. M. D. Jackson, *"Characterization of multiphase electrokinetic coupling using a bundle of capillary tubes model",* J. Geophys. Res.: Solid Earth, **Vol. 113**, No. B4 (2008), pp. 1-13.

[11]. M. D. Jackson, *"Multiphase electrokinetic coupling: insights into the impact of fluid and charge distribution at the pore scale from a bundle of capillary tubes model"*, J. Geophys. Res.: Solid Earth, **Vol. 115**, No. B7 (2010), pp. 1-17.

[12]. L. D. Thanh *et al*, *"A fractal model for streaming potential coefficient in porous media"*, Geophys. Pro, **Vol. 66**, No. 4 (2018), pp. 753-766.

[13]. H. O. Pfannkuch, *"On the correlation of electrical conductivity properties of porous systems with viscous flow transport coefficients"*, Develop. Soil Sci, **Vol. 2** (1972), pp. 42-54.

[14]. Z. Bassiouni, *"Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs*", Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers (1994).

[15]. J. C. Cai *et al*, *"An analytical model for spontaneous imbibition in fractal porous media including gravity"*, Colloids Surf., A: Physicochem. Eng. Aspects, **Vol. 414** (2012), pp. 228-233.

[16]. B. Ghanbarian, *"Tortuosity in porous media: A critical review"*, Soil Sci. Soc. of America J., **Vol. 77**, No. 5 (2013), pp. 1461-1477.

[17]. A. Bole`ve *et al*, *"Streaming potentials of granular media: influence of the Dukhin and Reynolds numbers"*, J. Geophys. Res., **Vol. 112** (2007), pp. 1-14.

[18]. P. Sen *et al*, *"A self-similar model for sedimentary rocks with application to the dielectric constant of fused glass beads"*, J. of the Soil Mech. and Found. Div., **Vol. 46** (1981), pp. 781-795.

[19]. D. Wildenschild *et al*, *"On the relationship between microstructure and electrical and hydraulic properties of sandclay mixtures"*, Geophys. Res. Lett., **Vol. 27**, No. 19 (2000), pp. 3085-3088.

[20]. P. W. J. Glover *et al*, *"Grain-size to effective pore-size transfor- mation derived from electrokinetic theory"*, Geophysics, **Vol. 74**, No. 1 (2009), pp. 17-29.

ABSTRACT

A MODEL OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF POROUS MATERIALS IN SATURATED POROUS MEDIUM

Measurement of electrical conductivity is one of the most commonly used geophysical methods in geological, geotechnical, and environmental issues. In this work, a theoretical model is developed for predicting electrical conductivity of a water saturated porous medium using the skewed pore size distribution. The proposed model is related to porous water electrical conductivity, specific surface electrical conductance and microstructural parameters of the porous medium. The model predictions are successfully compared with published experimental data as well as another model available in literature. The model opens-up new possibilities for prediction of the electrical conductivity of porous materials.

Keywords: Electrical properties; Electrical conductivity; Porous media.

Nhận bài ngày 10 tháng 4 năm 2021
Hoàn thiện ngày 11 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: [1]Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên, Việt Nam;
[2]Trường THPT Ngô Gia Tự, Hà Đông, Hà Nội, Việt Nam;
[3]Trường Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam.
*Email: nghia_nvl@tlu.edu.vn.