



# TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

## KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

## **ĐƠN VỊ TỔ CHỨC**

**Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)**

## **CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC**

**Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam**

**Tổng hội Địa chất Việt Nam**

**Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam**

**Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu**

**Hội Cơ học Đá Việt Nam**

**Hội Công trình ngầm Việt Nam**

**Hội Dầu khí Việt Nam**

**Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam**

**Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam**

**Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam**

**Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam**

**Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam**

**Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam**

**Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam**

**Viện Khoa học Công nghệ Mỏ**

## **BAN TỔ CHỨC**

**Trưởng ban**

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

**Phó Trưởng ban**

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

**Ủy viên**

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS. TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Lâm, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Xuân Thảo, *Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Lê Đức Tình, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Trần Thị Phúc An, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Nguyễn Tiến Dũng, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Đào Hồng Quảng, *Viện Khoa học Công nghệ Mỏ*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Hội Dầu khí Việt Nam*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

TS Lê Ái Thụ, *Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam*

TS Bùi Yên Tĩnh, *Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu*



## **BAN KHOA HỌC**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
GS.TS Võ Trọng Hùng, *Hội Khoa học và Công nghệ Mở Việt Nam*  
GS.TS Trương Xuân Luận, *Tổng Hội Địa chất Việt Nam*  
GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mở Việt Nam*  
GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*  
PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Lê Ngọc Ánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Không Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Lê Minh Thống, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*  
PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*  
TS Lê Quang Duyên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Cao Khải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Văn Phóng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Bách Thảo, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN BIÊN TẬP**

### **Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

PGS.TS Nguyễn Viết Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS. TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN THƯ KÝ**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **WEBSITE HỘI THẢO**

Thông tin chi tiết của Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERSĐ 2024 được đăng tải trên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd.humg.edu.vn/>

## **ĐỊA CHỈ LIÊN HỆ**

Phòng Khoa học công nghệ, Trường Đại học Mở - Địa chất, số 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội, Việt Nam. ĐT: (+84) 24.3838643

## MỤC LỤC

Ban tổ chức hội nghị .....	i
Mục lục.....	iii
Lời nói đầu .....	v
Chương trình hội nghị .....	vii
Tiểu ban Dữ liệu lớn và chuyển đổi số trong khoa học trái đất, tài nguyên môi trường.....	1
Tiểu ban Trí tuệ nhân tạo, IOT, Blockchain và ứng dụng.....	38
Tiểu ban Cơ - Điện.....	71
Tiểu ban Dầu khí tích hợp.....	114
Tiểu ban Địa chất và tài nguyên du lịch.....	238
Tiểu ban Địa chất công trình - Địa kỹ thuật.....	312
Tiểu ban Địa chất thủy văn và Tài nguyên nước.....	430
Tiểu ban Tài nguyên địa chất và Quản lý bền vững.....	516
Tiểu ban Quản lý tài nguyên và Môi trường.....	597
Tiểu ban Công nghệ mới trong xử lý môi trường.....	730
Tiểu ban Phát triển bền vững khoa học công nghệ Mỏ và Môi trường.....	818
Tiểu ban Phát triển bền vững công nghiệp khai thác và Quản lý an toàn.....	899
Tiểu ban Những tiến bộ trong chế biến khoáng sản và tái chế.....	971
Tiểu ban Xây dựng công trình với phát triển bền vững.....	1039
Tiểu ban Kỹ thuật Trắc địa - Bản đồ và Hệ thống thông tin địa lý.....	1301
Tiểu ban Vật lý, Hóa học và ứng dụng.....	1384
Tiểu ban Toán, Cơ học và ứng dụng.....	1512
Tiểu ban Ngôn ngữ học.....	1634

## LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững (ERSD) được Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG) và các đối tác tổ chức 2 năm một lần với mục tiêu tạo ra một môi trường bổ ích để các nhà chuyên môn trong và ngoài nước tụ hội và giới thiệu những kết quả và hướng mới trong nghiên cứu khoa học, thảo luận về các xu thế phát triển, thách thức và cơ hội đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất, Tài nguyên địa chất, khai thác, chế biến, sử dụng và quản lý tài nguyên địa chất, bảo vệ môi trường và các ngành khác có liên quan.

Tiếp nối thành công của các Hội nghị ERSD2018, ERSD2020, ERSD2022, Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững lần thứ tư (ERSD2024) được Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG) đăng cai tổ chức với sự tham gia đồng tổ chức của nhiều cơ quan quản lý, tổ chức nghiên cứu khoa học, đào tạo, và doanh nghiệp có uy tín trong nước gồm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Tổng hội Địa chất Việt Nam, Cục Đo đạc - Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu, Hội Cơ học Đá Việt Nam, Hội Công trình ngầm Việt Nam, Hội Dầu khí Việt Nam, Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam, Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam, Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam, Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam, Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ và nhiều tổ chức và cá nhân khác.

Các chủ đề của Hội nghị tập trung vào nghiên cứu và ứng dụng khoa học công nghệ hướng tới phát triển bền vững đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất và Tài nguyên thiên nhiên, Khai thác và sử dụng tài nguyên địa chất, Môi trường và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan như Cơ - Điện, Công nghệ Thông tin, Xây dựng, ...

Trong quá trình tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học, chuyên môn và quản lý trong và ngoài nước. Hơn 300 bản thảo báo cáo khoa học liên quan tới các chủ đề của Hội nghị đã được gửi tới Ban biên tập. Trên cơ sở đó, 269 báo cáo có chất lượng tốt đã được lựa chọn và xuất bản trong Tuyển tập các báo cáo toàn văn của Hội nghị với các chủ đề khoa học sau:

1. Dữ liệu lớn và chuyển đổi số trong khoa học trái đất, tài nguyên môi trường
2. Trí tuệ nhân tạo, IoT, Blockchain và ứng dụng
3. Cơ - Điện
4. Dầu khí tích hợp
5. Địa chất và Tài nguyên du lịch
6. Địa chất công trình - Địa kỹ thuật
7. Địa chất thủy văn và Tài nguyên nước
8. Tài nguyên địa chất và quản lý bền vững
9. Quản lý tài nguyên và môi trường
10. Công nghệ mới trong xử lý môi trường
11. Phát triển bền vững khoa học công nghệ mỏ và môi trường
12. Phát triển bền vững công nghiệp khai thác và quản lý an toàn
13. Những tiến bộ trong chế biến khoáng sản và tái chế
14. Xây dựng công trình với phát triển bền vững
15. Kỹ thuật Trắc địa - Bản đồ và Hệ thống thông tin địa lý
16. Vật lý, Hoá học và ứng dụng
17. Toán học, Cơ học và ứng dụng
18. Ngôn ngữ học

Toàn bộ thông tin khoa học về hội nghị được tích hợp vào Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd.humg.edu.vn/>.

Ban tổ chức xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất, với tư cách là đơn vị đăng cai tổ chức Hội nghị, cùng các đơn vị đồng tổ chức đã hợp tác chặt chẽ và góp phần quan trọng vào việc tổ chức Hội nghị này. Cảm ơn các nhà khoa học và nhà chuyên môn đã đóng góp các công bố khoa học có giá trị cho Hội nghị. Ban tổ chức cũng đánh giá cao sự nỗ lực của các chuyên gia đọc bài đã có nhiều

nỗ lực và đóng góp để nâng cao chất lượng khoa học của các báo cáo, góp phần quan trọng vào thành công của hội nghị này.

Ban tổ chức mong muốn tiếp tục nhận được sự hợp tác chặt chẽ và góp ý chân thành của các đơn vị và cá nhân đối với việc chuẩn bị và tổ chức hội nghị, chất lượng báo cáo, biên tập, và xuất bản kỷ yếu hội nghị nhằm nâng cao chất lượng của các hội nghị tiếp theo, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của hoạt động nghiên cứu khoa học và trao đổi học thuật thuộc các lĩnh vực Khoa học Trái đất và Tài nguyên và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan.

*Hà Nội, tháng 11 năm 2024*  
**THAY MẶT BAN TỔ CHỨC**

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, flowing characters, likely representing the name Trần Thanh Hải.

**GS.TS Trần Thanh Hải**

**TIỂU BAN  
ĐỊA CHẤT THỦY VĂN VÀ  
TÀI NGUYÊN NƯỚC**

## MỤC LỤC

Sự suy giảm tài nguyên nước dưới đất ở Tây Nguyên những năm gần đây và giải pháp khôi phục, phát triển nguồn nước

*Đoàn Văn Cánh, Trần Thị Thu Hương, Nguyễn Tiếp Tân* ..... 433

The hydrogeochemical background of the Triassic aquifer in the Olkusz Zn-Pb ore mining region, South Poland

*Damian Cieř, Jacek Motyka, Kajetan d'Obyrn, Nguyen Bach Thao, Tran Quang Tuan* ..... 438

Kết quả tính toán, dự báo ngập lụt cho khu công nghiệp - đô thị - dịch vụ Phú Quý, huyện Hoàng Hóa, tỉnh Thanh Hóa

*Vũ Thu Hiền, Đào Đức Bằng, Đinh Anh Tuấn, Nguyễn Thị Bình Minh* ..... 445

Xác định thông số dịch chuyển kim loại nặng từ thí nghiệm cột thấm không bão hoà bằng phương pháp mô hình số

*Trần Vũ Long, Đặng Đức Nhận, Nguyễn Văn Lâm, Đào Đức Bằng, Vũ Thu Hiền* ..... 452

Nghiên cứu chế tạo, thử nghiệm thiết bị nút trám xi măng trong khoan thăm dò địa chất tại mỏ Ngã Hai, Quảng Ninh

*Nguyễn Bách Thảo, Trương Công Hưng, Phạm Văn Khải, Đỗ Quang Mạnh, Nguyễn Quang Tuấn* ..... 458

Xác định tương quan hệ số thấm từ thí nghiệm thấm trong phòng và hiện trường

*Nguyễn Bách Thảo, Đào Đức Bằng, Vũ Thị Như Phương, Nguyễn Minh Luân, Baptiste Chevalier* ..... 464

Xác định một số thông số dịch chuyển chất bản tầng chứa nước ven biển Nam Trung Bộ bằng thí nghiệm hút nước chũm ép chất chỉ thị

*Nguyễn Bách Thảo, Nguyễn Văn Lâm, Đào Đức Bằng* ..... 470

Nghiên cứu, đánh giá khả năng tự bảo vệ tầng chứa nước Holocen đồng bằng ven biển tỉnh Hà Tĩnh

*Dương Thị Thanh Thủy* ..... 476

Phân vùng động thái nước dưới đất trầm tích Đệ Tứ vùng đồng bằng ven biển tỉnh Thanh Hóa

*Dương Thị Thanh Thủy* ..... 481

Áp dụng phương pháp Thiessen để đánh giá tiềm năng tài nguyên nước mưa tỉnh Quảng Ninh

*Trần Quang Tuấn* ..... 487

Chuyển đổi các moong khai thác mỏ thành hồ chứa nước đảm bảo an ninh nguồn nước. Lấy ví dụ mỏ đá vôi Bắc Tân Sơn, Hải Dương

*Trần Quang Tuấn, Phan Viết Sơn* ..... 493

Nghiên cứu tính toán lượng nước chảy vào và thoát nước cho mỏ than Mạo Khê, Đông Triều, Quảng Ninh phục vụ phát triển bền vững

*Trần Quang Tuấn* ..... 498

Tính toán mực nước hạ thấp dự báo, xác định thông số địa chất thủy văn và vị trí của biên tầng chứa nước có biên với hệ số thấm khác nhau

*Đặng Đình Phúc, Triệu Đức Huy, Đặng Hữu Nghị, Nguyễn Bách Thảo, Bùi Thị Vân Anh,*



***Đặng Đình Phú ..... 504***

***Tính toán xâm nhập mặn trong giếng khai thác ven biển***

***Đặng Đình Phúc, Phạm Quý Nhân, Đặng Hữu Nghị, Bùi Thị Vân Anh ..... 510***

## Xác định thông số dịch chuyển kim loại nặng từ thí nghiệm cột thấm không bão hoà bằng phương pháp mô hình số

Trần Vũ Long<sup>1,\*</sup>, Đặng Đức Nhận<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Lâm<sup>2</sup>, Đào Đức Bằng<sup>1</sup>, Vũ Thu Hiền<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup> Hội Địa chất thủy văn Việt Nam

### TÓM TẮT

Nghiên cứu về dịch chuyển kim loại nặng trong trầm tích, có rất nhiều phương pháp thí nghiệm để xác định các thông số dịch chuyển của kim loại nặng. Tuy nhiên, phương pháp sử dụng cột thấm trong phòng thí nghiệm là một trong những phương pháp đơn giản và hiệu quả. Nghiên cứu này sử dụng kết quả theo dõi thay đổi của hàm lượng kim loại nặng Niken (Ni), Kẽm (Zn), Cadimi (Cd) và Chì (Pb) đầu ra từ cột thấm. Vật liệu được đặt trong cột thấm là trầm tích cát thuộc tầng chứa nước tuổi Holocene tại khu vực cồn cát ven biển Tiến Thành, Bình Thuận ở độ sâu 0,7 m so với mặt đất và trầm tích sét pha cát thuộc tầng chứa nước tuổi Holocene khu vực Mũi Xá, Bắc Ninh ở độ sâu 1 m. Phần mềm HYDRUS1D được sử dụng để mô phỏng và giải ngược các thông số dịch chuyển của các kim loại trên. Mô hình lan truyền âm van Genuchten - Mualem và mô hình hấp phụ 2 không cân bằng thành phần van Genuchten - Wagenet kết hợp Freundlich trong điều kiện bão hoà thay đổi và phương pháp bình phương phi tuyến tối thiểu được sử dụng để mô phỏng quá trình dịch chuyển của kim loại nặng trong cột thấm. Kết quả đối với cát Bình Thuận và sét pha cát Bắc Ninh cho thấy hệ số tương quan  $R^2$  giữa đường cong lý thuyết và số liệu thí nghiệm có mức độ trùng khớp cao với giá trị 0,98 - 0,99. Các hệ số  $\alpha_L$  biến đổi từ 0,00001 đến 1,44 cm, hệ số  $K_d$  biến đổi từ 0,61 đến 6,04 cm<sup>3</sup>/ngày, hệ số  $\beta$  biến đổi từ 0,58 đến 1,17.

*Từ khóa:* Lan truyền âm; bão hoà thay đổi; kim loại nặng; Bình Thuận; Bắc Ninh

### 1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm nguồn nước dưới đất đang là mối quan tâm lớn của công chúng ở các khu dân cư. Nguồn ô nhiễm bao gồm những đồ thải các hóa chất độc hại, từ các bãi chôn lấp các chất thải nguy hại, những bãi rác tập trung, các nguồn nước thải trong đó có các nước thải công nghiệp (Depountis, 2000). Rác thải chứa các chất độc hại đang trở thành một trong những vấn đề quan trọng hàng đầu đe dọa sức khỏe và môi trường nói chung. Dịch chuyển các hóa chất từ bề mặt qua các lớp đất xuống tầng chứa nước dưới đất sẽ làm cho chất lượng nguồn tài nguyên quý giá không thể thiếu đối với con người cũng như hệ sinh thái nói chung bị hủy hoại.

Để giải quyết bài toán dịch chuyển chất ô nhiễm, đặc biệt là kim loại nặng, các thông số dịch chuyển của từng loại đất đá ở khu vực nghiên cứu là điều kiện tiên quyết. Tuy nhiên, quá trình dịch chuyển vật chất hoà tan nói chung, kim loại nặng nói riêng trong đất đá lại phụ thuộc vào cả bản thân kim loại nặng cũng như loại đất đá (Appelo và Postma, 2005). Tiến hành các thí nghiệm Tracer sử dụng kim loại nặng ngoài thực địa không phải lúc nào cũng có điều kiện thực hiện. Vì vậy, các thí nghiệm dịch chuyển trong cột thấm trong phòng thí nghiệm là các thí nghiệm thay thế tốt. Các thí nghiệm cột thấm trong phòng thí nghiệm đã được sử dụng từ rất lâu nhằm thực hiện các mô phỏng vật lý sát với điều kiện ngoài hiện trường (Lewis và Sjöstrom, 2010; Trần Vũ Long và nnk, 2022; Mojid và nnk, 2019). Tuy nhiên, mô phỏng những hiện tượng liên quan đến thủy lực trong đất là một vấn đề khó khăn do bản chất phức tạp và không đồng nhất của đất và có nhiều yếu tố cùng tham gia vào quá trình vận động cùng dòng nước thấm trong đất. Một số mô hình được đơn giản hóa chỉ mô tả những khái niệm ở quy mô hẹp đối với các quá trình vận động theo cơ chế vật lý (Božić và nnk, 2009; Celia và nnk, 1990; Foo và Hameed, 2009; Gylisen và nnk, 2009; Javadi và nnk, 2006; Li và nnk, 1999; Vomvoris và Gelhar, 1990) có mức độ ảnh hưởng đến dòng thấm trong tầng đất không bão hòa nước và quá trình dịch chuyển ô nhiễm theo dòng thấm trong đất.

Đối với thí nghiệm cột thấm, lưu lượng đầu vào và hàm lượng kim loại nặng ở đầu ra của cột được theo dõi theo thời gian. Có 2 cách để giải ngược các kết quả thí nghiệm này là sử dụng các phương pháp

\* Tác giả liên hệ:

Email: tranvulong@humg.edu.vn

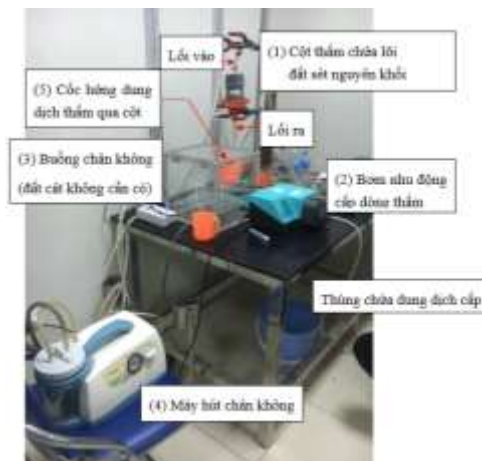
giải tích (Van Genuchten, 1981) hoặc sử dụng phương pháp số (Radcliffe và Simunek, 2018). Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng phương pháp số thông qua phần mềm HYDRUS1D để xử lý tài liệu từ thí nghiệm cột thấm với 2 loại trầm tích cát thuộc tầng chứa nước tuổi Holocene tại khu vực cồn cát ven biển Tiên Thành, Bình Thuận ở độ sâu 0,7 m so với mặt đất và trầm tích sét pha cát thuộc tầng chứa nước tuổi Holocene khu vực Mẩn Xá, Bắc Ninh ở độ sâu 1 m.

## 2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Thí nghiệm cột thấm

#### 2.1.1. Thực hiện thí nghiệm

Hệ thiết bị bao gồm cột thấm (1) chứa cột đất nghiên cứu, bơm nhu động bơm cấp dung dịch vào đầu cột thấm (2) với tốc độ bơm cấp có thể thay đổi được. Trong trường hợp cột đất là đất cát thì không cần có buồng chân không (3) nối với máy hút chân không (4) để hỗ trợ dòng thấm chảy qua cột, đặc biệt trong trường hợp cột đất là đất sét. Cốc hứng dung dịch thấm đặt phía dưới ống thu dung dịch (5). Mặt trên lớp đất được đặt một tấm giấy lọc hoặc một lớp bông thủy tinh để làm cho dung dịch cấp phân bố đều khắp bề mặt phần diễn cột đất. Mặt dưới cột đất cũng được lót một màng nylon trước khi vít tấm hợp kim nhôm có lỗ vào đáy ống nhằm không cho đất trong cột lọt ra ngoài theo nước thấm.



Hình 1. Hệ thiết bị thí nghiệm cột thấm

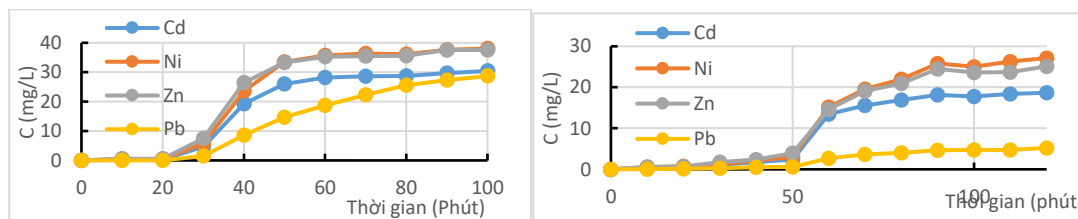
Trước khi cấp dung dịch chứa các ion kim loại nghiên cứu, cột đất được bơm rửa bằng nước khử ion đến khi trong nước rửa không có phát hiện vết các ion kim loại. Bước rửa cột đất đồng thời cũng là bước chuẩn tốc độ dòng chảy trong cột cho ổn định.

Các hoá chất Nickel Chloride ( $\text{NiCl}_2$ ), Cadmium Nitrate ( $\text{CdNO}_3$ ) (Trung Quốc), Kẽm Chloride ( $\text{ZnCl}_2$ ) và chì acetat ( $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) (Merck) loại tinh khiết dùng cho phân tích (PA) đã được sử dụng trong nghiên cứu này. Các muối của Ni, Zn, Cd và Pb được pha trong dung dịch 0,1 M  $\text{CaCl}_2$  là dung dịch có lực ion tương đương dung dịch nước trong đất (ASTM-D4646, 2016). Nồng độ dung dịch ban đầu của bốn ion kim loại nghiên cứu là 45 mg/L. Các loại trầm tích được sử dụng có các kết quả phân tích cơ lý như trong bảng sau:

Bảng 1. Một số tính chất cơ lý của trầm tích được sử dụng

Các thông số vật lý của đất	Trầm tích cát Bình Thuận	Trầm tích sét pha Bắc Ninh
Tỷ trọng đồng, $\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	1,51	1,74
Tỷ trọng hạt, $\rho_p$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2,64	2,44
Độ rỗng của đất, $\theta$	43	35,5
Độ ẩm, %	6,0	26,5
Thành phần cỡ hạt: cát:bột:sét (%)	95,2:4,8:<0.05	28,0:33,2:38,8

#### 2.1.2. Kết quả thí nghiệm



Hình 2. Kết quả thí nghiệm đối với cát Bình Thuận và sét pha Bắc Ninh

Kết quả thí nghiệm là đường nồng độ thoát từ đầu ra của cột đất thí nghiệm theo thời gian, các mẫu nước theo dõi được phân tích theo các phương pháp TCVN 6665:2011 (ISO 11885:2007), TCVN 6197:2008.

## 2.2. Mô hình lan truyền kim loại nặng hoà tan trong môi trường có độ bão hoà thay đổi

### 2.2.1. Phương trình tổng quát của lan truyền ẩm

Chuyển động nước một chiều đồng đều (cân bằng) trong môi trường lỗ hổng cứng bão hòa một phần được mô tả bằng một dạng biến đổi của phương trình Richards (1931), sử dụng các giả định rằng pha khí

đóng vai trò không đáng kể trong quá trình dòng chảy lỏng và dòng chảy do các gradient nhiệt có thể bỏ qua:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S \quad (1)$$

Trong đó,  $h$  là áp suất nước [L],  $\theta$  là hàm lượng nước thể tích [ $L^3L^{-3}$ ],  $t$  là thời gian [T],  $x$  là tọa độ không gian [L] (dương hướng lên trên),  $S$  là lượng thoát [ $L^3L^{-3}T^{-1}$ ],  $\alpha$  là góc giữa hướng dòng chảy và trục thẳng đứng, và  $K$  là hàm hệ số thấm chưa bão hòa [ $LT^{-1}$ ] được cho bởi:

$$K(h, x) = K_s(x)K_r(h, x) \quad (2)$$

Trong đó,  $K_r$  là hệ số thấm thủy lực tương đối [-] và  $K_s$  là hệ số thấm bão hòa [ $LT^{-1}$ ].

Các tính chất thủy động học của đất không bão hòa, được ký hiệu là  $\theta(h)$  và  $K(h)$ , trong phương trình (1) thường là các hàm phi tuyến tính của áp suất trong đất.

Có năm mô hình phân tích khác nhau cho các tính chất thủy động học bao gồm Brooks (1964); Durner (1994); Kosugi (1996); Van Genuchten (1980); Vogel và Cislérova (1988).

Các hàm giữ nước đất,  $\theta(h)$  và dẫn nước thủy động,  $K(h)$ , theo Brooks (1964) được biểu diễn bởi:

$$S_e = \begin{cases} |ah|^{-n} & h < -1/a \\ 1 & h = -1/a \end{cases} \quad (3)$$

$$K = K_s S_e^{2/n+1+2}$$

Trong đó,  $S_e$  là độ bão hòa hiệu quả:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

Trong đó,  $\theta_r$  và  $\theta_s$  biểu thị nồng độ nước còn lại và nước bão hòa tương ứng;  $K_s$  là dẫn nước thủy động bão hòa;  $a$  là nghịch đảo của giá trị áp suất khí (hoặc áp suất bột khí);  $n$  là chỉ số phân phối kích thước lỗ, và  $l$  là tham số kết nối lỗ giả định là 2.0 trong nghiên cứu gốc của Brooks (1964). Các tham số  $a$ ,  $n$  và  $l$  trong HYDRUS được coi là các hệ số kinh nghiệm ảnh hưởng đến hình dạng của các hàm thủy động.

HYDRUS cũng triển khai các chức năng thủy lực đất của Van Genuchten (1980), người đã sử dụng mô hình phân phối kích thước lỗ thông thống kê của Mualem (1976) để thu được một phương trình dự đoán cho hàm dẫn khí thủy nhiệt không bão hòa theo các tham số giữ nước đất. Các biểu thức của Van Genuchten (1980) được cho bởi

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |ah|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (6)$$

Trong đó,

$$m = 1 - 1/n, n > 1 \quad (7)$$

Các phương trình trên chứa năm tham số độc lập:  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $a$ ,  $n$  và  $K_s$ . Tham số kết nối lỗ rỗng trong hàm tính hệ số thấm thủy lực được ước tính theo Mualem (1976) là khoảng 0,5 trung bình cho nhiều loại đất.

## 2.2.2. Mô hình dịch chuyển chất hoà tan hấp phụ 2 thành phần

Khái niệm về hấp phụ hai thành phần của Selim và nnk (1987) và Van Genuchten và Wagenet (1989) được áp dụng trong HYDRUS để cho phép xem xét các phản ứng hấp phụ - giải hấp phụ không cân bằng. Khái niệm hấp phụ hai thành phần giả định rằng các pha hấp phụ có thể được chia thành hai phần:

$$s_k = s_k^e + s_k^k \quad k \in (1, n_s) \quad (8)$$

Phần loại 1: Hấp phụ trên phần này được giả định là tức thì;

Phần loại 2: Hấp phụ trên phần này được xem xét là phụ thuộc vào thời gian.

Trong trường hợp này, hấp phụ ( $s_k^e$ ) trên một phần của các thành phần (các thành phần loại 1) được giả định là tức thì, trong khi hấp phụ ( $s_k^k$ ) trên các thành phần còn lại (loại 2) được xem xét là phụ thuộc vào thời gian. Ở trạng thái cân bằng, chúng ta có:

$$s_k^e = f s_k \quad k \in (1, n_s) \quad (9)$$

$$s_k^k = (1 - f) s_k \quad k \in (1, n_s) \quad (10)$$

Ở đây,  $f$  là tỷ lệ của các thành phần trao đổi được giả định ở trạng thái cân bằng với pha dung dịch [-]. Vì các thành phần hấp phụ loại 1 luôn ở trạng thái cân bằng, việc vi phân của phương trình

(11) ngay lập tức cho ra tốc độ hấp phụ cho các thành phần cân bằng

loại 1.

$$\frac{\partial s_k^e}{\partial t} = f \frac{\partial s_k}{\partial t} \quad k \in (1, n_s) \quad (11)$$

Hấp phụ trên các thành phần không cân bằng loại 2 được giả định là quá trình tốc độ động học bậc nhất. Theo Toride và nnk (1993), phương trình cân bằng khối lượng cho các thành phần loại 2 trong điều kiện

có sự sản xuất và phân hủy được cho bởi:

$$\frac{\partial s^k}{\partial t} = \omega_k \left[ (1-f) \frac{k_{s,k} c_k^{\beta_k}}{1+\eta_k c_k^{\beta_k}} - s^k \right] - (\mu_{s_k} + \mu_{i^s}) s_k^k + (1-f) \gamma_{s,k} \quad k \in (1, n_s) \quad (12)$$

Trong đó,  $\omega_k$  là tỷ lệ hằng số bậc 1 cho chất hoà tan  $k_{th}$  [ $T^{-1}$ ].

### 2.3. Xây dựng mô hình và tính toán

Để mô phỏng dịch chuyển của kim loại nặng trong các thí nghiệm nêu trên, mô hình khái niệm hệ thống được thiết lập với các điều kiện biên và đầu vào như Hình 3. Mô hình khái niệm được trình bày như sau:

- Cột thấm được mô phỏng bằng 1 cột có chiều dài 35 cm.
- Phía trên đỉnh cột là nguồn vào bao gồm  $Q$  cho nước bơm vào và nồng độ  $C$ .
- Phía dưới cột là nguồn ra được chọn là free - drain mô phỏng thoát nước tự do.
- 2 bên cột được coi là biên giới no-flow không có dòng thấm cắt ngang qua.

Mô hình số được thực hiện nhằm mô phỏng lại thí nghiệm trên phần mềm HYDRUS 1D với phương pháp tính toán phân tử hữu hạn 1 chiều.

Thông số mô phỏng có: Chiều dài cột thấm: 35 cm; Số lượng phần tử hữu hạn 351 với 350 elements, 351 nodes tương ứng 0,1 cm/element; Lưu lượng đầu vào được giữ cố định ở đầu trên của cột. Hàm lượng đầu vào được gán bằng hàm lượng không đổi bằng với hàm lượng kim loại làm thí nghiệm; Thời gian mô phỏng tương đương với thí nghiệm; Số liệu phân tích mẫu nước đầu ra được lấy theo kết quả thí nghiệm; Bước thời gian nhỏ nhất  $1E-5$  phút và lớn nhất là 1 phút; Giá trị ban đầu của hàm lượng nước được gán bằng giá trị min của độ ẩm đo được trên thực địa và trong cột; Giá trị ban đầu của hàm lượng kim loại nặng trong mô hình được gán bằng 0 mg/L.

3 Điểm quan trắc được đưa vào mô hình với vị trí node 1, 175 và 351 để theo dõi biến động của hàm lượng chất hoà tan trong nước.

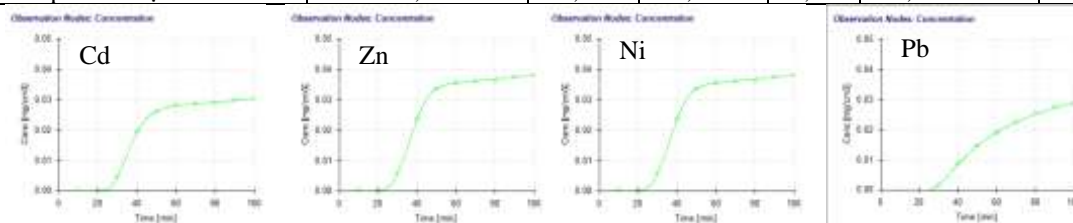
Mô hình dòng chảy được sử dụng là mô hình Van Genuchten (1980) với 5 tham số tính toán. Mô hình dịch chuyển vật chất được sử dụng là mô hình hấp phụ 2 phía với trạng thái không cân bằng hoá học (Selim và nnk, 1987; Van Genuchten và Wagenet, 1989). Giá trị ban đầu của mô hình dòng chảy theo mô hình van Genuchten - Mualem thông qua dự báo bằng mạng nơ-ron (Van Genuchten và nnk, 2003).

### 3. Kết quả và thảo luận

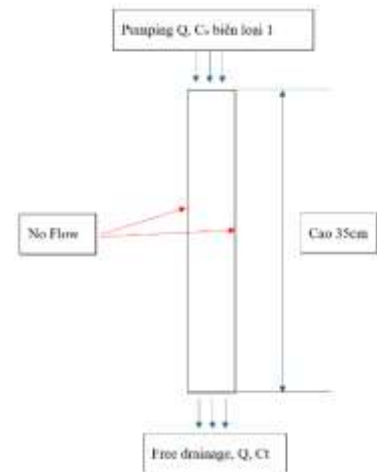
Mô hình được xây dựng chạy và sử dụng chính lý tự động theo phương pháp ước lượng sai số nhỏ nhất phi tuyến (Non-linear least-squares) (Box, 1969). Kết quả tính toán được đưa ra ở các hình bên dưới.

Bảng 2. Kết quả chỉnh lý thông số lan truyền ảm

Mẫu	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$ (1/cm)	n	$K_s$ (cm/phút)	I
Cát Bình Thuận	0,0481	0,3711	0,023	3,016	0,533028	0,5
Sét pha cát bột Bắc Ninh	0,1	0,39	0,059	1,48	0,0218333	0,5

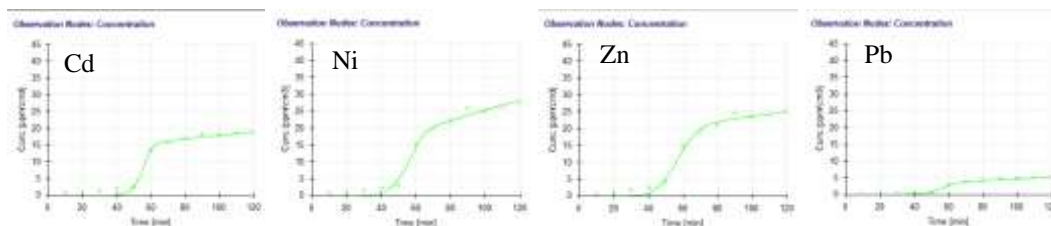


Hình 4. So sánh đường cong tính toán (đường liền nét) và số liệu kết quả thí nghiệm (chấm tròn) đối với cát Bình Thuận



Hình 3. Mô hình khái niệm cột thấm trong phòng thí nghiệm





Hình 5. So sánh đường cong tính toán (đường liền nét) và số liệu kết quả thí nghiệm (chấm tròn) đối với sét pha Bắc Ninh

Bảng 3. Kết quả chỉnh lý thông số dịch chuyển

STT	Kim loại	$\alpha L$ (cm)	$D_L$ (cm <sup>2</sup> /phút)	Frac	$K_d$ (cm <sup>3</sup> /g)	Beta (Freundlich exponent)	$\omega$ (1/Phút)	RSQUARE
Cát Bình Thuận								
1	Cd	0,86	1,15	0,13	0,95	0,89	0,0045	0,99
2	Ni	0,38	0,51	0,36	0,78	1,15	0,009	0,99
3	Zn	0,45	0,6	0,33	0,61	1,07	0,01	0,99
4	Pb	0,62	0,83	0,37	0,33	0,62	0,013	0,99
Sét pha cát bột Bắc Ninh								
5	Cd	0,17	0,9	0,09	3,5	0,95	0,0035	0,99
6	Ni	1,44	7,92	0,23	6,04	0,58	0,0071	0,99
7	Zn	0,3	1,56	0,18	1,14	1,1	0,0054	0,99
8	Pb	1,47e-4	0,000008	0,047	4,03	1,17	0,004	0,99

#### 4. Kết luận

Đối với mô hình của cột thấm với 4 kim loại cho thấy mức độ chỉnh lý giữa tài liệu thí nghiệm và mô hình số có sự trùng khớp lớn với  $R^2 \sim 0,99$ . Kết quả mô phỏng và tính toán là tin cậy cao. Kết quả của cả 2 thí nghiệm đều cho thấy tốc độ di chuyển của Ni và Zn cao hơn Cd và Pb là thấp nhất. Đất cát Bình Thuận cho thấy tốc độ di chuyển của các kim loại tổng thể cao hơn so với sét pha cát bột Bắc Ninh. Tuy nhiên, lượng kim loại bị giữ lại trong sét pha cát bột Bắc Ninh cao hơn so với Bình Thuận thể hiện bởi các tham số  $K_d$  và Beta. Mô hình di chuyển của kim loại nặng trong đất tuân thủ chặt chẽ mô hình dịch chuyển 2 thành phần không cân bằng hoá học.

#### Lời cảm ơn

Các tác giả cảm ơn đề tài ĐTĐLCN.86/21 đã cung cấp các số liệu thực hiện bài báo này.

#### Tài liệu tham khảo

- Appelo, C. A. J., & Postma, D. 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution* (2. ed.). A.A. Balkema Publishers.
- ASTM-D4646. 2016. Standard test method for 24-h batch-type measurement of contaminant sorption by soils and sediments. In *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 4).
- Box, M. 1969. Non-linear optimization techniques. *Nomograph No. 5, IC I*, 20.
- Božić, D., Stanković, V., Gorgievski, M., Bogdanović, G., & Kovačević, R. 2009. Adsorption of heavy metal ions by sawdust of deciduous trees. *Journal of hazardous materials*, 171(1-3), 684-692.
- Brooks, R. 1964. Hydraulic properties of porous. *Media, In Hydrol. Pap.*, 3, 1-27.
- Celia, M. A., Bouloutas, E. T., & Zarba, R. L. 1990. A general mass - conservative numerical solution for the unsaturated flow equation. *Water Resources Research*, 26(7), 1483-1496.
- Depountis, N. 2000. *Geotechnical centrifuge modelling of capillary phenomena and contaminant migration in unsaturated soils* University of Wales. Cardiff].
- Durner, W. 1994. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*, 30(2), 211-223.
- Foo, K., & Hameed, B. 2009. An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *Journal of hazardous materials*, 171(1-3), 54-60.
- Gylienė, O., Binkienė, R., & Butkienė, R. (2009). Sorption of Cu (II) complexes with ligands tartrate, glycine and quadrol by chitosan. *Journal of hazardous materials*, 171(1-3), 133-139.
- Javadi, A., Al-Najjar, M., & Elkassas, A. (2006). Numerical modelling of contaminant transport in unsaturated soils. 5th ICEG Environmental Geotechnics: Opportunities, Challenges and Responsibilities for Environmental Geotechnics: Proceedings of the ISSMGE's fifth international congress organized by the Geoenvironmental Research Centre, Cardiff University and held at Cardiff City Hall on 26-30th June 2006,
- Kosugi, K. i. 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources*

- Research*, 32(9), 2697-2703.
- Lewis, J., & Sjöström, J. 2010. Optimizing the experimental design of soil columns in saturated and unsaturated transport experiments. *Journal of contaminant hydrology*, 115(1-4), 1-13.
- Li, X., Cescotto, S., & Thomas, H. R. 1999. Finite-element method for contaminant transport in unsaturated soils. *Journal of hydrologic engineering*, 4(3), 265-274.
- Long, Y., Huang, T., Zhang, F., & Zhao, Y. 2022. Soil column experimental study on the effect of soil structure disturbance on water chemistry. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15673.
- Mojid, M., Hossain, A., & Wyseure, G. 2019. Impacts of municipal wastewater on basic soil properties as evaluated by soil column leaching experiment in laboratory. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 402-412.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12(3), 513-522.
- Radcliffe, D. E., & Simunek, J. 2018. *Soil physics with HYDRUS: Modeling and applications*. CRC press.
- Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *physics*, 1(5), 318-333.
- Selim, H., Schulin, R., & Flühler, H. 1987. Transport and ion exchange of calcium and magnesium in an aggregated soil. *Soil science society of America Journal*, 51(4), 876-884.
- Toride, N., Leij, F. J., & van Genuchten, M. T. 1993. A comprehensive set of analytical solutions for nonequilibrium solute transport with first - order decay and zero - order production. *Water Resources Research*, 29(7), 2167-2182.
- Van Genuchten, M. T. 1980. A closed - form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America Journal*, 44(5), 892-898.
- Van Genuchten, M. T. 1981. *Non-equilibrium transport parameters from miscible displacement experiments*.
- Van Genuchten, M. T., Simunek, J., Schaap, M. G., & Skaggs, T. H. 2003. Unsaturated Zone Parameter Estimation Using the HYDRUS and Rosetta Software Packages. *Multimedia Environmental Models; Nuclear Regulatory Commission: Rockville, MD, USA*, 41.
- Van Genuchten, M. T., & Wagenet, R. 1989. Two - site/two - region models for pesticide transport and degradation: Theoretical development and analytical solutions. *Soil science society of America Journal*, 53(5), 1303-1310.
- Vogel, T., & Cislerova, M. 1988. On the reliability of unsaturated hydraulic conductivity calculated from the moisture retention curve. *Transport in porous media*, 3, 1-15.
- Vomvoris, E. G., & Gelhar, L. W. 1990. Stochastic analysis of the concentration variability in a three - dimensional heterogeneous aquifer. *Water Resources Research*, 26(10), 2591-2602.

## ABSTRACT

### Determining Heavy Metal Transport Parameters from Unsaturated Column Leaching Experiments Using Numerical Modeling Methods

Tran Vu Long<sup>1</sup>, Dang Duc Nhan<sup>2</sup>, Nguyen Van Lam<sup>2</sup>, Dao Duc Bang<sup>1</sup>, Vu Thu Hien<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology

<sup>2</sup> Vietnam Association of Hydrogeology

In the study of heavy metal transport in trầm tích, there are many experimental methods to determine the transport parameters of heavy metals. However, laboratory column leaching experiments are one of the simplest and most effective methods. This study uses results from monitoring changes in the output concentration of heavy metals Nickel (Ni), Zinc (Zn), Cadmium (Cd), and Lead (Pb) from the leaching column. The material packed in the leaching column includes sand sediments from the Holocene aquifer at a depth of 0.7m from the surface at the coastal dunes of Tien Thanh, Binh Thuan, and clayey sand sediments from the Holocene aquifer at a depth of 1m from the surface at Man Xa, Bac Ninh. The HYDRUS-1D software is used to simulate and inversely solve the transport parameters of these metals. The van Genuchten-Mualem moisture transport model and the two-component non-equilibrium van Genuchten-Wagenet adsorption model combined with Freundlich under varying saturation conditions and the nonlinear least squares method are used to simulate the heavy metal transport process in the leaching column. The results for Binh Thuan sand and Bac Ninh clayey sand show that the correlation coefficient  $R^2$  between the theoretical curve and experimental data has a high degree of consistency, with values ranging from 0.98 to 0.99. The  $\alpha_L$  coefficients vary from 0.00001 to 1.44 cm, the  $K_d$  coefficients vary from 0.61 to 6.04 cm<sup>3</sup>/day, and the  $\beta$  coefficients vary from 0.58 to 1.17.

**Keywords:** Unsaturated flow; variable saturation; heavy metals; Binh Thuan; Bac Ninh

# KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)



ISBN: 978-604-76-3040-0



9 786047 630400

SÁCH KHÔNG BÁN