

ĐÁNH GIÁ ĐẶC ĐIỂM Ô NHIỄM As, Pb, Cu, Zn TRONG NƯỚC Ở LÀNG NGHỀ ĐÔNG MAI (HUNG YÊN) BẰNG CÁC CHỈ SỐ ĐÁNH GIÁ

ĐỖ THỊ THÚY TIÊN¹, ĐOÀN ANH TUẤN¹, LÊ QUANG ĐẠO¹,
ĐÔNG THU VÂN¹, PHẠM LAN HOA¹

¹Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt:

Ô nhiễm môi trường nước đang có xu hướng gia tăng và là vấn đề đáng báo động ở Việt Nam cũng như thế giới. Quá trình công nghiệp hóa, biến đổi khí hậu cùng các hoạt động sản xuất làng nghề đã và đang tạo ra nhiều chất gây ô nhiễm nước ở Việt Nam. Nghiên cứu trình bày sự phân bố As, Pb, Cu, Zn trong môi trường nước và đánh giá đặc điểm ô nhiễm kim loại nặng tại làng nghề Đông Mai; sử dụng phép phân tích thống kê đa biến để đánh giá các đặc điểm ô nhiễm As, Cu, Zn, Pb trong môi trường nước tại làng nghề bằng việc sử dụng các chỉ số đánh giá như chỉ số kim loại (MI), hệ số làm giàu (EF), yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn (ERF) và hệ số rủi ro sinh thái (ERI). Nghiên cứu cho thấy phép phân tích thống kê đa biến này có ý nghĩa quan trọng trong việc xác định nguồn và xuất xứ ô nhiễm. Đáng chú ý là tải lượng lớn của các nguyên tố (As, Cu, Zn) và Pb trong nước được phản ánh bởi hai thành phần chính PC1 và PC2 (theo phương pháp phân tích thành phần chính) cùng với những biến động theo mùa cho thấy cả hai nguồn ô nhiễm địa sinh và nhân sinh là nguồn gốc phát sinh chủ yếu đối với chỉ số kim loại (MI) và hệ số làm giàu (EF). Mặc dù yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn và chỉ số rủi ro sinh thái của nước mặt cũng như trong nước ngầm lần lượt tương ứng đều đạt ở mức thấp ($ERF < 40$ và $ERI < 150$) và ($ERF < 40$), nhưng do đặc tính khó phân hủy và khả năng tích lũy cao nên vẫn luôn tồn tại các nguy cơ rủi ro tiềm ẩn tác động tiêu cực đến hệ sinh thái. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả kiến nghị cần thực hiện một chương trình nghiên cứu toàn diện và chi tiết về hàm lượng kim loại nặng trong nước ở một khu vực rộng hơn để xác định tổng thể, chi tiết vấn đề liên quan đến ô nhiễm kim loại nặng, nhằm xây dựng kế hoạch khắc phục và các giải pháp ngăn ngừa ô nhiễm hiệu quả hơn.

Từ khóa: Kim loại nặng, tái chế ắc quy (chì), hệ số làm giàu, yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn, hệ số rủi ro sinh thái.

Ngày nhận bài: 10/8/2024; Ngày sửa chữa: 8/9/2024; Ngày duyệt đăng: 21/10/2024.

Assessment of Pollution Characteristics of "As, Pb, Cu, Zn" in Water in Đông Mai Craft Village (Hung Yên) Using Evaluation Indices

Abstract:

Water pollution is on the rise and an alarming problem in Vietnam as well as all over the world. The process of industrialization, climate change and craft village production activities have been creating many water pollutants in Vietnam. This topic has presented the distribution of As, Pb, Cu, Zn in the water environment and evaluated the characteristics of heavy metal pollution in the Đông Mai craft village. We used the multivariate statistical analysis to evaluate the characteristics of As, Cu, Zn, Pb contamination in this village's water environment by using the evaluation indices such as Metal index (MI), Enrichment factor (EF), the potential ecological risk factor (ERF) and the potential ecological risk index (ERI). This study has shown that the classical multivariate statistical analysis is significant to identify contamination sources and origin. It was noted that the high loading of (As, Cu, Zn) and Pb in water, which reflected by the two main components PC1 & PC2 (according to the principal component analysis method), along with the seasonal variations was indicative of both geogenic and anthropogenic pollution as primary sources in terms of MI and EF. In this study, although the potential ecological risk factor and ecological risk index of surface water as well as ground water were at low level ($ERF < 40$ and $ERI < 150$) and ($ERF < 40$), respectively, but due to its properties' difficulty in degrading and high accumulation ability, there has been always the potential risks that negatively impacted the ecosystem. Therefore, the authors recommended that the need for a comprehensive and detailed research program on heavy metal content in water in a wider area to identify the magnitude and detailed issues related to heavy metal pollution for the development of more effective remediation plans and pollution prevention solutions.

Keywords: Heavy metal, Pb battery-recycling, enrichment factor, the potential ecological risk factor, the potential ecological risk index.

JEL Classifications: K32, Q53, Q51.



1. GIỚI THIỆU

Các nguyên tố vi lượng trong nước rất khó phân hủy và có độc tính cao, đặc biệt là sự tích tụ quá mức các nguyên tố vi lượng độc hại không chỉ đe dọa đến sự an toàn của động vật không xương sống và các loài cá trong hệ sinh thái mà còn gây ra những ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người (Alexakis et al., 2021; Liu et al., 2021). Một số nguyên tố vi lượng cực kỳ độc hại ngay cả khi đạt hàm lượng thấp, chẳng hạn như As và Pb (Carlin et al., 2016). Tiếp xúc với Pb có thể gây tổn thương nghiêm trọng đến thận, gan, hệ thần kinh Trung ương, hệ thống máu (Huang et al., 2012) và Pb đã trở thành một trong số 67 nguyên tố gây nguy hại hàng đầu trên toàn cầu dẫn đến nhiều căn bệnh (Lim et al., 2010).

Việt Nam được ghi nhận đạt mức tăng trưởng kinh tế cao thứ tám ở châu Á (International Monetary Fund, 2011) và có nhu cầu sử dụng tài nguyên khá cao. Ở Việt Nam, “làng nghề” được định nghĩa là các làng nông thôn có các hoạt động thủ công và phi nông nghiệp thu hút sự tham gia của ít nhất 30% tổng số hộ gia đình và tạo ra ít nhất 50% tổng thu nhập của ngôi làng đó. Người ta ước tính rằng có 90 làng nghề thủ công tái chế rác thải phân bố trên toàn quốc, chủ yếu ở phía Bắc (URENCO Environment, Vietnam, 2007). Tuy nhiên, ở hầu hết các làng nghề, hoạt động sản xuất phát triển tự phát, quy mô hộ gia đình, công nghệ sản xuất lạc hậu, gây ra vấn đề ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường. Làng nghề tái chế ắc quy lấy chì ở thôn Đông Mai cũng không phải là ngoại lệ.

Đông Mai là một ngôi làng ở phía Bắc Việt Nam, đã và đang tái chế ắc quy lấy chì trong nhiều năm. Một báo cáo tại địa phương cho biết, trong tổng số 715 hộ gia đình thì có ít nhất 61 hộ tham gia vào hoạt động tái chế chì, tổng số hơn 500 công nhân (UBND xã Chỉ Đạo, Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội năm 2015). Báo cáo của Tổng cục Môi trường năm 2008 đưa ra lời cảnh báo là người dân làng nghề Đông Mai có thể mất tới 10 năm tuổi thọ do chịu ảnh hưởng của ô nhiễm môi trường. Hàm lượng kim loại trong nước và nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe tại làng nghề tái chế ắc quy lấy chì Đông Mai chưa từng được nghiên cứu và báo cáo đầy đủ. Nhận định tình hình tại Đông Mai và đánh giá đặc điểm tình trạng phơi nhiễm của người dân làng nghề nơi đây là cần thiết.

Các chỉ số chất lượng nước đóng vai trò then chốt trong việc đánh giá mức độ ô nhiễm và rủi ro tiềm ẩn liên quan đến kim loại nặng trong nguồn nước. Trong số này có chỉ số kim loại (MI), một thông số xem xét nồng độ của các kim loại nặng riêng biệt trong các mẫu nước. MI trực tiếp đo lường mức

độ nghiêm trọng của ô nhiễm bằng cách đánh giá nồng độ kim loại liên quan đến giá trị nồng độ tối đa cho phép (MAC) của chúng. Tóm lại, MI vượt trội trong việc xác định các kim loại vượt quá giới hạn quy định. Mặt khác, MI cung cấp thước đo trực tiếp về mức độ nghiêm trọng của ô nhiễm, đặc biệt hiệu quả trong việc xác định các kim loại có nguy cơ cao đối với sức khỏe. Hệ số làm giàu (EF), một thước đo được sử dụng rộng rãi để định lượng tác động tới môi trường của hoạt động nhân tạo và cũng cung cấp những quan điểm địa hóa có giá trị của riêng chúng. Hệ số làm giàu (EF), nhờ công thức tổng quát và phổ biến của nó, trở thành công cụ tương đối đơn giản và dễ dàng để đánh giá mức độ làm giàu và so sánh mức độ ô nhiễm của các môi trường khác nhau. Yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn (ERF) và hệ số rủi ro sinh thái (ERI) được tính toán để đánh giá nguy cơ sinh thái tiềm năng của kim loại nặng. Đồng thời, việc tính toán ERF và ERI của các nghiên cứu kim loại sẽ cung cấp các dữ liệu khoa học trợ giúp cho việc định nghĩa các chính sách và xây dựng các biện pháp kỹ thuật nhằm giảm thiểu ô nhiễm kim loại nặng trên các lưu vực sông hay ao, hồ... Những yếu tố này phản ánh tầm quan trọng tương đối của từng kim loại trong việc góp phần gây ô nhiễm tổng thể và những tác động có hại của nó đối với sức khỏe con người cũng như môi trường. Chính vì vậy, việc sử dụng các chỉ số chất lượng nước đáng tin cậy và các phương pháp đánh giá rủi ro sinh thái là rất cần thiết để hiểu được những rủi ro tiềm ẩn đối với sức khỏe liên quan đến nồng độ kim loại nặng hiện diện trong môi trường nước làng nghề Đông Mai.

Mục tiêu của nghiên cứu nhằm đánh giá sự phân bố As, Pb, Cu, Zn trong môi trường nước và đặc điểm ô nhiễm kim loại nặng tại làng nghề Đông Mai để đưa ra cái nhìn tổng quan về tình hình ô nhiễm cũng như giúp các nhà hoạch định chính sách thực hiện các chính sách cải thiện môi trường tốt hơn, nâng cao nhận thức của người dân về môi trường trong quá trình sản xuất cũng như sinh hoạt tại địa phương. Trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu cấp cơ sở, làng nghề Đông Mai là một trong số các khu vực được nghiên cứu, các kim loại nặng trong nước là đối tượng nghiên cứu, với nỗ lực sử dụng các chỉ số chất lượng kim loại để xác định nguồn gốc kim loại nặng, đặc điểm phân bố hàm lượng của chúng. Kết quả đánh giá sẽ hỗ trợ đưa ra quyết định về các chương trình nghiên cứu toàn diện và chi tiết hơn nữa về hàm lượng kim loại nặng trong các nguồn nước khác nhau tại các làng nghề nói riêng cũng như các khu vực ô nhiễm kim loại nặng khác của Việt Nam nói chung.

2. KHU VỰC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực tái chế chì nằm ở làng Đông Mai, xã Chỉ Đạo, huyện Văn Lâm, tỉnh Hưng Yên, miền Bắc Việt Nam. Từ những năm 1970, làng nghề truyền thống Đông Mai đã và đang phát triển một chu trình tái chế chì chuyên nghiệp, bao gồm xử lý pin cũ, luyện chì và sàng xỉ. Ban đầu, luyện chì được thực hiện bởi các hộ gia đình riêng lẻ trong khu vực nhà và vườn. Năm 2000, làng bắt đầu sử dụng hệ thống hút bụi chì tự chế gồm hàng trăm túi lớn. Công suất hút của hệ thống này là 7 tấn bụi chì mỗi đêm cho mỗi lò luyện. Công nghệ đột phá này rất hiệu quả trong việc giảm thiểu lượng chì thải ra không khí. Từ năm 2015, luyện chì đã diễn ra tại 2 hệ thống lò luyện mới do hai công ty vận hành, nằm cách khu dân cư tại làng Đông Mai khoảng 1 km vì các lò luyện cũ đã đóng cửa (UBND xã Chỉ Đạo, Báo cáo hàng năm, 2015).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp lấy mẫu và phân tích

Việc lấy mẫu tại Đông Mai được thực hiện vào mùa mưa (HPS) và mùa khô (LPS) năm 2015. Các dòng nước thải có thể chảy ra các nhánh sông, kênh tưới, vị trí thượng nguồn và khu vực khác có tương tác giao thoa giữa sinh thái và con người đã được tính đến khi lựa chọn các địa điểm lấy mẫu. Mẫu nước được thu thập 2 lần/ngày (8 - 9 giờ sáng, 16 - 17 giờ chiều) để theo dõi xu hướng thay đổi nồng độ kim loại nặng giữa ngày và đêm (24 giờ). Lượng mẫu nước trung bình là 500 ml và được đổ đầy đến miệng chai mẫu để loại bỏ không khí có thể còn sót lại trong chai, tránh các phản ứng hóa học như oxy hóa để đảm bảo độ chính xác, độ tin cậy của mẫu. Thông tin chung bao gồm độ sâu giếng và dung tích của mỗi giếng đã được chủ giếng cung cấp. Các mẫu được đo độ pH bằng máy đo pH (Horiba U52) cũng như độ dẫn điện EC, thế oxy hóa khử Eh tại hiện trường (các giá trị đo được đã được ghi lại trong nhật ký thực địa) và sau đó được bảo quản bằng HNO₃ (0,2%) để đảm bảo giữ lại các ion kim loại trong nước. Trong phòng thí nghiệm, các mẫu được lắc đều và lọc bằng giấy lọc nước chuyên dụng. Các mẫu đã lọc được xử lý bằng axit HNO₃ 1% trong lọ định mức 100 ml.

Các nguyên tố kim loại nặng được phân tích bằng máy quang phổ khối plasma cảm ứng trên thiết bị Varian Ultramass 700 ICP-MS. Phổ khối plasma cảm

ứng (ICP) (MS) (ICP-MS) là một kỹ thuật đa nguyên tố sử dụng nguồn plasma ICP để phân tách chất mẫu thành các nguyên tử hoặc ion cấu thành. Giới hạn phát hiện phân tích của máy phân tích bốn cực là từ 100ppt (phần nghìn tỉ) đối với Fe; đến 0,1ppt, đối với Cd và Pb. Độ chính xác ngắn hạn (đo trong khoảng thời gian 5 - 10 phút) là 0.5 - 2% và độ chính xác dài hạn (đo trong khoảng thời gian vài giờ) là 2 - 4% (Thermo Elemental, 2001).

2.2.2. Phân tích số liệu bằng chỉ số chất lượng kim loại (MQI) trong nước

Chỉ số kim loại (MI)

Chỉ số kim loại (MI) được áp dụng để phân tích chất lượng nước uống (Ojekunle et al., 2016), nước kênh mương (Goher et al., 2014) và nước sông (Bakan et al., 2010). Theo Tamasi và Cini, 2004, chỉ số kim loại MI được tính toán theo công thức sau:

$$MI = \sum [C_i / (MAC)_i]$$

Trong đó: C_i là nồng độ của từng kim loại nặng trong mỗi mẫu;

MAC là nồng độ tối đa cho phép dựa trên các tiêu chuẩn của Việt Nam.

MI được xem như là xu hướng tổng hợp đương đại về tình trạng chất lượng (Goher et al., 2014), cung cấp hiểu biết tổng thể về chất lượng nước cho các nhà hoạch định chính sách cũng như cộng đồng. Hàm lượng của một kim loại so với giá trị MAC tương ứng của nó càng cao thì chất lượng nước càng kém. MI > 1 là một mức ngưỡng cảnh báo (Bakan et al., 2010), ngay cả khi giá trị C_i có thể nhỏ hơn giá trị (MAC)_i đối với một số kim loại cụ thể nào đó (Tamasi et al., 2004). Bảng 1 đưa ra các tiêu chí phân loại chất lượng nước của MI.

Sự làm giàu các nguyên tố (EF)

Để hiểu về trạng thái làm giàu của các nguyên tố kim loại trong một khu vực nghiên cứu, hệ số làm giàu (EF) đã được sử dụng để phân tích. Chỉ số làm giàu là tỉ số giữa hàm lượng nguyên tố kim loại trong môi trường nước của khu vực nghiên cứu và hàm lượng trung bình nguyên tố của các sông trên thế giới (Gaillardet et al., 2014). Hệ số làm giàu (EF) là thước đo được sử dụng rộng rãi để xác định mức độ hiện diện của một nguyên tố trong môi trường lấy mẫu đã tăng lên bao nhiêu so với độ phong phú tự nhiên trung bình do hoạt động của con người. Việc tính toán các giá trị EF tiêu biểu nhất rất hữu ích trong

Bảng 1. Phân loại chất lượng nước dựa trên chỉ số kim loại (MI)

MI	Xếp loại	Chất lượng nước	MI	Xếp loại	Chất lượng nước
< 0.3	I	Rất trong (sạch)	2.0 - 4.0	IV	Chịu tác động trung bình
0.3 - 1.0	II	Trong (sạch)	4.0 - 6.0	V	Chịu tác động mạnh
1.0 - 2.0	III	Chịu tác động nhẹ	> 6.0	VI	Chịu tác động nghiêm trọng



việc đánh giá mức độ làm giàu bằng con số, dù là việc làm giàu đó do con người hay tự nhiên. Dựa theo chỉ số làm giàu, các điều kiện làm giàu có thể được chia thành 6 mức: khi $EF > 100$, môi trường làm giàu dị thường; $10 < EF < 100$, môi trường làm giàu cực tốt; $5 < EF < 10$, môi trường làm giàu đáng kể; $1.5 < EF < 5$, môi trường làm giàu ít; $0.5 < EF < 1.5$, môi trường không làm giàu. Nếu $EF < 0.5$, điều này chỉ ra có một sự mất mát (Jie et al., 2017).

Yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn (ERF)

Yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn (ERF) của một kim loại nặng đơn lẻ biết trước nào đó được tính theo phương pháp của Hakanson, 1980 như sau:

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i = T_r^i \times (C_0^i / C_r^i)$$

Trong đó: E_r^i là yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn của một chất “i”;

T_r^i là nhân tố phản ứng độ độc của một chất “i” (trong đó, bằng 10 đối với As, bằng 5 đối với Cu và Pb và bằng 1 đối với Zn (Hakanson, 1980);

C_f^i là nhân tố nhiễm bản của một chất “i”;

C_0^i là hàm lượng đo được trong nước của một chất “i”;

C_r^i là hàm lượng tham khảo nền của một chất “i” (QCVN 08:2023/BTNMT và QCVN 09:2023/BTNMT) được chấp nhận áp dụng cho C_r^i trong nghiên cứu này As = 0.01 (mg/l), Cu = 0.1 (mg/l), Zn = 0.5 (mg/l) và Pb = 0.02 (mg/l) đối với nước mặt; As = 0.05 (mg/l), Cu = 1 (mg/l), Zn = 3 (mg/l) và Pb = 0.01 (mg/l) đối với nước ngầm.

Chỉ số ERF được tính toán đối với mỗi mẫu lặp lại, sau đó lấy giá trị tối thiểu, giá trị tối đa và giá trị trung bình để tổng hợp kết quả. Theo Hakanson, 1980, rủi ro sinh thái được chia thành 5 mức dựa trên các giá trị ERF: (1) $ERF < 40$, rủi ro sinh thái tiềm ẩn thấp; (2) $40 \leq ERF < 80$, rủi ro sinh thái tiềm ẩn trung bình; (3) $80 \leq ERF < 160$, rủi ro sinh thái tiềm ẩn đáng kể; (4) $160 \leq ERF < 320$, rủi ro sinh thái tiềm ẩn cao và $ERF \geq 320$, rủi ro sinh thái rất cao.

Hệ số rủi ro sinh thái (ERI)

Hệ số rủi ro sinh thái (ERI) được giới thiệu bởi Hakanson, 1980 đã được sử dụng rộng rãi để đánh giá rủi ro sinh thái tiềm ẩn của các kim loại nặng trong các hệ thống thủy sinh (Yi et al, 2011). Trong nghiên cứu này, hệ số ERI được sử dụng để đánh giá rủi ro sinh thái của các kim loại nặng trong nước mặt của làng nghề Đông Mai. Hệ số ERI được tính toán theo phương trình dưới đây:

$$ERI = \sum [(ERF)_i]$$

Trong đó: i là số lượng các nguyên tố được nghiên cứu.

Dựa vào các giá trị của hệ số ERI, rủi ro sinh thái tiềm ẩn được chia thành 4 mức: $ERI < 150$, rủi ro

sinh thái thấp; $150 \leq ERI < 300$, rủi ro sinh thái trung bình; $300 \leq ERI < 600$, rủi ro sinh thái đáng kể và $ERI \geq 600$, rủi ro sinh thái rất cao.

2.2.3. Phân tích thống kê

Phân tích thành phần chính (PCA), cùng với phân tích tương quan (CA) và phân tích cụm phân cấp, đã được chứng minh là một phương pháp (kỹ thuật) phân tích thống kê đa biến hữu ích cho việc tiết lộ nguồn gốc ô nhiễm kim loại nặng (Qu et al., 2020). Trong nghiên cứu này, phân tích tương quan Spearman được thực hiện để phân tích tương quan giữa các biến, dấu của giá trị hệ số tương quan chỉ ra liệu mối quan hệ là tương quan thuận hay nghịch, trong khi giá trị tuyệt đối của hệ số tương quan chỉ ra độ bền của quan hệ tuyến tính này. PCA thường xuyên được sử dụng trong việc nén dữ liệu để xác định các yếu tố chung (các thành phần chính và PCs) mà việc này giải thích hầu hết phương sai quan sát được trong một số lượng lớn các biến biểu hiện. Bộ PCs trực giao mới, đã được thu nhỏ bởi PCA được sắp xếp theo thứ tự giảm dần. PCA được thực hiện với phép xoay “varimax” của các tải lượng thành phần được tiêu chuẩn hóa để tối đa hóa sự biến thiên giữa các biến theo từng yếu tố (Abdi et al., 2010). Giá trị đặc trưng của từng yếu tố này thể hiện cường độ phương sai của các biến diễn giải và duy nhất các giá trị đặc trưng ≥ 1.0 được xem xét đến trong nghiên cứu này. Phép phân tích cụm phân cấp (HCA) có thể được sử dụng trong việc nhóm dữ liệu thành các phân lớp theo đặc điểm, nguồn gốc và tính năng tương tự hoặc khác nhau. Phép phân tích HCA có thể đạt được bằng cách thực hiện phương pháp phân tích cụm dữ liệu được sử dụng rộng rãi nhất và ứng dụng phương pháp liên kết của Ward. “Dendrogram” là cách thể hiện hình ảnh các kết quả của phép phân tích HCA dựa trên các thông số được phân tích hoặc các vị trí lấy mẫu (Ủy ban nhân dân xã Chi Đạo, 2015). Dựa vào hình ảnh thể hiện “dendrogram”, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng nhóm dữ liệu nằm trong khoảng cách cụm (> 0) và (≤ 10) để phân biệt, sắp xếp tất cả các thông số có cùng nguồn gốc, đặc tính và đặc điểm vào trong cùng một nhóm. Ba phép phân tích trên đây đều được thực hiện khi sử dụng phần mềm SPSS, phiên bản 20.0.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

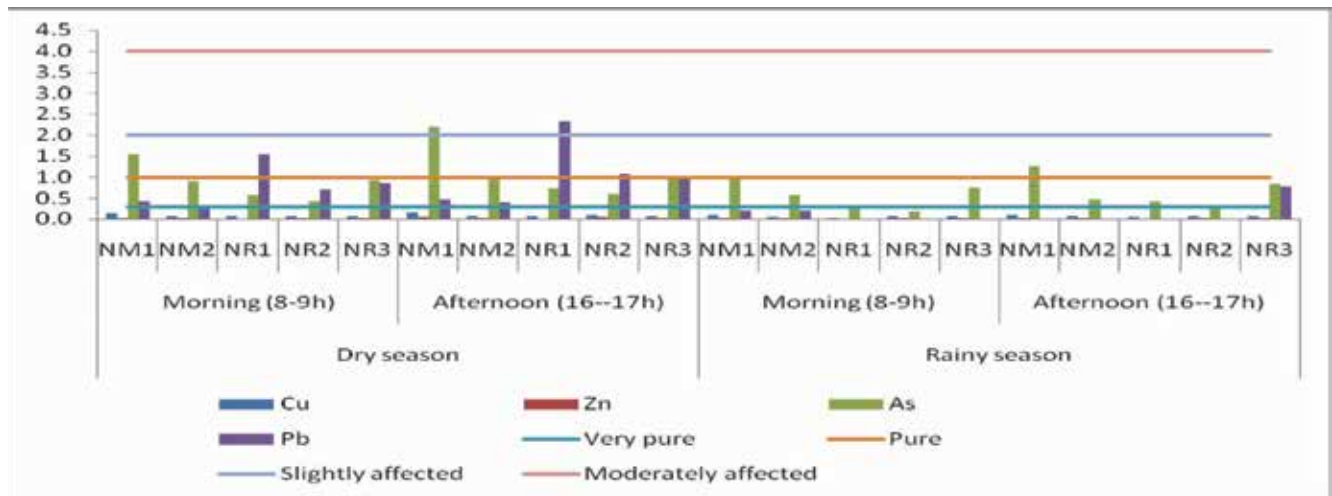
3.1. Đánh giá môi trường nước mặt của làng nghề bằng việc sử dụng các chỉ số chất lượng kim loại (MQI) trong nước

3.1.1. Chỉ số kim loại (MI)

Dựa vào chỉ số kim loại MI, thứ tự các kim loại được sắp xếp như sau: chỉ số kim loại MI trung

bình [As (0.978) > Pb (0.908) > Cu (0.086) > Zn (0.037) vào mùa khô và Pb (0.626) > As (0.606) > Cu (0.060) > Zn (0.033) vào mùa mưa] trong nước mặt tại làng Đông Mai. Dựa trên tỉ lệ phần trăm các mẫu có chỉ số kim loại MI > 1, các vị trí được lựa chọn lấy mẫu xung quanh làng nghề Đông Mai là ở mức ô nhiễm nhẹ tới mức trung bình bởi sự ô nhiễm của các nguyên tố As và Pb đối với đời sống sinh vật thủy sinh (MI > 1). Hình 1 đã thể hiện chỉ số MI vào buổi sáng và buổi tối đối với cả hai mùa.

Nhìn chung, hàm lượng các nguyên tố Cu, Zn, As và Pb trong môi trường nước của làng Đông Mai vào mùa khô thường cao hơn vào mùa mưa, chủ yếu là do lượng nước vào mùa mưa thường nhiều hơn và các nguyên tố trong nước bị pha loãng. Nồng độ kim loại vào mùa khô cao hơn vào mùa mưa, chính là do có mối liên quan tới tác động pha loãng của lượng mưa rơi xuống vào mùa mưa. Độ dẫn điện (EC) là một phép đo khả năng truyền dòng điện của nước. Độ dẫn điện nằm trong khoảng 264 đến 662 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vào mùa khô và 182 đến 532 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) vào mùa mưa.



▲ Hình 1. Biến động theo mùa của giá trị chỉ số kim loại (MI) trong mẫu nước mặt

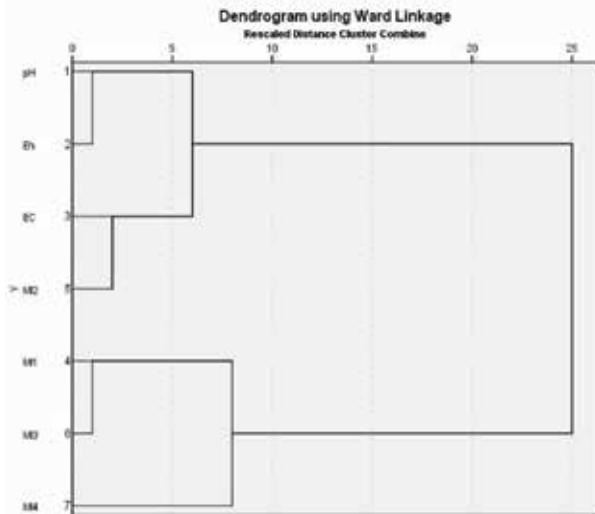
Các kết quả của phép phân tích thành phần chính và phân tích tương quan được thể hiện trong Bảng 2. Để kiểm chứng cho phép phân tích thành phần chính, các kiểm định Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) và Bartlett đã được thực hiện với số liệu hàm lượng các kim loại nặng. Nói chung, giá trị hệ số KMO > 0.5 khi giá trị có ý nghĩa thống kê theo kiểm định Bartlett là $p < 0.05$, đã chỉ ra rằng phép phân tích thành phần chính có hiệu quả (Chetelat, 2008). Các giá trị kiểm tra p theo kiểm định KMO và Bartlett (p) của nước mặt Đông Mai lần lượt là 0.529 và 0.00, cho thấy rằng phép phân tích thành

phần chính là hiệu quả đối với số liệu của nhóm tác giả. Phép phân tích thành phần chính (PCA) là các biến không tương quan, đã thu được bằng cách nhân các biến tương quan ban đầu với các giá trị riêng. Mẫu nước mặt thể hiện 77.33% tổng phương sai mẫu, được phản ánh bởi hai thành phần chính PC1 và PC2, với các giá trị đặc trưng lần lượt > 1 (Bảng 2), cho thấy mô hình yếu tố thành phần chính có thể giải thích sự biến đổi của hầu hết các biến. Nhìn chung, các giá trị tải lượng tuyệt đối > 0.75, 0.75 - 0.5 và 0.5 - 0.3 lần lượt được coi là tải lượng mạnh, trung bình và yếu (Gaillardet, 2003).

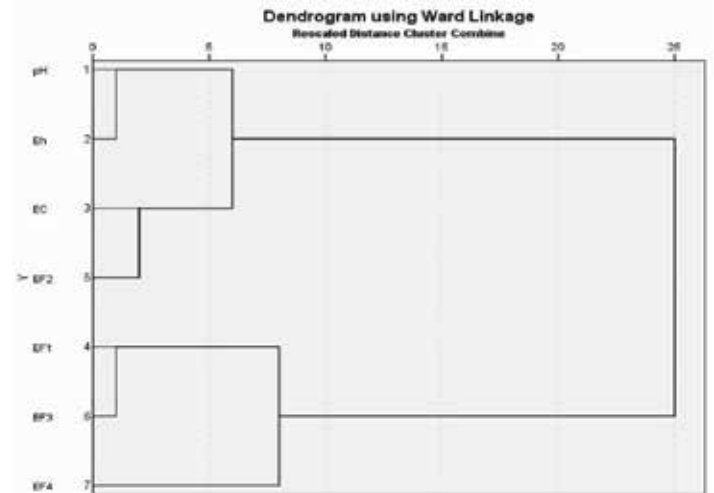
Bảng 2. Giá trị tải lượng thành phần chính đã xoay của các chỉ số MI, pH, Eh và EC trong mẫu nước mặt thôn Đông Mai

Các chỉ số	PC1	PC2	Các chỉ số	PC1	PC2
Eh	0.783		MI3		0.852
pH		- 0.753	MI4	- 0.962	
EC	0.639	0.594	Giá trị riêng	3.68	1.73
MI1		0.907	Giá trị phương sai (%)	52.56	24.77
MI2	0.803	0.415	Giá trị lũy kế (%)	52.56	77.33

▲ Lưu ý: Các giá trị tải lượng > 0.50 hoặc < - 0.5 được hiển thị bằng chữ in nghiêng đậm. MI1, MI2, MI3, MI4 lần lượt là chỉ số kim loại của nguyên tố Cu, Zn, As, Pb.



▲ Hình 2a. Sơ đồ cụm phân cấp của nhóm các chỉ số pH, Eh, EC và chỉ số kim loại (MI) trong mẫu nước mặt thôn Đông Mai bằng phép phân tích cụm



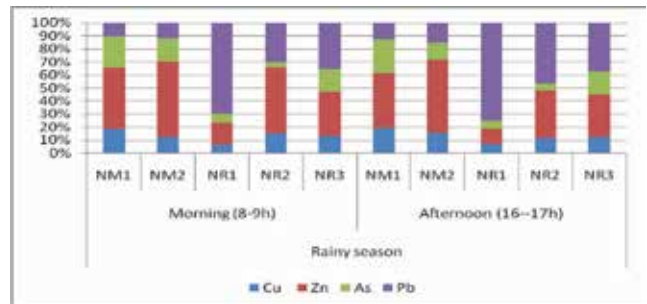
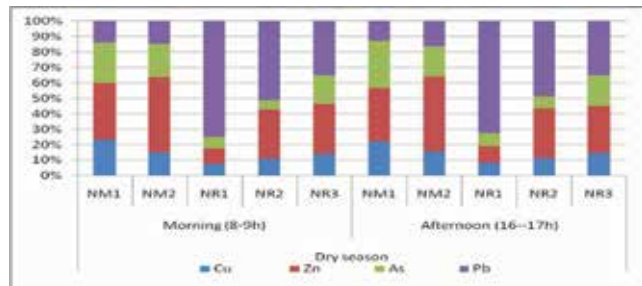
▲ Hình 2b. Sơ đồ cụm phân cấp của nhóm các chỉ số pH, Eh, EC và hệ số làm giàu (EF) của các nguyên tố trong mẫu nước mặt Đông Mai bằng phép phân tích cụm

Đối với mẫu nước mặt ở làng nghề Đông Mai, thành phần chính PC1 đã giải nghĩa với 52,56% phương sai và cho thấy mối quan hệ tải lượng thuận từ trung bình tới mạnh đối với EC, Eh, MI2 và mối quan hệ tải lượng nghịch có liên quan tới MI4. Độ dẫn điện EC đại diện cho cấp độ của hàm lượng các ion có trong môi trường nước mặt, phản ánh sự kết hợp giữa hiện tượng phong hóa đá và các hoạt động trong sản xuất cũng như sinh hoạt của con người (gọi tắt là các hoạt động của con người) trong môi trường nước. Giá trị của EC là tương quan thuận với MI2 ($r = 0.790$) là đại diện cho chỉ số kim loại của nguyên tố Zn. Kẽm thường được tin tưởng là bắt nguồn từ rác thải đô thị (Gao et al., 2015), sự đốt cháy các sản phẩm trong nông nghiệp hoặc thuốc diệt nấm (Devic et al., 2016, Liu et al., 2003) và nó cũng có thể đến từ quá trình phong hóa đá (Islam, 2015, Qu et al., 2020). Mối quan hệ nghịch đảo giữa tải lượng của (Eh, EC, MI2) và MI4 cũng như mối tương quan nghịch có ý nghĩa giữa [(Eh, MI4), ($r = -0.525$), (EC, MI4), ($r = -0.713$), (MI2, MI4), ($r = -0.509$), theo thứ tự lần lượt] chỉ ra rằng Zn và Pb có nguồn gốc phát sinh khác nhau. Cụm phân cấp EC và MI2 có khoảng cách cụm ngắn nhất (< 5) (Hình 2a) biểu thị mối liên kết chặt chẽ với khoảng cách cụm tối thiểu cho thấy các thông số đó có sức ảnh hưởng mạnh mẽ trong suốt quá trình biến động theo mùa. Do đó, thành phần chính PC1 chỉ ra rằng chỉ số kim loại của nguyên tố Pb (MI4) xuất phát từ các hoạt động tái chế chì ở làng Đông Mai nhưng chỉ số kim loại của nguyên tố Zn (MI2) có thể xuất phát từ quá trình phong hóa đá ở đây.

PC2 đã giải nghĩa 24,54% giá trị phương sai và đưa ra mối quan hệ tải lượng thuận yếu tới mạnh

đối với MI2, EC, MI3, MI1 và mối quan hệ tải lượng nghịch mạnh đối với pH (Bảng 2). Đối với nước mặt thôn Đông Mai, pH và Eh và MI1 và MI3 tạo nên một cụm với khoảng cách cụm phân cấp ngắn nhất (< 5) (Hình 2a) đã thể hiện mối quan hệ chặt chẽ với khoảng cách tối thiểu, chính điều này đã chỉ ra rằng các thông số đó có sức ảnh hưởng trong suốt quá trình biến động theo mùa. Chỉ số kim loại của nguyên tố Cu (MI1) và As (MI3) được phân cụm vào một nhóm chính với khoảng cách cụm là ngắn nhất (< 5); đồng thời, chúng có mối tương quan thuận có ý nghĩa ($r = 0.722$), chỉ ra rằng chúng có cùng xu hướng và nguồn gốc phát sinh tương tự nhau trong môi trường nước mặt thôn Đông Mai. Các kim loại nặng Cu, Zn và As được tập hợp lại thành nhóm với khoảng cách cụm ngắn hơn có một sự thu hút nhiều hơn với hành vi tương tự giống nhau và cũng có thể tác động lẫn nhau trong suốt quá trình biến động. Nhóm cụm [MI1, MI3] cùng với MI4 cũng tạo ra một cụm có liên kết chặt chẽ ($> 5, < 10$), cho thấy mối quan hệ vừa phải nhưng đóng góp lớn vào nước mặt và tác động đáng kể đến nhau. Hơn nữa, chúng có một mối tương quan nghịch giữa pH và chỉ số kim loại của nguyên tố Cu, As (MI1, MI3), ($r = -0.557$ và $r = -0.478$, tương ứng) và có một mối tương quan thuận có ý nghĩa giữa [EC và (MI1, MI2, MI3)] (theo thứ tự lần lượt là 0.639, 0.790, 0.525) cũng như mối tương quan thuận giữa [(MI1, MI2) và (MI1, MI3)] (lần lượt tương ứng là 0.691, 0.722), cho thấy rằng chỉ số kim loại của nguyên tố Cu, Zn, As có cùng nguồn gốc từ quá trình phong hóa đá. Do đó, thành phần chính PC2 chỉ ra rằng chỉ số kim loại của nguyên tố Cu, Zn, As (MI1, MI2, MI3) cùng xuất phát từ sự phong hóa đá của môi trường nước mặt nơi đây.

Bằng cách quan sát số liệu thô (trước khi tính toán các giá trị trung bình), các dao động đáng chú ý đối với nồng độ của một số kim loại nặng giữa buổi sáng và buổi tối đã được xác định. Hình 3 tóm tắt những thay đổi theo ngày cũng như theo mùa tại các địa điểm mẫu đã chọn, nơi có những thay đổi đáng kể được quan sát.

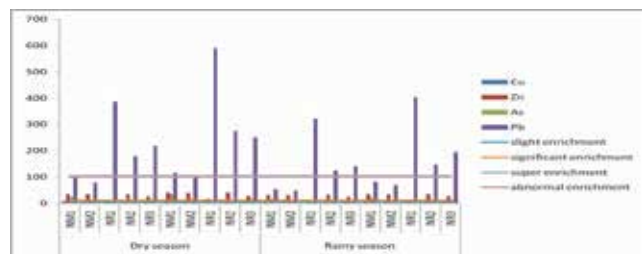


▲ Hình 3. Xu hướng theo chu kỳ ngày đêm của nồng độ kim loại nặng tại các điểm mẫu

3.1.2. Sự làm giàu của các nguyên tố (EF)

Dựa vào hệ số làm giàu EF, sự sắp xếp theo trình tự dưới đây đã được quan sát thấy: giá trị EF trung bình [Pb (229.873) > Zn (31.033) > As (15.774) > Cu (5.791) vào mùa khô và Pb (158.378) > Zn (27.416) > As (9.779) > Cu (4.033) vào mùa mưa] trong mẫu nước mặt thôn Đông Mai. Hình 4 đã thể hiện giá trị hệ số EF vào buổi sáng và buổi tối trong cả hai mùa.

Các giá trị kiểm tra p theo kiểm định KMO và Bartlett (p) của nước mặt Đông Mai lần lượt là 0.545



▲ Hình 4. Giá trị hệ số làm giàu (EF) của các nguyên tố có mặt trong nước mặt

Trong trường hợp môi trường nước mặt của Đông Mai, thành phần chính PC1 đã giải nghĩa đến 52,58% của phương sai mẫu và cho thấy tải lượng thuận từ trung bình đến mạnh đối với các hệ số EC, Eh, EF2 và tải lượng nghịch mạnh liên quan tới hệ số EF4 (Bảng 3). Hơn nữa, [EC, EF2] tạo thành một nhóm cụm với khoảng cách cụm ngắn nhất (< 5) (Hình 2b) đã thể hiện mối liên quan chặt chẽ với khoảng cách tối thiểu đã cho thấy những thông số này có sức mạnh ảnh hưởng trong suốt quá trình biến động theo mùa. Nhóm cụm của [(pH và Eh) cùng với EC] cũng tạo ra một cụm phân cấp có quan hệ ít chặt chẽ (> 5, < 10) hơn nhóm cụm [pH và Eh] (< 5), đã đóng góp đáng kể tới môi trường, mà các thông số này có mối tương quan thuận có ý nghĩa giữa EC và EF2 thể hiện

và 0.00, cho thấy rằng phép phân tích thành phần chính giữa pH, Eh, EC và hệ số làm giàu (EF) của các nguyên tố là có hiệu quả đối với số liệu của nhóm tác giả. Các mẫu nước mặt đã đạt tới 77.37% trong tổng phương sai các mẫu, được phản ánh bởi hai thành phần chính PC1 và PC2, với các giá trị đặc trưng > 1 theo thứ tự lần lượt.

Bảng 3. Tải lượng thành phần chính đã xoay của hệ số làm giàu (EF), pH, Eh và EC trong mẫu nước mặt thôn Đông Mai

Thông số	PC1	PC2	Thông số	PC1	PC2
Eh	0.783		EF1		0.907
pH		- 0.753	EF3		0.852
EC	0.639	0.594	Giá trị riêng	3.680	1.735
EF2	0.806	0.412	Giá trị phương sai (%)	52.58	24.79
EF4	- 0.961		Cumulative %	52.58	77.37

▲ Lưu ý: Các giá trị tải lượng > 0.50 hoặc < - 0.5 được hiển thị bằng chữ in nghiêng đậm. EF1, EF2, EF3, EF4 lần lượt là hệ số làm giàu của nguyên tố Cu, Zn, As, Pb.

được rằng hệ số làm giàu của nguyên tố Zn có mối quan hệ tuyến tính với EC (0.796), do đó hệ số EF2 được bắt nguồn từ quá trình phong hóa đá.

Thành phần chính PC2 đã giải nghĩa đến 24.79% của tổng phương sai và chỉ ra tải lượng thuận từ yếu, trung bình đến mạnh đối với các hệ số EF2, EC, EF3, EF1 cũng như mức tải lượng nghịch mạnh mẽ đối với pH và đồng thời trong thành phần PC2 này, có mối tương quan thuận giữa (EC, EF1), (EC, EF2) và (EC, EF3) (tương ứng lần lượt là $r = 0.638, 0.706, 0.528$) và các thông số (pH và Eh), [EC, EF2], [EF1, EF3] đã tạo ra một cụm phân cấp với khoảng cách ngắn nhất (< 5) đã thể hiện mối quan hệ chặt chẽ với khoảng cách tối thiểu cho thấy rằng những thông số đó có sức mạnh ảnh hưởng tới môi trường

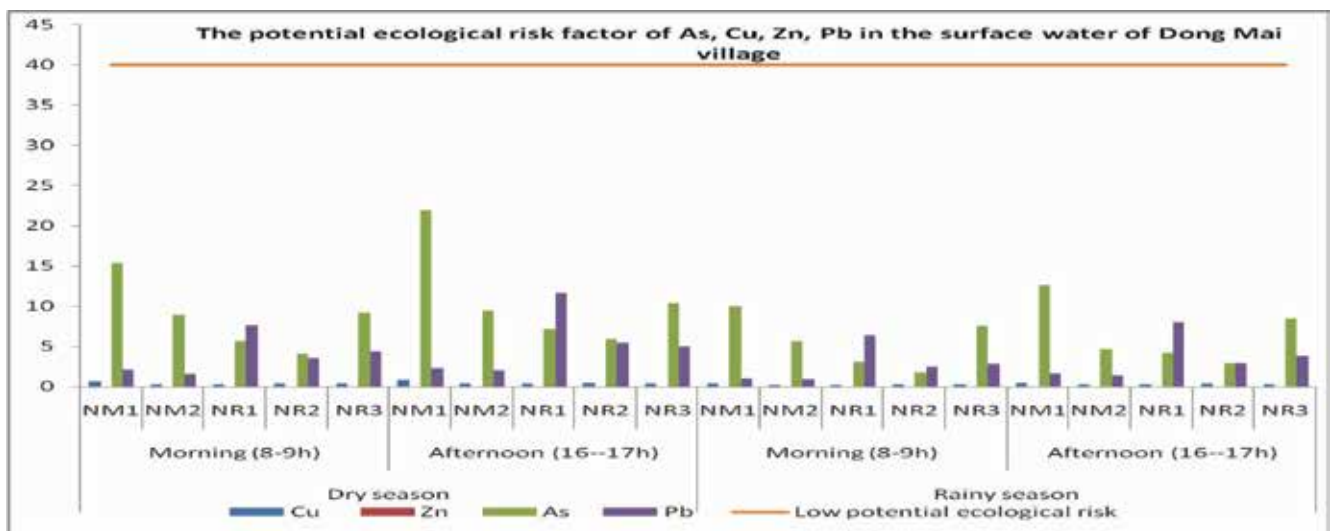


nước mặt trong suốt quá trình biến động theo mùa (Hình 2b). Các kim loại nặng bao gồm Cu, Zn, As được kết hợp với nhau trong một khoảng cách ngắn hơn thì có sự thu hút nhiều hơn với hành vi tương tự giống nhau và cũng có thể tác động lẫn nhau trong suốt quá trình biến động. Nhóm cụm [(pH và Eh) cùng với EC] cũng tạo ra một cụm có quan hệ ít chặt chẽ hơn (> 5, < 10) so với nhóm cụm [(pH và Eh) (< 5), nhưng đã đóng góp đáng kể tới môi trường nước mặt này. Chúng tôi có thể tạm đưa ra kết luận rằng hệ số làm giàu của Cu, Zn và As có chung một nguồn gốc phát sinh. Nhóm cụm [(EF1, EF3) cùng với EF4] cũng đã tạo ra một cụm có mối quan hệ ít chặt chẽ hơn (> 5, < 10) so với nhóm cụm

[pH, Eh, EC], mà nhóm cụm này có một mối tương quan thuận có ý nghĩa giữa các thông số (EF1, EF2), (EF1, EF3) (lần lượt tương ứng là $r = 0.705, 0.714$) cũng như có mối tương quan nghịch giữa (EF2, EF4) ($r = -0.512$), điều này đã cho thấy thành phần chính PC2 thể hiện sự kết hợp của quá trình phong hóa đá đối với các nguyên tố Cu, Zn, As và hệ số làm giàu của nguyên tố Pb có nguồn gốc phát sinh từ các hoạt động của con người.

3.1.3. Yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn (ERF)

Yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn của các nguyên tố Cu, Zn, As và Pb trong nước mặt của làng Đông Mai. Giá trị ERF của nước mặt Đông Mai ở mức thấp (ERF < 40) được biểu thị ở Hình 5.

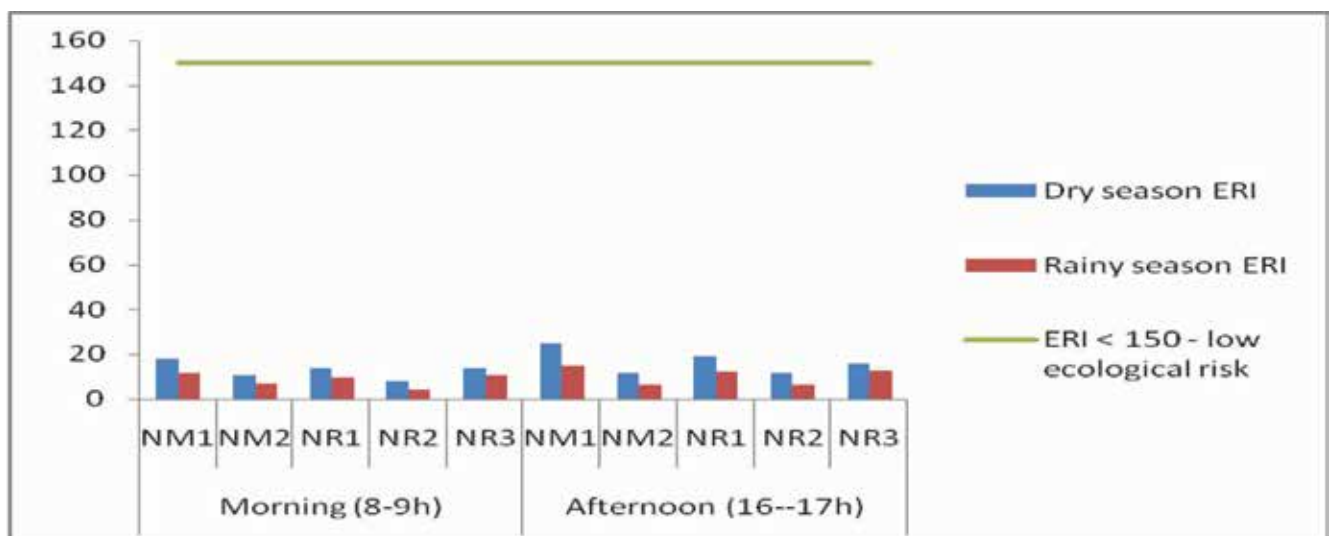


▲ Hình 5. Yếu tố nguy cơ sinh thái tiềm ẩn của As, Cu, Zn, Pb trong nước mặt

3.1.4. Chỉ số rủi ro sinh thái (ERI)

Trong nghiên cứu này, chỉ số rủi ro sinh thái ERI được sử dụng để đánh giá rủi ro sinh thái của kim

loại nặng trong nước mặt. Các chỉ số rủi ro sinh thái của kim loại nặng trong nước mặt đều ở mức thấp (Hình 6).



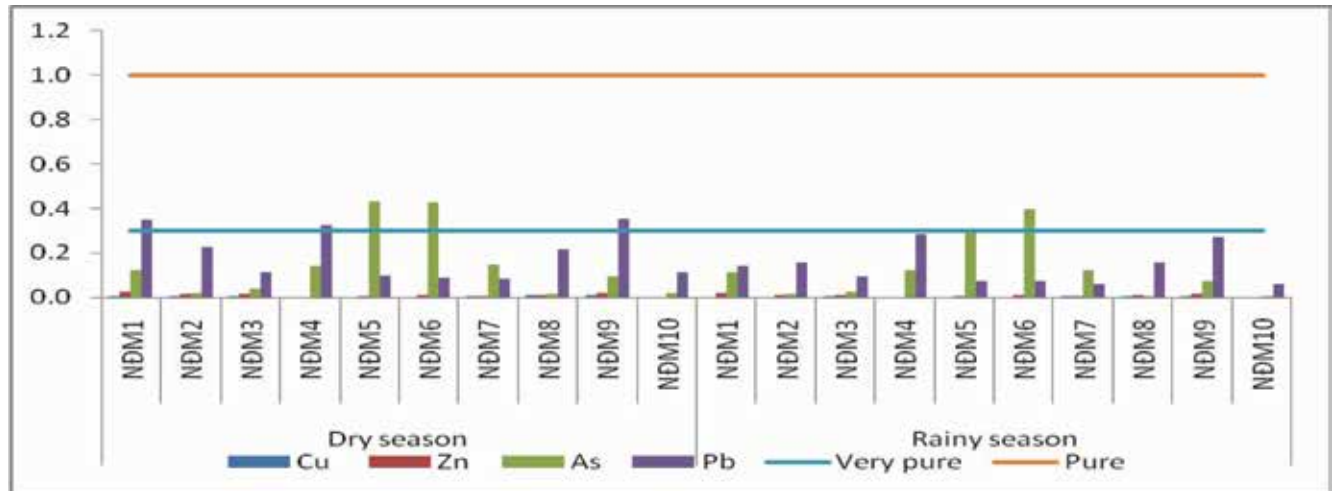
▲ Hình 6. Chỉ số rủi ro sinh thái (ERI) của kim loại nặng trong nước mặt

3.2. Đánh giá môi trường nước ngầm của làng nghề bằng việc sử dụng các chỉ số chất lượng kim loại (MQI) trong nước

3.2.1. Chỉ số kim loại (MI)

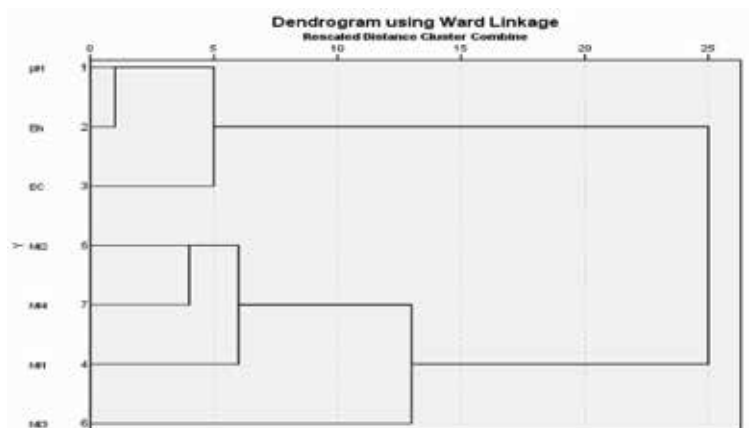
Dựa vào chỉ số MI, trình tự sắp xếp theo thứ tự được quan sát thấy là: giá trị MI trung bình [Cu (0.0034) < Zn (0.0107) < As (0.1453) < Pb (0.1964)

vào mùa khô và Cu (0.0028) < Zn (0.0094) < As (0.1183) < Pb (0.1359) vào mùa mưa] trong môi trường nước ngầm. Các vị trí được lựa chọn xung quanh làng Đông Mai thì chất lượng nước ngầm từ rất trong tới trong đối với nguyên tố As và Pb. Hình 7 đã thể hiện giá trị hệ số MI đối với cả hai mùa.

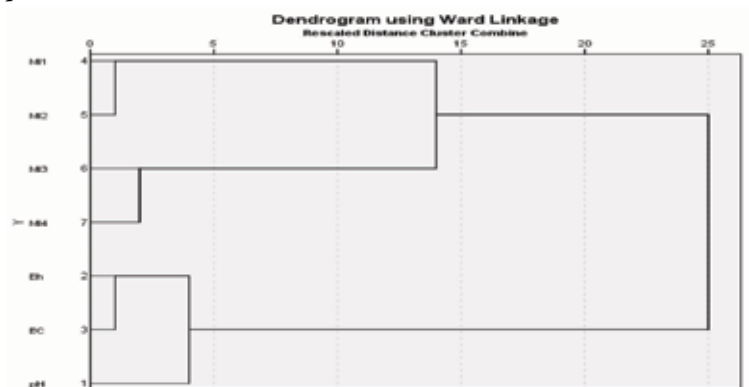


▲ Hình 7. Những biến động theo mùa của chỉ số kim loại (MI) của nước ngầm

Đối với nước ngầm làng nghề Đông Mai, một mối tương quan nghịch có ý nghĩa ở mức yếu giữa (pH, EC) ($r = -0.546$, $p < 0.05$), (pH, Eh) ($r = -0.477$, $p < 0.05$) và (MI1, MI3) ($r = -0.462$, $p < 0.05$), có nghĩa là sự gia tăng mức độ của pH có thể dẫn đến sự suy giảm của đại lượng EC và Eh cũng như sự gia tăng mức độ của chỉ số kim loại của nguyên tố Cu (MI1) có thể dẫn đến sự suy giảm mức độ chỉ số kim loại của nguyên tố As (MI3). Chỉ số kim loại của nguyên tố Zn (MI2) và nguyên tố Pb (MI4) được phân cụm trong một nhóm chính với khoảng cách cụm ngắn nhất (< 5) (Hình 8a); cùng lúc đó, chúng cũng có một mối tương quan thuận có ý nghĩa ($r = 0.469$, $p < 0.05$), cho thấy chúng có cùng xu hướng và nguồn gốc phát sinh trong nước ngầm nơi đây. Phân cụm của [(MI2, MI4) cùng với MI1] cũng đã tạo ra một cụm phân cấp có liên kết chặt chẽ (> 5 , < 10), nhưng cũng đóng góp đáng kể tới môi trường nước ngầm, hơn nữa, chỉ số kim loại của nguyên tố Cu (MI1) và chỉ số kim loại của nguyên tố Zn (MI2) cũng có cùng một nguồn gốc phát sinh từ phong hóa đá và hoạt động của con người trong cuộc sống ($r = 0.605$, $p < 0.01$).



▲ Hình 8a. Sơ đồ cụm phân cấp của nhóm các chỉ số pH, Eh, EC và chỉ số kim loại (MI) trong mẫu nước ngầm bằng phép phân tích cụm

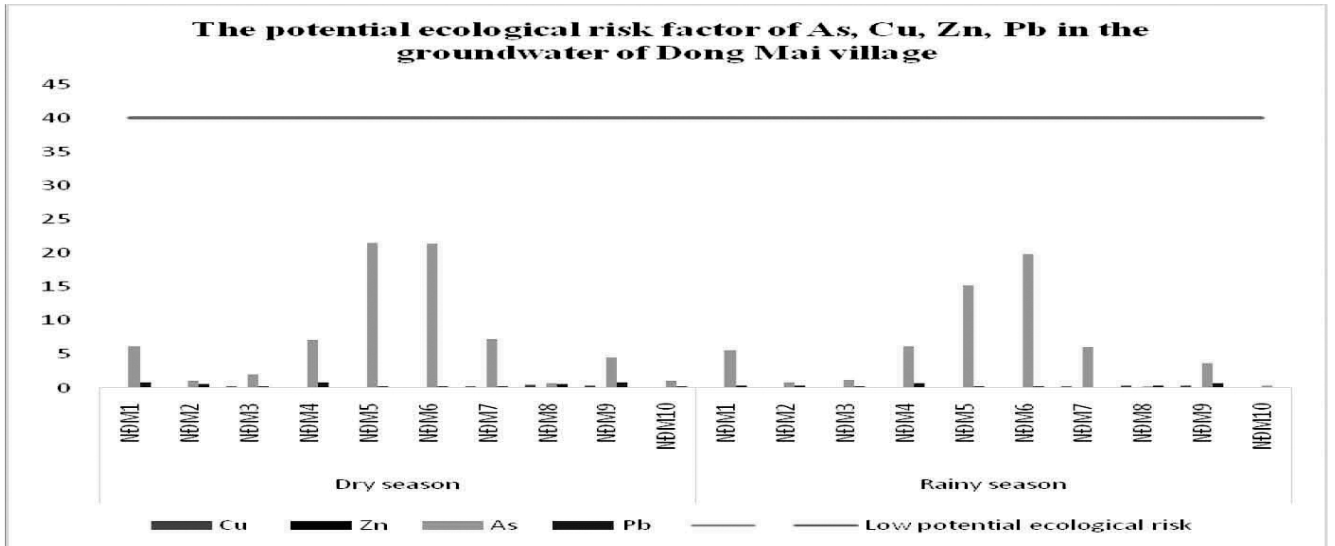


▲ Hình 8b. Sơ đồ cụm phân cấp của nhóm các chỉ số pH, Eh, EC và chỉ số kim loại (MI) trong mẫu nước thải bằng phép phân tích cụm



3.2.2. Yếu tố rủi ro sinh thái (ERF)

Hình 9 thể hiện yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn của các nguyên tố Cu, Zn, As và Pb trong nước ngầm của thôn Đông Mai. Giá trị ERF của Cu, Zn, As và Pb trong nước ngầm nơi đây đều ở mức thấp (ERF < 40).



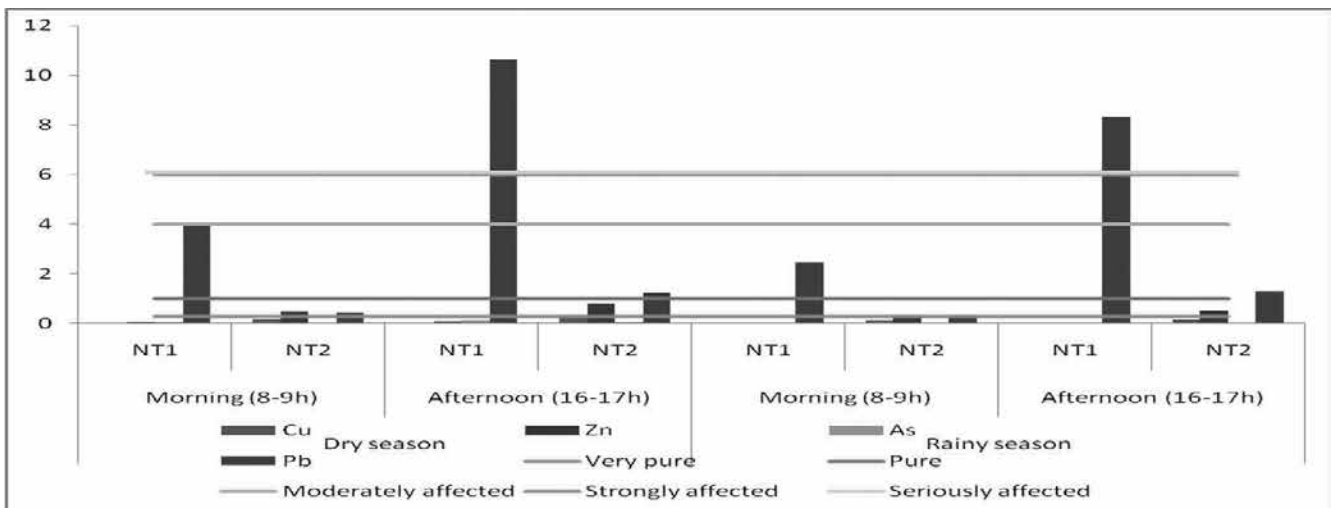
▲ Hình 9. Yếu tố rủi ro sinh thái của As, Cu, Zn, Pb trong nước ngầm

3.3. Đánh giá môi trường nước thải của làng nghề bằng việc sử dụng các chỉ số chất lượng kim loại (MQI) trong nước

Chỉ số kim loại (MI)

Dựa vào chỉ số MI, trình tự sắp xếp theo thứ tự được quan sát thấy là: giá trị trung bình chỉ số MI [As (0.014) < Cu (0.076) < Zn (0.244) < Pb (3.075) vào mùa mưa và As (0.073) < Cu (0.136) < Zn (0.369) < Pb (4.096) vào mùa khô] trong nước thải làng nghề

Đông Mai. Các vị trí được lựa chọn xung quanh làng nghề này đạt ở mức rất trong, rất trong tới trong, rất trong, rất trong tới chịu tác động nghiêm trọng bởi lần lượt các nguyên tố Cu, Zn, As và Pb (vào mùa mưa). Vào mùa khô, các vị trí được lựa chọn đạt ở mức rất trong tới trong, rất trong tới trong, rất trong, trong tới chịu tác động nghiêm trọng bởi lần lượt các nguyên tố Cu, Zn, As và Pb. Hình 10 mô tả giá trị hệ số MI trong cả hai mùa.



▲ Hình 10. Giá trị chỉ số kim loại (MI) của nước thải làng Đông Mai

Đối với nước thải làng nghề này, chỉ số kim loại của nguyên tố Cu (MI1) và nguyên tố Zn (MI2) được phân cụm trong một nhóm chính với khoảng cách cụm ngắn nhất (< 5) (Hình 8b) và đồng thời, chúng có mối tương quan thuận có ý nghĩa mức độ mạnh

($r = 0.976, p < 0.01$), cho thấy rằng chúng có cùng xu hướng và nguồn gốc phát sinh tương tự nhau trong nước thải làng Đông Mai. Mối tương quan thuận mạnh mẽ giữa (pH, MI1) ($r = 0.802, p < 0.05$), (pH, MI2) ($r = 0.731, p < 0.05$), một sự gia tăng mức độ



của pH có thể dẫn đến sự gia tăng mức độ của chỉ số kim loại của nguyên tố Cu và Zn. Nhóm cụm của [MI3, MI4] cũng tạo ra một phân cụm có mối liên kết chặt chẽ (< 5) và mối tương quan nghịch mạnh mẽ giữa pH và chỉ số kim loại của nguyên tố Pb (MI4) ($r = - 0.898$), do đó, chỉ số kim loại của nguyên tố As (MI3) và chỉ số kim loại của nguyên tố Pb (MI4) cùng có chung nguồn gốc phát sinh nhưng cũng có đóng góp đáng kể tới môi trường nước thải, một sự gia tăng mức độ của pH có thể dẫn tới sự suy giảm mức độ của chỉ số kim loại của nguyên tố Pb (MI4) và ngược lại.

4. KẾT LUẬN

Với nghiên cứu này, đặc điểm ô nhiễm các nguyên tố kim loại As, Cu, Zn, Pb trong môi trường nước của làng nghề Đông Mai (Hưng Yên) đã được đánh giá chi tiết. Các kết luận chính của nghiên cứu thu được như sau:

- Phép phân tích thành phần chính (PCA) được thực hiện riêng lẻ cho mỗi loại hình môi trường nước của làng nghề. PCA có giá trị riêng > 1 tập trung vào 2 thành phần. PCA gợi ý rằng sự đóng góp của kim loại trong nước đều xuất phát từ hoạt động sản xuất cũng như sinh hoạt của con người bên cạnh các nguồn gốc khoáng vật. Tải lượng lớn của nguyên tố Pb trong nước mặt đến từ các hoạt động tái chế chì ở làng nghề này, nhưng các nguyên tố Zn, Cu, As có thể phát sinh từ quá trình phong hóa đá khi xét tới chỉ số kim loại (MI) và chỉ số làm giàu (EF). Yếu tố rủi ro sinh thái tiềm ẩn và chỉ số rủi ro sinh thái của nước mặt thôn Đông Mai đạt ở mức thấp (ERF < 40 và ERI < 150).

- Đối với nước ngầm, Cu và As, Zn và Pb, Cu và Zn có cùng xu hướng và nguồn gốc phát sinh bởi quá trình phong hóa đá và các hoạt động của con người bởi việc gia tăng mức độ của pH có thể dẫn tới sự suy giảm mức độ của đại lượng EC và Eh cũng như sự gia tăng mức độ của một trong số các kim loại nặng có thể dẫn tới sự suy giảm của mỗi một kim loại khác còn lại và ngược lại khi xét tới chỉ số kim loại (MI). Yếu tố rủi ro sinh thái của các nguyên tố Cu, Zn, As, Pb có mặt trong nước ngầm đều ở mức thấp (ERF < 40).

- Cu và Zn, As và Pb cũng có chung nguồn gốc phát sinh, nhưng đóng góp phần lớn vào trong nước thải và có một sự gia tăng mức độ pH có thể dẫn đến sự suy giảm mức độ của nguyên tố Pb và ngược lại đối với chỉ số kim loại (MI).

Kết quả của nghiên cứu này đã chỉ ra nguy cơ sinh thái của nồng độ kim loại nặng trong

nước mặt cũng như nước ngầm tại làng nghề Đông Mai, vì vậy cần tiến hành một chu trình lấy mẫu và phân tích nước toàn diện hơn về Cu, Zn, As, Pb và các kim loại nặng khác cho làng Đông Mai nói riêng và trên diện rộng hơn ở tỉnh Hưng Yên nói chung■

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ từ kinh phí của đề tài nghiên cứu cấp cơ sở của Viện Địa chất - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Tác giả cũng xin cảm ơn đến các cán bộ của Phòng Địa niên đại, Trung tâm Môi trường cũng như Viện Địa chất đã tư vấn và hỗ trợ kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. QCVN 40:2011/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước thải công nghiệp, 2011.
2. QCVN 08:2023/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Bộ TN&MT, Hà Nội, Việt Nam, 2023.
3. QCVN 09:2023/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước ngầm. Bộ TN&MT, Hà Nội, Việt Nam, 2023.
4. Ủy ban nhân dân xã Chỉ Đạo. Báo cáo hàng năm, 2015.
5. Ủy ban nhân dân xã Chỉ Đạo. Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội, 2015.
6. Abdi, H.; Williams, L.J. Principal component analysis: Principal component analysis. Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat. 2010, 2, 433-459.
7. Alexakis, D.E.; Kiskira, K.; Gamvroula, D.; Emmanouil, C.; Psomopoulos, C.S. Evaluating toxic element contamination sources in groundwater bodies of two Mediterranean sites. Environ. Sci. Pollut. 2021, 28, 34400-34409.
8. Bakan G., Özkoç H.B., Tülek S., Cüce H. Integrated environmental quality assessment of the Kızılırmak River and its coastal environment. Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 2010; 10:453-462.
9. Carlin, D.J.; Naujokas, M.F.; Bradham, K.D.; Cowden, J.; Suk, W.A. Arsenic and Environmental Health: State of the Science and Future Research Opportunities. Environ. Health Perspect. 2016, 124, 890-899.
10. Chen, K.; Sun, L.; Tang, J. Hydrochemical differences between river water and groundwater in Suzhou, Northern Anhui Province, China. Open Geosci. 2020, 12, 1421-1429.
11. Chetelat, B.; Liu, C.Q.; Zhao, Z.Q.; Wang, Q.L.; Li, S.L.; Li, J.; Wang, B.L. Geochemistry of the dissolved load of the Changjiang Basin rivers: Anthropogenic impacts and chemical weathering. Geochim. Cosmochim. Acta 2008, 72, 4254-4277.



12. Dević, G.; Sakan, S.; Đorđević, D. Assessment of the environmental significance of nutrients and heavy metal pollution in the river network of Serbia. *Environ. Sci. Pollut. R.* 2016, 23, 282-297.
13. Gaillardet, J.; Viers, J.; Dupré, B. Trace Elements in River Waters 2014 Treatise Geochem. 2014, 181, 195-235.
14. Gaillardet, J.; Viers, J.; Dupré, B. Trace elements in river waters. *Treatise Geochem.* 2003, 5, 225-272.
15. Gao, L.; Chen, J.Y.; Tang, C.Y.; Ke, Z.T.; Zhu, A.P. Distribution, migration and potential risk of heavy metals in the Shima River catchment area, South China. *Environ. Sci. Proc. Imp.* 2015, 10, 1769-1782.
16. Goher M.E., Hassan A.M., Abdel-Moniem I.A., Fahmy A.H., El-sayed S.M. Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt. *Egypt. J. Aquat. Res.* 2014, 40, 225-233.
17. Håkanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control of sediment of ecological approach. *Water Research* 14 (1980), 975-1000.
18. Huang, P.C.; Su, P.H.; Chen, H.Y.; Huang, H.B.; Tsai, J.L.; Huang, H.I.; Wang, S.L. Childhood blood lead levels and intellectual development after ban of leaded gasoline in Taiwan a 9-year prospective study. *Environ. Int.* 2012, 40, 88-96.
19. International Monetary Fund, 2011 (World economic outlook).
20. Islam, M.S.; Ahmed, M.K.; Raknuzzaman, M.; Habibullah-Al-Mamun, M.; KamrulIslam, M. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecol. Indic.* 2015, 48, 282-291.
21. Jie, L.; Kunli, L. Elements in surface and well water from the central North China Plain: Enrichment patterns, origins, and health risk assessment. *Environ. Pollut.* 2020, 258, 113725.
22. Khoshnam Z., Sarikhani R., Ahmadnejad Z. Evaluation of Water Quality Using Heavy Metal Index and Multivariate Statistical Analysis in Lorestan Province, Iran. *J. Adv. Environ. Health Res.* 2017; 5:29-37.
22. Lim, S.S.; Vos, T.; Flaxman, A.D.; Danaei, G.; Shibuya, K.; Adair-Rohani, H.; AlMazroa, M.A.; Amann, M.; Anderson, H.R.; Andrews, K.G.; et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet* 2010, 380, 2224-2260.
23. Liu, M.; Zhao, L.; Li, Q.; Hu, Y.; Huang, H.; Zou, J.; Gao, F.; Zhang, Y.; Xu, P.; Wu, Z. Distribution characteristics, Enrichment patterns and health risk assessment of dissolved trace elements in river water in the source region of the Yangtze River. *J. Water Clim. Change* 2021, 12, 2288-2298.
24. Liu, C.W.; Lin, K.H.; Kuo, Y.M. Application of factor analysis in the assessment of ground water quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Sci. Total Environ.* 2003, 313, 77-89.
25. Ojekunle O.Z., Ojekunle O.V., Adeyemi A.A., Taiwo A.G., Sangowusi O.R., Taiwo A.M., Adekitan A.A. Evaluation of surface water quality indices and ecological risk assessment for heavy metals in scrap yard. neighbourhood. *SpringerPlus.* 2016; 5:560.
26. Qu, S.Y.; Wu, W.H.; Nel, W.; Ji, J.F. The behavior of metals/metalloids during natural weathering: A systematic study of the mono-lithological watersheds in the upper Pearl River Basin, China. *Sci. Total Environ.* 2020, 108, 134572.
27. Tamasi G., Cini R. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena. *Sci. Total Environ.* 2004; 327:41-51.
28. Thermo Elemental, 2001. AAS, GFAAS, ICP or ICP-MS? Which technique should I use? An elementary overview of elemental analysis, 1-18. Forge Parkway 27, Franklin, MA 02038(800) 229-4087(508) 520-1880. Ion Path, Road Three, Winsford Cheshire CW7 3BX United Kingdom 44 (0) 1606548100.
29. URENCO Environment, Vietnam, 2007 (The development of e-waste inventory in Vietnam US-EPA United States, environmental protection agency. (<http://www.epa.gov/lead/learn-about-lead>).
30. Xiao, J.; Wang, L.Q.; Deng, L.; Jin, Z.D. Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. *Sci. Total Environ.* 2019, 650, 2004-2012.
31. Yi, Y., Yang, Z.; Zhang, S. 2011 Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution* 159 (10), 2575-2585.