

HUỶNH THỊ NGỌC HÂN

KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG

2025

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



HUỶNH THỊ NGỌC HÂN

**NGHIÊN CỨU SỰ HIỆN DIỆN VÀ MỨC ĐỘ
NHIỄM VI NHỰA TRONG CÁC NGUỒN NƯỚC THẢI,
NƯỚC SÔNG SÀI GÒN – ĐỒNG NAI
VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT HÓA HỌC, VẬT LIỆU, LUYỆN KIM
VÀ MÔI TRƯỜNG**

Hà Nội - 2025

BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

HUỲNH THỊ NGỌC HÂN

**NGHIÊN CỨU SỰ HIỆN DIỆN VÀ MỨC ĐỘ NHIỄM VI NHỰA
TRONG CÁC NGUỒN NƯỚC THẢI, NƯỚC SÔNG SÀI GÒN –
ĐỒNG NAI VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT HÓA HỌC, VẬT LIỆU, LUYỆN KIM VÀ
MÔI TRƯỜNG**

Ngành: Kỹ thuật môi trường

Mã số: 9 52 03 20

Xác nhận của Học viện
Khoa học và Công nghệ

Người hướng dẫn 1
(Ký, ghi rõ họ tên)

Người hướng dẫn 2
(Ký, ghi rõ họ tên)



PGS.TS. HUỲNH PHÚ

GS.TS. NGUYỄN THỊ HUỆ

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án: "*Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn - Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu*" là công trình nghiên cứu của chính mình dưới sự hướng dẫn khoa học của tập thể hướng dẫn. Luận án sử dụng thông tin trích dẫn từ nhiều nguồn tham khảo khác nhau và các thông tin trích dẫn được ghi rõ nguồn gốc. Các kết quả nghiên cứu của tôi được công bố chung với các tác giả khác đã được sự nhất trí của đồng tác giả khi đưa vào luận án. Các số liệu, kết quả được trình bày trong luận án là hoàn toàn trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ một công trình nào khác ngoài các công trình công bố của tác giả. Luận án được hoàn thành trong thời gian tôi làm nghiên cứu sinh tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Hà Nội, ngày 8 tháng 8 năm 2025

Tác giả luận án
(Ký và ghi rõ họ tên)



Huỳnh Thị Ngọc Hân

LỜI CẢM ƠN

Trân trọng cảm ơn Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi học tập, nghiên cứu để hoàn thành Luận án.

Cảm ơn PGS. TS. Huỳnh Phú, GS. TS. Nguyễn Thị Huệ đã truyền đạt, chỉ dạy kiến thức, đánh thức tiềm năng, nhiệt huyết, đam mê nghiên cứu khoa học, học tập không ngừng.

Cho phép tôi được gửi lời cảm ơn đến các Giáo sư, Phó Giáo sư, Tiến sĩ, cùng toàn thể thầy cô, các anh chị, các bạn đang công tác tại Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất cho tôi trong suốt thời gian thực hiện Luận án.

Cảm ơn Viện Môi trường và Kinh tế tuần hoàn Miền Nam_IECES và phòng phân tích Nation Lab đã tạo điều kiện cho tôi tham gia nghiên cứu khoa học đề tài: “Nghiên cứu vi nhựa trong nước, trầm tích sông Sài Gòn – Đồng Nai và nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe người dân” số 68/2021-2022 MP_SGĐN của Viện và thực hiện phân tích mẫu nước cho nghiên cứu.

Xin chân thành cảm ơn cha mẹ, chồng và các con, đồng nghiệp, bạn bè đã động viên, khích lệ tôi trong suốt quá trình học tập và hoàn thành Luận án.

Xin trân trọng cảm ơn!

Hà Nội, ngày 8 tháng 8 năm 2025

Tác giả luận án
(Ký và ghi rõ họ tên)



Huỳnh Thị Ngọc Hân

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC KÝ HIỆU, TỪ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC BẢNG	ix
DANH MỤC HÌNH	x
MỞ ĐẦU	1
Lý do chọn đề tài	1
Mục tiêu của Luận án	2
Nội dung nghiên cứu	2
Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	2
Những đóng góp mới của Luận án	2
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU	3
1.1. Tổng quan về chất thải nhựa và vi nhựa	3
1.1.1. Chất thải nhựa và vi nhựa	3
1.1.2. Nguồn hình thành và phát sinh vi nhựa trong môi trường nước sông và nước thải	5
1.2. Đặc tính của vi nhựa và tác động của chúng đến hệ sinh thái môi trường và sức khỏe con người	9
1.2.1. Đặc tính của vi nhựa	9
1.2.2. Ảnh hưởng của vi nhựa đến hệ sinh thái môi trường và sức khỏe con người	9
1.3. Các phương pháp phân tích vi nhựa hiện đại	12
1.3.1. Phương pháp hiển vi huỳnh quang với thuốc nhuộm Nile Red	12
1.3.2. Phương pháp quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier FTIR	13
1.3.3. Phương pháp quang phổ Raman	13
1.3.4. Phương pháp Py – GC/MS	13
1.4. Các nghiên cứu trong và ngoài nước về vi nhựa	14
1.4.1. Vi nhựa trong nước sông	14

1.4.2. Vi nhựa trong nước thải -----	16
1.5. <i>Tổng quan các giải pháp giảm thiểu vi nhựa</i> -----	21
1.6. Các vấn đề còn tồn tại cần tập trung nghiên cứu giải quyết -----	23
CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU -----	24
2.1. Đối tượng nghiên cứu -----	24
2.1.2. Nước sông Sài Gòn và sông Đồng Nai -----	24
2.1.2. Vi nhựa trong môi trường nước sông Sài Gòn – Đồng Nai -----	25
2.2. Sơ đồ nghiên cứu -----	25
2.3. Phương pháp nghiên cứu -----	26
2.3.1. Phương pháp điều tra khảo sát và phân tích tài liệu -----	26
2.3.2. Phương pháp lấy mẫu nước -----	27
2.3.3. Phương pháp phân tích vi nhựa -----	41
2.3.4. Phương pháp đánh giá SWOT và thang đo 5 bậc Likert -----	48
2.3.5. Phương pháp phân tích dữ liệu vi nhựa -----	49
2.3.5.1. Sơ đồ thực hiện kiến trúc thực hiện phân tích dữ liệu trong nghiên cứu -----	49
2.3.5.2. Phương pháp hồi quy phân tích đa biến -----	50
2.3.5.3. Phương pháp phân tích tương quan đa biến -----	51
2.3.5.4. Phương pháp phân tích thành phần chính -----	52
2.3.5.5. Phương pháp phân tích cụm Clustering -----	49
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN -----	54
3.1. Vi nhựa trong nước sông Sài Gòn – Đồng Nai -----	54
3.1.1. Mật độ vi nhựa -----	55
3.1.2. Hình thái vi nhựa -----	63
3.1.3. Màu sắc vi nhựa -----	77
3.1.4. Kích thước vi nhựa -----	88
3.1.5. Các dạng polyme được phát hiện -----	91

3.2. Vi nhựa trong dòng nước thải của các nhà máy xử lý trên lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai-----	94
3.3. Kết quả nghiên cứu đề xuất các giải pháp về giảm thiểu vi nhựa-----	108
3.3.1. Giải pháp quản lý chung -----	108
3.3.2. Đề xuất giải pháp giảm thiểu chất thải nhựa, vi nhựa-----	111
3.3.3. Đề xuất giải pháp công nghệ xử lý nước thải nhằm giảm thiểu vi nhựa-----	120
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ-----	125
Kết luận-----	125
Kiến nghị-----	125
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN-----	126
TÀI LIỆU THAM KHẢO -----	128
PHỤ LỤC 1. CÁC PHIẾU KHẢO SÁT -----	142
1. Phiếu khảo sát các hộ dân về thói quen sử dụng sản phẩm nhựa-----	142
2. Phiếu khảo sát tính khả thi của mô hình kinh tế tuần hoàn-----	143
PHỤ LỤC 2. HÌNH ẢNH THỰC HIỆN LUẬN ÁN-----	146
1. Một số hình ảnh tại phòng thí nghiệm -----	146
2. Một số hình ảnh về công tác thu mẫu và tiến hành thí nghiệm -----	147
3. Một số hình ảnh tiến hành phá mẫu, tách chiết vi nhựa khỏi các hợp chất hữu cơ và khoáng vật-----	149
4. Một số hình ảnh xác định số lượng, hình dạng và màu sắc, polyme vi nhựa trong các mẫu-----	151
5. Một số hình ảnh minh chứng kết quả phân tích mẫu chứa vi nhựa trích xuất từ phần mềm kỹ thuật kính hiển vi hình ảnh FTIR Nicolet iN10 MX với các phụ kiện ATR để khám phá các phổ peak polyme của vi nhựa trong quá trình thực hiện Luận án-----	151

DANH MỤC KÝ HIỆU, TỪ VIẾT TẮT

Ký hiệu viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene	
ADCP	Workhorse Waves Array	Đo dòng chảy
AO	Anoxic - Oxic	
ASBR	Advanced Sequencing Batch Reactor	Bể phản ứng sinh học xử lý nâng cao
BPA	Bisphenol A	
CASP	Conventional activated sludge process	Quy trình bùn hoạt tính thông thường
COMPOSE	Creating an Observatory for Measuring Plastic Occurrences in Society and Environment	Quan sát và đo sự xuất hiện của nhựa trong xã hội và môi trường
COP26	Conference of the Parties 26	Hội nghị các Bên tham gia Công ước Khung của Liên Hợp Quốc về Biến đổi khí hậu lần thứ 26 diễn ra tại Paris vào năm 2021
DSC	Differential Scanning Calorimetry	Đo nhiệt lượng quét vi sai
ECHA	European Union Chemicals Authority	Cơ quan Quản lý Hóa chất Liên minh Châu Âu
EPR	Extended Producer Responsibility	Trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất
EVOH	Poly Ethylene Vinyl Alcohol	
FTIR	Fourier-transform Infrared Spectroscopy	Quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier
GAC	Granular activated carbon	Lọc than hoạt tính dạng hạt
GAP	Global Action Program	Chương trình Hành động toàn cầu
GC-MS	Gas Chromatograph - Mass Spectrometry	Sắc kí khí khối phổ
GDP	Gross Domestic Product	Tổng sản phẩm quốc nội
GPML	Global partnership on marine litter	Quan hệ đối tác toàn cầu về chất thải biển
GPS	Global Positioning System	Hệ thống định vị toàn cầu
G20	Group of Twenty	Nhóm các nền kinh tế lớn
HCM	Hochiminh	Hồ Chí Minh

HDPE	Hgh Density Polyethylene	
IR	Infrared spectroscopy	Phổ hồng ngoại
IRD	Income in Respect of a Decedent	Thu nhập liên quan đến người quá cố
KCN	Industrial area	Khu Công nghiệp
LAS	Laboratory Accreditation Scheme	Chương trình công nhận phòng thí nghiệm
LC	London Convention	Công ước London
LDPE	Low Density Polyethylene	
LP	London Protocol	Nghị định thư London
MBR	Membrance bioreactor	Công nghệ màng sinh học
MUF	Melamine Urea Formaldehyde	
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration Commissioned Corps	Cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Mỹ
NMXLNT	Water treatment factory	Nhà máy xử lý nước thải
NSW EPA	State of New South Wales and the Environment Protection Authority	Bang New South Wales và Cơ quan Bảo vệ Môi trường
OLEFIN	Polyolefin hoặc Polyalkenes	
PA	Polyamide (Polyamit)	
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons	
PBDE	Polybrominated diphenyl ethers	
PC	Principal Component	Thành phần chính
PCA	Principal Components Analysis	Phân tích thành phần chính
PCB	Polychlorinated Biphenyls	
PE	Polyethylene	
PET	Polyethylene Perephthalate	
PMMA	Polymethyl Methacrylate	
POP	Persistant Organic Polutants	
PP	Polypropylene	
PPE		Thiết bị bảo hộ cá nhân
PS	Polystiren	
PVC	Polyvinylchloride	
PU	Polyurethane	
Py-GC/MS	Pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry.	Sắc ký khí nhiệt phân-khối phổ

QA/QC	Quality Assurance / Quality Control	
RFS	Rapid sand filtration	Bộ lọc cát nhanh
RSP	Regional Sea Program	Chương trình biển khu vực
SBR	Sequencing batch reactor	Bể phản ứng theo mẻ
SEM	Scanning Electron Microscopy	Kính hiển vi điện tử quét
SPE	Solid-phase extraction	Chiết pha rắn
STMT	Sinh thái Môi trường	
SWOT	Strengths – Weaknesses – Opportunities - Threats	Điểm mạnh – Điểm yếu – Cơ hội – Thách thức
TEM	Transmission Electron Microscopy	Kính hiển vi điện tử
TEFLON	Poly Tetra Fluorethylene	
TGA	Thermal gravimetric analysis	Phân tích trọng lượng nhiệt
UNCLOS	The United Nations Convention on the Law of the Sea	Luật biển quốc tế đang có hiệu lực hiện nay là Công ước của Liên hợp quốc về Luật Biển
UNEA	United Nations Environment Assembly	Đại hội đồng Môi trường Liên hợp quốc
UNEP	United Nations Environment Program	Chương trình Môi trường Liên Hợp Quốc
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	Tổ chức Giáo dục, Khoa học và Văn hóa của Liên Hợp Quốc
WHO	World Health Organization	Tổ chức Y tế Thế giới

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1. 1. Khối lượng riêng các loại nhựa -----	9
Bảng 1. 2. Phương pháp xử lý một số hợp chất trơ, vô cơ có trong nước thải-----	17
Bảng 1. 3. Hiệu suất của các cấp bậc xử lý trong loại bỏ vi nhựa-----	18
Bảng 1. 4. Hiệu suất của nhà máy xử lý nước thải tại một số quốc gia-----	19
Bảng 1. 5. Công suất và hiệu quả loại bỏ vi nhựa mỗi ngày của các nhà máy xử lý nước thải trên thế giới-----	19
Bảng 1. 6. Vi nhựa trong quá trình xử lý nước thải sinh hoạt tỉnh Bình Dương, Việt Nam -----	20
Bảng 2. 1. Vị trí lấy mẫu vi nhựa trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn -----	27
Bảng 2.2. Bảng lấy mẫu nước mặt tại 18 vị trí theo không gian và thời gian trong 2 năm 2021-2022 -----	32
Bảng 2. 3. Công suất xử lý của các nhà máy xử lý nước thải -----	35
Bảng 2. 4. Bảng lấy mẫu nước thải tại các nhà máy xử lý-----	38
Bảng 2. 5. Các bước phân tích vi nhựa trong mẫu nước-----	42
Bảng 3. 1. Mật độ về số lượng của vi nhựa-----	60
Bảng 3. 2. Sự phân bố theo mùa các hình dáng của vi nhựa trung bình trong năm 2021 – 2022 tại xác vị trí lấy mẫu nước sông Sài Gòn – Đồng Nai-----	64
Bảng 3. 3. Kí hiệu vị trí lấy mẫu trong phân tích cụm Cluster-----	76
Bảng 3. 4. Sự phân bố theo màu sắc của Vi nhựa trong năm 2021 – 2022 tại các vị trí lấy mẫu nước sông Sài Gòn – Đồng Nai -----	80
Bảng 3. 5. Tỷ lệ phần trăm kích thước vi nhựa trong các năm 2021-2022 -----	90
Bảng 3. 6. Các loại polyme của vi nhựa trong các mẫu nước được tìm thấy trong môi trường nước mặt sông Sài Gòn – Đồng Nai-----	90
Bảng 3. 7. Vi nhựa trong dòng thải đầu vào và đầu ra của quá trình xử lý nước thải sinh hoạt trong một số nhà máy trên lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai-----	97
Bảng 3.8. Hiệu suất trung bình loại bỏ vi nhựa của 6 nhà máy xử lý nước thải-----	104
Bảng 3.9. Hiệu suất loại bỏ vi nhựa qua các công trình đơn vị trong các nhà máy -----	105
Bảng 3. 10. Lợi ích kinh tế dự kiến từ nguyên liệu là chất thải nhựa khi được tái chế--	112
Bảng 3. 11. Kết quả phân tích SWOT khi áp dụng giải pháp đề xuất -----	118

DANH MỤC HÌNH

Hình 1. 1. Con đường vận chuyển của vi nhựa vào nước mặt của các sông Sài Gòn – Đồng Nai -----	7
Hình 1. 2. Con đường vận chuyển vi nhựa từ các dòng nước thải vào sông Sài Gòn – Đồng Nai -----	8
Hình 2. 1. Sông Đồng Nai, sông Sài Gòn và vùng phụ cận, Việt Nam -----	25
Hình 2. 2. Sơ đồ nghiên cứu của luận án -----	26
Bảng 2. 3. Công suất xử lý của các nhà máy xử lý nước thải -----	31
Hình 2. 4. Vị trí các nhà máy xử lý nước thải -----	35
Hình 2. 5. Sơ đồ các công đoạn xử lý nước thải sinh hoạt của NMXLNT Nam Bình Dương -----	36
Hình 2. 6. Sơ đồ các công đoạn xử lý nước thải sinh hoạt của NMXLNT Dĩ An -----	38
Hình 2. 7. Phương pháp thu mẫu vi nhựa nước thải -----	40
Hình 2. 8. Quy trình phân tích xác định vi nhựa trong mẫu nước -----	42
Hình 2. 9. Cấu trúc máy FTIR -----	45
Hình 2. 10. Kính hiển vi hình ảnh FTIR Nicolet iN10 MX với các phụ kiện ATR. -----	46
Hình 2. 11. Sơ đồ kiến trúc mô hình xử lý dữ liệu trong nghiên cứu -----	47
Hình 2. 12. Không gian mô phỏng của PCA -----	50
Hình 3. 1. Hình dạng và màu sắc của vi nhựa trong các mẫu nước được ghi nhận qua kính hiển vi Leica Stereoscope S6D -----	53
Hình 3. 2. Diễn biến mật độ vi nhựa trong các mẫu nước sông Đồng Nai, sông Sài Gòn năm 2021 -----	54
Hình 3. 3. Diễn biến mật độ vi nhựa trong sông Đồng Nai, sông Sài Gòn năm 2022 ---	54
Hình 3. 4. Kết quả tương quan vi nhựa khi triều xuống, triều và theo mùa trong năm 2021 -----	56
Hình 3. 5. Kết quả phân tích tương quan vi nhựa vào lúc triều lên và triều xuống theo mùa trong năm 2022 -----	57
Hình 3. 6. Tỷ lệ phần trăm hình dạng vi nhựa trong năm 2021-2022 tại các vị trí khảo sát -----	60
Hình 3. 7. Kết quả tương quan các hình thái vi nhựa với mùa trong năm 2021 -----	62
Hình 3. 8. Kết quả tương quan các hình thái vi nhựa với mùa trong năm 2022 -----	62
Hình 3. 9. Kết quả phân tích PCA đối với hình dạng vi nhựa năm 2021. -----	65
Hình 3. 10. Kết quả phân tích PCA đối với hình dạng vi nhựa năm 2022 -----	68
Hình 3. 11. Kết quả phân tích K-Mean dựa trên hình thái của vi nhựa -----	71
Hình 3. 12. Tỷ lệ phần trăm về màu sắc của vi nhựa trong năm 2021-2022 tại các vị trí khảo sát -----	73

Hình 3. 13. Kết quả phân tích PCA đối với màu sắc vi nhựa năm 2021 -----	76
Hình 3. 14. Kết quả phân tích PCA đối với màu sắc vi nhựa năm 2022 -----	79
Hình 3. 15. Kết quả phân tích Cluster màu sắc của vi nhựa trong trong 2 năm 2021 - 2022 -----	81
Hình 3. 16. Sự phân bố kích thước của vi nhựa tại các vị trí vào mùa khô và mùa mưa -----	83
Hình 3. 17. Tỷ lệ phần trăm các loại polyme xuất hiện trong các mẫu nước sông Đồng Nai, sông Sài Gòn-----	85
Hình 3. 18. Mật độ về khối lượng vi nhựa trong dòng nước thải trước và sau khi ra khỏi các nhà máy xử lý-----	89
Hình 3. 19. Tỷ lệ phần trăm về hiệu suất trung bình loại bỏ vi nhựa khỏi dòng thải trong 2 năm quan sát 2021-2022 -----	90
Hình 3.20. Phân bố giá trị phần trăm và các giá trị ngoại biên theo mật độ các dạng vi nhựa và hiệu quả xử lý của trạm xử lý nước thải -----	92
Hình 3. 21. Ma trận tương quan giữa hiệu suất xử lý của nhà máy và các vi nhựa có kích thước khác nhau -----	93
Hình 3. 22. Danh mục polyme vi nhựa phát hiện trong các mẫu nước thải bằng phương pháp quang phổ hồng ngoại biến đổi FTIR-----	95
Hình 3. 23. Tỷ lệ phần trăm các gốc polyme tổng hợp của vi nhựa được tìm thấy trong các mẫu nước thải đầu ra của các nhà máy-----	96
Hình 3. 24. Phân bố giá trị phần trăm và các giá trị ngoại biên theo phân loại kích thước các vi nhựa và hiệu quả xử lý của trạm xử lý nước thải -----	97
Hình 3. 25. Giải pháp đề xuất tổng thể cho ngành nhựa nhằm giảm thiểu phát thải chất thải nhựa và vi nhựa vào môi trường -----	107
Hình 3. 26. Quy trình tái chế chất thải nhựa sinh hoạt-----	108
Hình 3. 27. Biểu đồ mạng nhện Radar về đánh giá SWOT trong việc áp dụng giải pháp -----	113
Hình 3. 28. Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải được đề xuất giảm thiểu vi nhựa trong dòng thải vào nguồn tiếp nhận (sông Sài Gòn – Đồng Nai) -----	115

MỞ ĐẦU

Lý do chọn đề tài

Nhựa là vật liệu tổng hợp được ứng dụng nhiều trong cuộc sống hàng ngày do tính chất, hiệu quả về chi phí, độ bền, trọng lượng thấp và dễ sản xuất. Tuy nhiên nhựa rất khó phân hủy, sự tích tụ lâu dài và sản phẩm phân hủy của nhựa là các vật chất vi nhựa gây tiềm ẩn các nguy cơ rủi ro đến sức khỏe con người và hệ sinh thái. Vi nhựa đã được phát hiện phổ biến trong môi trường nước và trầm tích bùn của nhiều con sông trên toàn cầu và ngay cả trong các hệ thống xử lý từ các nhà máy nước thải. Do dòng chảy, vi nhựa được vận chuyển ra đại dương và chúng tồn tại ở nhiều dạng khác nhau. Trong môi trường nước, vi nhựa tồn tại chủ yếu ở dạng mảnh, sợi và hạt, chúng hình thành từ sự phân rã của các vật thể nhựa lớn hơn. Tuy nhiên cho đến nay các thông tin định lượng về hình dạng, kích thước, màu sắc của vi nhựa và đánh giá xu hướng diễn biến của chúng trong môi trường nước các con sông còn khá ít. Các nghiên cứu về loại bỏ vi nhựa của quá trình xử lý từ các nhà máy nước thải cũng chưa phổ biến. Đây chính là lĩnh vực đang được ưu tiên cho các nghiên cứu về vi nhựa. Hiện nay, các công trình khoa học về vi nhựa chủ yếu tập trung nghiên cứu vi nhựa trong nước biển hoặc nước tại các cửa sông, trong khi nước mặt ở sâu trong lục địa lại ít được quan tâm.

Hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai hiện đóng vai trò là nguồn cung cấp nước sinh hoạt chủ yếu cho người dân tại Thành phố Hồ Chí Minh và cho các tỉnh lân cận. Tuy nhiên, hai con sông này không chỉ là nguồn cung cấp nước mà còn là nơi tiếp nhận chất thải và nước thải, bao gồm cả chất thải nhựa. Việc định danh, xác định mật độ, sự phân bố cũng như hàm lượng, hình dạng của vi nhựa trong hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai cho đến nay vẫn còn rất ít thông tin. Chính vì vậy, đề tài Luận án ***“Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn - Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu”*** được thực hiện. Bằng các kỹ thuật đánh giá như ứng dụng các thuật toán phân tích dữ liệu và được mã hóa thành ngôn ngữ lập trình trên nền tảng R 4.2.0 kết hợp phần mềm thống kê SPSS để phân tích dữ liệu khoa học về vi nhựa kết hợp với các phương pháp kỹ thuật như kính hiển vi điện tử, quang phổ hồng ngoại FTIR, Luận án đã định danh, xác định sự phân bố cũng như mật độ, hình dạng, màu sắc của vi nhựa. Đây là hướng nghiên cứu còn khá mới tại Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu của Luận án hỗ trợ một phần cho các nhà quản lý môi trường để có các dữ liệu ban đầu về thực trạng vi nhựa trong nước sông Sài Gòn - Đồng Nai và nước thải sinh hoạt chảy vào hai con sông này khi qua các nhà máy xử lý nước thải tập trung; Đồng thời cung cấp tổng quan về các giải pháp công nghệ loại bỏ vi nhựa và các giải pháp tái chế, tuần hoàn vòng đời của nhựa, phòng ngừa và giảm thiểu sự thải bỏ vi nhựa ra môi trường, thực hiện xác định và phân tích tính khả thi của giải pháp đề xuất.

Nội dung nghiên cứu

- (1) Xác định được mối tương quan và dự báo xu hướng gần về đặc điểm của vi nhựa theo không gian (vị trí) và thời gian (theo mùa trong năm và theo thủy triều trong ngày) trong nước sông Sài Gòn – Đồng Nai;
- (2) Đưa ra được các chuỗi số liệu về hình dạng, kích thước, màu sắc, mật độ của vi nhựa trong nước sông Sài Gòn - Đồng Nai và trong nước thải đầu vào, đầu ra của các nhà máy xử lý nước thải tập trung trên lưu vực hai con sông này;
- (3) Định danh được các dạng vi nhựa trong tất cả các mẫu nước thải và nước mặt đã khảo sát.
- (4) Đề xuất được giải pháp giảm thiểu và sử dụng kết quả đánh giá phân tích SWOT về tính khả thi của giải pháp.

Mục tiêu của luận án

- Vận dụng quy trình thu mẫu và phân tích mẫu vi nhựa trong nước biển của NOAA vào quy trình thu mẫu vi nhựa trong môi trường nước mặt phù hợp trong điều kiện môi trường tại Việt Nam.
- Nghiên cứu đánh giá mật độ và xu hướng biến đổi đặc tính của vi nhựa trong nước mặt sông Sài Gòn - Đồng Nai;
- Nghiên cứu đánh giá mức độ nhiễm vi nhựa trong nước thải đầu vào và đầu ra, cùng với hiệu suất loại bỏ chúng của các nhà máy xử lý nước thải tập trung trên lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai;
- Đề xuất giải pháp giảm thiểu vi nhựa trong môi trường nước ngọt lục địa là nước sông Sài Gòn – Đồng Nai.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Kết quả nghiên cứu của Luận án góp phần hoàn thiện phương pháp luận trong nghiên cứu về vi nhựa trong môi trường nước mặt lục địa và đưa ra được hiện trạng nhiễm vi nhựa trong nước thải và nước mặt sông Sài Gòn – Đồng Nai. Các kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc quản lý và giảm thiểu nhiễm vi nhựa trong nước thải và nước mặt sông ở Việt Nam. Mặt khác, các kết quả Luận án còn có giá trị trong nghiên cứu mở rộng tiếp theo và giáo dục học thuật của các lĩnh vực liên quan.

Những đóng góp mới của luận án

- * Xác định được sự tồn tại và xu hướng biến đổi mật độ, kích thước, hình dạng và màu sắc của vi nhựa trong nước sông Sài Gòn - Đồng Nai theo mùa và thủy triều.
- * Xác định được hiệu quả loại bỏ vi nhựa trong nước thải và đề xuất được cơ chế loại bỏ vi nhựa ra khỏi dòng nước thải bởi các quy trình xử lý nước thải hiện có.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về chất thải nhựa và vi nhựa

1.1.1. Chất thải nhựa và vi nhựa

Trong những năm gần đây, vấn đề chất thải nhựa đã thu hút sự quan tâm sâu rộng của cộng đồng khoa học và xã hội. Một phần lớn lượng chất thải nhựa, sau khi bị loại bỏ, tiếp tục thâm nhập vào môi trường thông qua dòng chảy bề mặt, rò rỉ hoặc xả thải trực tiếp ra sông, biển, hồ... [1]. Đặc biệt, các sản phẩm bao bì nhựa dùng một lần — thường được sử dụng để đựng thực phẩm, đồ uống và dược phẩm — đang chiếm tới 61% lượng chất thải nhựa được ghi nhận tại các bãi biển trên toàn cầu [2]. Do đặc tính sử dụng ngắn hạn, các sản phẩm này nhanh chóng trở thành rác thải ngay sau khi sử dụng, góp phần vào sự tích tụ hơn 6,3 tỷ tấn chất thải nhựa trên toàn thế giới. Tuy nhiên, chỉ khoảng 9% trong số đó được tái chế, trong khi phần lớn (80%) bị chôn lấp hoặc phát tán gây ô nhiễm môi trường. Tình trạng này dẫn đến ước tính mỗi năm có khoảng 4 đến 12 triệu tấn nhựa bị thải ra đại dương [3]. Kể từ năm 2019, đại dịch Covid-19 bùng phát toàn cầu càng làm trầm trọng thêm vấn đề chất thải nhựa. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), nhu cầu về thiết bị bảo hộ cá nhân (PPE) dùng một lần đã tăng tới 40% [4]. Nếu mỗi người dân toàn cầu sử dụng một khẩu trang dùng một lần mỗi ngày, lượng rác thải nhựa y tế hàng tháng có thể lên tới 129 tỷ khẩu trang và 65 tỷ găng tay [5]. Tình trạng gia tăng tiêu thụ các sản phẩm nhựa trong đại dịch đã để lại hậu quả nghiêm trọng, làm tăng đột biến khối lượng chất thải nhựa trên phạm vi toàn cầu [6,7].

Các nghiên cứu gần đây cho thấy, trong số 10 quốc gia có mức tiêu thụ nhựa cao nhất trên thế giới, có đến 8 quốc gia thuộc khu vực châu Á, trong đó Việt Nam xếp thứ 4 [3,8]. Vòng đời của nhựa bao gồm ba giai đoạn chính: sản xuất, sử dụng và thải bỏ. Trong giai đoạn sản xuất, các nguồn nguyên liệu hóa thạch như than đá, khí đốt và dầu mỏ được chuyển hóa thông qua các quy trình xúc tác tiêu tốn nhiều năng lượng để tạo thành các sản phẩm nhựa. Giai đoạn sử dụng diễn ra rộng rãi trong đời sống hiện đại, dẫn đến sự tiếp xúc thường xuyên của con người với các hóa chất có trong nhựa. Nhựa dùng một lần chiếm tỷ trọng lớn nhất, tiếp theo là sợi tổng hợp.

Tuy nhiên, khâu cuối cùng — thải bỏ — lại đang là mắt xích yếu nhất khi hệ thống thu gom và tái chế nhựa toàn cầu chỉ đạt dưới 10% hiệu quả. Hằng năm, một lượng lớn chất thải nhựa bị xuất khẩu từ các quốc gia có thu nhập cao sang các nước đang phát triển và kém phát triển, nơi chúng thường bị xử lý bằng phương pháp chôn lấp hoặc đốt không kiểm soát. Điều này dẫn đến ô nhiễm không khí, nguồn nước, suy thoái các hệ sinh thái ven biển và cửa sông, và cuối cùng gây tổn hại đến sức khỏe con người — tạo nên một bất ổn môi trường ở quy mô toàn cầu.

Tại Việt Nam, chất thải nhựa chủ yếu bao gồm các loại như túi ni-lon, vỏ chai nhựa bần, sản phẩm nhựa dùng một lần và các loại nhựa khó thu hồi hoặc tái chế. Các loại chất thải này phát sinh từ nhiều nguồn khác nhau, cụ thể: (i) hoạt động sinh hoạt, tiêu dùng và đóng gói – chiếm khoảng 40% lượng nhựa được sản xuất, chủ yếu dưới dạng bao bì thực phẩm, đồ dùng sinh hoạt và sản phẩm công nghiệp [9]; (ii) lĩnh vực nông nghiệp – phát sinh từ vật liệu như ni-lon che phủ đất, bao bì phân bón, thuốc bảo vệ thực vật (chai nhựa, túi nhựa tráng kẽm), phần lớn được xếp vào nhóm chất thải nguy hại; (iii) lĩnh vực xây dựng – nhựa được sử dụng phổ biến trong cấu kiện như khung cửa, cửa nhựa, giàn giáo, bàn ghế, tủ và vải nhựa che phủ công trình; (iv) hoạt động du lịch – chất thải phát sinh từ khách du lịch, tàu thuyền và các cơ sở dịch vụ du lịch; (v) quá trình tái chế nhựa – phát sinh do thất thoát vật liệu hoặc loại bỏ các sản phẩm không thể tái chế lần trong nhựa thu gom [10].

Báo cáo tình hình chất thải nhựa năm 2022 do Tổ chức Quốc tế về Bảo tồn Thiên nhiên (WWF Việt Nam) phối hợp với Bộ Tài nguyên và Môi trường và Cục Biển và Hải đảo Việt Nam công bố cho thấy: (i) về thu gom, năm 2021 Việt Nam thu gom được khoảng 2,4 triệu tấn chất thải nhựa (tương đương 82% tổng phát sinh), tuy nhiên vẫn còn khoảng 0,53 triệu tấn (18%) không được thu gom, dẫn đến rò rỉ ra môi trường. Tỷ lệ thu gom có sự khác biệt lớn giữa các vùng, trong đó các khu vực như Trung du và miền núi phía Bắc, Tây Nguyên, và Đồng bằng sông Cửu Long có tỷ lệ thấp hơn đáng kể; (ii) về xử lý, phần lớn chất thải nhựa hiện nay vẫn được chôn lấp hoặc đốt, trong khi tỷ lệ tái chế còn khá thấp. Năm 2021, chỉ có khoảng 0,89 triệu tấn chất thải nhựa được đưa vào tái chế, và trong số đó chỉ 0,77 triệu tấn thực sự đi vào quy trình tái chế, do khoảng 10% bị thất thoát trong quá trình này.

Bên cạnh đó, Việt Nam cũng nhập khẩu một lượng lớn phế liệu nhựa nhằm phục vụ hoạt động tái chế. Năm 2022, tổng lượng nhập khẩu đạt khoảng 420.000 tấn, tăng 11% so với năm 2021. Tuy nhiên, hạ tầng tái chế trong nước hiện vẫn gặp nhiều khó khăn trong việc xử lý hiệu quả cả chất thải nhựa nội địa và nguồn nhập khẩu. Hiện chỉ khoảng 30% lượng chất thải nhựa trong nước được phân loại đúng cách, và theo ước tính, chỉ khoảng một phần ba lượng phế liệu nhập khẩu được đưa vào tái chế thực tế.

Tổng lượng chất thải nhựa phát sinh hàng năm chỉ được thu hồi một phần nhỏ để tái chế, phần lớn còn lại bị xử lý bằng hình thức thiêu đốt hoặc chôn lấp [11]. Trong tổng lượng chất thải rắn sinh hoạt cả nước, chất thải nhựa và túi ni-lon chiếm khoảng 10–12%, tương đương 2,6–2,8 triệu tấn riêng trong năm 2019. Một phần đáng kể của lượng chất thải này trôi nổi trên sông, hồ, vùng đất ngập nước, cửa sông và ven biển [12]. Theo thống kê, trung bình mỗi hộ gia đình Việt Nam sử dụng khoảng 10 túi ni-lon mỗi ngày, tương đương 1 kg túi mỗi tháng [8]. Việc sử dụng phổ biến bao bì nhựa và túi ni-lon

đang tạo ra áp lực rất lớn đối với môi trường, gây ô nhiễm nghiêm trọng đất, nước, không khí và hệ sinh thái biển, với nguy cơ tiềm ẩn về một "thảm họa ô nhiễm trắng".

Tại các đô thị, lượng túi nhựa sử dụng hàng ngày dao động từ 10,48 đến 52,4 tấn, nhưng chỉ khoảng 17% trong số này được tái sử dụng [10]. Đáng chú ý, mỗi năm có từ 2.000 đến 13.000 tấn mảnh vụn nhựa trôi nổi được ghi nhận trên các hệ thống kênh chính của đô thị [8].

1.1.2. Nguồn hình thành và phát sinh vi nhựa trong môi trường nước sông và nước thải

Thuật ngữ “vi nhựa” lần đầu tiên được giới thiệu bởi Thompson và các cộng sự vào năm 2004 nhằm cảnh báo về những tác động tiêu cực của chất thải nhựa đối với môi trường biển [13]. Kể từ thời điểm đó, vi nhựa đã trở thành một trong những vấn đề môi trường toàn cầu được quan tâm hàng đầu bởi cộng đồng quốc tế, bao gồm người dân, cơ quan quản lý, giới khoa học và truyền thông. Vi nhựa được hiểu là các hạt nhựa đã bị phân rã thành các dạng như sợi, mảnh, hạt, viên hoặc hình thù khác, với kích thước rất nhỏ, thậm chí không thể quan sát bằng mắt thường. Tại hội thảo quốc tế đầu tiên về vi nhựa do Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Hoa Kỳ (NOAA) tổ chức ở Washington, vi nhựa được định nghĩa là “các mảnh, hạt hoặc sợi nhựa có kích thước nhỏ hơn 5 mm” [14]. Định nghĩa này cũng được củng cố bởi Arthur và các cộng sự vào năm 2009, khi nhóm tác giả xác nhận rằng vi nhựa là các mảnh nhựa cực nhỏ có kích thước dưới 5 mm [15]. Từ các định nghĩa này, có thể rút ra kết luận rằng vi nhựa là các hạt nhựa có kích thước nhỏ hơn 5 mm và có mặt rộng rãi trong môi trường tự nhiên.

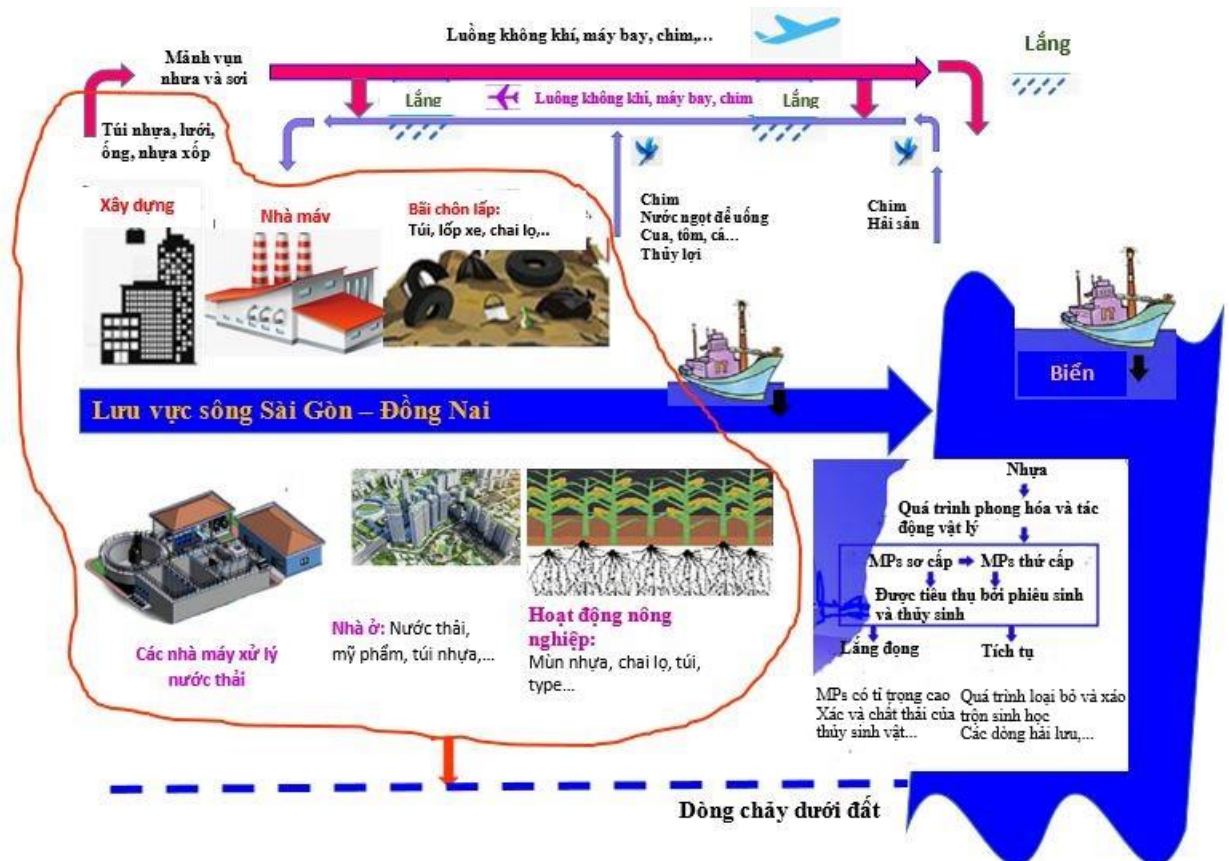
Dựa trên nguồn gốc phát sinh, vi nhựa được phân loại thành hai nhóm chính. Thứ nhất, vi nhựa nguyên sinh (hay vi nhựa sơ cấp) là các hạt nhựa được sản xuất và đưa vào sử dụng trực tiếp như nguyên liệu đầu vào trong các quy trình sản xuất công nghiệp. Chúng thường xuất hiện dưới dạng các viên nhựa nhỏ, với kích thước từ nanomet đến micromet, được sử dụng phổ biến trong các sản phẩm mỹ phẩm, chăm sóc cá nhân, chất tẩy rửa, công nghiệp hàng hải, và công nghệ giảm ma sát trong đúc khuôn. Thứ hai, vi nhựa thứ cấp là kết quả của quá trình phân rã các sản phẩm nhựa có kích thước lớn trong môi trường biển và trên cạn. Dưới tác động của các yếu tố vật lý, sinh học và hóa học, cấu trúc của các sản phẩm nhựa này bị phá vỡ dần, hình thành các mảnh nhựa nhỏ hơn và trở thành vi nhựa.

Trước thực trạng đó, việc thực hiện nghiên cứu nội dung luận án là thực sự cấp thiết và mang tính thời sự cao. Nghiên cứu không chỉ góp phần lấp đầy khoảng trống dữ liệu về vi nhựa trong nước mặt lục địa tại Việt Nam, mà còn tạo nền tảng khoa học quan trọng

cho việc xây dựng chính sách quản lý môi trường, thúc đẩy mô hình kinh tế tuần hoàn nhựa và bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

1.1.2.1. Con đường vận chuyển của vi nhựa vào nước sông Sài Gòn – Đồng Nai

Nguồn phát sinh vi nhựa trên các sông, kênh rạch liên quan đến các hoạt động nhân sinh, du lịch, vận tải... của con người (Hình 1.1). Phần lớn 98% vi nhựa có nguồn gốc từ các hoạt động của con người trên đất liền [14].



Hình 1. 1. Con đường vận chuyển của vi nhựa vào nước sông Sài Gòn – Đồng Nai

Nguồn vi nhựa từ các khu đô thị chủ yếu được vận chuyển qua các dòng chảy do mưa rửa trôi, hoặc từ sự mài mòn của các bề mặt nhựa phủ đường, cao tốc, đường bộ, đường ray, bãi đỗ xe, mái nhà, cùng với chất thải thực phẩm, chất thải, xăng dầu, cao su, lốp xe, v.v. Ô nhiễm vi nhựa từ hoạt động nông nghiệp cũng đóng góp đáng kể vào sự hiện diện của chúng trong dòng nước. Giống như các chất ô nhiễm khác, vi nhựa xâm nhập vào môi trường nước tự nhiên từ các hoạt động sinh hoạt, công nghiệp, thương mại hay nông nghiệp qua các dòng chảy nước mặt, nước mưa hoặc các dòng chảy từ cống thoát nước. Hướng phân bố và mật độ đa dạng của vi nhựa phụ thuộc vào các yếu tố tự nhiên như dòng chảy, gió, nhiệt độ và ánh sáng. Nguyên nhân chính dẫn đến nồng độ vi nhựa cao trong nước mặt là sự gia tăng đô thị hóa và mật độ dân số tại các khu vực này [16].

Hiện trạng thực tế hiện nay trong khu vực nghiên cứu của Luận án là thói quen xả rác bừa bãi của cộng đồng dân cư là một trong những nguyên nhân chính làm gia tăng ô nhiễm nhựa và vi nhựa trong môi trường nước sông. Cụ thể:

- Xả rác trực tiếp xuống sông: Nhiều người có thói quen vứt rác, bao bì nhựa, túi nylon và chai lọ nhựa xuống sông, ao hồ do sự tiện lợi hoặc thiếu ý thức bảo vệ môi trường. Khi rác nhựa bị cuốn trôi theo dòng nước, dưới tác động lực vật lý, hay các yếu tố tự nhiên nó phân rã thành các mảnh nhỏ hơn, tạo ra vi nhựa, gây nhiễm vi nhựa nguồn nước.

- Hệ thống thoát nước không kiểm soát rác thải nhựa: Ở nhiều khu vực đô thị trên lưu vực sông, chất thải nhựa từ sinh hoạt hằng ngày không được thu gom đúng cách mà bị cuốn vào hệ thống thoát nước. Khi trời mưa, rác từ cống thoát nước đô thị bị cuốn theo dòng chảy và đổ ra sông, biển. Điều này khiến lượng lớn vi nhựa tích tụ trong hệ sinh thái nước.

- Tích tụ rác tại các bãi rác lộ thiên ven bờ sông: Tại nhiều nơi, bãi rác lộ thiên được đặt gần các con sông. Khi có gió lớn hoặc mưa lũ, rác nhựa từ các bãi này bị cuốn xuống sông. Ngoài ra, quá trình phân hủy tự nhiên của rác nhựa ở bãi rác cũng tạo ra vi nhựa, và các hạt này dễ dàng thấm vào nguồn nước ngầm hoặc trôi ra sông.

- Hoạt động đánh bắt và nuôi trồng thủy sản: Trong ngành thủy sản, ngư dân thường sử dụng lưới đánh cá, dây nhựa, phao xốp và các vật dụng bằng nhựa. Khi những dụng cụ này hỏng, chúng có thể bị bỏ lại dưới lòng sông, biển, hoặc mục nát, tạo ra vi nhựa gây hại cho sinh vật thủy sinh.

- Thói quen sử dụng nhựa một lần và không tái chế: Sự gia tăng sử dụng nhựa dùng một lần (chai nước, túi nylon, hộp đựng thực phẩm, ống hút...) mà không có biện pháp thu gom và tái chế hợp lý khiến lượng rác thải nhựa bị xả ra môi trường tăng mạnh. Khi bị phân rã do tác động của ánh nắng, nước và vi sinh vật, chúng trở thành vi nhựa và lan truyền vào nguồn nước sông.

- Quá trình giặt giũ và xả thải vi nhựa từ sợi tổng hợp: Nhiều loại quần áo làm từ sợi tổng hợp (polyester, nylon) thải ra vi nhựa mỗi khi được giặt. Nước thải sinh hoạt từ quá trình giặt giũ thường không được lọc hết vi nhựa trước khi xả ra sông, góp phần làm tăng ô nhiễm vi nhựa trong nguồn nước

→ Hậu quả của ô nhiễm nhựa và vi nhựa trong sông Sài Gòn – Đồng Nai:

- ✓ Gây hại cho sinh vật thủy sinh: Động vật dưới nước có thể nuốt phải vi nhựa, dẫn đến suy dinh dưỡng, tổn thương nội tạng, và có thể chết.

chung của dòng nước mưa, dòng thải hay qua các cống, hố tập trung, nơi các dòng nước thải khác nhau hợp dòng và chuyển tiếp. Sự xuất hiện của vi nhựa (cả nguồn sơ cấp và thứ cấp) trong dòng thải chủ yếu xảy ra khi chúng được đưa vào các nhà máy xử lý nước thải và rò rỉ vào nguồn tiếp nhận [17]. Vì vi nhựa có kích thước nhỏ hơn 5mm, chúng dễ dàng bị cuốn theo dòng nước chảy vào cống, rãnh thoát nước và tập trung tại đầu vào của các quá trình xử lý nước thải trong các nhà máy. Tại đó, chúng sẽ được xử lý theo công nghệ đặc trưng của từng nhà máy, tùy thuộc vào tính chất và các thành phần khác trong dòng thải.

1.2. Đặc tính của vi nhựa và tác động của chúng đến hệ sinh thái môi trường và sức khỏe con người

1.2.1. Đặc tính của vi nhựa

Đặc tính về hình dạng: Theo nghiên cứu của Strady và cộng sự (2021), phân loại hình dạng của vi nhựa được nghiên cứu theo nguyên tắc: i) Sợi vi nhựa là các vật chất nhựa sợi dài, có chiều dài lớn hơn đáng kể so với chiều rộng của nó; ii) Mảnh vi nhựa là vật chất nhựa có hình dạng bất thường, dạng mảnh, miếng; iii) Hạt vi nhựa là vật chất nhựa dạng hạt cứng, các hạt dẻo phẳng có các cạnh nhẵn hoặc góc cạnh, hoặc các hạt hình dáng gần như hình cầu [18].

Đặc tính hóa lý: Một số đặc điểm chung của vi nhựa là chúng có tính chất cơ học, dẻo, khả năng chịu được lực xé và lực va chạm mạnh, chống thấm khí và thấm nước mạnh, có độ bền cao. Theo Quinn và cộng sự (2017), khối lượng riêng của một số loại nhựa phổ biến được trình bày trong Bảng 1.1 [19].

Bảng 1. 1. Khối lượng riêng của các loại nhựa thường gặp

Tên loại nhựa	Ký hiệu	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Ứng dụng
Low-density polyethylene	LDPE	0,91-0,93	Túi nhựa, chai nhựa...
High-density polyethylene	HDPE	0.94–0.97	Hộp đựng sữa, nước trái cây...
Polypropylene	PP	0.83–0.92	Can nhựa, lưới nhựa...
Polystyrene	PS	1.04–1.10	Hộp nhựa đựng thực phẩm
Thermoplastic Polyester	PET	0.96–1.45	Chai, thùng nhựa...
Poly(vinyl chloride)	PVC	1.16–1.58	Cốc nhựa, phim, chai nhựa

1.2.2. Ảnh hưởng của vi nhựa đến hệ sinh thái môi trường và sức khỏe con người

Mặc dù con người có thể tiếp xúc với vi nhựa bởi nhiều con đường khác nhau như qua da, qua hô hấp, tiêu hóa..., nhưng các nghiên cứu về tác động bất lợi của vi nhựa đối với cơ thể người vẫn còn ít bằng chứng khẳng định. Bằng chứng gần đây chỉ ra rằng con

người liên tục hít phải và ăn phải vi nhựa thông qua hải sản bị ô nhiễm, bao gồm cả cá và động vật có vỏ. Dựa trên phân tích của WHO về nghiên cứu hiện tại liên quan đến vi nhựa, hiện có rất ít bằng chứng cho thấy vi nhựa đang gây ra những tác động tiêu cực đáng kể đến sức khỏe. Tuy nhiên mặc dù ít nhưng không có nghĩa là không có sự tác động tiêu cực đến sức khỏe con người.

Vi nhựa và các hóa chất liên quan là nguyên nhân gây ô nhiễm trên diện rộng. Chúng làm ô nhiễm môi trường nước (biển và nước ngọt), trên cạn và khí quyển trên toàn cầu. Đại dương là điểm đến cuối cùng của nhiều loại nhựa và vi nhựa được tìm thấy. Nhiều loại rác nhựa dường như chống lại sự phân hủy của môi trường và có thể tồn tại trong nhiều thập kỷ. Các vi nhựa đã được xác định trong hàng trăm loài sinh vật, bao gồm các loài được con người tiêu thụ. Con người có thể bị nhiễm độc tế bào, nhiễm độc thần kinh, rối loạn hệ thống miễn dịch và chuyển vi nhựa sang các mô khác sau khi tiếp xúc với chúng [20]. Theo nhiều nghiên cứu khác nhau, vi nhựa đã được tìm thấy trong các loại cá ăn được và do quá trình ngưng tụ sinh học, vi nhựa xâm nhập vào hệ thống của cơ thể con người [21-23]. Sự suy giảm do vi nhựa gây ra ở các loài khác nhau, từ sự xáo trộn tối thiểu trong hệ thống sinh học đến những hậu quả bất lợi đáng kể dẫn đến tử vong [24-25]. Chúng cũng đóng vai trò trung gian vận chuyển chất ô nhiễm hữu cơ và kim loại dạng vi lượng đến môi trường nước [26]. Vi nhựa ảnh hưởng đến hành vi săn mồi của cá gây nhầm tưởng vi nhựa là thức ăn [27], dẫn đến sự tích trữ vi nhựa trong mang, ruột và dạ dày [28-30], vi nhựa cũng được tìm thấy trong cơ, mô, thịt cá [31-34]. Tích tụ vi nhựa gây chậm tăng trưởng, rối loạn nội tiết tố, rối loạn trao đổi chất, stress oxy hóa, trục trặc về miễn dịch và nhiễm độc thần kinh cũng như thay đổi hành vi nhiễm độc gen [28, 35].

Vi nhựa xâm nhập vào hệ thống sinh học theo nhiều cách như qua da, nuốt hoặc hít. Các sinh vật lớn hơn cũng có thể ăn các sinh vật nhỏ có chứa vi nhựa. Các sinh vật dưới nước như sinh vật nhuyễn thể, cá và tôm có thể tiêu thụ và chuyển vi nhựa lên bậc dinh dưỡng cao hơn, dẫn đến tích lũy sinh học trong chuỗi thức ăn. Những vật chất vi nhựa này đã được tìm thấy ở nhiều loài bao gồm san hô, giun, loài giáp xác, động vật thân mềm, cá và hải sâm... Việc tiêu thụ vi nhựa có thể dẫn đến nhiều tác động khác nhau, chẳng hạn như vi nhựa bám vào bề mặt cơ quan (da) làm giảm khả năng vận động, gây tắc nghẽn đường tiêu hóa và dẫn đến các triệu chứng viêm, suy giảm khả năng phát triển... [36].

Động vật thủy sinh được sử dụng làm nguồn thức ăn cho con người, chẳng hạn như cá, tôm, sò,...chúng có thể ăn và tích tụ vi nhựa trong đường tiêu hóa của chúng gây nguy cơ sức khỏe cho con người. Ví dụ, cá thuộc họ *Melanotaenia fluviatilis* tiêu thụ vi nhựa và tích lũy hàm lượng cao cá Ete Diphenyl Polybrominated (PBDE) trong thịt của chúng

[37]. Tương tự, cá vược (*Perca fluviatilis*) ăn và tích tụ vi nhựa có thể bị suy giảm khả năng phát triển, hạn chế sinh sản và thay đổi hành vi, làm tăng nguy cơ gây hại cho con người khi tiêu thụ chúng [36]. Các nhà nghiên cứu cũng đã tìm thấy vi nhựa trong đường tiêu hóa của loài trai, lưu ý đến tác động tiêu cực của các hợp chất liên kết nhựa (chẳng hạn như Hydrocarbon thơm đa vòng (BaP-Benzo(a)pyrene) đối với các gen chống oxy hóa và gây căng thẳng ở những sinh vật này [38]. Hơn nữa, các vi nhựa có chứa Axit Polylactic đã được phát hiện có tác dụng tăng cường hô hấp ở con hàu [36]. Mặt khác, nhựa có thể trực tiếp hoặc gián tiếp ảnh hưởng đến chất lượng môi trường như thay đổi cường độ ánh sáng trong thủy vực và đặc điểm của trầm tích [39].

Trước khi phân hủy thành vi nhựa, nhựa có thể chứa một lượng đáng kể các chất phụ gia như Phthalates và Bisphenol A, những chất này có khả năng gây rối loạn nội tiết ở cả động vật có xương sống và không xương sống, ngay cả khi ở nồng độ thấp [36]. Bên cạnh đó, các chất ô nhiễm khác phát sinh từ nhựa, như Nonylphenol, Triclosan, Phenanthrene và Ete Polybrom Diphenyl (PBDE-47), có thể gây viêm, giảm sức sống và thay đổi hành vi của sinh vật [36]. Vi nhựa, với bề mặt lớn và tính kỵ nước, có khả năng hấp thụ các chất ô nhiễm hữu cơ như Hydrocarbon thơm đa vòng (PAHs), Ete Diphenyl Polybrominated (PBDE), Biphenyl Polychlorin (PCB) và Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane (DDT), điều này có thể ảnh hưởng tiêu cực đến sinh vật khi chúng nuốt phải vi nhựa [36].

Nhựa chiếm khoảng 80-85% tổng lượng chất thải rắn tìm thấy trong đại dương, với các kích thước hạt khác nhau [36], trong đó khoảng 80% có nguồn gốc từ đất liền, chỉ 18% từ các hoạt động nuôi trồng và đánh bắt thủy sản [40]. Bão, lũ lụt và gió mạnh có thể nhanh chóng vận chuyển nhựa từ đất liền vào các vùng nước. Tại các nhà máy xử lý nước thải, việc loại bỏ hoàn toàn các hạt vi nhựa khỏi nước thải vẫn chưa được thực hiện hiệu quả [40].

Các nghiên cứu về vi nhựa và độc tính của chúng trong môi trường biển đã được triển khai nhiều hơn so với trong môi trường nước ngọt [39]. Các nhà khoa học thường sử dụng sinh vật biển thay vì sinh vật nước ngọt trong thử nghiệm độc tính của vi nhựa [41]. Nhựa và vi nhựa rất khó làm sạch do chúng tồn tại phổ biến trong nhiều loại môi trường nước trên toàn thế giới. Sự hiện diện, nguồn gốc, sự phân tán và tác động của vi nhựa vẫn chưa được hiểu rõ hoàn toàn trong cả nước ngọt và đại dương [40]. Tốc độ phân hủy và quá trình phân hủy của nhựa thành vi nhựa vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ, điều này gây ra những lo ngại về môi trường, sinh thái và sức khỏe con người. Việc ngăn chặn và quản lý vi nhựa là một thách thức lớn vì vi nhựa rất nhỏ và khó nhìn thấy, khiến cho các phương pháp và giải pháp làm sạch chúng trở nên phức tạp [36]. Mặc dù độc tính của vi nhựa đối với một số sinh vật trong nước đã được thử nghiệm và báo cáo, nhưng các

ngiên cứu về tác động tiêu cực của vi nhựa và các chất phụ gia trong chất thải nhựa đối với sinh vật dưới nước vẫn còn hạn chế [41]. Thêm vào đó, phản ứng tổng thể của các sinh vật dưới nước, đặc biệt là sinh vật phù du, đối với vi nhựa và phụ gia nhựa khi tiếp xúc kéo dài vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ [39].

Việc sử dụng vi nhựa trong các sản phẩm chăm sóc sắc đẹp đã bị cấm ở nhiều quốc gia tại châu Âu (như Hà Lan, Áo, Bỉ, Thụy Điển) và Bắc Mỹ (Canada, Hoa Kỳ). Tuy nhiên, tại Việt Nam, mặc dù có các quy định cụ thể về chất thải nhựa, nhưng vẫn thiếu các cảnh báo hoặc lệnh cấm cũng như các quy chuẩn, tiêu chuẩn về vi nhựa. Vi nhựa có mặt rất phổ biến ở sông hồ, nhưng vẫn chưa được đưa vào các quy định an toàn. Các mảnh nhựa lớn có thể bị phân hủy bởi nhiều yếu tố khác nhau như quá trình sinh học, ánh sáng, nhiệt độ, cơ học, oxy hóa và thủy phân. Quá trình phân hủy nhựa bắt đầu bằng oxy hóa dưới tác động của ánh sáng mặt trời, sau đó là oxy hóa nhiệt, dẫn đến hình thành các sản phẩm phân hủy là vi nhựa có kích thước vi mô hoặc nano [40]. Các mảnh nhựa nhỏ có thể tiếp tục phân hủy qua các quá trình sinh học, trong đó carbon cấu trúc chuyển thành CO_2 và trở thành một phần của sinh khối [40]. Quá trình phân hủy nhựa trôi nổi trong nước bị cản trở bởi nhiệt độ và nồng độ oxy thấp, khiến cho nhựa lớn hơn phân hủy thành vi nhựa trên đất liền nhanh hơn so với trong nước [40]. Người ta ước tính rằng việc phân hủy hoàn toàn nhựa có thể mất hàng trăm, thậm chí hàng nghìn năm [40]. Vì vậy, để giải quyết vấn đề vi nhựa, cần có sự phối hợp chặt chẽ giữa các nhà khoa học, cơ quan quản lý và nâng cao nhận thức cộng đồng.

1.3. Các phương pháp phân tích vi nhựa

Phân tích định danh vi nhựa hiện nay, các nhà nghiên cứu và kỹ thuật phân tích áp dụng chủ yếu là các phổ hồng ngoại huỳnh quang như thiết bị quang phổ FTIR-ATR, kính điện tử SEM, kính hiển vi soi nổi, Raman hay đầu dò phối phổ Py-GC/MS [42]. Các phương pháp đều có những ưu nhược điểm khác nhau, Sau đây là một số phương pháp định danh vi nhựa hiện đại thường được sử dụng.

1.3.1. Phương pháp hiển vi huỳnh quang với thuốc nhuộm Nile Red

Phương pháp hiển vi huỳnh quang (Fluorescence microscopy) sử dụng thuốc nhuộm Nile Red để nhuộm bề mặt của vật chất, như là vi nhựa. Tín hiệu huỳnh quang thu được từ quá trình này giúp kỹ thuật viên xác định số lượng, hình dạng và kích thước của vi nhựa. Khi được chiếu sáng bằng ánh sáng có bước sóng ngắn và năng lượng cao, các điện tử trong phân tử vi nhựa được kích thích lên quỹ đạo cao hơn với mức năng lượng lớn hơn. Khi các điện tử quay lại quỹ đạo cũ, chúng phát ra ánh sáng với bước sóng dài hơn và năng lượng thấp hơn, thường nằm trong phổ ánh sáng nhìn thấy, tạo ra hình ảnh huỳnh quang. Ưu điểm của kỹ thuật này là có thể định lượng vi nhựa, xác định kích

thước và hình dạng của chúng với chi phí thấp hơn so với các phương pháp quang phổ hồng ngoại và sắc ký. Tuy nhiên, phương pháp này không thể định danh vi nhựa chính xác và dễ bị nhầm lẫn với các vật chất khác, vì chúng cũng có thể bị nhuộm bởi Nile Red [43].

1.3.2. Phương pháp quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier FTIR

Các nhóm phân tử hay nguyên tử trong phổ hồng ngoại (IR) hấp thụ bức xạ hồng ngoại và gây ra các sóng dao động. Các IR khác nhau tùy thuộc vào các liên kết khác nhau của vật chất phân tử mẫu, bên cạnh đó các nhóm chức khác nhau cũng có các tần số hấp thụ phổ hồng ngoại khác nhau. Nhờ vào đó, để định danh vi nhựa hay để xác định cấu trúc phân tử của chúng có thể dựa vào các tần số của IR. Các chủng loại polyme của vi nhựa sẽ dễ dàng được xác định bằng phương pháp này. Các chế độ truyền đi và phản xạ [44-46] hay độ phản xạ tổng suy giảm (ATR) [47-48] được tích hợp sẵn trong kỹ thuật FTIR. ATR tạo ra các phổ không ổn định ở chế độ phản xạ, hay nói cách khác nếu đồng chất nhưng bề mặt vi nhựa không đều, ATR vẫn tạo ra các phổ ổn định. Hơn nữa, phương pháp này không cần bước chuẩn bị xử lý mẫu trước khi phân tích đối với vật chất vi nhựa trong suốt và có bề dày.

1.3.3. Phương pháp quang phổ Raman

Raman là phương pháp không cần phá hủy mẫu mà vẫn xác định được cấu trúc phân tử vật chất của vi nhựa, nó phân tích được cả định tính và định lượng vật chất nhựa. Nguyên lý cơ bản là dùng ánh sáng đơn sắc (laser) phát hiện các ánh sáng tán xạ. Một phần ánh sáng tán xạ bị thay đổi năng lượng thành các tán xạ không đàn hồi hay gọi là hiệu ứng Raman [49-50]. Tương tự như FTIR, nhưng các chùm tia laser với đường kính nhỏ hơn nên có thể xác định được các vi nhựa chỉ vài µm [51]. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp Raman là có thể dễ dàng xác định ngay cả các chất phụ gia trong nhựa, gây cản trở mục tiêu định danh chúng [49].

1.3.4. Phương pháp Py – GC/MS

Py-GC/MS (Pyrolysis–gas chromatography–mass spectrometry) là phương pháp sắc ký khí nhiệt phân, cho phép phân tích mẫu mà không cần qua bước xử lý trước. Quá trình phân tích gồm ba giai đoạn: nhiệt phân, tách và xác định. Trong giai đoạn nhiệt phân, mẫu được phân hủy nhiệt trong điều kiện không có oxy (trên 600°C) trong khoảng thời gian 10 giây. Quá trình gia nhiệt thường được thực hiện bằng kỹ thuật điện trở, gia nhiệt cảm ứng hoặc lò đẳng nhiệt. Giai đoạn tách: Sau khi mẫu bị phân hủy thành các phân tử nhỏ và các chất dễ bay hơi, chúng sẽ được bơm vào thiết bị GC ở nhiệt độ 300°C, sử dụng khí Heli, và đưa vào cột GC dài 30 m. Cột GC duy trì nhiệt độ từ 40 – 320°C trong tủ sấy, nơi hỗn hợp được tách ra tùy theo độ bay hơi của các thành phần. Giai đoạn định

tính và định lượng: Các phân tử dễ bay hơi được tích điện (ion hóa) và phân tách trong trường điện từ theo khối lượng của chúng. Phổ khối lượng của các chất được phát hiện bởi máy dò ion [52-55]. Tuy nhiên, phương pháp này gần như phá hủy mẫu vì nhựa do quá trình gia nhiệt, điều này gây khó khăn cho các bước phân tích tiếp theo. Hơn nữa, dữ liệu định danh nhựa trong phương pháp này còn hạn chế về số lượng và thư viện dữ liệu của thiết bị cũng khá ít ỏi.

1.4. Các nghiên cứu trong và ngoài nước về vi nhựa

1.4.1. Vi nhựa trong nước sông

Ô nhiễm đại dương và hệ sinh thái nước ngọt với chất thải nhựa là vấn đề đáng lo ngại vì đặc tính bền của nhựa tổng hợp trong môi trường nước dẫn đến tích tụ nhựa cao theo thời gian [1]. Các con đường khác nhau mà nhựa đi vào môi trường nước và phân bố rộng rãi rác nhựa từ các hồ [56] và sông [57-58] đến các khu vực ven biển, bờ biển, đáy biển, đảo [59-69].

Người ta ước tính rằng khoảng 80% các mảnh vụn biển có nguồn gốc từ đất liền [70]. Đặc biệt là các con sông đã được chứng minh là bị ô nhiễm nặng bởi chất thải nhựa [60-61, 71] và có khả năng mang lượng nhựa này ra đại dương. Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã điều tra tình trạng ô nhiễm nhựa của các vùng ven biển, chủ yếu là các bãi biển. Năm 2002, một đánh giá của Derraik (2002) đã liệt kê 37 nghiên cứu đánh giá thành phần của các mảnh vụn biển về hàm lượng nhựa, 24 trong số đó là trên các bãi biển. Ô nhiễm nhựa của các bãi biển đã được phát hiện có tương quan với các khu vực đô thị [72] nhưng các bờ biển cũng là một bể chứa chất thải nhựa được trôi qua các đại dương và sau đó lắng đọng trong các khu vực gió xuôi chiều do chuyển động của thủy triều [63, 73].

Các cửa sông là nơi chuyển tiếp từ hệ thống thoát nước ngọt trên đất liền ra biển, chúng thường dễ bị nhiễm bởi các chất ô nhiễm do con người gây ra trong đó có nhựa [63, 74-76]. Ngoài ra, đầu vào nhựa từ đại dương tạo ra một con đường xâm nhập tiềm ẩn [63]. Các mẫu nước được phát hiện mật độ nhựa cao lên đến trên 4.137,3 mảnh nhựa/m³ trong lưới kéo từ cửa sông Dương Tử, Trung Quốc [77]. Số lượng các công bố về ô nhiễm nhựa trong môi trường nước ngọt cũng đang tăng lên, chủ yếu là từ năm 2014. Nghiên cứu được công bố từ năm 2011 đến năm 2014 về vi nhựa trong các thủy vực nước ngọt ở Châu Á, Châu Âu và Bắc Mỹ đã được khảo sát [39], và các nghiên cứu bổ sung ở các địa điểm Châu Mỹ, Châu Á, Châu Âu và Châu Phi đã được xuất bản vào năm 2015 và 2016. Ô nhiễm từ các bãi rác hoặc chất thải nhân tạo đã được báo cáo nhưng cũng có các mảnh nhựa nhỏ và sợi do các sản phẩm tiêu dùng và quần áo thải ra [1] góp phần gây ô nhiễm môi trường nước ngọt. Faure và cộng sự (2015) cũng đã thực hiện một

nghiên cứu nhằm mở rộng diện tích tập dữ liệu về ô nhiễm vi nhựa trong nước mặt Thụy Sĩ (các hồ Geneva, Constance, Neuchatel, Maggiore, Zurich và Brienz), phát hiện vi nhựa trong tất cả các mẫu được thu thập [77]. Nghiên cứu khảo sát mức độ vi nhựa trong nước mặt của 20 hồ đô thị và các khu đô thị sông Dương Tử tại Vũ Hán, Trung Quốc có vi nhựa dao động từ $1.660,0 \pm 639,1$ đến 8.925 ± 1.591 vi nhựa/ m^3 đối với vùng nước được nghiên cứu, cao nhất được tìm thấy là hồ Bei [58]. Điều này phù hợp với dữ liệu từ sông Rhine ở Châu Âu nơi đã báo cáo PS là thành phần cao nhất trong số ước tính 191 triệu vi nhựa mà sông vận chuyển hàng ngày [78]. Ô nhiễm vi nhựa trong môi trường nước ngọt đã bắt đầu thu hút sự chú ý trên toàn thế giới [79]. Các nghiên cứu cho rằng các nhà máy xử lý nước thải và nước thải công nghiệp là nguồn gây ô nhiễm vi nhựa trong hệ sinh thái nước ngọt [80-82]. Những nghiên cứu này cho thấy rằng vi nhựa không chỉ là chất gây ô nhiễm biển mà còn là chất gây ô nhiễm nước ngọt đáng kể [83]. Mười năm qua đã chứng kiến sự gia tăng nhanh chóng các nghiên cứu về sự hiện diện của vi nhựa trong môi trường nước ngọt bao gồm: sông, hồ, ao và hồ chứa [79]. Kết quả đã chứng minh số lượng vi nhựa đáng báo động trong các hệ sinh thái này, ngay cả một hồ trên núi xa xôi ở Mông Cổ cũng bị ô nhiễm bởi vi nhựa [84]. Hầu như 99,9% vi hạt nhỏ hơn 2mm (vi nhựa nguyên sinh, vi nhựa vật liệu) được tìm thấy trong các sản phẩm dành cho da mặt của con người [85]. Tuy nhiên, nồng độ của các hạt được báo cáo trong các nghiên cứu nước ngọt thiếu nhất quán, đặc biệt là họ đã sử dụng các phương pháp và đơn vị lấy mẫu khác nhau để định lượng [80].

Sông Sài Gòn chảy qua thành phố Hồ Chí Minh, nơi có dân số hơn 10 triệu người [86]. Giống như nhiều thành phố lớn ở Đông Nam Á, nơi đây đang đối mặt với vấn đề nghiêm trọng về quản lý chất thải rắn, với khoảng 8.175 tấn chất thải rắn được tạo ra mỗi ngày [87]. Sông Sài Gòn hiện được xếp là con sông xả ra nhiều nhựa thứ 4 ở Việt Nam và thứ 45 trên thế giới [90]. Đến nay, một số nghiên cứu đã được tiến hành để đánh giá ô nhiễm chất thải nhựa và vi nhựa tại miền Nam Việt Nam [89-90]. Nhóm nghiên cứu của Van Emmertik và cộng sự đã trình bày một số phương pháp ước tính lượng vi nhựa nổi trên lớp nước mặt (từ 0 - 70 cm dưới mặt nước) của sông Sài Gòn, đặc biệt tại cầu Thủ Thiêm [91]. Kết quả cho thấy nồng độ ô nhiễm vi nhựa cao nhất ở vùng biển Tiền Giang và thấp nhất ở vùng biển Cần Thơ, với kích thước vi nhựa dao động từ 0,25-0,5mm và 1-2,8mm, màu sắc khá đa dạng [92]. Van Emmerik và các cộng sự đã khảo sát phương pháp phát thải vi nhựa ra biển, áp dụng cho sông Sài Gòn. Kết quả nghiên cứu chỉ ra nồng độ ô nhiễm vi nhựa cao gấp 4 lần so với những công bố trước đây [91]. Trong khi đó, nghiên cứu của Lisa Lahens và cộng sự (2018) về ô nhiễm vi nhựa tại sông Sài Gòn, thực hiện tại kênh Nhiêu Lộc-Thị Nghè, đã ước tính tổng lượng mảnh vụn nhựa ở thượng lưu sông Sài Gòn vào năm 2018 là $1,1 \times 10^3$ tấn/năm [92]. Thêm vào đó, nghiên cứu của Bùi và cộng sự (2020) đã cung cấp thông tin về các công nghệ áp dụng để loại bỏ vi nhựa

trong hệ thống xử lý nước thải, đồng thời đánh giá các đặc điểm, nguồn phát thải, đường vận chuyển và tác động của vi nhựa đối với sức khỏe con người và hệ sinh thái [93].

Một số nghiên cứu sơ bộ về hạt vi nhựa trong môi trường trầm tích tại khu vực Cần Giờ và cửa Ba Lạt đã chỉ ra dấu hiệu ô nhiễm từ chất thải nhựa trong môi trường [92, 94-95]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chưa cung cấp thông tin chi tiết về quy trình tách và phân loại vi nhựa trong môi trường trầm tích phù hợp với điều kiện của Việt Nam.

Mức vi nhựa được đo ở hồ Trị An và sông Đồng Nai của tỉnh Đồng Nai, sông Sài Gòn của TP.HCM, hồ Dầu Tiên của tỉnh Tây Ninh và sông Vàm Cỏ của tỉnh Long An, miền Nam Việt Nam dao động khoảng 2.522 vi nhựa/m³ (dự án COMPOSE (2019-2021) và dự án CounterMEASUREII (2021-2022) [96]. Hầu hết các loại nhựa phổ biến (PE, PET, PA, PP, PVC, PS và PMMA) đã được phát hiện và hầu hết chúng đều ở dạng sợi nhỏ hơn 5000 μm . Tổng lượng vi nhựa giảm dần từ nguồn nước đô thị (lên tới 220 vi nhựa /lít) thông qua Khu dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ UNESCO (10 vi nhựa /lít) và đến Biển Đông (3 vi nhựa/lít), điều này cho thấy vai trò tiềm năng của rừng ngập mặn trong việc giảm các chất gây ô nhiễm biển bao gồm vi nhựa.

Trong một nghiên cứu của Emilie Strady và cộng sự (2020) về sông Sài Gòn, nồng độ vi nhựa dạng sợi nhân tạo dao động từ 22 đến 251 sợi mỗi lít nước, chưa tính đến các yếu tố tác động như lượng mưa, lưu lượng nước hay các yếu tố phi sinh học khác. Ước tính mỗi năm có từ 115 đến 164 x 10¹² sợi vi nhựa được thải ra đại dương từ sông Sài Gòn [97]. Các nồng độ vi nhựa đo được thấp hơn so với kết quả trước đây tại sông Sài Gòn và các kênh rạch đô thị, nơi nồng độ lên tới 251.000 sợi nhân tạo/m³ với giới hạn quan sát từ 40 đến 5.000 μm . Sông Sài Gòn chịu ảnh hưởng đáng kể từ ngành dệt may, trong đó các mảnh nhựa chiếm dưới 1% tổng số hạt nhựa được xác định [97].

1.4.2. Vi nhựa trong nước thải

Ngày càng có nhiều sự tập trung vào việc xem xét mối quan hệ giữa xả thải vi nhựa từ các nhà máy xử lý nước thải (NMXLNT) và lượng vi nhựa dồi dào trong kênh tiếp nhận [98-100]. Nồng độ vi nhựa ở hạ lưu của NMXLNT cao hơn so với thượng lưu - dựa trên các quan sát trên kênh North Shore ở Chicago [98] và ở sông Raritan ở New Jersey, Hoa Kỳ [100]. Tuy nhiên, không có quá trình xâm nhập từ thượng lưu đến hạ lưu được quan sát thấy ở các khu đô thị ở Paris [99]. Tải lượng từ NMXLNT và hiệu quả loại bỏ của các giai đoạn xử lý khác nhau cũng đã được xem xét [101, 102-106]. Ví dụ, ở New York, lượng xả lần lượt là 109.556 vi nhựa/ngày, 81.911 vi nhựa/ngày và 1.061.953 vi nhựa/ngày đã được báo cáo cho ba NMXLNT khác nhau [102], trong khi lượng xả thải trung bình hàng năm là 9×10⁸ vi nhựa/năm được báo cáo từ một NMXLNT ở Đức [103]. Trong một nhà máy nhỏ hơn ở Langeviksverket ở Lysekil, Thụy Điển, phục vụ khoảng

12.000 dân số, mặc dù hầu hết các vi nhựa đi vào nhà máy xử lý được đo lường để giữ lại trong bùn nước thải nhưng nhà máy vẫn thải ra vi nhựa [104]. Các vi nhựa được biết là đi vào các nhà máy xử lý nước thải thông qua các sản phẩm sinh hoạt; giặt quần áo [107-108], sản phẩm chăm sóc cá nhân [109-110]. Các nghiên cứu gần đây được thực hiện trong NMXLNT ở Glasgow [101] và Nam California [105] đã quan sát thấy việc xử lý có hiệu quả trong việc giữ lại các vi nhựa thông qua loại bỏ cát, bùn lắng và dầu mỡ (Glasgow); và quá trình lọc và lắng (California). Tuy nhiên, trong cả hai nghiên cứu, các nhà máy xử lý thứ cấp tiếp tục thải vi nhựa với lượng tương đương 65 triệu vi nhựa/ngày. Có thể là nhà máy xử lý lớn hơn sẽ đóng góp lượng vi nhựa lớn hơn, do đó, một bước xử lý bổ sung trước khi xả nước thải ra nguồn tiếp nhận có thể giúp giảm nồng độ vi nhựa nên được cân nhắc. Dự báo này dựa trên việc quan sát một số ít hoặc không có vi nhựa trong dòng chảy cấp ba của một NMXLNT ở Nam California [105]. Tuy nhiên, các nghiên cứu định lượng xem xét việc loại bỏ ở mỗi giai đoạn của quá trình xử lý chưa phổ biến, khiến đây là lĩnh vực được ưu tiên cho các nghiên cứu vi nhựa tiếp theo.

Các nghiên cứu về vi nhựa trong nước thải tại các hệ thống xử lý nước thải ở Việt Nam hiện tại chỉ mới mô tả một cách tổng quát, chưa thực hiện phân tích định lượng về số lượng, kích thước hạt và tác động của vi nhựa đến sức khỏe con người cũng như sinh vật. Hơn nữa, vẫn thiếu các cơ sở khoa học vững chắc để đề xuất các giải pháp bảo vệ nguồn nước khi xả nước thải vào môi trường nước mặt, điều này đang là một vấn đề cấp bách cần được chú trọng. Quy trình xử lý nước thải của một hệ thống xử lý thông thường thường bao gồm các giai đoạn: xử lý sơ bộ, xử lý bậc 1, xử lý bậc 2 và xử lý bậc 3 (Bảng 1.2).

Bảng 1. 2. Phương pháp xử lý một số hợp chất lơ lửng, vô cơ có trong nước thải

Vật chất	XỬ LÝ CẤP BẬC 1	XỬ LÝ CẤP BẬC 2	XỬ LÝ CẤP BẬC 3
Vật chất cặn và lơ lửng trong nước	Song và lưới chắn rác, lắng cặn, cát sơ bộ	Giai đoạn keo tụ và đông tụ bằng hóa chất, lắng lọc bông cặn	
Vật chất nhẹ, dầu và mỡ	Tuyển nổi hay tách dầu bằng bể tách trọng lực	Giai đoạn tuyển nổi và keo tụ	
Xyanua		Giai đoạn xử lý bìn hoạt tính, oxy hóa khử các chất	Thực hiện điện phân Lọc bằng màng thẩm thấu ngược

Chất Crom		Khử muối C^{+6} trở thành muối C^{+3} Keo tụ và lắng lọc bông cặn	Lọc bằng trao đổi ion Thực hiện điện phân Lọc bằng màng thẩm thấu ngược
Các vật chất kim loại nặng		Keo tụ, đông tụ, oxy hóa khử và lắng, lọc	Lọc bằng trao đổi ion Thực hiện điện phân Lọc bằng màng thẩm thấu ngược
Chất Clo và các hợp chất của nó		Dùng kiềm trung hòa	Sử dụng than hoạt tính

Trong các thiết kế hệ thống xử lý nước thải tại Việt Nam hiện nay hầu như không có kỹ thuật công nghệ khử vi nhựa mà chỉ có thể loại bỏ theo hướng tách chúng khỏi dòng chảy. Quy trình xử lý nước thải của một hệ thống xử lý thông thường bao gồm: xử lý cấp sơ bộ, xử lý cấp bậc 1, xử lý cấp bậc 2, xử lý cấp bậc 3 và hiệu suất loại bỏ vi nhựa trong các giai đoạn xử lý này được trình bày trong Bảng 1.3 [112].

Bảng 1. 3. Hiệu suất của các cấp bậc xử lý trong loại bỏ vi nhựa

Các cấp bậc xử lý	Hiệu suất (%)
Xử lý cấp sơ bộ	35,1
Xử lý cấp bậc 1	88,4
Xử lý cấp bậc 2	89,8
Xử lý cấp bậc 3	97,2

Hệ thống xử lý nước thải hiện nay không được thiết kế để loại bỏ vi nhựa [112-113]. Một nhà máy xử lý nước thải điển hình có thể vận hành quy trình làm sạch nước thải trước khi thải ra môi trường gồm các giai đoạn xử lý sơ cấp, thứ cấp hoặc cấp ba. Sự loại bỏ vi nhựa có thể được thực hiện từ việc thông qua các giai đoạn sàng lọc, lắng đọng, tuyển nổi, quá trình keo tụ, kết bông và lọc [112-114]. Hiệu quả phục hồi và tải trọng hàng ngày đối với nguồn nước tiếp nhận ở giai đoạn xử lý của nhà máy xử lý nước thải Thủ Dầu Một thay đổi từ 1.860 vi nhựa/ m^3 đến 125.000 vi nhựa/ m^3 ở dòng chảy vào và từ 140 vi nhựa/ m^3 đến 813 vi nhựa/ m^3 ở nước thải cuối cùng [115]. Khảo sát vi nhựa trong một số mẫu nước thải sinh hoạt trên địa phận thành phố Hà Nội năm 2021. Kết quả cho thấy hàm lượng vi nhựa dao động trong khoảng rộng, từ 1.046 – 78.153 vi nhựa/ m^3 .

Vi nhựa dạng sợi và kích thước nhỏ hơn 1.000 μm chiếm ưu thế trong các mẫu quan trắc [116].

Hiệu suất loại bỏ vi nhựa trong các nhà máy xử lý nước thải được tính toán dựa trên mật độ của vi nhựa trong dòng thải trước và sau khi được xử lý. Công suất loại bỏ vi nhựa mỗi ngày từ các công nghệ xử lý chính của các nhà máy xử lý nước thải tham khảo được liệt kê trong Bảng 1.4 [21] và Bảng 1.5 [99, 101, 111, 117-120].

Bảng 1. 4. Hiệu suất của nhà máy xử lý nước thải tại một số quốc gia

Quốc gia	Nồng độ vi nhựa	Giới hạn kích thước μm	Hiệu suất
Phần Lan	1,05 vi nhựa/lít	250	99,4%
Thụy Điển	0,00825 vi nhựa/lít	300	99,9%
UK	0,25 vi nhựa/lít	11	98%
Mỹ	0,88 vi nhựa/lít	45	99,9%
Úc	0,28 vi nhựa/lít	25	99%
Đức	0,1 - 10,1 vi nhựa/lít	20	97%
Hà Lan	9 - 91 vi nhựa/lít	0,7	72%
Pháp	14 - 50 vi nhựa/lít	100	83% - 95%
Nga	70 vi nhựa/lít	20	95,6%
Ý	7,02 vi nhựa/lít	0,4	84%
Trung Quốc	9,04 vi nhựa/lít	1.000	97,2%

Bảng 1. 5. Công suất và hiệu quả loại bỏ vi nhựa mỗi ngày của các nhà máy xử lý nước thải trên thế giới

STT	Quốc gia/ NMXLNT	Công suất ($\text{m}^3/\text{ngđ}$)	Hiệu quả loại bỏ vi nhựa (%)	Quy trình xử lý	Loại nước thải	Tài liệu tham khảo
1	Anh	260.954	73,5	Xử lý cấp bậc 1 Xử lý bậc cấp 2 Kị khí/thiếu khí/Hiếu khí	Đô thị	[102]
2	Pháp	240.000	94	Xử lý cấp sơ bộ Xử lý cấp bậc 1 Xử lý cấp bậc 2	Đô thị và công nghiệp	[99]
3	Mỹ	2.500.000	98,5	Xử lý cấp sơ bộ	Nước thải thô	[111]

				Xử lý cấp bậc 1 Xử lý cấp bậc 2 Đĩa lọc	và nước mưa	
4	Thái Lan	200.000	83,6	Xử lý cấp bậc 1 Xử lý cấp bậc 2	Đô thị và công nghiệp	[117]
5	Trung Quốc	1.000.000	97,8	Xử lý cấp bậc 1 Xử lý cấp bậc 2 Xử lý cấp bậc 3	Đô thị	[118]
6	Hàn Quốc	26.545	89,9	Xử lý cấp bậc 1 Xử lý cấp bậc 2 Xử lý cấp bậc 3	Đô thị và công nghiệp	[119]
7	Úc	17.000	90	Xử lý cấp bậc 2	Đô thị	[120]

Trong một nghiên cứu đánh giá sự hiện diện vi nhựa trong nước thải sinh hoạt và bùn thải tỉnh Bình Dương, Việt Nam đã phát hiện được vi nhựa trong nước thải từ 0,11 đến 0,52 vi nhựa/lít nước. Hiệu suất của hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt đạt 99,9% (Bảng 1.6). Các dạng mảnh vi nhựa chiếm khoảng 55,8% trong nước thải và 39,2% trong bùn, dạng sợi vi nhựa là 13,4% trong nước thải và trong bùn là 12,6%. Màu xanh dương là màu chiếm ưu thế $31,6\% \pm 15,3$, tiếp theo là màu đỏ chiếm $22,4\% \pm 0,91$, màu hồng là $11,4\% \pm 8,5$, màu xám chiếm $10,6\% \pm 10,2$, và màu nâu là $7\% \pm 4$ [121].

Bảng 1. 6. Vi nhựa trong quá trình xử lý nước thải sinh hoạt tỉnh Bình Dương, Việt Nam

Nhà Máy	Nước thải	Mật độ (vi nhựa/lít)	Kích thước (Micronmet)
Thủ Dầu Một	Vào	128	9,1 – 1.927,2
	Ra	25µm: 0,41	10,4 – 643,5
		100µm: 0,23	50 – 879,7
		300µm: 0,04	169,1 – 1.383
Dĩ An	Vào	180	14,3 – 203,15
	Ra	25µm: 0,45	18 – 97,8
		100µm: 0,52	19,9 – 648,4
		300µm: 0,11	27,85 – 692,84

Nhiều công bố cho rằng các phương pháp xử lý cũng đã được phân tích các tiêu chí khác nhau về hiệu quả. Các nghiên cứu cũng đã nêu rõ những lợi thế và bất lợi của môi trường thân thiện, các khía cạnh công nghệ và kinh tế của từng phương pháp như buồng lắng cặn sơ cấp [122], các công đoạn tuyển nổi [112-113], đông tụ, các quá trình lọc như

lọc cát, than hoạt tính, lọc màng [119, 123], bùn hoạt tính [124] hay công nghệ màng lọc MBR [114].

Bộ lọc cát nhanh (RSF) được làm từ nhiều lớp phương tiện khác nhau. Một nghiên cứu điển hình sử dụng bộ lọc cát có độ sâu 6 m, kích thước hạt cát khoảng 0,8 – 1,2 mm, thời gian lưu khoảng 1,08 giờ. Khoảng 74% vi nhựa được loại trừ khi đi qua RSF với đầu vào nồng độ của vi nhựa là 215 vi nhựa/lít [119]. Lọc than hoạt tính dạng hạt (GAC) cũng được sử dụng để giải quyết các chất ô nhiễm nổi trong nước, vi nhựa tương tự. Khả năng loại bỏ vi nhựa của công nghệ này lên đến 60,9%, không hiệu quả bằng các công nghệ keo tụ, đông tụ, tạo bông, lọc cát, RSF và ozon hóa. Song song đó, kết quả nghiên cứu cũng cho thấy so với PP, PE bị loại bỏ nhiều hơn [123]. Quy trình bùn hoạt tính thông thường (CASP) là một công nghệ xử lý nước thải phổ biến dựa trên quá trình phân hủy sinh học bằng bùn hoạt tính sau đó được tách bằng bể lắng. Hiệu suất có thể lên đến 98% đối với công nghệ này khi mà các vi nhựa bám vào chất rắn lơ lửng và được tách khỏi nước bằng quá trình lắng [114]. Màng sinh học (MBR) là công nghệ kết hợp giữa quá trình sinh học và tách màng. Khoảng 99,4% vi nhựa được loại bỏ khỏi dòng thải sau khi qua MBR [114]. Trong quá trình xử lý ozon hóa, các đặc tính hóa lý của polyme có thể bị thay đổi, ví dụ như tăng về độ bám dính, sức căng bề mặt, tính hòa tan và tính chất kỵ nước cũng như giảm điểm nóng chảy và độ nhớt. Khoảng 90% vi nhựa đã bị loại bỏ bởi quá trình ozon hóa sau 30 phút [119]. Một nghiên cứu khác cũng chỉ ra rằng hơn 90% vi nhựa bị loại bỏ sau 60 phút khi tiếp xúc với ozone ở nhiệt độ từ 35 đến 45°C [125].

1.5. Tổng quan các giải pháp giảm thiểu vi nhựa

Mặc dù nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng vi nhựa gây tác động tiêu cực đến môi trường và sinh vật, làm tăng tỷ lệ tử vong của chúng, nhưng cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu chính thức nào khẳng định rằng vi nhựa ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người. Tuy nhiên, với tình trạng ô nhiễm vi nhựa ngày càng gia tăng, đặc biệt là trong cơ thể các loài thủy sản như cá, tôm, vốn là một phần trong chuỗi thức ăn của con người, việc bảo vệ môi trường và giảm thiểu chất thải nhựa trở nên vô cùng cấp thiết. Để đạt được điều này, cần phải hạn chế tối đa sự phát sinh vi nhựa ngay từ nguồn gốc của chúng.

Trên toàn thế giới, nhiều giải pháp đã được triển khai nhằm giảm thiểu chất thải nhựa và vi nhựa, tập trung vào các chiến lược chính sau [126-127]:

- Giảm thiểu và thay thế nhựa sử dụng một lần: Nhiều quốc gia đã ban hành lệnh cấm hoặc hạn chế sử dụng các sản phẩm nhựa dùng một lần như túi nylon, ống hút và hộp đựng thực phẩm. Thay thế bằng vật liệu thân thiện môi trường: Sử dụng các sản phẩm thay thế từ nông sản hoặc vật liệu phân hủy sinh học để giảm thiểu ô nhiễm nhựa.

- Tăng cường tái chế và kinh tế tuần hoàn: Công nghệ tái chế tiên tiến: Áo đã sử dụng công nghệ sinh học để tái chế nhựa PET bằng enzym từ nấm, phân hủy nhựa thành phân tử và sau đó chuyển đổi lại thành nhựa chất lượng cao. Chương trình Trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR): Yêu cầu các nhà sản xuất tài trợ cho việc thu gom, tái chế và xử lý các sản phẩm nhựa khi hết hạn sử dụng, đảm bảo tính tuần hoàn của hệ thống.

- Nâng cao nhận thức và thay đổi hành vi: Chiến dịch truyền thông của Liên Hợp Quốc đã phát động chủ đề "Giải quyết ô nhiễm nhựa và nilon" nhằm tuyên truyền, vận động thay đổi thói quen sử dụng sản phẩm nhựa dùng một lần, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và bảo vệ sức khỏe con người. Hợp tác quốc tế tại Việt Nam, 41 đại sứ quán và tổ chức quốc tế đã ký kết Bộ quy tắc ứng xử về chống ô nhiễm nhựa, cam kết giảm thiểu sử dụng nhựa dùng một lần và nâng cao nhận thức về tác hại của ô nhiễm nhựa.

- Phát triển chính sách và quy định: Lộ trình giảm ô nhiễm nhựa theo Chương trình Môi trường Liên Hợp Quốc (UNEP) đề xuất lộ trình giảm 80% ô nhiễm nhựa vào năm 2040 thông qua các thay đổi sâu sắc về chính sách và thị trường, bao gồm thiết kế sản phẩm tuần hoàn và thay thế bằng vật liệu thân thiện môi trường.

Những giải pháp này đòi hỏi sự hợp tác chặt chẽ giữa chính phủ, doanh nghiệp và cộng đồng để đạt được hiệu quả trong việc giảm thiểu chất thải nhựa và vi nhựa, bảo vệ môi trường và sức khỏe con người.

Năm 2023, Ủy ban Nhựa và Sức khỏe con người Mindereroo - Monaco ước tính, chỉ riêng tại Mỹ trong năm 2015, chi phí cho bệnh tật, khuyết tật và tử vong sớm do tiếp xúc với các hóa chất BPA, DEHP và PBDE có trong nhựa đã vượt quá 675 tỷ USD [126]. Để bảo vệ sức khỏe con người và hành tinh, đặc biệt là sức khỏe của các nhóm dân số dễ bị tổn thương và có nguy cơ, và đưa thế giới đi đúng hướng để chấm dứt ô nhiễm nhựa vào năm 2040, Ủy ban này ủng hộ việc các quốc gia trên thế giới khẩn trương thông qua một Hiệp ước toàn cầu về nhựa mạnh mẽ và toàn diện theo nhiệm vụ được nêu trong nghị quyết tháng 3 năm 2022 của Đại hội đồng Môi trường Liên hợp quốc (UNEA) [126]. Các biện pháp quốc tế như Hiệp ước toàn cầu về nhựa là cần thiết để hạn chế sản xuất và ô nhiễm nhựa, vì tác hại đối với sức khỏe con người và môi trường do nhựa, hóa chất liên quan đến nhựa và chất thải nhựa gây ra vượt ra ngoài ranh giới quốc gia, có quy mô toàn cầu và có tác động không cân xứng đến sức khỏe và hạnh phúc của người dân ở các quốc gia nghèo nhất thế giới. Việc thực hiện hiệu quả Hiệp ước toàn cầu về nhựa sẽ đòi hỏi hành động quốc tế phải được phối hợp và bổ sung bằng các biện pháp can thiệp ở cấp quốc gia, khu vực và địa phương. Ủy ban này thúc giục rằng việc giới hạn sản xuất nhựa toàn cầu với các mục tiêu, thời gian biểu và đóng góp của quốc gia phải là một điều khoản cốt lõi của Hiệp ước toàn cầu về nhựa.

Việc sử dụng nhựa có chứa các chất phụ gia hỗ trợ vật liệu phân hủy, cũng là vấn đề đáng lo ngại, vì chúng chỉ phân mảnh và làm tăng thêm gánh nặng về môi trường của vi nhựa; do đó, Liên minh Châu Âu đã có động thái hạn chế sử dụng chúng [127]. Vì 6% sản lượng dầu mỏ toàn cầu hiện nay (bao gồm cả khí tự nhiên lỏng) được sử dụng để sản xuất các mặt hàng nhựa, dự kiến sẽ tăng lên 20% vào năm 2050, nên các phương pháp tiếp cận hiện tại để sản xuất và sử dụng nhựa (bao gồm cả mục đích sử dụng cuối cùng) đòi hỏi phải sửa đổi ngay lập tức [127]. Việc thu gom và tái chế rộng rãi hơn các sản phẩm nhựa khi hết vòng đời, để tái sử dụng trong sản xuất mới, nhằm bù đắp cho việc sử dụng nhựa nguyên sinh, là một khía cạnh quan trọng để giảm lượng chất thải nhựa thải ra môi trường và cải thiện hiệu quả sử dụng tài nguyên hóa thạch.

1.6. Các vấn đề còn tồn tại cần tập trung nghiên cứu giải quyết

Hiện nay, các nghiên cứu khoa học về vi nhựa tại Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế trong việc định lượng, xác định kích thước hạt cũng như đánh giá sự biến đổi hình thái và đặc tính của chúng dưới tác động của chu kỳ tự nhiên. Ngoài các nghiên cứu về phát hiện, phân tích và đánh giá sự tồn tại của vi nhựa, nhiều giải pháp quản lý, xử lý và giảm thiểu ô nhiễm vi nhựa đã được đề xuất. Trong đó, hệ thống xử lý nước thải đóng vai trò quan trọng và cần được nghiên cứu chuyên sâu hơn. Tuy nhiên, sự thay đổi của vi nhựa theo chế độ thủy triều cũng như sự biến động giữa các mùa trong năm vẫn chưa được đề cập đầy đủ trong các nghiên cứu trong nước và quốc tế.

Dựa trên tổng quan tài liệu trong và ngoài nước, nghiên cứu này được thực hiện nhằm:

- i) Xác định sự hiện diện của vi nhựa trong nước tại lưu vực sông Sài Gòn và Đồng Nai;
- ii) Phân tích hình thái, kích thước, đặc điểm (hạt, sợi, mảnh) và chủng loại vi nhựa;
- iii) Đánh giá mức độ ảnh hưởng cũng như mối liên hệ của vi nhựa trong nguồn nước sông Sài Gòn và Đồng Nai theo mùa và chế độ thủy triều, đồng thời dự đoán xu hướng biến động của vi nhựa theo thời gian và không gian bằng phương trình hồi quy;
- iv) Xác định hiệu suất loại bỏ vi nhựa trong nước thải của một số nhà máy xử lý nước thải sinh hoạt và khu công nghiệp tiêu biểu trên lưu vực sông Sài Gòn và Đồng Nai, đặc biệt tại các khu vực đông dân cư.

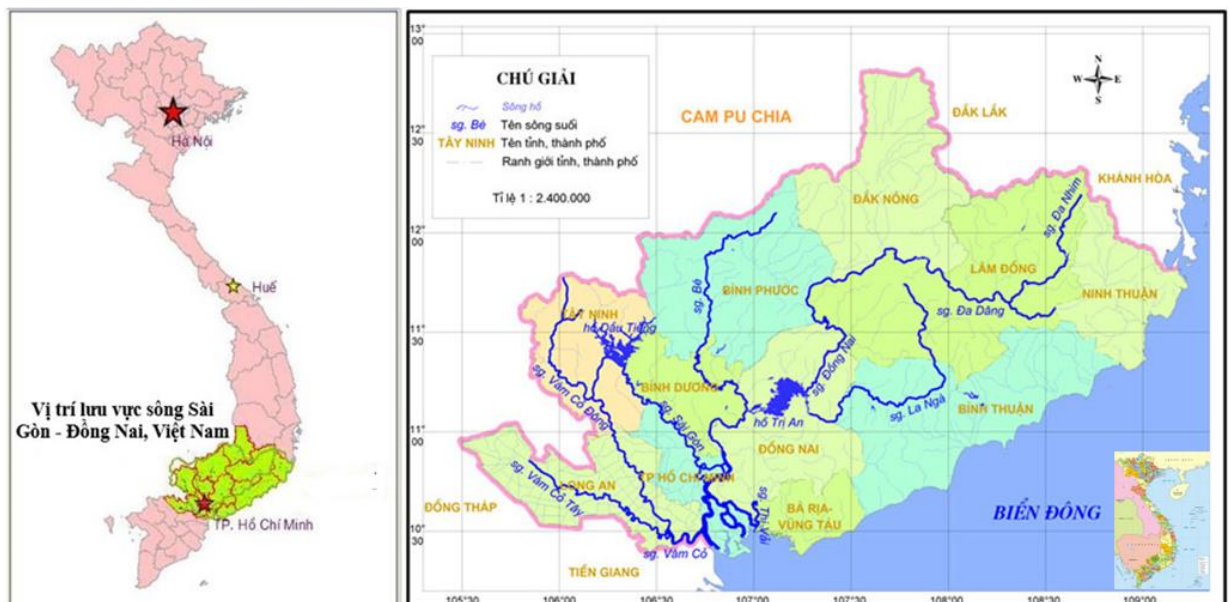
Từ những kết quả trên, nghiên cứu đã đề xuất giải pháp quản lý vi nhựa, cũng như xây dựng sơ đồ công nghệ xử lý nước thải nhằm loại bỏ vi nhựa trước khi xả vào môi trường, tập trung vào nước thải sinh hoạt từ các khu dân cư dọc lưu vực sông Sài Gòn và Đồng Nai.

CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

2.1.2. Nước sông Sài Gòn và sông Đồng Nai

Hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai bao gồm nhiều dòng chảy chính như sông Đồng Nai, sông Bé, sông Sài Gòn, sông Thị Tính, sông Vàm Cỏ cùng các nhánh sông khác, cuối cùng đổ ra sông Soài Rạp trước khi chảy ra biển (Hình 2.1). Sông Sài Gòn khởi nguồn từ các suối Chàm, nằm gần biên giới Việt Nam - Campuchia, sau đó chảy vào hồ Dầu Tiếng, tiếp tục qua trung tâm TP. Hồ Chí Minh (TPHCM) rồi nhập vào sông Đồng Nai tại khu vực Nam Cát Lái, với lưu lượng trung bình khoảng $54 \text{ m}^3/\text{s}$. Trong khi đó, sông Đồng Nai là con sông nội địa dài nhất Việt Nam, kéo dài 437 km và đổ ra biển Đông qua khu vực Cần Giờ. Đoạn hợp lưu giữa Soài Rạp và Lòng Tàu, còn gọi là sông Nhà Bè, là nơi giao nhau của dòng chính từ hai con sông lớn này [128-130].



Hình 2.1. Sông Đồng Nai, sông Sài Gòn và vùng phụ cận

Sông Đồng Nai và sông Sài Gòn có vai trò quan trọng trong nền kinh tế - xã hội khu vực phía Nam Việt Nam như: du lịch, vận chuyển, nuôi trồng thủy hải sản, tưới tiêu... Đáng chú trọng là nguồn nước từ 2 con sông lớn này đang là nguồn cấp nước chính cho các nhà máy xử lý nước cấp trên lưu vực sông để giải quyết nhu cầu về nước cấp sinh hoạt, ăn uống của hàng triệu người dân trong khu vực. Hơn nữa, cảnh quan thiên nhiên sông nước, nét đẹp đặc trưng cho vùng từ sự ưu đãi tự nhiên của 2 sông là rất lớn. Trong đó, riêng sông Sài Gòn còn là nguồn cung cấp nước sinh hoạt quan trọng nhất cho hơn 10 triệu dân của Thành phố Hồ Chí Minh. Nhu cầu dùng nước sạch của Thành phố HCM hơn $2.500 \times 1.000 \text{ m}^3/\text{ngàyđêm}$, trong đó nguồn nước thô khai thác từ nước mặt của

các sông Sài Gòn và sông Đồng Nai với tổng khối lượng chỉ từ 800x1.000 đến 1 triệu m³/ngày, còn lại khai thác từ nước ngầm khoảng trên 530x1.000 m³/ngày [129].

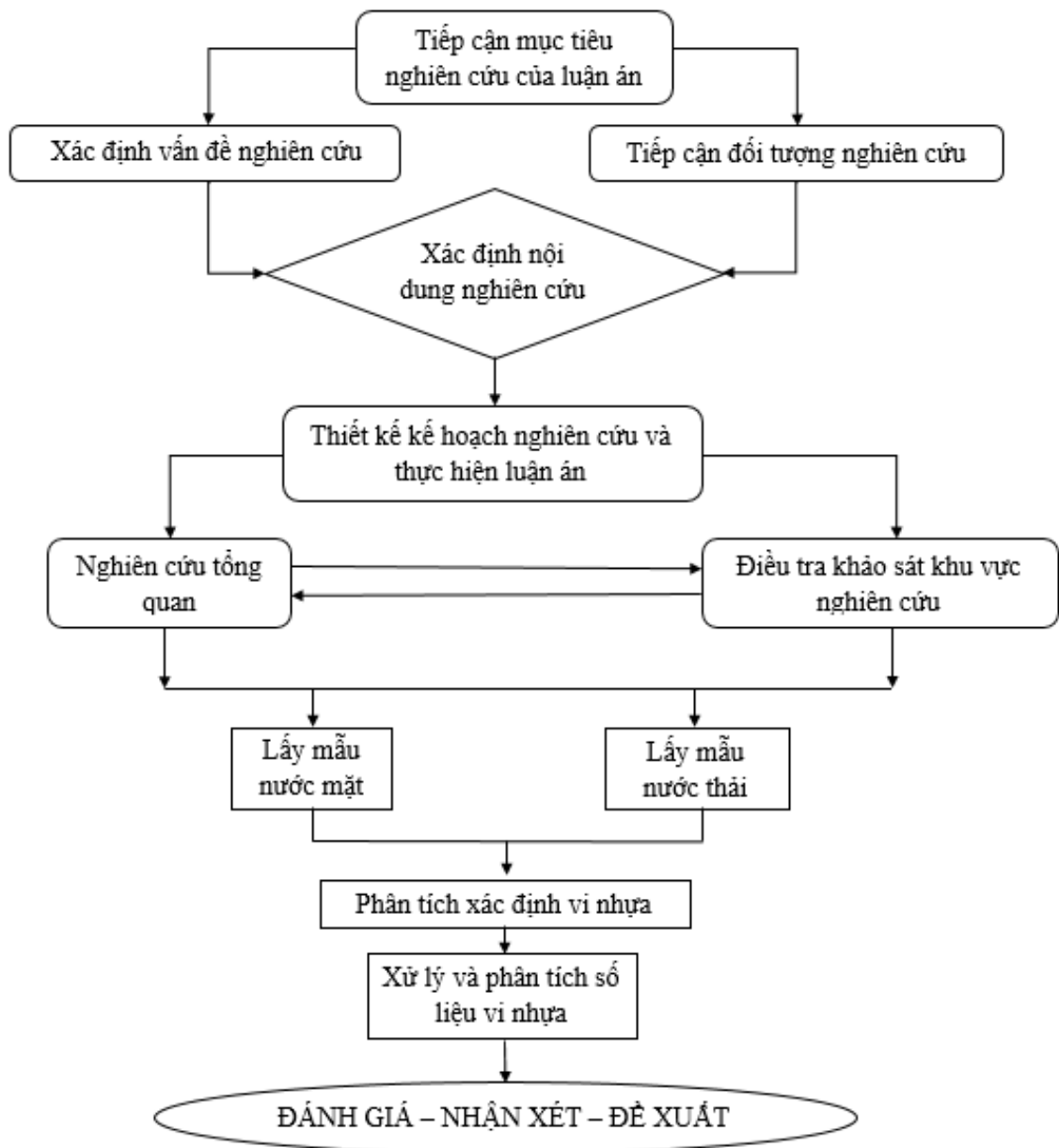
Sông Sài Gòn gánh chịu mỗi ngày hàng triệu mét khối nước thải sinh hoạt dân cư, hơn 400x1.000 m³ nước thải từ các cơ sở công nghiệp, 20x1.000 m³ nước thải y tế và hàng ngàn tấn chất thải sinh hoạt. Với 11 khu công nghiệp trong địa bàn, chỉ riêng tỉnh Bình Dương xả nước thải mỗi ngày từ 1x1.000 m³ đến 5,6x1.000 m³. Lớn nhất phải nhắc đến Thành phố HCM, con số thực tế lên đến 250x1.000 m³/ng.đ; các nơi sản xuất ngoài khu công nghiệp mỗi ngày thải 45x1.000 m³/ng.đ. Hiện có 3 nhà máy xử lý nước thải tập trung lớn là NMXLNT Bình Hưng Hòa với công suất 46x1.000 m³/ng.đ, Bình Hưng (giai đoạn 1) với công suất 141x1.000 m³/ng.đ, Tham Lương-Bến Cát có tổng công suất giai đoạn 1 là 131x1.000 m³/ng.đ. Tổng lượng nước thải được tập trung xử lý trước khi tải vào nguồn tiếp nhận chỉ chiếm được 13% trong tổng hơn 3 triệu m³ nước thải sinh hoạt thải ra mỗi ngày [129].

2.1.2. Vi nhựa trong môi trường nước sông Sài Gòn – Đồng Nai

Đối tượng vi nhựa được thực hiện quan sát trong nghiên cứu này được giới hạn từ 1mm - 5 mm trong các mẫu nước theo thủy triều lên xuống trong ngày, theo mùa trong năm 2021 và 2022 nhằm đảm bảo tính chuẩn xác trong quá trình phân tích định lượng.

2.2. Sơ đồ nghiên cứu

Luận án được thực hiện theo sơ đồ tổng quát trong Hình 2.2.



Hình 2. 2. Sơ đồ nghiên cứu của luận án

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp điều tra khảo sát và phân tích tài liệu

Các tài liệu và thông tin nghiên cứu đã được thu thập, đánh giá và chọn lọc kỹ lưỡng, đồng thời trích dẫn đầy đủ theo định hướng của nghiên cứu. Luận án kế thừa và phát triển có chọn lọc phương pháp tiếp cận, lý luận khoa học cũng như kinh nghiệm từ các nghiên cứu trước đó, sau đó tích hợp và điều chỉnh để phù hợp với đối tượng nghiên cứu.

Đánh giá thực tế tại hiện trường: Dữ liệu cần thiết sẽ được thu thập thông qua các cuộc phỏng vấn trực tuyến, phỏng vấn nhanh với các cá nhân có liên quan, kết hợp quan

sát thực tế. Bộ câu hỏi khảo sát tập trung vào hai nội dung chính: (i) Các loại sản phẩm nhựa phổ biến trong sinh hoạt gia đình; (ii) Thói quen xử lý sản phẩm nhựa đã qua sử dụng, bao gồm việc bán phế liệu, tái sử dụng trong gia đình hoặc thải bỏ cùng rác thải nhựa. Mục tiêu khảo sát là 200 hộ gia đình tại TP.HCM, 150 hộ tại Bình Dương và 50 hộ tại Đồng Nai.

2.3.2. Phương pháp lấy mẫu nước

2.3.2.1. Nước mặt

a. Vị trí lấy mẫu

Trong hai năm 2021 và 2022, các mẫu nước chứa vi nhựa được thu thập nhằm đánh giá sự biến đổi theo thủy triều trong ngày cũng như sự khác biệt giữa hai mùa mưa và khô. Khu vực lấy mẫu bao gồm sông Đồng Nai (từ hồ Trị An) và sông Sài Gòn (từ hồ Dầu Tiếng đến ngã ba Thanh Đa). Tổng cộng có 18 vị trí được lựa chọn dựa trên các tiêu chí như khu vực hợp lưu kênh rạch, các nhánh sông nhỏ chảy vào dòng chính, vị trí đầu nguồn và hạ nguồn, khu vực đông dân cư nhằm phân tích mức độ nhiễm vi nhựa giữa khu vực dân cư thưa thớt và khu vực có mật độ dân số cao. Ngoài ra, các điểm có điều kiện thuận lợi để sử dụng lưới phiêu sinh thu vi nhựa, chẳng hạn như bến đò, bến phà hay cầu bắc qua sông, cũng được nghiên cứu tận dụng.

Cụ thể, có 5 vị trí lấy mẫu trên sông Đồng Nai được ký hiệu là DNL1, DNL2, DNL3, DNL4, DNL5, và 13 vị trí trên sông Sài Gòn được đánh dấu là SGL1, SGL2, SGL3, SGL4, SGL5, SGL6, SGL7, SGL8, SGL9, SGL10, SGL11, SGL12, SGL13.

Tần suất lấy mẫu được thực hiện hai lần mỗi năm, vào mùa mưa (tháng 5 đến tháng 12) và mùa khô (tháng 1 đến tháng 4). Mỗi ngày lấy mẫu tại hai thời điểm: khi thủy triều lên và khi thủy triều xuống. Ở mỗi vị trí, mẫu nước được thu thập 3 lần với khoảng cách giữa các lần lấy từ 30 phút đến 1 giờ. Quá trình thu mẫu được thực hiện cẩn thận, đảm bảo tính khoa học để phân tích ảnh hưởng của dòng chảy trong điều kiện thủy triều khác nhau và sự thay đổi theo mùa trên hai con sông. Vị trí các điểm lấy mẫu được thể hiện chi tiết trong Hình 2.3.

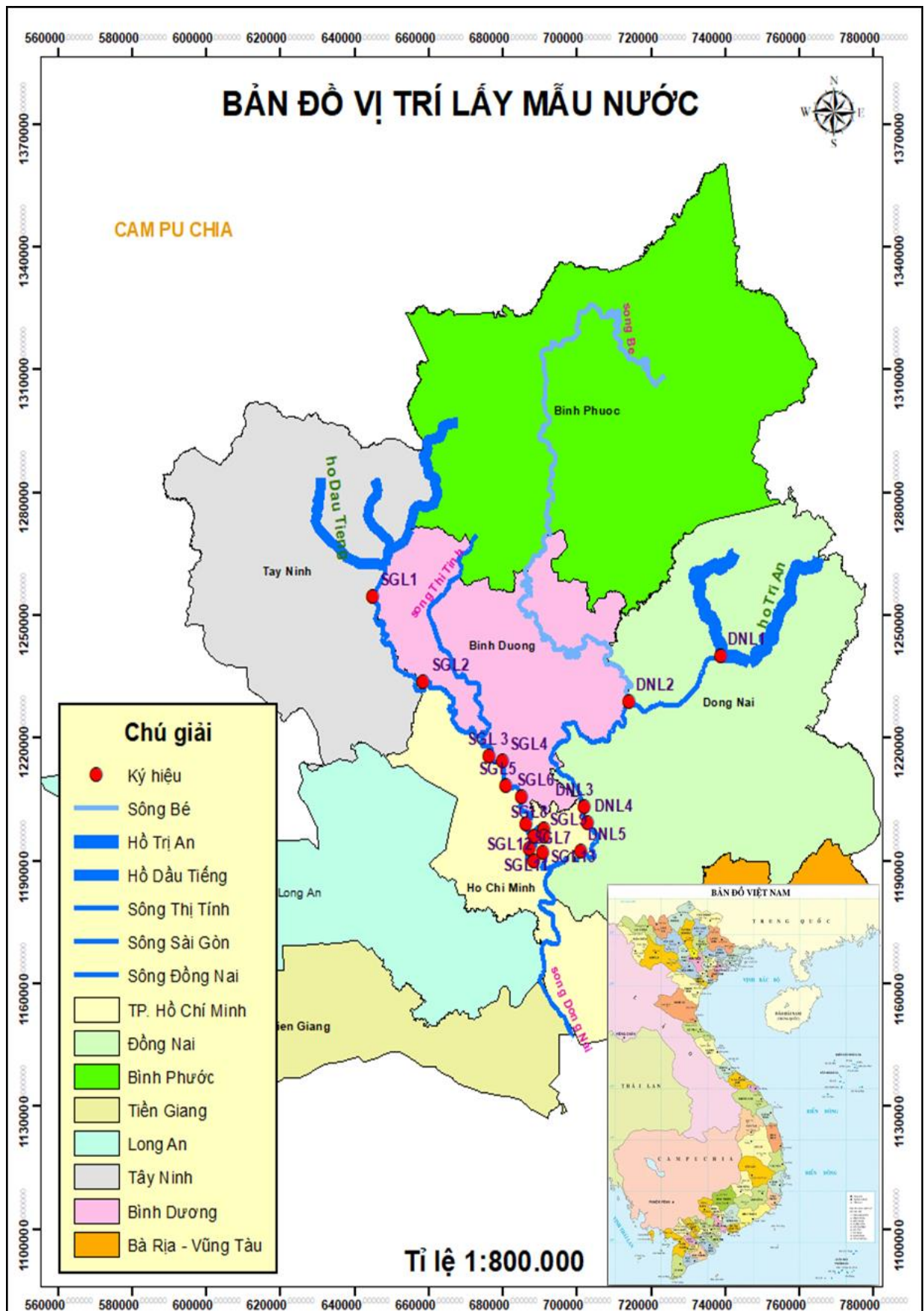
Bảng 2. 1. Vị trí lấy mẫu vi nhựa trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn

STT	Điểm lấy mẫu	Quy ước ký hiệu	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Mô tả	Căn cứ lựa chọn
1	Bến Củi	SGL1	644.827	1.254.580	Ngay cầu Dầu Tiếng, tỉnh Tây	Nơi dòng chảy từ hồ Dầu Tiếng vào sông Sài Gòn

STT	Điểm lấy mẫu	Quy ước ký hiệu	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Mô tả	Căn cứ lựa chọn
					Ninh	(Thượng nguồn)
2	Bến Súc	SGL2	658.638	1.233.625	Cách cầu Bến Súc 200-300m	Nơi mà sông Sài Gòn bắt đầu chảy vào các đô thị lớn
3	Hòa Phú	SGL3	676.392	1.215.574	Dòng chảy đi qua trạm bơm Hòa Phú	Nơi mà sông Sài Gòn cấp nước cho trạm bơm Hòa Phú
4	Cầu Phú Cường – Thành phố Thủ Dầu Một	SGL4	679.897	1.214.384	Dòng chảy đi ngang cầu Phú Cường tại tỉnh Bình Dương	Nơi mà sông Sài Gòn chảy qua TP Thủ Dầu Một Bình Dương
5	Cửa sông Cầu Sáng	SGL5	681.022	1.208.298	Dòng chảy đi qua cửa Cầu Sáng - sông Sài Gòn	Nơi mà sông Sài Gòn hợp lưu với sông Cầu Sáng
6	Vị trí gần cầu Phú Long	SGL6	684.991	1.205.652	Dòng chảy sông Sài Gòn đi ngang qua cầu Phú Long	Nơi mà sông Sài Gòn đi vào khu vực Lái Thiêu, Dĩ An Bình Dương
7	Vị trí hợp lưu cửa sông Vàm Thuật	SGL7	686.313	1.199.038	Dòng chảy sông Sài Gòn hợp lưu sông Vàm Thuật	Nơi cửa sông Vàm Thuật trước khi hợp lưu sông Sài Gòn
8	Vị trí hợp lưu với Rạch Tracomeco	SGL8	691.208	1.197.649	Dòng chảy sông Sài Gòn hợp lưu Rạch Tracomeco	Nơi sông Sài Gòn trước khi hợp lưu với Rạch Tracomeco (Nhiệt điện Thủ Đức)

STT	Điểm lấy mẫu	Quy ước ký hiệu	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Mô tả	Căn cứ lựa chọn
					- sông Sài Gòn	
9	Vị trí hợp lưu với Rạch Chiếc	SGL9	691.142	1.195.995	Dòng chảy sông Sài Gòn hợp lưu Rạch Chiếc	Nơi sông Sài Gòn sau khi hợp lưu với Rạch Chiếc (dòng chảy Cảng Phước Long)
10	Vị trí ngã ba Thanh Đa	SGL10	688.430	1.196.061	Lấy mẫu ngay sông chảy ngang Cầu Kinh, Bình Thạnh	Nơi sông Sài Gòn hợp lưu Kênh Thanh Đa
11	Vị trí hợp lưu Kênh Nhiêu Lộc Thị Nghè	SGL11	687.240	1.192.886	Lấy mẫu ngay sông Sài Gòn đi qua Công viên Cảng Ba Son	Nơi trước khi hợp lưu với sông Sài Gòn (Cửa Kênh Nhiêu Lộc Thị Nghè)
12	Vị trí hợp lưu Kênh Tẻ	SGL12	688.430	1.189.976	Lấy mẫu ngay Cảng Tân Thuận	Nơi cửa Kênh Tẻ trước khi chảy vào sông lớn
13	Vị trí Đào Kim cương	SGL13	690.745	1.192.026	Lấy mẫu ngay cầu Thời Đại	Nơi cửa Giồng Ông Tố trước khi chảy vào sông lớn
14	Hiếu Liêm-Trị An	DNL1	738.880	1.239.992	Lấy mẫu ngay cửa ra Hồ Trị An	Nơi thượng nguồn sông Đồng Nai
15	Vị trí ngã ba sông Đồng Nai – sông Bé	DNL2	714.121	1.228.955	Lấy mẫu ngay bên phà Hiếu Liêm	Nơi hợp lưu 2 sông
16	Vị trí cầu An Hào trên sông	DNL3	702.017	1.203.356	Lấy mẫu ngay vị trí sông Đồng	Nơi dòng chảy sông Đồng Nai bắt đầu chảy

STT	Điểm lấy mẫu	Quy ước ký hiệu	Tọa độ X (m)	Tọa độ Y (m)	Mô tả	Căn cứ lựa chọn
	Đồng Nai				Nai chảy ngang cầu An Hảo, Biên Hòa	ngang TP. Biên Hòa (Gần đó có các nơi sản xuất hóa chất Biên Hòa, Cty Proconco, Nhựa Đồng Nai)
17	Vị trí đi qua Rạch - Đồng Tròn	DNL4	702.810	1.199.387	Lấy mẫu cửa ra Rạch Đồng Tròn trước khi chảy vào sông lớn	Nơi dòng chảy sông Đồng Nai hợp lưu với Rạch Đồng Tròn
18	Vị trí ngã ba sông Soài Rạp	DNL5	701.024	1.192.244	Lấy mẫu vị trí cửa sông Tắc	Nơi dòng chảy theo cửa sông Tắc chảy vào sông Soài Rạp



Hình 2. 3. Bản đồ 18 vị trí lấy mẫu nước mặt

Trong giai đoạn 2021 - 2022, tổng cộng 432 mẫu nước đã được thu thập tại 18 địa điểm, bao gồm cả thời điểm thủy triều lên, thủy triều xuống, cũng như trong các mùa mưa và mùa khô. Các vị trí lấy mẫu được mã hóa theo yếu tố thời gian và không gian, với thông tin chi tiết được trình bày trong Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Bảng lấy mẫu nước mặt tại 18 vị trí theo không gian và thời gian trong 2 năm 2021-2022

STT	Ký hiệu	Số mẫu được lấy năm 2021				Số mẫu được lấy năm 2022			
		Mùa khô		Mùa mưa		Mùa khô		Mùa mưa	
		Khi thủy triều lên	Khi thủy triều xuống	Khi thủy triều lên	Khi thủy triều xuống	Khi thủy triều lên	Khi thủy triều xuống	Khi thủy triều lên	Khi thủy triều xuống
1	SGL1	3	3	3	3	3	3	3	3
2	SGL2	3	3	3	3	3	3	3	3
3	SGL3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	SGL4	3	3	3	3	3	3	3	3
5	SGL5	3	3	3	3	3	3	3	3
6	SGL6	3	3	3	3	3	3	3	3
7	SGL7	3	3	3	3	3	3	3	3
8	SGL8	3	3	3	3	3	3	3	3
9	SGL9	3	3	3	3	3	3	3	3
10	SGL10	3	3	3	3	3	3	3	3
11	SGL11	3	3	3	3	3	3	3	3
12	SGL12	3	3	3	3	3	3	3	3
13	SGL13	3	3	3	3	3	3	3	3
14	DNL1	3	3	3	3	3	3	3	3
15	DNL2	3	3	3	3	3	3	3	3
16	DNL3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	DNL4	3	3	3	3	3	3	3	3
18	DNL5	3	3	3	3	3	3	3	3
Tổng		54	54	54	54	54	54	54	54
Tổng số mẫu		432 mẫu							

b. Phương pháp thu mẫu

Hiện nay, các nhà nghiên cứu vi nhựa thường thu mẫu nước bằng lưới lấy mẫu để

thu thập các mẫu sinh vật phù du trong nước bề mặt để thu mẫu nước chứa hạt vi nhựa dựa trên tiêu chuẩn của NOAA, hay nói rõ hơn đây là phương pháp thu mẫu vi nhựa đại dương [14]. Tuy nhiên, với điều kiện nước mặt nội địa các sông ngòi Việt Nam, điều kiện địa hình thực tế lấy mẫu phức tạp, dòng chảy sông và mực nước thủy triều làm cho các thời điểm, vị trí mà vi nhựa hiện diện khá phức tạp. Ngoài ra, môi trường nước sông nội địa chịu tác động trực tiếp từ chất thải sinh hoạt, hoạt động sản xuất kinh doanh cũng như thói quen tiêu dùng và xử lý rác thải của cư dân dọc hai bên bờ sông. Dựa trên đặc điểm thực tế của dòng sông, nghiên cứu đã điều chỉnh và cải tiến phương pháp thu mẫu vi nhựa từ đại dương của cơ quan NOAA nhằm xây dựng quy trình lấy mẫu phù hợp với điều kiện địa phương, cụ thể như sau:

 Tại các vị trí có điều kiện rộng, thoáng trên mặt sông:

Lưới phiêu sinh có kích thước mắt lưới 300 μm được gắn vào bộ thu mẫu Manta với kích thước 30×30×15 cm và cố định cùng một phao nổi để duy trì vị trí ổn định. Thiết bị đo dòng chảy ADCP được sử dụng để xác định vận tốc dòng nước tại điểm lấy mẫu. Dữ liệu đo từ thiết bị này được chuyển đổi để tính toán lưu lượng nước chảy qua lưới Manta.

Mẫu nước mặt được thu thập từ thuyền địa phương (có thể là thuyền thuê hoặc phà qua sông) ở độ sâu 30 cm dưới mặt nước. Lưới thu mẫu được thả tiếp xúc với dòng chảy và tiến hành lấy mẫu liên tục trong 10 phút trước khi kéo lên. Tại mỗi vị trí, quá trình lấy mẫu được lặp lại 3 lần với khoảng thời gian cách nhau 30 phút để đảm bảo tính chính xác và đại diện của mẫu. Mẫu ngay khi được lấy lên sẽ được phân loại bằng tay, sàng để loại bỏ thành phần vật chất có kích thước > 5 mm. Sau đó, các mẫu này sẽ được trộn đều với nhau trong chậu thủy tinh (đã rửa sạch và tráng bằng ethanol 90%) và được chứa trong bình thủy tinh màu tối có nắp kín (dung tích bình hơn từ 2 lít trở lên).

 Tại các vị trí hẹp, bị vướng, có nhiều lục bình, xác cây cối và chất thải nhựa to trên lưu vực sông, không thể sử dụng bộ lưới Manta gắn vào thuyền hay tàu chạy để lấy mẫu được:

Lưới phiêu sinh với kích thước mắt lưới 300 μm được gắn vào vành thu nước có đường kính 30 cm và cố định bằng dây cáp ở độ sâu 30-50 cm so với mặt nước. Một đầu dây cáp được gắn chặt vào điểm cố định trên bề mặt (như thuyền hoặc tàu neo đậu tại chỗ), trong khi đầu còn lại được thả xuống đáy sông để giữ vị trí ổn định.

Trong quá trình lấy mẫu, thiết bị đo lưu tốc dòng chảy được sử dụng để xác định vận tốc dòng nước. Ngoài ra, tại những khu vực có điều kiện thu mẫu khó khăn nhưng quan sát thấy tập trung nhiều rác thải nhựa, Gầu thủy tinh với thiết kế miệng rộng được sử dụng để thu thập nước bề mặt ở độ sâu khoảng 30-50 cm, giúp lấy mẫu một cách thuận tiện và hiệu quả hơn. Tương tự, lưới thu mẫu được tiếp xúc với nước sông và thu

mẫu kéo dài trong 10 phút, sau đó được đưa lên. Mỗi vị trí, cách 30 phút, thực hiện lấy mẫu lặp lại 3 lần. Mẫu ngay khi được lấy lên sẽ được phân loại bằng tay, sàng để loại bỏ thành phần vật chất có kích thước > 5 mm. Sau đó, các mẫu này sẽ được trộn đều với nhau trong chậu thủy tinh (đã rửa sạch và tráng bằng ethanol 90%) và được chứa trong bình thủy tinh màu tối có nắp kín (2 lít).

2.3.2.2. Nước thải

a. Vị trí lấy mẫu

Để đánh giá nồng độ và hình thái của vi nhựa trong dòng nước đầu vào và đầu ra của các nhà máy xử lý nước thải có nguồn tiếp nhận trực tiếp hoặc gián tiếp từ hệ thống sông Sài Gòn – Đồng Nai, nghiên cứu đã tiến hành lấy mẫu nước thải tập trung và nước thải sinh hoạt tại các điểm đầu vào và đầu ra của sáu nhà máy xử lý nước thải. Các nhà máy này bao gồm:

- Nhà máy xử lý nước thải Dĩ An (XL_SG1)
- Trạm xử lý nước Ba Bò, KCN Đồng An (XL_SG2)
- Nhà máy xử lý nước thải Tham Lương – Bến Cát (XL_SG4)
- Nhà máy xử lý nước thải Nam Bình Dương (XL_SG5), nằm tại đoạn giao lộ Phú Hòa - Nguyễn Thị Minh Khai, phường Phú Hòa, TP. Thủ Dầu Một
- Nhà máy xử lý nước thải tập trung KCN VSIP1 (XL_DN1)
- Khu công nghệ cao TP. Hồ Chí Minh (XL_DN2)

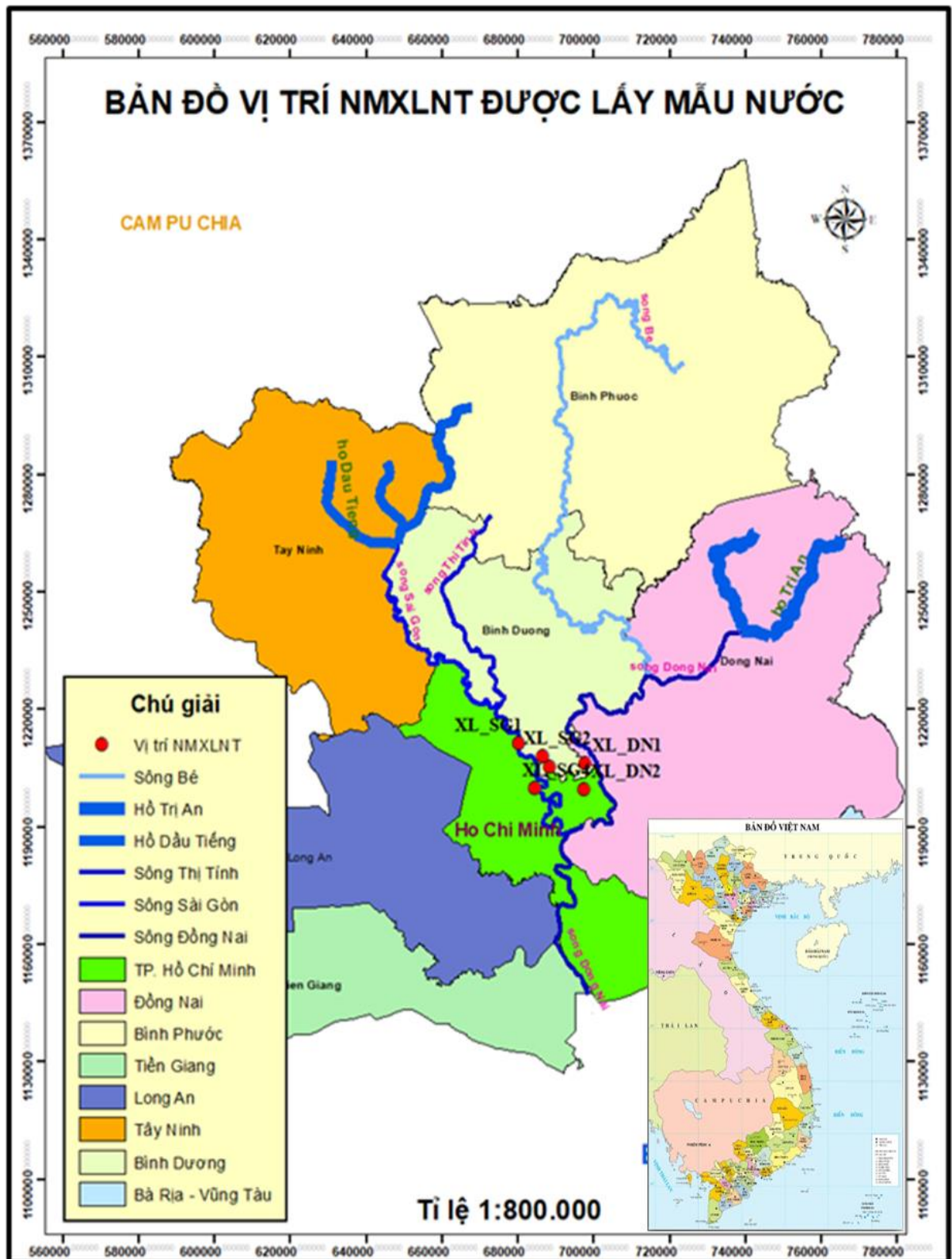
Tất cả các nhà máy này đều xử lý nước thải đạt tiêu chuẩn QCVN 14:2008/BTNMT trước khi xả vào nguồn tiếp nhận. Các địa điểm này được lựa chọn do nằm trong khu vực hạ lưu sông Đồng Nai và sông Sài Gòn, nơi có mật độ dân cư đông đúc, hạ tầng kinh tế phát triển mạnh. Vị trí các nhà máy được minh họa trong Hình 2.3.

Quá trình thu thập mẫu nước thải trước và sau các công trình xử lý được thực hiện trong giai đoạn 2021 – 2022, nhằm đánh giá sự thay đổi theo hai mùa: mùa mưa (tháng 5 - tháng 12) và mùa khô (tháng 1 - tháng 4). Tại mỗi địa điểm, mẫu nước được thu ba lần, với khoảng thời gian giữa các lần lấy từ 30 phút đến 1 giờ. Việc lấy mẫu được thực hiện theo quy trình chặt chẽ để đảm bảo tính chính xác và khách quan trong đánh giá.

Tất cả các nhà máy trong nghiên cứu đều xử lý nước thải sinh hoạt từ các khu dân cư và khu dịch vụ trong khu công nghiệp. Nước thải đầu vào được thu gom từ các hệ thống riêng biệt, bao gồm cả nước thải sinh hoạt và nước mưa trong cùng một tuyến cống. Công suất xử lý của từng nhà máy được thể hiện trong Bảng 2.3, trong khi vị trí địa lý của các nhà máy được trình bày trong Hình 2.4.

Bảng 2. 3. Công suất xử lý của các nhà máy xử lý nước thải

TT	Nhà máy xử lý nước thải	Ký hiệu	Vị trí (Tọa độ)		Công suất xử lý của nhà máy m ³ /ngày đêm
			X	Y	
1	Nam Bình Dương (Thuận An)	XL_SG1	106°36'24"	10°56'55"	17.000
2	VSIP 1	XL_SG2	106°42'54"	10°55'6"	6.000
3	Ba Bò (Đồng An)	XL_SG4	106°43'54"	10°53'25"	20.000
4	Tham Lương - Bến Cát	XL_SG5	106°41'35"	10°50'2"	131.000
5	Dĩ An	XL_DN1	106°47'5"	10°55'20"	20.000
6	Khu Công nghệ cao Thành phố Hồ Chí Minh	XL_DN2	106°48'52"	10°50'31"	5.000



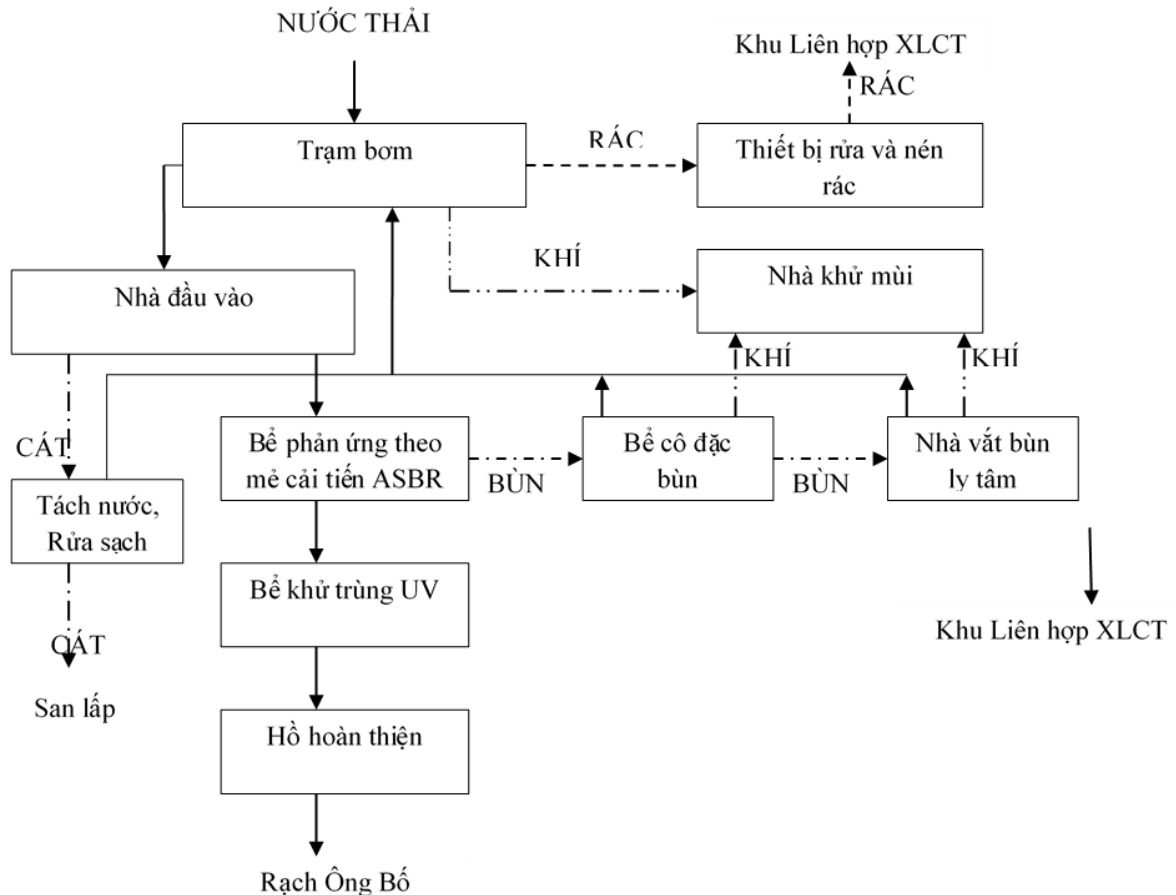
Hình 2. 4. Vị trí các nhà máy xử lý nước thải

b. Công nghệ xử lý chính của các nhà máy xử lý nước thải

- *Nhà máy xử lý nước thải Nam Bình Dương* áp dụng công nghệ bùn hoạt tính theo mẻ cải tiến (ASBR), trong đó nước thải được đưa vào liên tục trong suốt các giai đoạn của quá trình xử lý sinh học nâng cao. Hệ thống có công suất xử lý 17,65 triệu

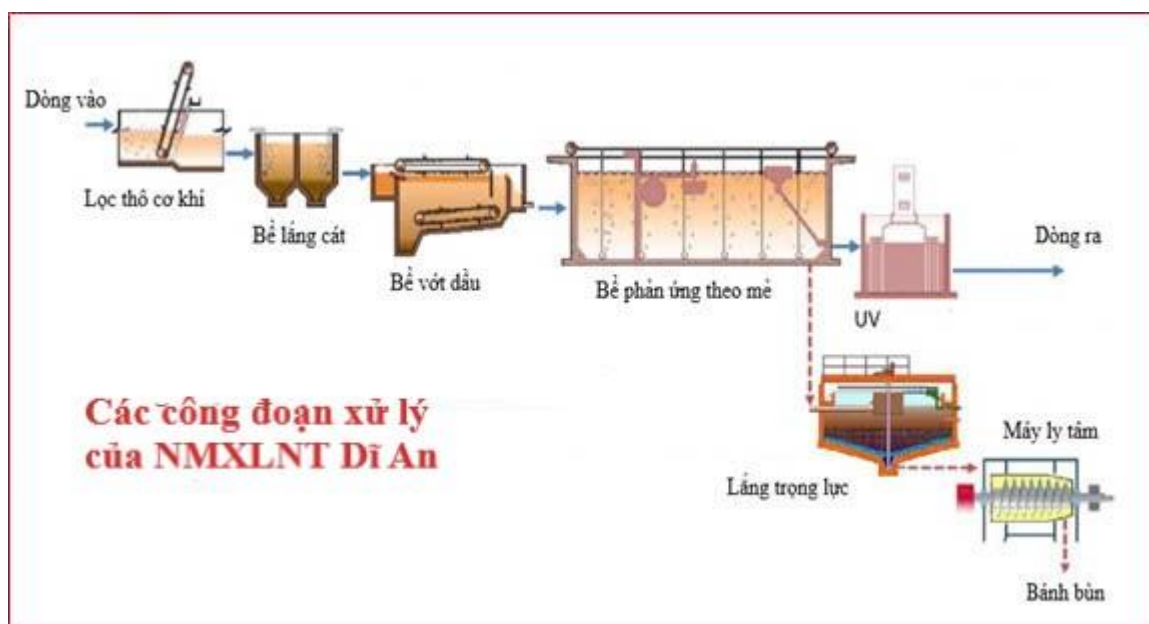
m³/ngày.đêm, vượt trội so với phương pháp bùn hoạt tính truyền thống (SBR), vốn chỉ phù hợp với quy mô xử lý nhỏ hơn.

Quy trình vận hành của nhà máy bao gồm: Nước thải được dẫn vào bể thu hoặc qua song chắn rác, sau đó đi qua bể lắng cát có hệ thống thổi khí. Tiếp theo, nước thải được chuyển vào bể ASBR, thực hiện khử trùng bằng tia cực tím trước khi đưa vào hồ ổn định và xả ra sông Sài Gòn. Ngoài ra, nhà máy còn xây dựng hệ thống hạ tầng hỗ trợ với 10 trạm bơm nâng và chuyển bậc, cùng mạng lưới đường ống gồm: tuyến cấp 1 dài 29 km, tuyến cấp 2 dài 82 km, tuyến cấp 3 dài 195 km và ống áp lực dài 3,6 km.



Hình 2. 5. Sơ đồ các công đoạn xử lý nước thải sinh hoạt của NMXLNT Nam Bình Dương

- *Nhà máy xử lý nước thải Dĩ An* áp dụng công nghệ bể phản ứng sinh học nâng cao (ASPR) để xử lý nước thải sinh hoạt bằng phương pháp bùn hoạt tính. Trước khi xả ra môi trường, nước thải được khử trùng bằng hệ thống tia UV và không để lại dư lượng hóa chất (Hình 2.6).



Hình 2. 6. Sơ đồ các công đoạn xử lý nước thải sinh hoạt của NMXLNT Dĩ An

- **Trạm xử lý nước Ba Bò:** Công nghệ xử lý dựa trên nguyên lý chuỗi các hồ sinh học sục khí. Trong khu vực có NMXLNT tập trung của Đồng An với công suất $3 \times 1.000 \text{ m}^3/\text{ngđ}$, nước thải được thu gom vào bể chứa của nhà máy xử lý nước thải sau đó phân ra các hệ thống xử lý, dẫn ra kênh Ba Bò đổ vào sông Sài Gòn.

- **NMXLNT Khu Công Nghệ Cao Thành phố Hồ Chí Minh:** Phương pháp công nghệ được áp dụng để xử lý nước thải là phương pháp hóa lý, kết hợp với phương pháp sinh học sử dụng bùn hoạt tính.

- **NMXLNT Tham Lương – Bến Cát:** Bể bùn hoạt tính theo mẻ SBR cải tiến được sử dụng trong nhà máy này nhằm xử lý photpho và nitơ, các chất hữu cơ có trong nước thải.

- **Nhà máy xử lý nước thải khu công nghiệp VSIP 1:** Lĩnh vực chủ yếu của khu công nghiệp là điện tử, dệt may, kim loại, sản xuất nhựa, cao su, ... Công nghệ xử lý dựa vào kỹ thuật sinh học kết hợp lọc sinh học và bùn hoạt tính,

c. Phương pháp lấy mẫu

Có tất cả 312 mẫu nước thải tại 6 nhà máy xử lý theo 2 mùa mưa và mùa khô (không lấy theo triều lên xuống trong ngày như mẫu nước mặt) trong 2 năm 2021 và 2022. Các mẫu được thu ngay hố ga đầu vào nhà máy xử lý (dòng vào); lấy mẫu nước thải đầu ra hệ thống xử lý (dòng xả thải) dùng bơm để lấy mẫu; hoặc tiếp cận phối hợp cùng với đội vệ sinh môi trường định kỳ theo các đợt cần lấy mẫu thủ công.

Bảng 2. 4. Bảng lấy mẫu nước thải tại các nhà máy xử lý

STT	Nhà máy	Ký hiệu	Vị trí lấy mẫu	Số mẫu lấy	Số mẫu lấy
-----	---------	---------	----------------	------------	------------

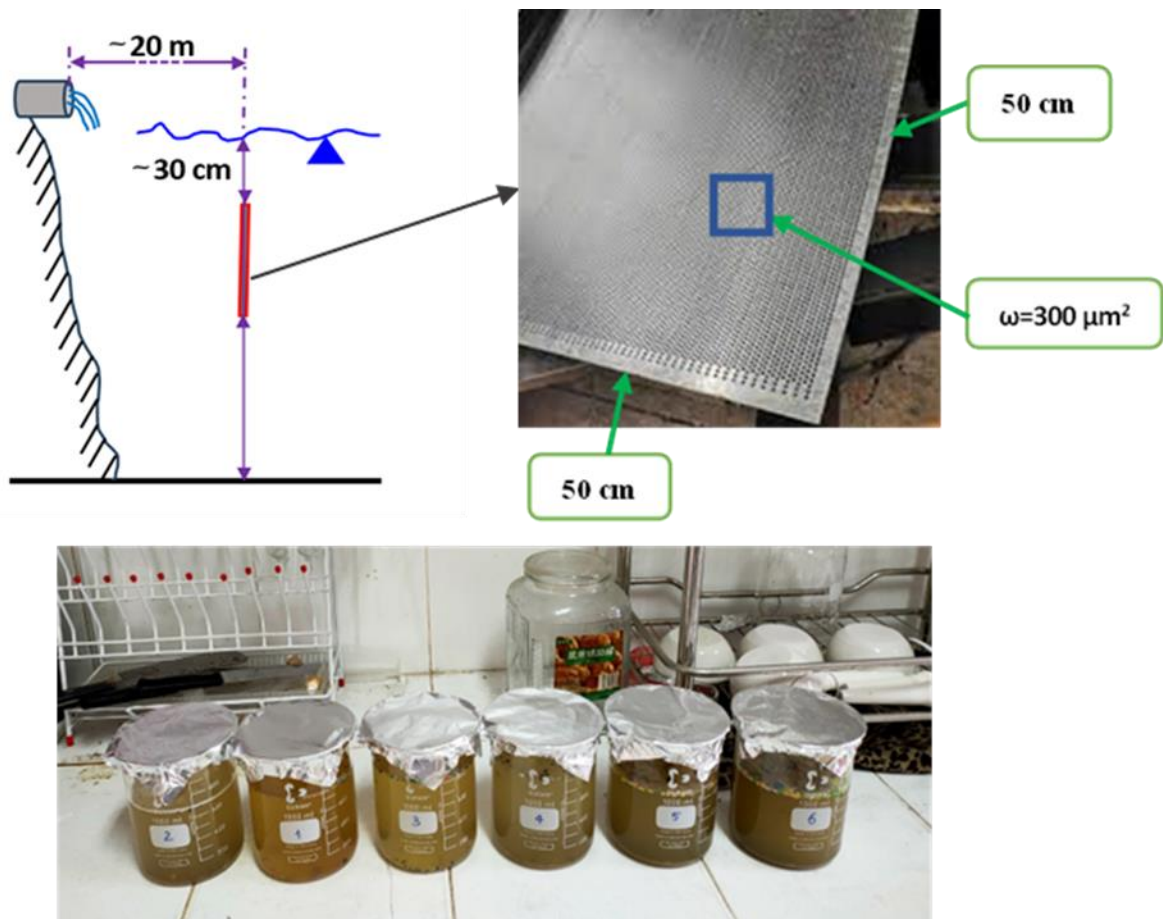
	xử lý nước thải			năm 2021		năm 2022	
				Mùa khô	Mùa mưa	Mùa khô	Mùa mưa
1	Nam Bình Dương (Thuận An)	XL_SG1	Trước song chắn rác	3	3	3	3
			Sau XL sơ bộ	3	3	3	3
			Sau XL cấp 1	3	3	3	3
			Sau XL cấp 2	3	3	3	3
2	VSIP 1	XL_SG2	Trước song chắn rác	3	3	3	3
			Sau XL sơ bộ	3	3	3	3
			Sau XL cấp 1	3	3	3	3
			Sau XL cấp 2	3	3	3	3
			Sau XL cấp 3	3	3	3	3
3	Ba Bò (Đồng An)	XL_SG4	Trước song chắn rác	3	3	3	3
			Sau XL sơ bộ	3	3	3	3
			Sau XL cấp 1	3	3	3	3
			Sau XL cấp 2	3	3	3	3
			Sau XL cấp 3	3	3	3	3
4	Tham Lương – Bến Cát	XL_SG5	Trước song chắn rác	3	3	3	3
			Sau XL sơ bộ	3	3	3	3
			Sau XL cấp 1	3	3	3	3
			Sau XL cấp 2	3	3	3	3
5	Dĩ An	XL_DN1	Trước song chắn rác	3	3	3	3
			Sau XL sơ bộ	3	3	3	3
			Sau XL cấp 1	3	3	3	3
			Sau XL cấp 2	3	3	3	3
6	Khu công nghệ cao Thành phố Hồ Chí Minh	XL_DN2	Trước song chắn rác	3	3	3	3
			Sau XL sơ bộ	3	3	3	3
			Sau XL cấp 1	3	3	3	3
			Sau XL cấp 2	3	3	3	3
Tổng				78	78	78	78
Tổng số mẫu				312 mẫu			

- Lấy mẫu nước dòng vào trước khi vào hệ thống xử lý của các nhà máy:

Nghiên cứu tập trung vào vi nhựa trong các mẫu nước thải có kích thước từ 1 mm đến 5 mm. Quy trình thu mẫu được điều chỉnh dựa trên phương pháp lấy mẫu nước biển của tổ chức NOAA, nhằm phù hợp hơn với điều kiện thực tế tại khu vực khảo sát. Tại các

vị trí cống tập trung, gầu mức nước được sử dụng để thu gom vi nhựa một cách thuận tiện, với độ sâu lấy mẫu khoảng 30 cm trong hệ thống cống. Mẫu được thu thập vào cả mùa mưa và mùa khô trong giai đoạn 2021–2022. Tại mỗi điểm lấy mẫu, việc thu mẫu được thực hiện ba lần, cách nhau 30 phút. Mỗi mẫu có thể tích hơn 2 lít, được chứa trong bình thủy tinh tối màu có nắp đậy kín để bảo quản.

- **Lấy mẫu nước dòng ra khỏi hệ thống xử lý của các nhà máy xả vào nguồn tiếp nhận:**



Hình 2. 7. Phương pháp thu mẫu vi nhựa nước thải

Mẫu nước thải chứa vi nhựa đầu ra của các NMXLNT được thực hiện tương tự như việc thu mẫu vi nhựa trong nước mặt nhưng có điều chỉnh để phù hợp hiện trạng môi trường thực tế của miệng xả thải vào nguồn tiếp nhận của các nhà máy xử lý.

Một lưới phiêu sinh với diện tích mắt lưới ω là $300 \mu\text{m}^2$ được gắn vào 1 khung thu mẫu vi nhựa với kích thước diện tích là $50 \times 50 \text{ cm}$, chiều dày 10 cm (Hình 2.7), được neo 1 cạnh cố định cách mặt nước khoảng 30 cm để thu tất cả vật rắn nổi trên lớp nước mặt bao gồm cả chất thải nhựa và các loại chất rắn khác. Tốc độ dòng chảy của nước được đo bằng phép đo của lưu lượng nước đi qua lưới lấy mẫu. Ở mỗi vị trí lấy mẫu, ba mẫu được thu thập với khoảng thời gian cách nhau từ 30 phút đến 1 giờ. Ngay sau khi thu, mẫu được sàng lọc thủ công nhằm loại bỏ các thành phần có kích thước lớn hơn 5 mm. Sau đó, các mẫu này sẽ

được trộn đều với nhau trong chậu thủy tinh (đã rửa sạch và tráng bằng Ethanol 90%) và được chứa trong bình thủy tinh có dung tích 2 lít có nắp kín.

2.3.3. Phương pháp phân tích vi nhựa

2.3.3.1. Hóa chất thiết bị

- Sàng bằng thép không gỉ, có kích cỡ khác nhau để phân loại vi nhựa theo kích thước
- Bình xịt chứa nước cất
- Cốc thủy tinh 500 mL
- Cân phân tích (chính xác đến 0,1 mg)
- Thìa kim loại
- Beaker thủy tinh
- Lò sấy (90°C)
- Axit sunfuric đậm đặc
- 30% Hydro Peroxide
- Thanh khuấy
- Đĩa nóng phòng thí nghiệm
- Kính đồng hồ
- Dung dịch ZnCl_2
- Kẹp kim loại tiêu chuẩn
- Bộ tách mật độ, được lắp ráp bằng phương pháp sau: Phễu thủy tinh (đường kính 122 mm) được lắp một đoạn mũ cao su 50 mm
- Thiết bị hút chân không
- Kẹp lò xo (2 inch)
- Giấy lọc
- Lọ thủy tinh 4 mL
- Máy Quang phổ FTIR
- Các đĩa thủy tinh petri

2.3.3.2. Phương pháp phân tích vi nhựa

Toàn bộ mẫu nước thu thập trong nghiên cứu này được bảo quản cẩn thận và vận chuyển đến phòng thí nghiệm Nation Lab cùng với phòng phân tích của Viện Môi trường và Kinh tế Tuần hoàn Miền Nam (IECES) để thực hiện quá trình phân tích và nhận diện vi nhựa.

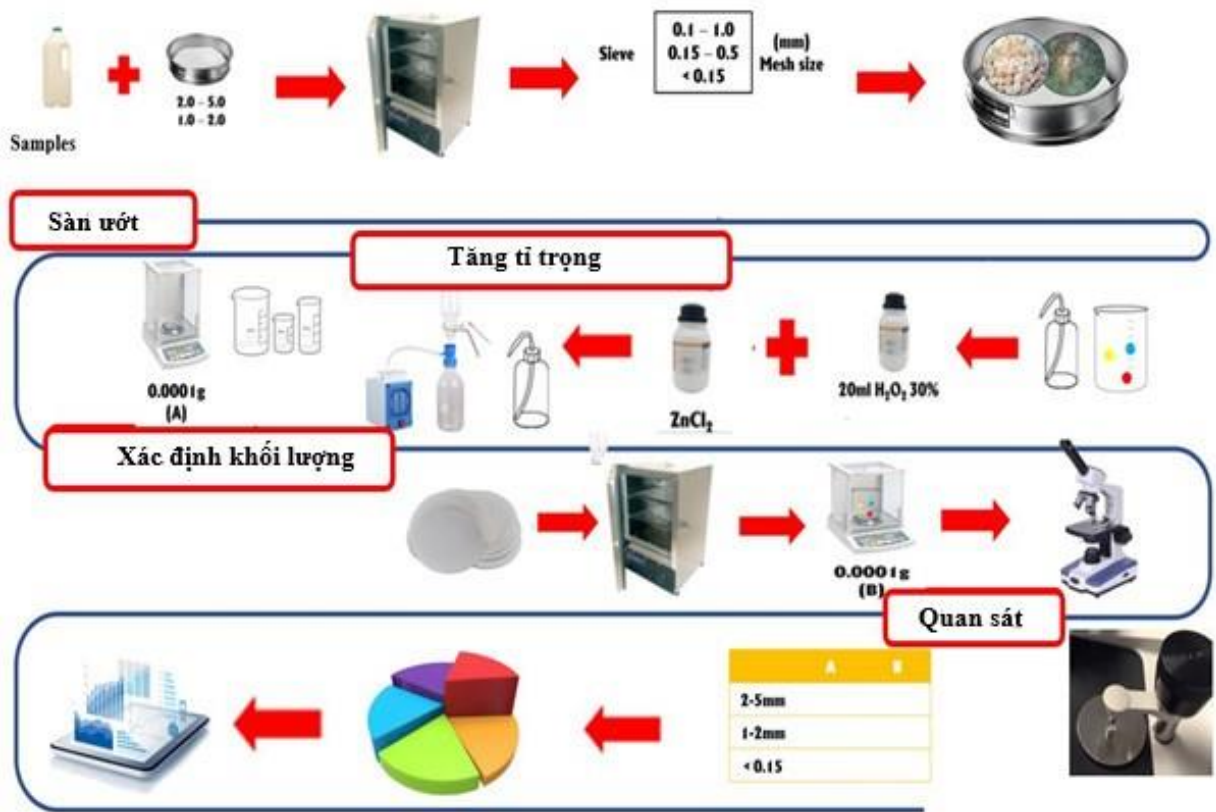
a. Quy trình phân tích

Công tác phân tích vi nhựa trong mẫu đã được thực hiện theo quy trình cải tiến và các bước tiến trình trong Bảng 2.5 và Hình 2.8 đã được cải tiến dựa trên quy trình phân tích vi nhựa trong các mẫu nước biển của cơ quan NOAA [14].

Bảng 2. 5. Các bước phân tích vi nhựa trong mẫu nước

Bước 1. Sàng rót	
Bước 2. Xác định khối lượng Vi nhựa: $KL_{Vi\text{ nhựa}} = B - A$ (A là khối lượng của giấy lọc)	
Bước 3. Tách tỉ trọng	
Bước 4. Xác định loại polyme và phân tích dữ liệu	

Mẫu sau khi loại bỏ vật chất, chất thải thô có kích cỡ lớn hơn 5mm được sấy khô. Mẫu sau khi sấy khô được cho vào các ống thủy tinh, dán nhãn để chuẩn bị phân hủy hợp chất hữu cơ. Quy trình chuẩn bị và phân tích mẫu được thể hiện trên Hình 2. 8.



Hình 2. 8. Quy trình phân tích xác định vi nhựa trong mẫu nước

b. *Phương pháp loại bỏ chất hữu cơ và khoáng vật, kim loại*

Loại bỏ chất hữu cơ: 20 mL dung dịch H₂O₂ 30 % (Hydro peroxide) và để không ảnh hưởng vi nhựa dùng 180 mL dung dịch Kali hydroxit (KOH) 10% được thêm vào thiết bị (cốc). Hỗn hợp được giữ ở nhiệt độ phòng trong 5 phút. Khuấy đều hỗn hợp rồi đun nhẹ trên bếp điện (khi thấy có bọt khí trên bề mặt thì lấy cốc ra khỏi bếp điện và cho vào tủ hút đến khi sủi bọt nhỏ lại). Tiếp tục đun nóng hỗn hợp này và thêm cho 20 ml 30% H₂O₂ cho đến khi phản ứng đổi màu từ màu hổ phách sang màu vàng nhạt để phân hủy hoàn toàn vật chất hữu cơ của mẫu. Các cốc được bọc giấy bạc và đặt trên bếp điện ở 60°C trong 40 giờ trong tủ hút và khuấy. Khi chất hữu cơ bị loại bỏ hoàn toàn, dung dịch trở nên trong và có màu vàng nhạt là quá trình phân hủy hữu cơ được coi là hoàn tất.

Tách chiết vi nhựa: Thêm dung dịch ZnCl₂ (d = 1,6 g/mL) vào hỗn hợp mẫu, khuấy đều, sau đó tiếp tục thêm dung dịch ZnCl₂ vào cốc để dễ dàng phân tách được vi nhựa lên bề mặt của dung dịch mẫu, và để lắng trọng lực dựa trên sự chênh lệch về mật độ nhằm tách tỉ trọng các khoáng vật nặng hơn vi nhựa tồn tại. Vi nhựa nổi lên bề mặt dung dịch, khoáng chất và kim loại chìm xuống đáy hỗn hợp. Tiếp theo, vi nhựa được ra khỏi hỗn hợp các vật chất. Dung dịch được lọc bằng bơm chân không qua các giấy lọc. Các mẫu đã lọc được đặt vào đĩa petri thủy tinh có dán nhãn và sấy khô để tiếp tục xác định vi nhựa.

c. **Phương pháp định lượng và định tính vi nhựa**



Xác định số lượng và khối lượng vi nhựa trong mẫu

Hệ thống lọc chân không Nalgene kết hợp với màng lọc Milipore có đường kính 47 mm, kích thước lỗ 0,45 μm và ô lưới $3,1 \times 3,1$ mm được sử dụng để tách vi nhựa khỏi dung dịch. Thực hiện nhẹ nhàng lấy bộ lọc ra và bọc trong túi giấy nhôm (bộ lọc đã được cân trước khi không chứa vi nhựa (A mg)), sấy khô trong khoảng từ 18 giờ đến 24 giờ và cân chính xác đến 0,1 mg (B). Khối lượng vi nhựa trong mẫu là hiệu số B trừ đi A. Nhận dạng trực quang được thực hiện để xác định số lượng, vi nhựa sau khi sấy khô chứa trên bộ lọc được dùng nhíp gấp và đếm thủ công trong từng đĩa petri. Dụng cụ hỗ trợ dùng trong nghiên cứu là kính hiển vi Leica Stereoscope S6D (độ phóng đại 0,5X – 80X) kết hợp với máy ảnh HD chụp lại các hình ảnh thích hợp.

Công việc xác định khối lượng hay số lượng vi nhựa nhằm tính toán được mật độ hiện diện của chúng (số lượng vi nhựa/ m^3 nước hoặc khối lượng mg/m^3 nước), từ đó đánh giá được sự hiện diện của chúng trong môi trường nước, xác định được mật độ của chúng khi chuyển tiếp tại các vị trí từ khu vực thưa dân đến nơi có dân cư đông đúc, phân tích dữ liệu thống kê ra được diễn biến mật độ hiện diện của chúng.



Xác định kích cỡ và hình dạng

- **Xác định kích cỡ:** Nghiên cứu đã sử dụng các sàng đường kính 300 mm bằng làm bằng inox 304, bao gồm 4 kích cỡ mắt lưới rây khác nhau theo trình tự để phân loại vi nhựa theo kích cỡ: 4 mm, 3 mm, 2 mm, và 1 mm. Đối tượng vi nhựa với kích thước từ 1mm đến 5mm được lựa chọn trong nghiên cứu được phân loại kích cỡ vi nhựa theo nguyên tắc:

- i/ Size 1 là tất cả vi nhựa từ 4 mm đến 5 mm (dùng sàng có kích thước lỗ rây 4mm²);
- ii/ Size 2 là từ 3 mm đến 4 mm (dùng sàng có kích thước lỗ rây 3mm²);
- iii/ Size 3 là từ 2 mm đến 3 mm (dùng sàng có kích thước lỗ rây 2mm²);
- iv/ Size 4 là từ 1 mm đến 2 mm (dùng sàng có kích thước lỗ rây 1mm²).

Đối với vi nhựa dạng sợi, sự phân loại về kích thước được nghiên cứu tính theo chiều dài của chúng.

✓ **Xác định hình dạng vi nhựa**

Trong nghiên cứu này, vi nhựa được phân loại theo ba dạng chính: sợi, hạt và mảnh. Cụ thể:

- Dạng sợi: Là các sợi vi nhựa có chiều dài vượt trội hơn đáng kể so với đường kính.
- Dạng mảnh: Gồm các mảnh nhỏ có hình dạng không cố định, có thể là các mảnh vỡ từ nhựa lớn hơn.

- Dạng hạt: Bao gồm các hạt nhựa có hình dạng tròn hoặc gần tròn, với bề mặt có thể nhẵn hoặc góc cạnh.
- Nhóm khác: Các mẫu không thuộc một trong ba dạng trên sẽ được xếp vào nhóm hình dạng không xác định.

Quá trình nhận dạng hình dạng và kích thước vi nhựa được thực hiện bằng phương pháp trực quan, sử dụng kính hiển vi Leica Stereoscope S6D (độ phóng đại 0,5x - 80x) kết hợp với máy ảnh HD để ghi lại hình ảnh chi tiết. Vi nhựa sau khi sấy khô trên bộ lọc được thu thập và phân loại thủ công bằng nhíp, sau đó được đếm trong từng đĩa petri.

Việc xác định hình dạng và kích thước vi nhựa giúp đánh giá mật độ cũng như sự phân bố của chúng tại các điểm lấy mẫu theo thời gian và không gian. Ngoài ra, nghiên cứu cũng có thể liên kết hình dạng vi nhựa với nguồn gốc phát sinh, chẳng hạn:

Vi nhựa dạng sợi: Có thể xuất phát từ lưới đánh cá, dây câu, vải sợi tổng hợp, túi đựng gạo, khẩu trang y tế...

Vi nhựa dạng hạt: Có thể đến từ hạt nhựa trang trí, nhựa cứng bị vỡ, xốp nhồi bông...

Vi nhựa dạng mảnh: Có thể hình thành do sự phân rã của các tấm nhựa lớn như áo mưa, khăn trải bàn nhựa, túi nilon...

Việc phân tích hình dạng vi nhựa không chỉ giúp xác định nguồn gốc mà còn hỗ trợ lựa chọn các phương pháp xử lý phù hợp, như lọc, lắng hay tuyển nổi để loại bỏ vi nhựa khỏi môi trường nước.

✓ *Xác định màu sắc vi nhựa*

Màu sắc của vi nhựa được nhận dạng thông qua quan sát trực quan dưới kính hiển vi Leica-Stereoscope S6D (độ phóng đại 80X), kết hợp với máy ảnh HD để ghi lại hình ảnh chi tiết. Sau đó, các mẫu được phân loại theo màu sắc và đo đạc bằng phần mềm ImageJ.

Phân tích màu sắc giúp nhận diện phần nào nguồn phát sinh vi nhựa. Ví dụ:

- Vi nhựa trong suốt: Có thể bắt nguồn từ túi nilon đựng thực phẩm, bao bì đóng gói...
- Vi nhựa trắng: Thường xuất phát từ hộp đựng thực phẩm, thùng xốp giữ nhiệt...
- Vi nhựa màu xanh, đỏ, đen: Có thể liên quan đến nắp chai, ống hút nhựa, lốp xe...

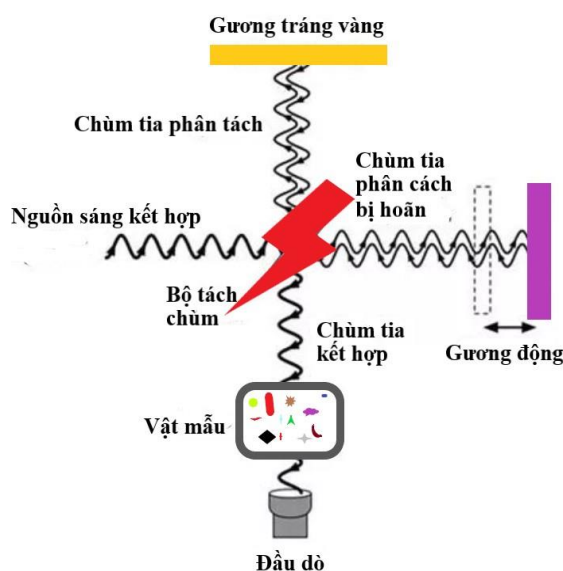
Nghiên cứu về màu sắc vi nhựa giúp làm rõ hơn mối liên hệ giữa các nguồn phát thải và đặc điểm của vi nhựa trong môi trường, từ đó đề xuất giải pháp kiểm soát và xử lý phù hợp.

d. Phương pháp định danh vi nhựa

Cho đến nay, kỹ thuật quang phổ phổ biến cho việc phân tích các chủng loại nhựa là quang phổ hồng ngoại Fourier biến đổi theo phương pháp suy giảm toàn phần (ATR-FTIR), đây cũng là kỹ thuật chính sử dụng để định danh vi nhựa trong nội dung luận án. Ánh sáng hồng ngoại đi xuyên qua vật liệu nhựa và năng lượng được hấp thụ bởi mẫu, và ánh sáng được phản xạ trở lại tạo ra một quang phổ. Đối với các mẫu nhỏ hơn 1mm, phụ kiện ATR có thể cung cấp khả năng xem và phóng đại.

Công tác định danh cho vi nhựa trong tiến hành phân tích bằng kỹ thuật quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (ATR-FTIR). Khi tiếp xúc với bức xạ hồng ngoại, các vi nhựa hấp thụ bức xạ ở các bước sóng rất cụ thể. Cấu trúc trục quang của thiết bị phân tích quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) dùng để phân tích xác định chủng loại polyme vi nhựa trong các mẫu nước được thể hiện trong Hình 2.9.

Việc thu thập và phân tích dữ liệu định danh được nghiên cứu sử dụng công cụ quang phổ hồng ngoại tự động thông qua việc sử dụng một kính hiển vi được trang bị phụ kiện chụp ảnh ATR và phần mềm phân tích các phổ peak của các loại polymer nhựa, cụ thể là kính hiển vi hình ảnh FTIR Nicolet™ iN10 MX như Hình 2.10, cung cấp mức độ tự động hóa hữu ích này.



Hình 2. 9. Cấu trúc máy FTIR



Hình 2. 10. Kính hiển vi hình ảnh FTIR Nicolet iN10 MX với các phụ kiện ATR.

Sự cải tiến của phương pháp phân tích xác định vi nhựa trong các mẫu nước được luận án đưa ra so với phương pháp phân tích xác định vi nhựa trong các mẫu nước biển của NOAA có những điểm nổi bật sau:

i/ Cải tiến trong giai đoạn xử lý mẫu – loại bỏ chất hữu cơ: NOAA sử dụng chủ yếu H_2O_2 30% để phân hủy chất hữu cơ ở nhiệt độ thấp (từ 60°C đến 75°C), nhằm tránh làm thay đổi cấu trúc vi nhựa. Cải tiến: Phương pháp mới kết hợp H_2O_2 30% và KOH 10% để nâng cao hiệu quả phân hủy chất hữu cơ mà vẫn giữ nguyên hình thái vi nhựa, giúp giảm thời gian xử lý và tăng khả năng phân hủy chất hữu cơ bền. Kết hợp trên bếp điện ở 60°C trong 40 giờ trong tủ hút và khuấy để kiểm soát quá trình phản ứng và tránh tổn hại đến vi nhựa – đây là một điểm khác biệt so với quy trình NOAA vốn đơn giản hơn.

ii/ Cải tiến trong tách chiết vi nhựa: NOAA thường sử dụng dung dịch NaCl ($d = 1,2 \text{ g/mL}$) để tách trọng lực (density separation). Cải tiến: Phương pháp này sử dụng ZnCl_2 có tỷ trọng cao hơn ($d = 1,6 \text{ g/mL}$) – cho hiệu quả tách vi nhựa cao hơn, đặc biệt với các polymer có mật độ lớn như PET, PVC (vốn không nổi được trong dung dịch NaCl). Nhờ vậy, tăng độ chính xác khi thu hồi và định lượng vi nhựa trong mẫu.

iii/ Cải tiến trong định lượng và định tính vi nhựa: NOAA chủ yếu tập trung định tính bằng kính hiển vi và xác định số lượng vi nhựa dựa trên đếm thủ công. Cải tiến: Phương pháp này kết hợp xác định khối lượng vi nhựa bằng phép cân vi sai ($A - B$), giúp tăng độ chính xác trong ước lượng nồng độ vi nhựa trong mẫu (mg/m^3). Đồng thời sử dụng kính hiển vi Leica S6D độ phóng đại cao ($0.5\times - 80\times$) + camera HD cho phép phân loại vi nhựa theo hình dạng, kích thước, màu sắc giúp đánh giá nguồn gốc tốt hơn.

iv/ Cải tiến trong phân loại kích thước và hình dạng: NOAA thường chỉ phân tích các mẫu sau khi lọc qua lưới 0,3–5 mm, nhưng ít phân loại chi tiết theo cỡ lưới nhỏ. Cải tiến: Sử dụng hệ thống 4 rây inox phân cỡ từ 1 mm đến 5 mm giúp phân loại chi tiết kích thước vi nhựa thành 4 nhóm (size 1 $\rightarrow$ size 4). Ngoài ra, phân loại hình dạng cụ thể thành 3 nhóm chính (sợi, mảnh, hạt) và 1 nhóm phụ là không xác định – chi tiết hơn so với mô tả chung trong NOAA. Liên kết hình dạng với nguồn gốc tiềm năng, cung cấp thông tin hữu ích cho việc xác định nguồn ô nhiễm và thiết kế biện pháp can thiệp.

v/ Phương pháp định danh vi nhựa cải tiến so với NOAA: Hiện nay, kỹ thuật phổ biến để định danh chủng loại vi nhựa là quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), đặc biệt là theo phương pháp suy giảm toàn phần (ATR-FTIR). Trong nghiên cứu này, kỹ thuật FTIR được cải tiến với việc kết hợp kính hiển vi tích hợp hình ảnh và phần mềm tự động phân tích phổ, nâng cao độ chính xác và khả năng phân tích các mẫu vi nhựa có kích thước nhỏ dưới 1 mm – đây là hạn chế thường gặp trong phương pháp NOAA. Cụ thể, hệ thống kính hiển vi FTIR Nicolet™ iN10 MX được sử dụng, cho phép quan sát trực tiếp và phóng đại mẫu vi nhựa trước khi phân tích phổ hấp thụ, nhờ tích hợp phụ kiện ATR và phần mềm phân tích peak phổ tự động.

vi/ Đảm bảo chất lượng và kiểm soát chất lượng (QA/QC): Trong quá trình phân tích vi nhựa, các biện pháp QA/QC được thực hiện nghiêm ngặt nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Các bước bao gồm sử dụng mẫu trắng (blank sample) để kiểm soát nhiễm bẩn nền, kiểm tra hiệu chuẩn thiết bị bằng mẫu chuẩn polymer (PS, PE, PET...), và lặp lại phân tích trên cùng mẫu để đánh giá độ lặp lại (repeatability). Thiết bị FTIR được kiểm tra và hiệu chuẩn thường xuyên theo hướng dẫn của nhà sản xuất để đảm bảo độ chính xác phổ. Việc sử dụng thiết bị FTIR tích hợp camera và phần mềm phân tích phổ tự động giúp tăng độ chính xác trong định danh polymer.

2.3.4. Phương pháp đánh giá SWOT và thang đo Likert 5 bậc

Trong nghiên cứu này, phương pháp SWOT được áp dụng nhằm phân tích các yếu tố nội tại (bao gồm điểm mạnh và điểm yếu) cùng các yếu tố bên ngoài có thể tác động nhưng khó kiểm soát (cơ hội và thách thức) [131]. Mục tiêu của phương pháp này là đánh giá khả năng thu hồi tài nguyên từ chất thải rắn, dựa trên góc nhìn từ cộng đồng, chuyên gia và các nhà khoa học trong lĩnh vực liên quan.

Để định lượng kết quả đánh giá, nghiên cứu sử dụng thang đo Likert 5 bậc [132], trong đó các yếu tố được sắp xếp theo mức độ từ thấp đến cao như sau:

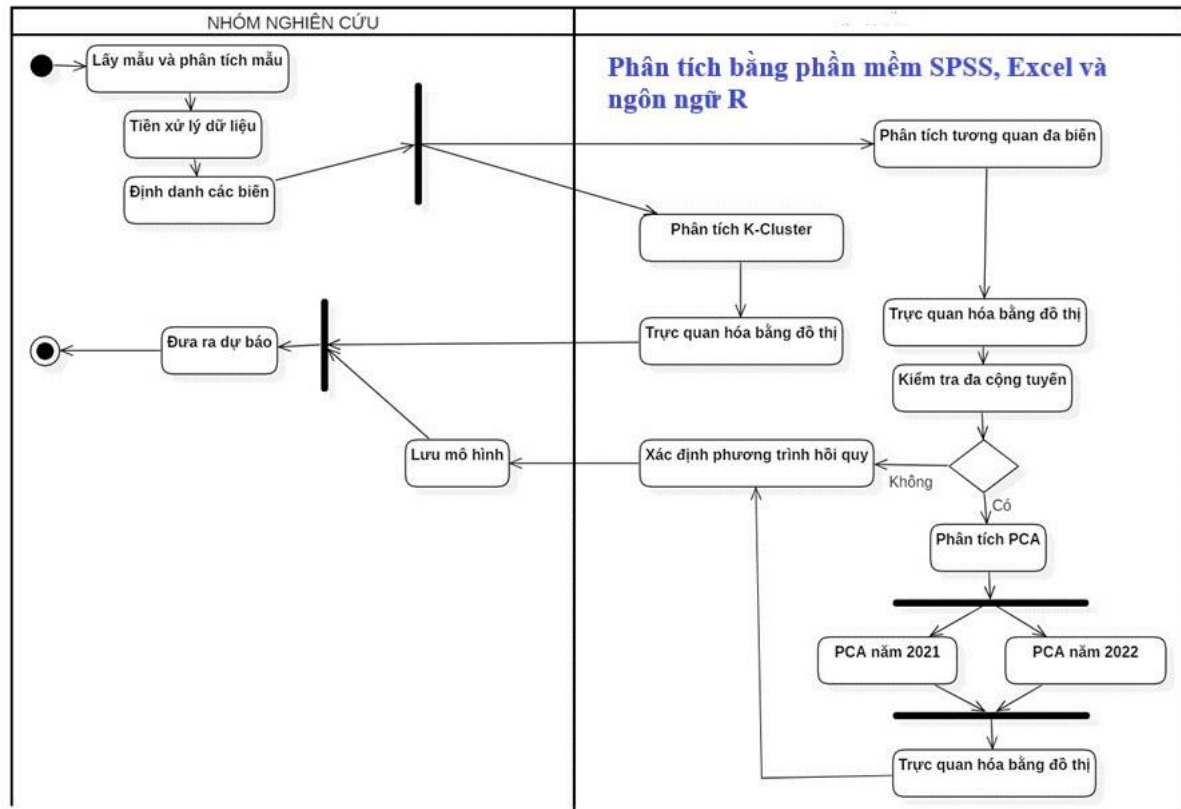
- Điểm mạnh (Strengths): Được chấm điểm từ 1 (thấp nhất) đến 5 (cao nhất).
- Điểm yếu (Weaknesses): Yếu tố có ảnh hưởng tiêu cực nhất nhận điểm 5 (giá trị âm).
- Cơ hội (Opportunities): Khả năng khả thi nhất được chấm điểm 5, mức thấp nhất là 1.
- Mối đe dọa (Threats): Yếu tố gây trở ngại nghiêm trọng nhất nhận điểm 5 (giá trị âm).

Việc sử dụng thang đo Likert giúp chuẩn hóa đánh giá và so sánh mức độ tác động của từng yếu tố trong phân tích SWOT.

2.3.5. Phương pháp phân tích dữ liệu vi nhựa

2.3.5.1. Sơ đồ thực hiện kiến trúc thực hiện phân tích dữ liệu trong nghiên cứu

Tổng quan cho phương pháp phân tích dữ liệu vi nhựa trên 18 vị trí lấy mẫu của 2 con sông Đồng Nai và Sài Gòn được thể hiện trong sơ đồ kiến trúc nội dung phân tích dữ liệu ở Hình 2.11.



Hình 2. 11. Sơ đồ kiến trúc mô hình xử lý dữ liệu trong nghiên cứu

Dữ liệu trong nghiên cứu được phân tích thông qua việc lập trình hóa các thuật toán thống kê bằng ngôn ngữ R phiên bản 4.2.0, kết hợp với sự hỗ trợ của phần mềm thống kê SPSS 25.0 và Microsoft Excel trên nền tảng Microsoft Office 2023.

i/ Sử dụng ngôn ngữ R

R là một công cụ phổ biến trong tính toán thống kê ứng dụng [133-134]. Phiên bản R 4.2.0 được sử dụng trong nghiên cứu này nhằm phân tích dữ liệu, với các gói thư viện được tải từ trang web chính thức của R (<http://cran.r-project.org>). Các thư viện chính bao gồm:

Packages: psych, ggbiplot

Các hàm R sử dụng: `pairs.panels(data)`, `princomp(data)`, `summary(pca)`, `loadings(pca)`

Phân tích tương quan: Hàm `pairs.panels()` thuộc thư viện `Psych` được áp dụng để đánh giá mối quan hệ giữa các biến.

Phân tích thành phần chính (PCA): Sử dụng các hàm `prcomp()` và `princomp()` để trích xuất các thành phần chính. Kết quả đầu ra bao gồm:

- ✓ Ma trận tải trọng (các vector riêng theo từng thành phần chính)
- ✓ Độ lệch chuẩn của các thành phần chính
- ✓ Độ lệch chuẩn của biến, phản ánh mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố
- ✓ Các khả biến
- ✓ Tọa độ, đại diện cho vị trí của điểm dữ liệu trong hệ quy chiếu đã xác định
- ✓ Phân tích PCA được áp dụng để xử lý dữ liệu vi nhựa theo không gian và thời gian, đặc biệt trong các trường hợp gặp vấn đề về đa cộng tuyến.

Phân tích cụm K-Means: Dữ liệu vi nhựa tại các vị trí lấy mẫu được phân cụm theo thời gian và không gian nhằm nhóm các điểm có đặc điểm tương đồng. Trong nghiên cứu này, phương pháp K-Means được áp dụng để kiểm tra mối liên hệ giữa các yếu tố cũng như xác thực kết quả từ PCA. Số lượng cụm được xác định dựa trên phân tích hệ số Hopkins. Kết quả từ K-Means sẽ giúp xác định các vị trí có đặc điểm vi nhựa tương đồng, hỗ trợ trong việc đánh giá tính nhất quán của các phân tích trước đó.

ii/ Sử dụng phần mềm SPSS

Phần mềm thống kê SPSS phiên bản 25.0 được sử dụng để phân tích tương quan giữa mật độ vi nhựa với các yếu tố thời gian và mực nước thủy triều trong hai năm khảo sát [135].

iii/ Sử dụng Microsoft Excel

Microsoft Excel 2016 trên nền tảng Microsoft Office 2023 được sử dụng để thực hiện các phép tính toán cơ bản và xử lý dữ liệu thô trong nghiên cứu.

2.3.5.2. Phương pháp hồi quy phân tích đa biến

Trong nghiên cứu này, các biến đầu vào được sử dụng để xây dựng mô hình hồi quy, bao gồm các đặc điểm hình thái của vi nhựa (sợi, mảnh, hạt và các dạng khác) theo từng mùa và sự biến động của thủy triều [136-137]. Phương trình hồi quy tổng quát được biểu diễn như sau:

$$\hat{Y}_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) = \omega_0 + \omega_1 X_{i1} + \omega_2 X_{i2} + \dots + \omega_p X_{ik} = W^T X_i \quad (1)$$

Trong đó, X_i là một vector đại diện cho quan sát thứ i , bao gồm các giá trị $(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik})$. Ma trận X có kích thước $n \times k$, trong đó mỗi hàng tương ứng với một quan sát, còn mỗi cột biểu thị một biến. Thành phần X_{ik} thể hiện giá trị của quan sát thứ i đối với biến thứ k . Ma trận X (ký hiệu là $\bar{X}$) được mở rộng bằng cách thêm một vector cột 1 ở đầu. Khi áp dụng cho tập dữ liệu về hình thái vi nhựa, ta thu được kết quả như sau:

$$\hat{Y} = F(X) = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Kết quả tính toán phương trình hồi quy sẽ xây dựng, từ đó có thể dự báo được xu thế biến đổi của vi nhựa theo các điều kiện quan sát.

2.3.5.3. Phương pháp phân tích tương quan đa biến

Nghiên cứu tiến hành phân tích tương quan nhằm đánh giá mức độ liên kết giữa các thông số chất lượng nước trong hai mùa. Hệ số tương quan (r) là một chỉ số thống kê dùng để xác định mức độ quan hệ giữa hai biến số. Giá trị của hệ số này được xác định dựa trên công thức (3) dưới đây [138-139]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Trong đó: x và y hai biến số từ n mẫu.

Hệ số tương quan (r) chỉ có ý nghĩa khi mức ý nghĩa quan sát nhỏ hơn 0,05 và được diễn giải trong các trường hợp sau:

- ✓ Nếu hệ số tương quan bằng 0 (hoặc gần 0), điều đó cho thấy hai biến không có mối liên hệ nào đáng kể.
- ✓ Khi hệ số tương quan đạt -1 hoặc 1, hai biến có mối quan hệ tuyệt đối với nhau.
- ✓ Nếu hệ số tương quan mang giá trị âm ($r < 0$), điều này có nghĩa là khi biến x tăng, biến y giảm, và ngược lại.
- ✓ Nếu hệ số tương quan dương ($r > 0$), điều đó thể hiện rằng khi x tăng, y cũng tăng theo.

Việc tính toán hệ số tương quan giữa các biến đặc tính và mật độ vi nhựa theo không gian, thời gian giúp xác định mối quan hệ giữa chúng trong các điều kiện khác nhau. Điều này hỗ trợ nghiên cứu trong việc đánh giá mật độ và đặc điểm vi nhựa tại từng thời điểm, chẳng hạn như khi thủy triều lên, thủy triều xuống, trong mùa mưa hay mùa khô, hoặc tại các vị trí lấy mẫu cụ thể. Ngoài ra, phân tích tương quan còn giúp kiểm

tra hiện tượng đa cộng tuyến, đánh giá độ chính xác và đảm bảo ý nghĩa của các bước phân tích tiếp theo trong nghiên cứu.

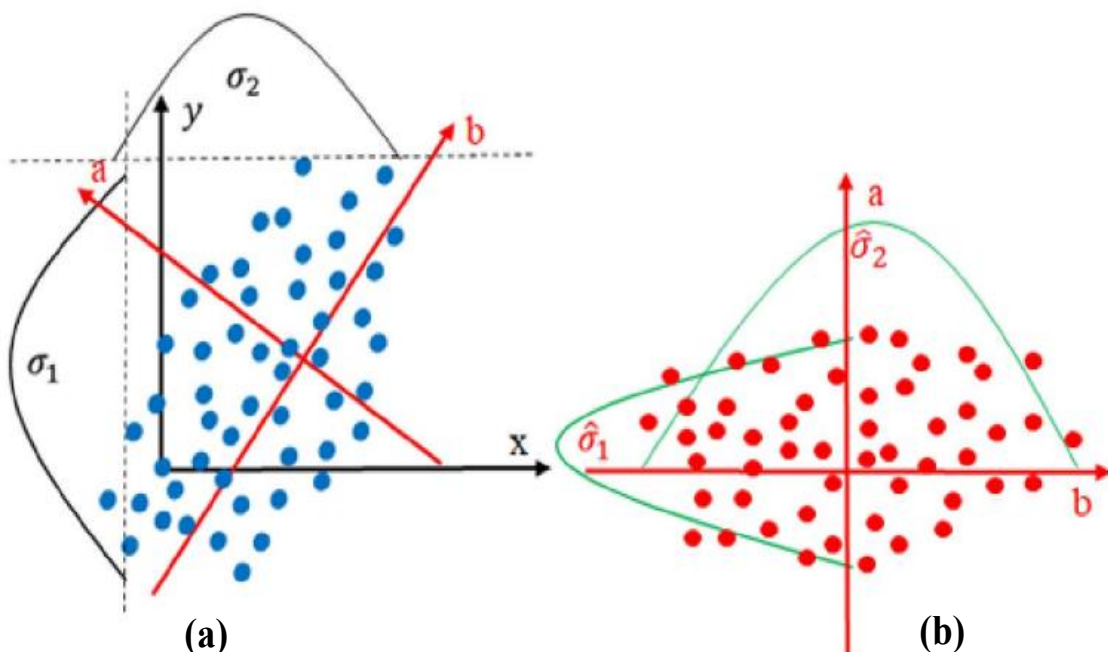
2.3.5.4. Phương pháp phân tích thành phần chính

Khi dữ liệu nằm trên hoặc gần một không gian con của tập dữ liệu, như trong trường hợp này là hình thái và màu sắc của vi nhựa, phương pháp PCA giúp loại bỏ các đặc trưng không quan trọng, đồng thời xoay và giảm số chiều dữ liệu. Nhờ đó, việc phân tích và quan sát tập dữ liệu vi nhựa trở nên trực quan và hiệu quả hơn.

Trong tập dữ liệu về hình thái và màu sắc của vi nhựa, mỗi mẫu được biểu diễn dưới dạng D chiều (đặc trưng). Kỹ thuật PCA sẽ tạo ra các véc-tơ đặc trưng có D chiều, hướng theo phương sai lớn nhất trong toàn bộ dữ liệu. Nguyên tắc hình thành các thành phần chính (PC) có thể hiểu như sau:

- Chiếu hệ dữ liệu ban đầu lên các PC này.
- Sử dụng các PC để xây dựng một tập dữ liệu mới, trong đó các biến có sự tương đồng về hình thái và màu sắc.

Phép biến đổi trực giao giúp chuyển đổi tập dữ liệu từ không gian nhiều chiều sang không gian ít chiều hơn nhằm tối ưu hóa sự biến thiên của dữ liệu [140-142]. Hình 2.12 minh họa cách dữ liệu được biểu diễn trong không gian mới thông qua PCA.



Hình 2. 12. Không gian mô phỏng của PCA

(a) Không gian dữ liệu gốc; (b) Không gian dữ liệu đã được điều chỉnh.

Theo tiêu chí Kaiser, các thành phần chính (PC) có giá trị riêng lớn hơn 1 và tổng phương sai giải thích đạt từ 50% đến 70% sẽ được giữ lại [139].

2.3.5.5. Phương pháp phân tích cụm Clustering

Phân tích cụm được sử dụng để nhóm các vị trí lấy mẫu vi nhựa theo không gian và thời gian dựa trên đặc điểm chung của chúng. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân cụm K-Mean được áp dụng nhằm kiểm tra lại mối liên hệ giữa các biến trong phân tích tương quan và PCA liên quan đến vi nhựa. Số lượng cụm sẽ được xác định dựa trên kết quả của hệ số Hopkins.

Thuộc tính phân tích cụm: i/ Đặc tính tương đồng vi nhựa sẽ được phát hiện trong khi thông tin về chúng không được biết trước, vấn đề xử lý được chạy trên bộ dữ liệu nghiên cứu ngẫu nhiên từ thực tế; ii/ Mỗi cụm là tập hợp các vị trí mà có tương đồng chung về các đặc điểm vi nhựa [142-143]. Kết quả phân tích cụm Clustering sẽ giúp cho nghiên cứu đối chiếu lại kết quả luận giải hiện trạng và hướng biến đổi các đặc tính đối tượng nghiên cứu, đồng thời sẽ chỉ ra được các vị trí có các đặc tính tương đồng được quy hoạch thành các cụm khi phân tích Clustering.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Vi nhựa trong nước sông Sài Gòn – Đồng Nai

Kết quả phân tích tại 18 điểm lấy mẫu trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn cho thấy vi nhựa xuất hiện ở tất cả các vị trí khảo sát. Mật độ vi nhựa cao hơn đáng kể tại những khu vực đông dân cư, nơi có khối lượng rác thải lớn, cũng như tại các ngã ba sông hoặc điểm hợp lưu với các kênh nhỏ chảy từ khu dân cư vào hai con sông này. Các vị trí có mật độ vi nhựa cao nhất bao gồm SGL4, SGL6, SGL7, SGL8, SGL11, SGL12, DNL2, DNL3, DNL4 và DNL5, giúp làm sáng tỏ mục tiêu nghiên cứu.

Quan sát qua kính hiển vi soi nổi và hiển vi điện tử quét cho thấy vi nhựa có nhiều hình dạng, màu sắc và kích thước khác nhau, dao động từ 1 đến 5 mm (Hình 3.1). Những hạt vi nhựa này tập trung chủ yếu tại các khu vực rác tích tụ khi thủy triều xuống, chịu ảnh hưởng của dòng chảy hoặc gần các cửa xả nước thải từ nhà máy sản xuất liên quan đến nhựa.

Phân tích ban đầu cho thấy vi nhựa dạng sợi chiếm tỷ lệ cao, với mật độ dao động từ 228.120 x 1.000 sợi vi nhựa/m³ nước đến mức cao nhất là 715.124 x 1.000 sợi vi nhựa/m³ nước (tại khu vực ven bờ 3–5 m). So với các nghiên cứu trước đây, mật độ vi nhựa tại hai con sông này cao hơn từ 3 đến 5 lần. Sự phân bố vi nhựa trong mẫu nước không đồng đều và có mối quan hệ với các yếu tố nhân tạo như số lượng nhà máy xử lý nước thải, lượng rác thải hàng ngày, mật độ dân cư và mức độ phát triển hạ tầng đô thị. Có thể thấy, sự gia tăng đô thị hóa và công nghiệp hóa trong lưu vực sông có tương quan chặt chẽ với mức độ ô nhiễm vi nhựa.

Ban đầu, vi nhựa chủ yếu tồn tại ở tầng mặt nước, sau đó có thể bị cuốn theo dòng chảy hoặc lắng xuống lớp trầm tích bùn. Dạng vi nhựa phổ biến trong mẫu nước sông gồm sợi và hạt, với sự đa dạng về hình dạng và màu sắc do tác động từ mạng lưới cống thoát nước mưa và khu vực dân cư, đặc biệt trong mùa mưa.

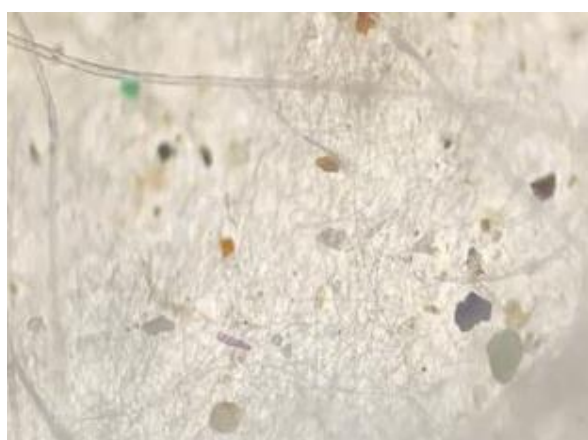
Những đặc điểm về hình dạng và màu sắc của vi nhựa được ghi nhận rõ ràng qua kính hiển vi Leica-Stereoscope S6D (Hình 3.1), góp phần cung cấp dữ liệu quan trọng cho nghiên cứu.



a) Vi nhựa dạng sợi



b) Vi nhựa mảnh và mảnh



c) Vi nhựa dạng hạt



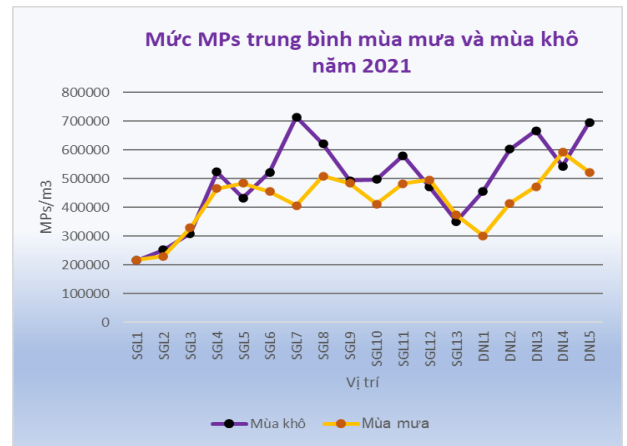
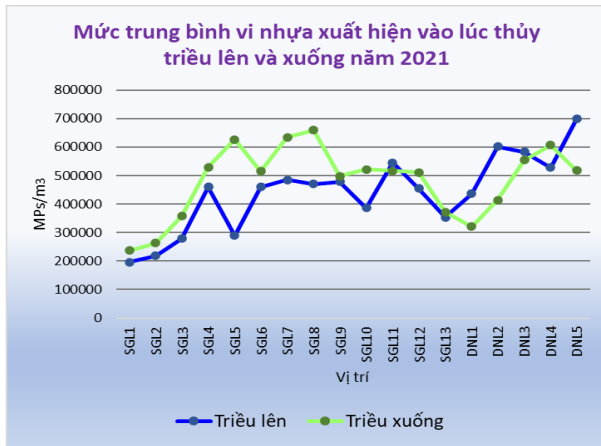
d) Hình dạng và màu sắc của hạt vi nhựa được phát hiện

Hình 3. 1. Hình dạng và màu sắc của vi nhựa trong các mẫu nước được ghi nhận qua kính hiển vi Leica Stereoscope S6D

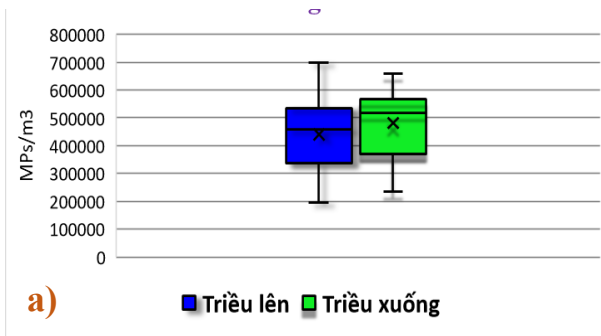
Trong nghiên cứu này, vi nhựa được phân tích nhằm xác định mối tương quan và dự đoán sự thay đổi đặc điểm theo thời gian (bao gồm chu kỳ thủy triều trong ngày, sự khác biệt giữa mùa mưa và mùa khô) cũng như không gian (tại các vị trí nghiên cứu).

3.1.1. Mật độ vi nhựa

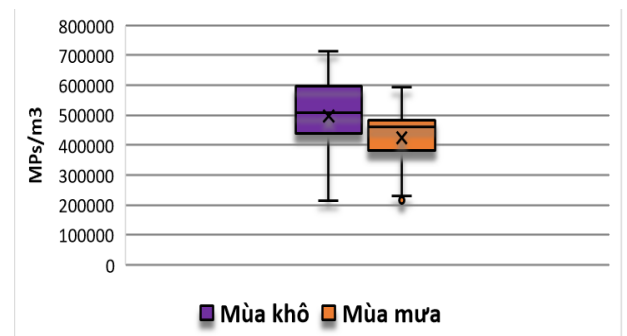
Mật độ vi nhựa được thống kê dựa trên mẫu thu thập từ 18 vị trí nghiên cứu, với tổng số mẫu phân tích là 432 trong giai đoạn 2021–2022. Thông tin chi tiết về kết quả phân tích được trình bày trong Bảng 3.1. Hình 3.2 và Hình 3.3 minh họa mật độ vi nhựa tại các vị trí khảo sát, trong khi Hình 3.4 và Hình 3.5 thể hiện mối tương quan của vi nhựa theo sự biến đổi thủy triều và mùa trong năm, được phân tích bằng phần mềm SPSS.



a)



b)

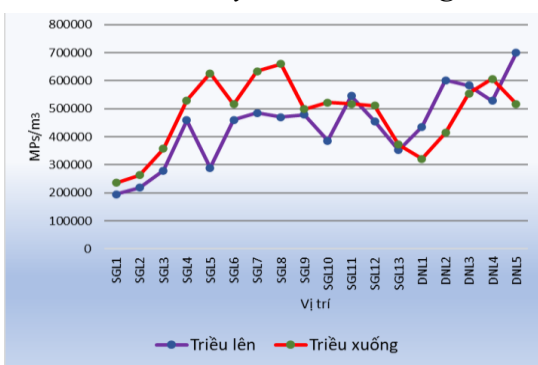


c)

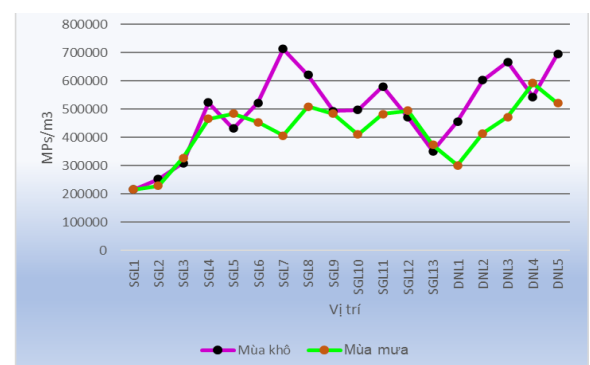
d)

Hình 3. 2. Diễn biến mật độ vi nhựa trong các mẫu nước sông Đồng Nai, sông Sài Gòn năm 2021

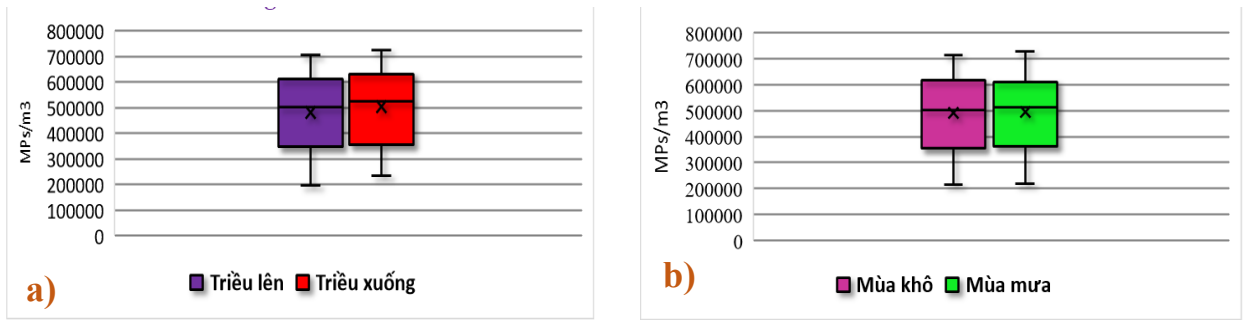
a) Mức mật độ trung bình về vi nhựa theo sự biến đổi của thủy triều; b) Mứ cmật độ trung bình về vi nhựa theo sự thay đổi mùa trong năm; c) Biểu đồ thống kê tần suất xuất hiện vi nhựa theo sự biến đổi của thủy triều; d) Biểu đồ thống kê tần suất xuất hiện vi nhựa theo sự thay đổi mùa trong năm



a)



b)



c)

d)

Hình 3. 3. Diễn biến mật độ vi nhựa trong sông Đồng Nai, sông Sài Gòn năm 2022

a) Mức mật độ trung bình về vi nhựa theo sự biến đổi của thủy triều; b) Mức mật độ trung bình về vi nhựa theo sự thay đổi mùa trong năm; c) Biểu đồ thống kê tần suất xuất hiện vi nhựa theo sự biến đổi của thủy triều; d) Biểu đồ thống kê tần suất xuất hiện vi nhựa theo sự thay đổi mùa trong năm

Kết quả nghiên cứu cho thấy vi nhựa được phát hiện tại tất cả các điểm lấy mẫu với mật độ khác nhau và gần như xuất hiện trong hầu hết các mẫu thu thập. Những khu vực thưa dân cư ở thượng nguồn, đặc biệt gần hồ Dầu Tiếng và hồ Trị An, ghi nhận hàm lượng vi nhựa thấp hơn đáng kể. Trong đợt khảo sát tháng 7 năm 2021, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thu thập 216 mẫu nước tại 18 điểm dọc sông Sài Gòn và sông Đồng Nai, qua đó phát hiện tổng cộng 424.353 hạt vi nhựa.

Sự đa dạng vi nhựa cao nhất được ghi nhận tại các khu vực đông dân cư như Thành phố Hồ Chí Minh, Bình Dương và Đồng Nai, trong khi các điểm ở thượng nguồn gần hồ Dầu Tiếng và hồ Trị An có nồng độ thấp nhất. Vi nhựa xuất hiện trong mọi đợt lấy mẫu, bất kể vào mùa mưa hay mùa khô. Đáng chú ý, mật độ vi nhựa thấp nhất được tìm thấy tại các điểm thượng nguồn của hai con sông (SGL1 và DNL1) cũng như khu vực hợp lưu tại hạ lưu sông Sài Gòn và sông Đồng Nai.

Sông Sài Gòn chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Lưu lượng nước biến động theo mùa, đạt đỉnh vào mùa mưa và giảm xuống mức thấp nhất vào mùa khô. Hạ lưu sông, đặc biệt tại Thành phố Hồ Chí Minh, thường bị tác động bởi triều cường, có thể gây ngập lụt tại những vùng thấp trũng. Theo Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Bình Dương, mực nước hạ lưu sông Sài Gòn đạt đỉnh triều cường trong các ngày từ 19-21/9, làm gia tăng nguy cơ ngập úng cục bộ.

Sông Đồng Nai có nguồn gốc từ cao nguyên Lâm Viên, tỉnh Lâm Đồng, ở độ cao khoảng 1.760m, chảy theo hướng đông nam qua các tỉnh Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Phước, Đồng Nai và Thành phố Hồ Chí Minh trước khi đổ vào biển Đông. Giống với sông Sài Gòn, sông Đồng Nai cũng chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa, dẫn

đến sự thay đổi đáng kể trong lưu lượng nước theo mùa. Vào mùa mưa, dòng chảy gia tăng mạnh, có thể gây ra tình trạng lũ lụt tại một số khu vực. Bên cạnh đó, mực nước sông Đồng Nai biến động theo chu kỳ thủy triều, với đỉnh triều thường xảy ra vào khoảng 6:00 và 18:00, trong khi mức thấp nhất được ghi nhận vào khoảng 3:00 và 15:00 trong ngày.

Lượng nước của sông Sài Gòn và sông Đồng Nai được bổ sung từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm nước mưa, dòng chảy bề mặt, các phụ lưu, hồ chứa, nước ngầm và ảnh hưởng của thủy triều. Các nguồn chính có thể kể đến như sau:

- Nước mưa và dòng chảy bề mặt: Cả hai con sông chịu tác động mạnh từ chế độ mưa theo mùa. Trong mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 11), lượng nước mưa lớn giúp bổ sung nước cho sông thông qua các suối và hệ thống kênh rạch trong khu vực.
- Các phụ lưu và nhánh sông nhỏ: Sông Sài Gòn nhận nước từ các dòng suối và sông nhỏ như sông Thị Tính, suối Bến Cát, rạch Cầu Ngang... Trong khi đó, sông Đồng Nai được bổ sung từ sông Bé (Bình Phước, Bình Dương), sông La Ngà (Lâm Đồng, Đồng Nai) và sông Vàm Cỏ Đông (gián tiếp qua các kênh rạch vùng hạ lưu).
- Hồ chứa và thủy điện: Các hồ lớn như hồ Dầu Tiếng (trên sông Sài Gòn) và hồ Trị An (trên sông Đồng Nai) góp phần điều tiết lưu lượng nước.
- Nước ngầm và mạch nước ngầm: Một số khu vực có sự đóng góp từ nước ngầm, đặc biệt trong mùa khô khi lượng nước mưa giảm.
- Ảnh hưởng của thủy triều từ biển Đông: Hạ lưu sông Sài Gòn và sông Đồng Nai chịu tác động của thủy triều, giúp điều chỉnh lưu lượng nước trong sông, nhất là trong mùa khô khi nguồn nước từ thượng nguồn suy giảm.

Nhờ sự bổ sung từ các nguồn này, dòng chảy của hai con sông được duy trì quanh năm, dù lưu lượng có sự thay đổi theo từng mùa. Hai con sông này đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nước cho sinh hoạt, sản xuất nông nghiệp, công nghiệp, cũng như phục vụ giao thông đường thủy và phát triển kinh tế. Tuy nhiên, việc quản lý và bảo vệ nguồn nước đang đối diện với nhiều thách thức, đặc biệt là vấn đề ô nhiễm do rác thải nhựa và vi nhựa.

Sự gia tăng mạnh mẽ của mật độ và sự đa dạng vi nhựa được ghi nhận trong quá trình dịch chuyển từ thượng nguồn xuống hạ lưu. Điều này có mối liên hệ với hệ thống cống thoát nước mưa, khi các khu vực có nhiều cống thoát thường có mật độ vi nhựa cao hơn. Bên cạnh đó, mức độ vi nhựa có mối tương quan chặt chẽ với sự phát triển của các khu công nghiệp, khu dân cư và hệ thống giao thông trong khu vực nghiên cứu (Thành phố Hồ Chí Minh, Thủ Dầu Một, Đồng Nai...).

Ngoài ra, nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng mật độ dân số có tác động đáng kể đến nồng độ vi nhựa trong nước. Chẳng hạn, tại tỉnh Tây Ninh, với mật độ dân cư khoảng 1.855 người/km², mức độ vi nhựa trong các mẫu nước thấp hơn so với Thành phố Hồ Chí Minh – nơi có mật độ dân số lên đến 4.375 người/km², với số lượng vi nhựa đạt 729.502 hạt/m³. Mối quan hệ này có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố địa phương, thói quen sinh hoạt, cũng như mức độ phát triển kinh tế - xã hội của từng khu vực.

Bảng 3. 1. Mật độ về số lượng của vi nhựa

	Năm 2021				Năm 2022			
	Thủy triều		Mùa		Thủy triều		Mùa	
	Triều lên	Triều xuống	Mùa khô	Mùa mưa	Triều lên	Triều xuống	Mùa khô	Mùa mưa
	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)	(Vi nhựa/m³)
Mật độ vi nhựa nhỏ nhất	195.604	236.552	215.652	216.503	197.788	234.911	213.340	219.359
Mật độ vi nhựa cao nhất	699.370	659.567	713.426	592.114	705.612	726.196	715.032	729.502
Mật độ vi nhựa trung bình	440.363 ±31,651	481.020 ±29,767	497.030 ±34,015	424.354 ±23,847	482.172 ±36,856	504.657 ±36,653	491.258 ±36,158	495.572 ±35,010
Trung vị	460.009	516.356	509.467	459.992	503.076	523.630	501.739	514.561
Độ lệch chuẩn	130.501	122.731	140.249	98.324	151.962	151.124	149.082	144.349

		MuaKho	TrieuLen	TrieuXuong
MuaKho	Pearson Correlation	1	.930**	.932**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	18	18	18
TrieuLen	Pearson Correlation	.930**	1	.734**
	Sig. (2-tailed)	.000		.001
	N	18	18	18
TrieuXuong	Pearson Correlation	.932**	.734**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	
	N	18	18	18

a) **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		MuaMua	TrieuLen	TrieuXuong
MuaMua	Pearson Correlation	1	.717**	.707**
	Sig. (2-tailed)		.001	.001
	N	18	18	18
TrieuLen	Pearson Correlation	.717**	1	.013
	Sig. (2-tailed)	.001		.958
	N	18	18	18
TrieuXuong	Pearson Correlation	.707**	.013	1
	Sig. (2-tailed)	.001	.958	
	N	18	18	18

b) **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Hình 3. 4. Kết quả tương quan vi nhựa khi triều xuống, triều và theo mùa trong năm 2021

a) Mùa khô; b) Mùa mưa

		MuaKho	TrieuLen	TrieuXuong
MuaKho	Pearson Correlation	1	.961**	.966**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	18	18	18
TrieuLen	Pearson Correlation	.961**	1	.857**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000
	N	18	18	18
TrieuXuong	Pearson Correlation	.966**	.857**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	
	N	18	18	18

a) **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		MuaMua	TrieuLen	TrieuXuong
MuaMua	Pearson Correlation	1	.933**	.933**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	18	18	18
TrieuLen	Pearson Correlation	.933**	1	.741**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000
	N	18	18	18
TrieuXuong	Pearson Correlation	.933**	.741**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	
	N	18	18	18

b) **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Hình 3. 5. Kết quả phân tích tương quan vi nhựa vào lúc triều lên và triều xuống theo mùa trong năm 2022

a) Mùa khô; b) Mùa mưa

Dấu ** biểu thị rằng cặp biến này có mối tương quan tuyến tính với độ tin cậy lên đến 99% (tương ứng với mức ý nghĩa 1% = 0,01).

Dấu * cho thấy cặp biến này có sự tương quan tuyến tính với độ tin cậy đạt 95% (tương ứng với mức ý nghĩa 5% = 0,05).

Hình 3.4 và Hình 3.5 thể hiện kết quả phân tích tương quan vi nhựa theo mùa trong năm 2021 và 2022, được xuất từ phần mềm SPSS. Khi xây dựng mô hình nghiên cứu, sự ảnh hưởng và mối quan hệ giữa số lượng vi nhựa trong mùa khô và mùa mưa được xem xét. Kết quả kiểm định t tương quan Pearson cho thấy giá trị Sig (vòng tròn khoanh màu đỏ) giữa vi nhựa và các mùa đều nhỏ hơn 0,05. Điều này đáp ứng tiêu chí nghiên cứu, trong đó hệ số Sig (ký hiệu là p) nhỏ hơn 0,05 và hệ số tương quan càng cao càng tốt. Ngoài ra, giá trị Sig (vòng tròn khoanh màu xanh dương) cũng nhỏ hơn 0,05, cho thấy hiện tượng cộng tuyến giữa mức vi nhựa trong triều lên và triều xuống trong ngày. Đây là một tình huống phổ biến trong các nghiên cứu quan sát ngẫu nhiên hoặc quá trình thu thập dữ liệu, như trong nghiên cứu này.

Để khắc phục vấn đề số liệu ngẫu nhiên từ thực tế bị đa cộng tuyến, nghiên cứu này lựa chọn phương pháp loại trừ biến bị cộng tuyến ra khỏi các kết luận.

❖ Nhân xét:

Như được hiển thị trong Bảng 3.1, trong 2 năm được khảo sát, vào lúc thủy triều lên trong ngày, mức độ vi nhựa dao động từ 195.604 đến 705.612 vi nhựa/m³ và dao động từ 234.911 đến 726.196 vi nhựa/m³ vào lúc triều xuống. Điều này cho thấy rằng mực nước thủy triều có mối quan hệ và ảnh hưởng đến mức độ cao thấp của vi nhựa tại các vị trí trên lưu vực sông với $p < 0,05$ (Hình 3.4 và Hình 3.5). Cụ thể là:

- *Năm 2021:* Mùa khô: có sự tương quan theo mùa vào lúc thủy triều lên (Hình 3.4a). Mùa mưa: có sự tương quan theo mùa cả vào lúc thủy triều xuống và lên (Hình 3.4b).
- *Năm 2022:* Cả mùa khô và mưa chỉ có tương quan với mực nước thủy triều lên (Hình 3.5a và Hình 3.5b).

Xu hướng về mặt lý thuyết khi thủy triều lên đều có hàm lượng vi nhựa giảm xuống. Nguyên nhân cần kể đến sự pha loãng của 1 m³ thể tích nước mặt chứa vi nhựa, cộng thêm nữa là khi mực nước cao, lưu lượng nước lớn làm tăng tốc độ dòng, vì kích thước nhỏ và tỉ trọng vi nhựa nhỏ hơn nước nên chúng dễ dàng bị trôi đi, phân tán và lan tỏa khắp nơi.

Dựa trên dữ liệu thu thập trong hai năm khảo sát, mật độ vi nhựa dao động từ 213.340 đến 715.032 vi nhựa/m³ vào mùa khô và từ 216.503 đến 729.502 vi nhựa/m³ vào mùa mưa. Theo nguyên tắc pha loãng của thủy triều, mật độ vi nhựa vào mùa mưa thường có xu hướng giảm so với mùa khô. Tuy nhiên, phân tích thực tế lại cho thấy mật độ vi nhựa không giảm mà thậm chí còn cao hơn, đặc biệt là trong năm 2022. Điều này cho thấy các vị trí khảo sát trên sông Sài Gòn – Đồng Nai chịu ảnh hưởng đáng kể từ các công trình đô thị trên lưu vực sông. Lượng nước mưa và dòng chảy bề mặt vào mùa mưa

có thể cuốn theo một lượng lớn vi nhựa từ môi trường đô thị, khu công nghiệp và các khu vực lân cận, đưa trực tiếp vào hệ thống sông.

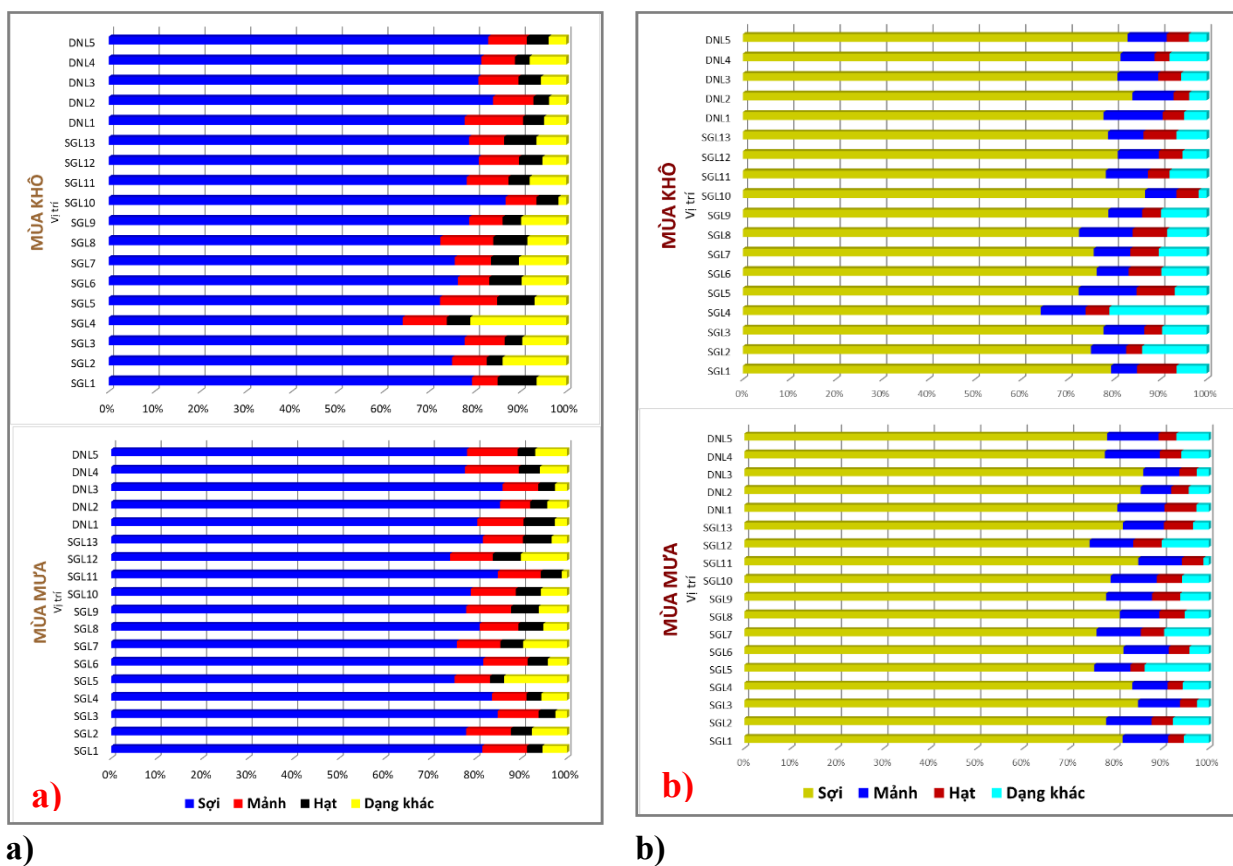
Ngoài ra, trong những năm gần đây, đặc biệt là từ năm 2021 đến 2022, sự phát triển của các cơ sở sản xuất nhỏ lẻ dọc hai bên sông cũng góp phần làm gia tăng lượng nước thải chứa vi nhựa. Các nguồn thải chính bao gồm nước thải công nghiệp từ các doanh nghiệp hóa chất, sản xuất bao bì, tái chế nhựa, cùng với nước thải đô thị, nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Những yếu tố này làm cho sự phân bố vi nhựa trong nước sông trở nên phức tạp và lan rộng hơn. Các nghiên cứu trước đây cũng đã chỉ ra rằng hoạt động sản xuất, thương mại và công nghiệp là những nguồn đóng góp chính gây ô nhiễm vi nhựa trong môi trường nước mặt. Khi xét đến điều kiện địa lý của sông Sài Gòn – Đồng Nai và lượng mưa trong khu vực, có thể thấy rằng sự gia tăng lượng nước sông vào mùa mưa không chỉ bổ sung nước mà còn làm tăng mật độ vi nhựa, đồng thời làm đa dạng hình thái, màu sắc và kích thước của chúng.

Mật độ vi nhựa cũng có sự khác biệt theo vị trí lấy mẫu. Tại thượng nguồn hai con sông (SGL1 và DNL1), mức độ vi nhựa tương đối thấp, do tác động từ hoạt động của con người chưa đáng kể. Vi nhựa tại đây chủ yếu đến từ sự lan truyền qua dòng chảy lưu vực hoặc các hoạt động địa phương nhỏ lẻ, điều này cũng được xác nhận trong các nghiên cứu khoa học trước đó [144-145]. Ở khu vực hợp lưu cuối các nhánh sông (SGL13), mật độ vi nhựa cũng thấp hơn so với các vị trí khác. Điều này có thể là do sự pha loãng khi nước sông Sài Gòn hợp lưu với các nhánh sông nhỏ như Kênh Tẻ, rạch Bến Nghé, rạch Cá Trê... và cuối cùng hội tụ với sông Đồng Nai tại khu vực Soài Rạp. Với độ rộng và độ sâu lớn hơn, quá trình pha loãng tự nhiên tại điểm hợp lưu làm giảm mật độ vi nhựa trên mỗi mét khối nước.

Nhìn chung, khi thủy triều lên trong ngày và vào mùa mưa (nếu không tính đến lượng nước mưa trôi rửa bề mặt), mật độ vi nhựa trung bình có xu hướng giảm do tác động pha loãng. Sự biến động mật độ vi nhựa trong khu vực nghiên cứu phản ánh mối liên hệ chặt chẽ giữa mức độ ô nhiễm vi nhựa với sự thay đổi thể tích nước sông [146].

3.1.2. Hình thái vi nhựa

Kết quả thu thập vi nhựa từ tất cả các vị trí lấy mẫu cho thấy chủ yếu có ba hình thái chính: sợi, mảnh và hạt, trong khi các dạng còn lại được nhóm vào danh mục "dạng khác". Sự phong phú về hình thái vi nhựa phản ánh sự đa dạng trong nguồn gốc phát sinh của chúng [147]. Tỷ lệ phân bố của các loại vi nhựa tại các khu vực khảo sát được minh họa trong Hình 3.6, còn số liệu thống kê mô tả chi tiết được trình bày trong Bảng 3.2.



Hình 3. 6. Tỷ lệ % hình dạng vi nhựa trong năm 2021-2022 tại các vị trí khảo sát
a) Tỷ lệ phân bố hình dạng vi nhựa trong năm 2021; b) Tỷ lệ phân bố hình dạng vi nhựa trong năm 2022

Bảng 3. 2. Sự phân bố theo mùa các hình dáng của vi nhựa trung bình trong năm 2021 – 2022 tại các vị trí lấy mẫu nước sông Sài Gòn – Đồng Nai

Giá trị	NĂM 2021							
	Mùa khô				Mùa mưa			
	Sợi	Mảnh	Hạt	Dạng khác	Sợi	Mảnh	Hạt	Dạng khác
	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)
Nhỏ nhất	171.066	11.939	10.738	13.279	22.112	7.532	22.112	164.543
Lớn nhất	576.707	71.495	50.148	117.670	69.707	29.545	69.707	425.126
Trung bình	387.496	44.541	27.231	37.762	39.269	19.961	39.269	325.856
Trung vị	393.327	46.986	24.579	32.569	36.739	20.869	36.739	351.376

Độ lệch chuẩn	115.631	16.394	10.533	24.035	11.528	5.970	11.528	75.730
Giá trị	NĂM 2022							
	Mùa khô				Mùa mưa			
	Sợi	Mảnh	Hạt	Dạng khác	Sợi	Mảnh	Hạt	Dạng khác
	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)
Nhỏ nhất	185.483	12.447	7.658	7.753	170.621	11.567	8.585	20.882
Lớn nhất	561.563	82.925	42.374	87.266	587.850	59.083	31.923	91.395
Trung bình	381.998	41.773	23.254	44.233	396.274	34.335	21.114	43.848
Trung vị	405.298	35.762	23.162	41.158	406.117	33.242	22.171	31.406
Độ lệch chuẩn	116.057	19.484	9.262	22.192	114.699	13.072	7.305	21.804

Hình 3.6a và Hình 3.6b cho thấy vi nhựa dạng sợi chiếm tỷ lệ cao nhất trong tất cả các mùa của hai năm khảo sát, lần lượt đạt 79,17% và 79,23%, được trình bày chi tiết trong Bảng 3.2. Vi nhựa dạng sợi có nguồn gốc từ nhiều yếu tố khác nhau, bao gồm quá trình giặt giũ quần áo, sự phân rã của các sản phẩm nhựa trong quá trình sử dụng, cũng như chất thải nhựa phát sinh từ các hoạt động sản xuất công nghiệp.

Một trong những nguyên nhân có thể dẫn đến sự gia tăng đáng kể của vi nhựa dạng sợi là việc sử dụng rộng rãi các sản phẩm nhựa dùng một lần, đặc biệt là khẩu trang y tế và các loại nhựa dễ phân rã do tác động cơ học. Các vật dụng như thùng xốp đựng đá, hạt nhựa xốp trong ghế lười, hay sợi bông gòn nhân tạo đều có khả năng tạo ra vi nhựa trong thời gian ngắn. Đặc biệt, đại dịch Covid-19 đã góp phần làm gia tăng đáng kể lượng vi nhựa trong môi trường vào các năm 2021 và 2022, với vi nhựa dạng sợi xuất hiện phổ biến hơn cả.

Ngoài ra, vi nhựa dạng sợi có thể được giải phóng từ các sản phẩm nhựa lớn như bao đựng gạo, khẩu trang y tế và nhiều loại bao bì nhựa khác. Những vật liệu này dễ bị tác động bởi gió, dòng nước, nhiệt độ và sự bào mòn từ các vật thể rắn như đá, sỏi hoặc công trình xây dựng trong quá trình di chuyển, dẫn đến phân rã thành các vi nhựa nhỏ hơn. Cơ chế này đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu khoa học về vi nhựa [148].

Kết quả phân tích tương quan và sự thay đổi của các hình thái vi nhựa theo mùa trong năm được thể hiện thông qua phần mềm SPSS, với dữ liệu cụ thể trong Hình 3.7 (năm 2021) và Hình 3.8 (năm 2022).

Correlations

		MuaKho	MPs_Soi	MPs_Manh	MPs_Hat	MPs_Khac
MuaKho	Pearson Correlation	1	.970**	.770**	.692**	.342
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.001	.165
	N	18	18	18	18	18
MPs_Soi	Pearson Correlation	.970**	1	.677**	.594**	.125
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.009	.620
	N	18	18	18	18	18
MPs_Manh	Pearson Correlation	.770**	.677**	1	.518**	.324
	Sig. (2-tailed)	.000	.002		.028	.189
	N	18	18	18	18	18
MPs_Hat	Pearson Correlation	.692**	.594**	.518**	1	.392
	Sig. (2-tailed)	.001	.009	.028		.108
	N	18	18	18	18	18
MPs_Khac	Pearson Correlation	.342	.125	.324	.392	1
	Sig. (2-tailed)	.165	.620	.189	.108	
	N	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

a)

Correlations

		MuaMua	MPs_Soi	MPs_Manh	MPs_Hat	MPs_Khac
MuaMua	Pearson Correlation	1	.855**	.709**	.855**	.982**
	Sig. (2-tailed)		.000	.001	.000	.000
	N	18	18	18	18	18
MPs_Soi	Pearson Correlation	.855**	1	.757**	1.000**	.746**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.000
	N	18	18	18	18	18
MPs_Manh	Pearson Correlation	.709**	.757**	1	.757**	.611**
	Sig. (2-tailed)	.001	.000		.000	.007
	N	18	18	18	18	18
MPs_Hat	Pearson Correlation	.855**	1.000**	.757**	1	.746**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000
	N	18	18	18	18	18
MPs_Khac	Pearson Correlation	.982**	.746**	.611**	.746**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.007	.000	
	N	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

b)

Hình 3. 7. Kết quả tương quan các hình thái vi nhựa với mùa trong năm 2021

Correlations

		MuaKho	MPs_Soi	MPs_Manh	MPs_Hat	MPs_Khac
MuaKho	Pearson Correlation	1	.968**	.617**	.902**	.735**
	Sig. (2-tailed)		.000	.006	.000	.001
	N	18	18	18	18	18
MPs_Soi	Pearson Correlation	.968**	1	.427	.786**	.572**
	Sig. (2-tailed)	.000		.077	.000	.013
	N	18	18	18	18	18
MPs_Manh	Pearson Correlation	.617**	.427	1	.817**	.693**
	Sig. (2-tailed)	.006	.077		.000	.001
	N	18	18	18	18	18
MPs_Hat	Pearson Correlation	.902**	.786**	.817**	1	.817**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000
	N	18	18	18	18	18
MPs_Khac	Pearson Correlation	.735**	.572**	.693**	.817**	1
	Sig. (2-tailed)	.001	.013	.001	.000	
	N	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

a) * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Correlations

		MuaMua	MPs_Soi	MPs_Manh	MPs_Hat	MPs_Khac
MuaMua	Pearson Correlation	1	.985**	.768**	.891**	.680**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.002
	N	18	18	18	18	18
MPs_Soi	Pearson Correlation	.985**	1	.705**	.820**	.563**
	Sig. (2-tailed)	.000		.001	.000	.015
	N	18	18	18	18	18
MPs_Manh	Pearson Correlation	.768**	.705**	1	.844**	.493**
	Sig. (2-tailed)	.000	.001		.000	.038
	N	18	18	18	18	18
MPs_Hat	Pearson Correlation	.891**	.820**	.844**	1	.740**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000
	N	18	18	18	18	18
MPs_Khac	Pearson Correlation	.680**	.563**	.493**	.740**	1
	Sig. (2-tailed)	.002	.015	.038	.000	
	N	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

b) * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Hình 3. 8. Kết quả tương quan các hình thái vi nhựa với mùa trong năm 2022

Trên thực tế, loại sản phẩm nhựa phục vụ nhu cầu con người kết xuất thành dạng sợi vi nhựa nhiều hơn đáng kể so với các dạng vi nhựa khác trong cả hai mùa với $p < 0,05$ và bỏ qua các dạng khác của vi nhựa do vấn đề đa cộng tuyến với các giá trị sig được khoanh màu xanh dương (Hình 3.7 và Hình 3.8); Hay nói cách khác, vi nhựa dạng sợi có sự tương quan theo mùa khá rõ rệt trong cả 2 năm 2021 và 2022. Mức trung bình mật độ của các vi nhựa dạng mảnh trong mùa mưa cao hơn mùa khô một chút (Bảng 3.2), có thể do nhu cầu sử dụng và sản xuất con người về loại sản phẩm nhựa kết xuất thành vi nhựa dạng mảnh trong mùa mưa tăng cao hơn (áo đi mưa, tấm nhựa che chắn mưa gió,... các sản phẩm này phần lớn tạo thành vi nhựa dạng tấm trong môi trường phù hợp). Cũng cần lưu ý rằng, so với mật độ vi nhựa dạng hạt được tìm thấy trong môi trường biển, cửa sông [90] đã được công bố thì mật độ vi nhựa dạng hạt có khuynh hướng cao gấp nhiều lần, đặc biệt tại các khu vực dân cư đông đúc. Các vi nhựa dạng hạt từ các dạng chất thải nhựa liên kết yếu dễ bị tác động phân rã thành vi nhựa trong thời gian ngắn như thùng xốp nhựa trắng, các hộp đựng thực phẩm, hạt nhựa trang trí, các hạt nhựa nhiều màu sắc... Điều này có thể cho thấy các con sông tiếp nhận nguồn vi nhựa từ 2 bên lưu vực, từ hoạt động dân sinh vào trong 2 con sông này là rất lớn. Các loại chất thải như các thùng xốp đựng đá, các hạt nhựa trang trí, các hạt xốp tạo sản phẩm thiết kế như ghế lười, quà tặng.... không cần sự ảnh hưởng các yếu tố môi trường trong một thời gian dài, đôi khi chỉ cần ngoại lực vừa phải tác động, các hệ keo liên kết bị phá vỡ thì vi nhựa dạng hạt sẽ phát tán mạnh mẽ dưới sự di chuyển của dòng nước.

Tỷ lệ các hình dạng vi nhựa có sự khác biệt giữa các vị trí lấy mẫu. Để phân tích sự phân bố không gian của các hình thái vi nhựa, phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) được áp dụng, dựa trên bốn loại hình dạng chính: sợi, mảnh, hạt và dạng khác. Khi giá trị P-Value $< 0,05$, kết quả cho thấy sự khác biệt giữa các nhóm hình thái vi nhựa có ý nghĩa thống kê với mức độ tin cậy trên 95%.

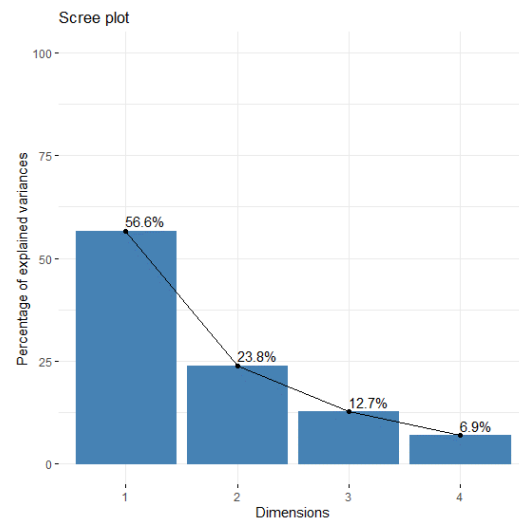
Ngoài ra, để đảm bảo tính chính xác của phân tích PCA, các biến hình thái vi nhựa cần đảm bảo tính độc lập, tức là không có mối tương quan cao hoặc chỉ ở mức thấp. Nếu hệ số tương quan giữa các biến vượt quá 0,5 ($r > 0,5$), được thể hiện qua ma trận hiệp phương sai, thì phân tích PCA có thể không phù hợp và kết quả thu được sẽ không đạt hiệu quả mong muốn.

Kết quả phân tích tương quan giữa các biến hình thái vi nhựa và PCA trong hai năm 2021 và 2022 được thể hiện trong Hình 3.9 và Hình 3.10.

```
> print(pc)
Standard deviations (1, .., p=4):
[1] 1.5049831 0.9764745 0.7116877 0.5244273

Rotation (n x k) = (4 x 4):
      PC1      PC2      PC3      PC4
DangSoi 0.4900693 -0.6031740 0.03015217 -0.6285730
DangManh 0.5645086 -0.1953144 -0.52973450 0.6021326
DangHat 0.5285401 0.1991835 0.78366503 0.2585351
DangKhac 0.4022530 0.7472344 -0.32301907 -0.4189176
> summary(pc)
Importance of components:
      PC1      PC2      PC3      PC4
Standard deviation      1.5050 0.9765 0.7117 0.52443
Proportion of Variance 0.5662 0.2384 0.1266 0.06876
Cumulative Proportion 0.5662 0.8046 0.9312 1.00000
```

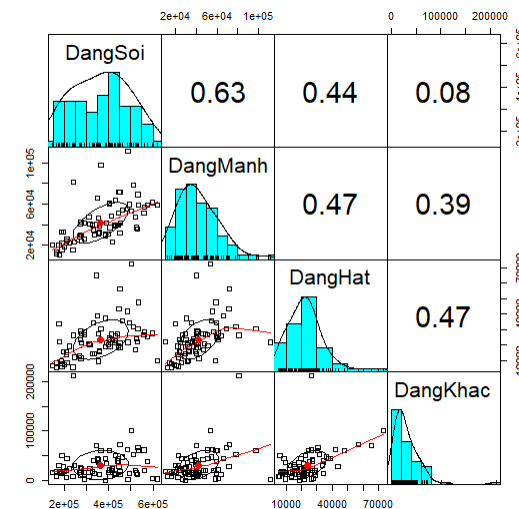
a)



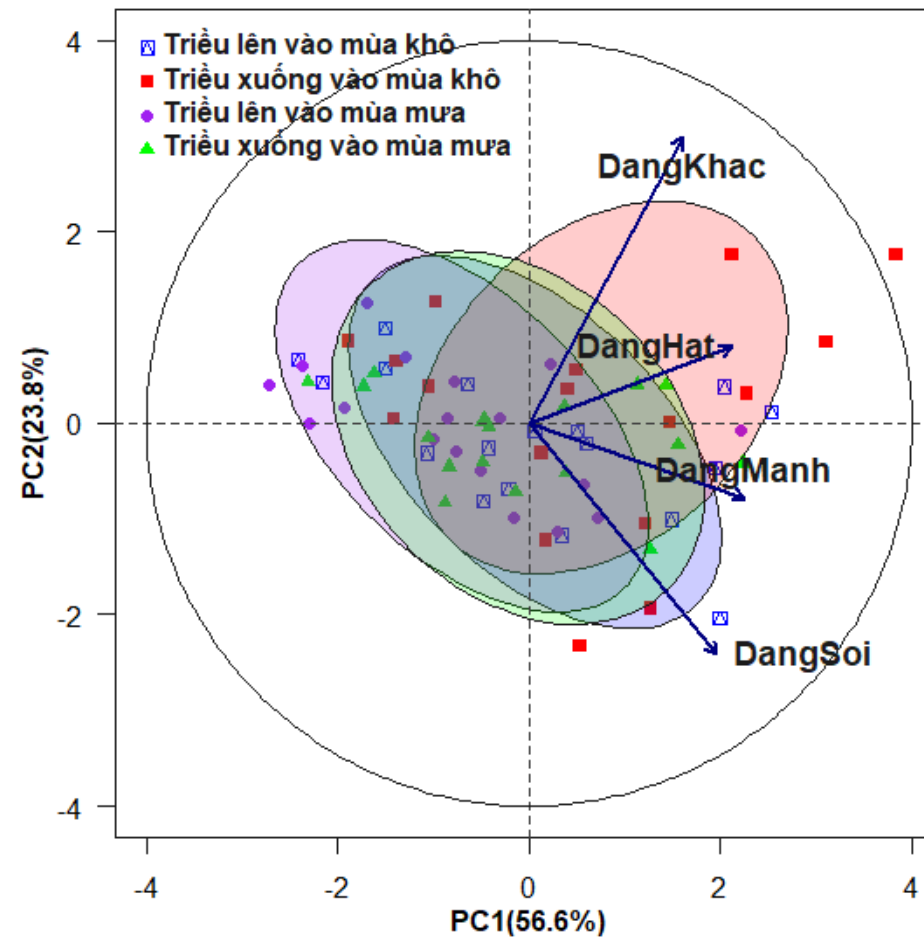
c)

```
Correlation matrix
      DangSoi DangManh DangHat DangKhac
DangSoi 1.00 0.63 0.44 0.08
DangManh 0.63 1.00 0.47 0.39
DangHat 0.44 0.47 1.00 0.47
DangKhac 0.08 0.39 0.47 1.00
Sample Size
[1] 72
Probability values
      DangSoi DangManh DangHat DangKhac
DangSoi 0.00 0 0 0.48
DangManh 0.00 0 0 0.00
DangHat 0.00 0 0 0.00
DangKhac 0.48 0 0 0.00
```

b)



d)



e)

Hình 3. 9. Kết quả phân tích PCA đối với hình dạng vi nhựa trong mùa khô năm 2021

a) Kết quả phân tích thành phần chính (PCA) từ phần mềm R, b) Biểu diễn hệ số tương quan và giá trị P-Value của các loại hình thái vi nhựa được phân tích bằng R, c) Biểu đồ sườn dốc xác định các thành phần chính quan trọng trong tập dữ liệu, d) Biểu đồ thể hiện mối tương quan giữa các biến kết hợp với biểu đồ tần suất (Histogram), e) Biểu đồ trực quan hóa kết quả phân tích PCA.

❖ **Nhận xét kết quả PCA về hình thái vi nhựa tại 18 vị trí lấy mẫu trong năm 2021:**

Ba thành phần chính đầu tiên đáp ứng tiêu chí giải thích phương sai trên 10%, với PC1 (56,6%), PC2 (23,8%) và PC3 (12,7%), như minh họa trong Hình 3.9a và Hình 3.9c. Trong nghiên cứu này, hai thành phần chính đầu tiên, PC1 và PC2, được lựa chọn để xây dựng phương trình hồi quy, vì chúng đã mô tả được 80,5% tổng phương sai của dữ liệu. Các vector màu xanh đại diện cho mối liên hệ giữa hình thái vi nhựa và các thành phần chính được chọn, với độ dài vector phản ánh mức độ tương quan giữa các biến gốc và PC.

Phân tích ma trận xoay (Hình 3.9a), biểu đồ tương quan giữa các hình thái vi nhựa (Hình 3.9d) và giá trị P-Value (Hình 3.9b) cho thấy:

i) Hình thái dạng sợi và dạng khác có mối tương quan rất thấp ($r = 0,08$), trong khi cặp dạng mảnh-hạt có tương quan yếu ($r = 0,47$) nhưng vẫn đạt mức ý nghĩa thống kê với $P\text{-Value} < 0,05$.

ii) Biểu đồ Hình 3.9a cho thấy dạng mảnh và dạng hạt có mối liên hệ chặt chẽ với PC1 hơn so với dạng sợi và dạng khác, tuy nhiên, các hình thái này lại có tương quan cao hơn với PC2. Trong khi đó, cặp dạng sợi - dạng khác trong Hình 3.9b không đạt ý nghĩa thống kê ($P\text{-Value} = 0,48$).

Kết quả phân tích thành phần chính và hàm hồi quy của các hình thái vi nhựa được xác định như sau:

$$PC1 = 0,49 \times \text{Dạng sợi} + 0,56 \times \text{Dạng mảnh} + 0,53 \times \text{Dạng hạt} \quad (4)$$

$$PC2 = 0,75 \times \text{Dạng khác} \quad (5)$$

Hình thái vi nhựa tại 18 vị trí khảo sát trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn (tổng cộng 432 mẫu) chủ yếu được giải thích bởi thành phần chính đầu tiên, PC1. Điều này có nghĩa là trong cả hai mùa, bao gồm cả giai đoạn thủy triều lên và xuống, cả ba hình thái vi nhựa đều được phát hiện.

Dữ liệu được trực quan hóa trong Hình 3.9e giúp dễ dàng quan sát sự phân bố của vi nhựa. Cụ thể, khi triều lên (mùa khô) và trong cả hai giai đoạn triều lên - triều xuống (mùa mưa), các hình thái vi nhựa chịu tác động chủ yếu từ PC1, với các cụm elip màu tím, xanh lá và xanh dương. Trong khi đó, vi nhựa có hình thái khác vào mùa khô, khi triều xuống, lại bị ảnh hưởng bởi PC2 (cụm elip màu đỏ).

Ngoài ra, kết quả PCA cũng chỉ ra rằng mật độ vi nhựa dạng hạt, mảnh và sợi trong nước sông Đồng Nai và sông Sài Gòn ở cả hai mùa đều cao, vượt trội so với một số nghiên cứu trước đây, chẳng hạn như nghiên cứu của Lahens (2018). Mật độ vi nhựa của ba hình thái này có xu hướng gia tăng do tác động từ các nguồn phát sinh trong lưu vực

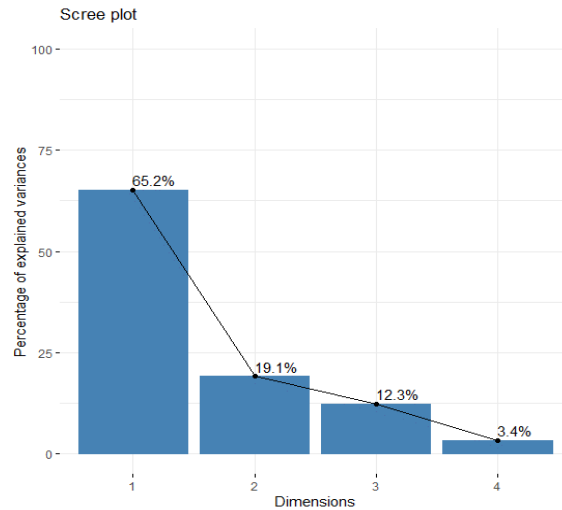
sông. Do đó, đặc điểm hình thái của vi nhựa có thể là yếu tố quan trọng trong việc truy vết nguồn gốc ô nhiễm và xây dựng các biện pháp kiểm soát phát thải vi nhựa.

Phân tích PCA cho năm 2022 được trình bày chi tiết trong Hình 3.10.

```
> print(pc)
Standard deviations (1, .., p=4):
[1] 1.6147184 0.8748295 0.7016527 0.3674798

Rotation (n x k) = (4 x 4):
      PC1      PC2      PC3      PC4
DangSoi 0.4255148 0.78690590 -0.27508579 0.3521989
DangManh 0.5112127 -0.19430465 0.73889952 0.3936175
DangHat 0.5907643 0.05233241 0.03357134 -0.8044450
DangKhac 0.4567233 -0.58334048 -0.61418912 0.2718260
> summary(pc)
Importance of components:
      PC1      PC2      PC3      PC4
Standard deviation 1.6147 0.8748 0.7017 0.36748
Proportion of Variance 0.6518 0.1913 0.1231 0.03376
Cumulative Proportion 0.6518 0.8432 0.9662 1.00000
```

a)

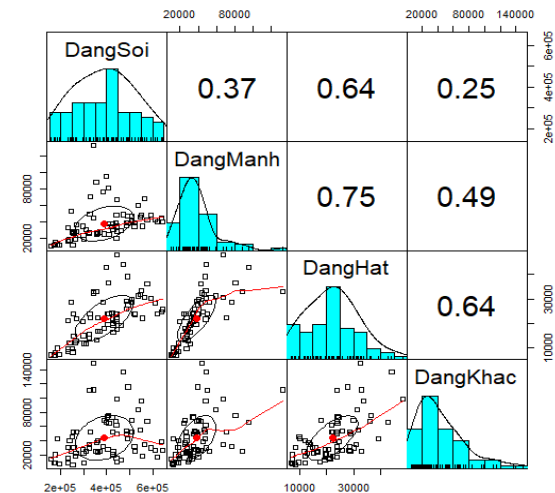


c)

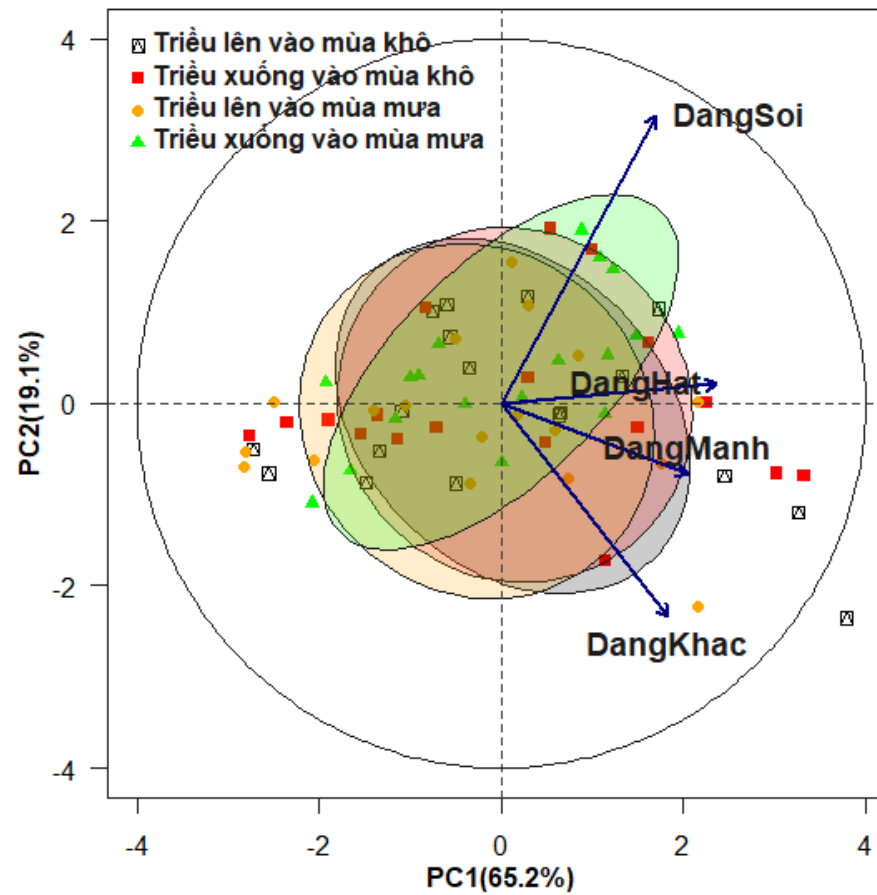
```
Correlation matrix
      DangSoi DangManh DangHat DangKhac
DangSoi 1.00 0.37 0.64 0.25
DangManh 0.37 1.00 0.75 0.49
DangHat 0.64 0.75 1.00 0.64
DangKhac 0.25 0.49 0.64 1.00
Sample Size
[1] 72
Probability values
```

```
      DangSoi DangManh DangHat DangKhac
DangSoi 0.00 0 0 0.03
DangManh 0.00 0 0 0.00
DangHat 0.00 0 0 0.00
DangKhac 0.03 0 0 0.00
```

b)



d)



e)

Hình 3. 10. Kết quả phân tích PCA đối với hình dạng vi nhựa trong mùa khô năm 2022

a) Kết quả phân tích PCA sử dụng phần mềm R, b) Biểu diễn hệ số tương quan và giá trị P-Value của các hình thái vi nhựa từ kết quả phân tích R, c) Biểu đồ sườn dốc xác định các thành phần chính trong tập dữ liệu, d) Biểu đồ phân bố tương quan và Histogram của dữ liệu, e) Biểu đồ PCA minh họa sự phân tách và phân nhóm dữ liệu

❖ **Nhận xét đánh giá kết quả phân tích PCA về hình thái vi nhựa năm 2022:**

Hình 3.10a và Hình 3.10c minh họa ba thành phần chính đầu tiên có mức độ giải thích phương sai trên 10%, bao gồm PC1 (65,2%), PC2 (19,1%) và PC3 (12,3%). Trong đó, hai thành phần PC1 và PC2 được chọn để tiếp tục phân tích hồi quy, do tổng phương sai của chúng đã giải thích được 84,3% tập dữ liệu vi nhựa năm 2022. So với năm 2021, các vector biểu diễn hình thái vi nhựa dạng sợi có độ dài lớn hơn, phản ánh mức độ ô nhiễm vi nhựa dạng sợi cao và xu hướng gia tăng trong năm 2022. Điều này được xác nhận qua kiểm định thống kê của toàn bộ dữ liệu từ 432 mẫu khảo sát, với giá trị P-Value hoàn toàn nhỏ hơn 0,05 (Hình 3.10b).

Để xác định các yếu tố cấu thành PC1 và PC2, cũng như thiết lập phương trình hồi quy, nghiên cứu đã tham khảo Hình 3.10a và Hình 3.10d, đưa ra kết quả trích xuất về hình thái vi nhựa như sau:

$$PC1 = 0,43 \text{ Dạng sợi} + 0,51 \text{ Dạng mảnh} + 0,46 \text{ Dạng khác}$$

$$PC2 = 0,52 \text{ Dạng hạt}$$

Kết quả phân tích cho thấy hình thái vi nhựa tại 18 vị trí khảo sát trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn trong năm 2022 chủ yếu chịu sự chi phối của thành phần chính đầu tiên PC1, giải thích 65,2% tổng dữ liệu. Nói cách khác, trong cả hai mùa (mùa khô và mùa mưa), cũng như trong các giai đoạn thủy triều lên xuống, ba hình thái vi nhựa chính đều được phát hiện.

Dữ liệu được trực quan hóa trong Hình 3.10e giúp dễ dàng quan sát sự phân bố của vi nhựa. Trong điều kiện triều lên vào mùa khô, cũng như triều lên và triều xuống vào mùa mưa, PC1 có ảnh hưởng mạnh mẽ với giá trị dao động từ -2 đến 2 đơn vị (các cụm elip màu cam, đỏ và xám). Trong khi đó, vi nhựa có hình dáng khác vào thời điểm triều xuống trong mùa mưa bị tác động bởi PC2, giải thích 19,1% phương sai dữ liệu (cụm elip màu xanh lá).

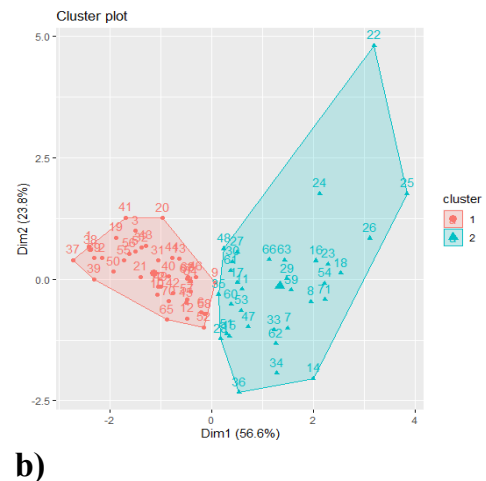
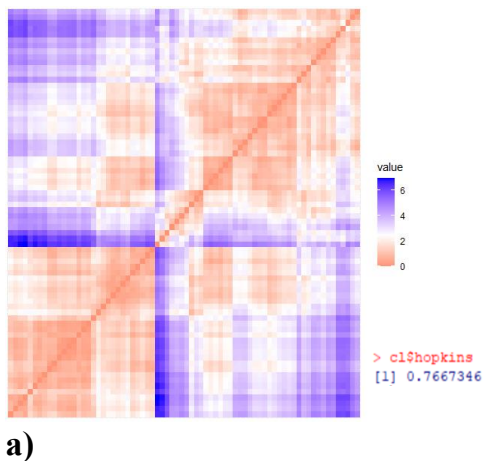
Ngoài ra, phân tích PCA còn cho thấy mật độ vi nhựa dạng sợi trong nước sông Đồng Nai và Sài Gòn duy trì ở mức cao trong cả hai mùa. Điều này khẳng định rằng vi nhựa dạng sợi là loại phổ biến nhất, với mật độ gia tăng đáng kể trong năm 2022 so với năm 2021. Vì vậy, cần đặc biệt quan tâm đến các nguồn thải có khả năng phát sinh vi nhựa dạng sợi, chẳng hạn như sợi tổng hợp từ khẩu trang y tế, dây cước câu cá, lưới đánh bắt thủy sản và túi nilon, nhằm đưa ra các biện pháp kiểm soát và quản lý phù hợp.

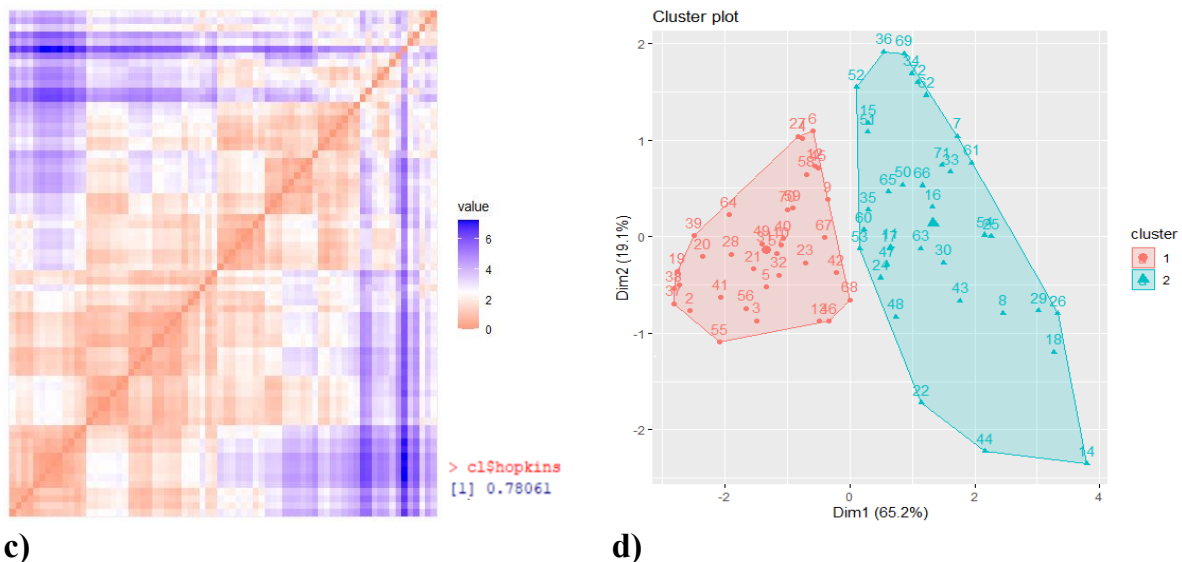
Để củng cố thêm những kết luận trên, nghiên cứu đã tiến hành phân tích đặc điểm hình thái tại 18 vị trí khảo sát (tổng cộng 432 mẫu), nhằm đối chiếu và kiểm chứng tính chính xác của các kết quả thu được. Phương pháp phân tích cụm K-Mean được áp dụng

để đánh giá mối tương quan và kiểm tra lại kết quả PCA về vi nhựa. Việc xác định số lượng cụm cần trích xuất dựa trên hệ số Hopkins, với các vị trí lấy mẫu cụ thể trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn được trình bày trong Bảng 3.3. Phân tích cụm dựa trên mật độ hình thái vi nhựa trong hai năm 2021 và 2022 được minh họa trong Hình 3.11.

Bảng 3. 3. Kí hiệu vị trí lấy mẫu trong phân tích cụm Cluster

STT	Ký hiệu vị trí lấy mẫu	Ký hiệu vị trí lấy mẫu vào mùa khô		Ký hiệu vị trí lấy mẫu vào mùa mưa	
		Triều lên	Triều xuống	Triều lên	Triều xuống
1	SGL1	1	19	37	55
2	SGL2	2	20	38	56
3	SGL3	3	21	39	57
4	SGL4	4	22	40	58
5	SGL5	5	23	41	59
6	SGL6	6	24	42	60
7	SGL7	7	25	43	61
8	SGL8	8	26	44	62
9	SGL9	9	27	45	63
10	SGL10	10	28	46	64
11	SGL11	11	29	47	65
12	SGL12	12	30	48	66
13	SGL13	13	31	49	67
14	DNL1	14	32	50	68
15	DNL2	15	33	51	69
16	DNL3	16	34	52	70
17	DNL4	17	35	53	71
18	DNL5	18	36	54	72





c)

d)

Hình 3. 11. Kết quả phân tích K-Mean dựa trên hình thái của vi nhựa

a) Nhóm liên kết theo màu sắc (xanh dương và đỏ) trong năm 2021, b) Biểu đồ phân cụm (Cluster Plot) năm 2021, c) Nhóm liên kết theo màu sắc (xanh dương và đỏ) trong năm 2022, d) Biểu đồ phân cụm (Cluster Plot) năm 2022.

Với chỉ số Hopkins đạt 0,76 (cho thấy dữ liệu thích hợp để phân tích cụm) và hệ số K-cluster tối ưu là 2, nghiên cứu đã phân chia các vị trí lấy mẫu thành hai nhóm màu xanh dương và đỏ để dễ dàng quan sát. Kết quả phân tích cho thấy sự khác biệt rõ ràng trong việc phân loại các vị trí lấy mẫu. Nhóm màu xanh dương và đỏ có đặc điểm tương đồng về hình thái vi nhựa, được giải thích bởi thành phần chính PC1, chiếm 56,6% phương sai. Cụ thể, vi nhựa dạng mảnh chiếm 56%, dạng sợi đạt 49%, và dạng hạt chiếm 53%. Kết quả này được thể hiện trong Hình 3.11b.

Năm 2022, chỉ số Hopkins tăng lên 0,78 với K-cluster tối ưu vẫn là 2, tiếp tục chia các vị trí lấy mẫu thành hai nhóm xanh dương và đỏ, phản ánh sự tương đồng về đặc điểm hình thái. Kết quả phân tích tiếp tục cho thấy sự khác biệt rõ rệt trong việc phân loại các điểm lấy mẫu. Các vị trí thuộc hai nhóm này có đặc tính hình thái vi nhựa tương tự, được giải thích bởi PC1 với 65,2% phương sai, trong đó vi nhựa dạng mảnh chiếm 51%, dạng sợi đạt 43%, và các dạng khác chiếm 46%. Những kết quả phân loại này được trình bày chi tiết trong Hình 3.11d.

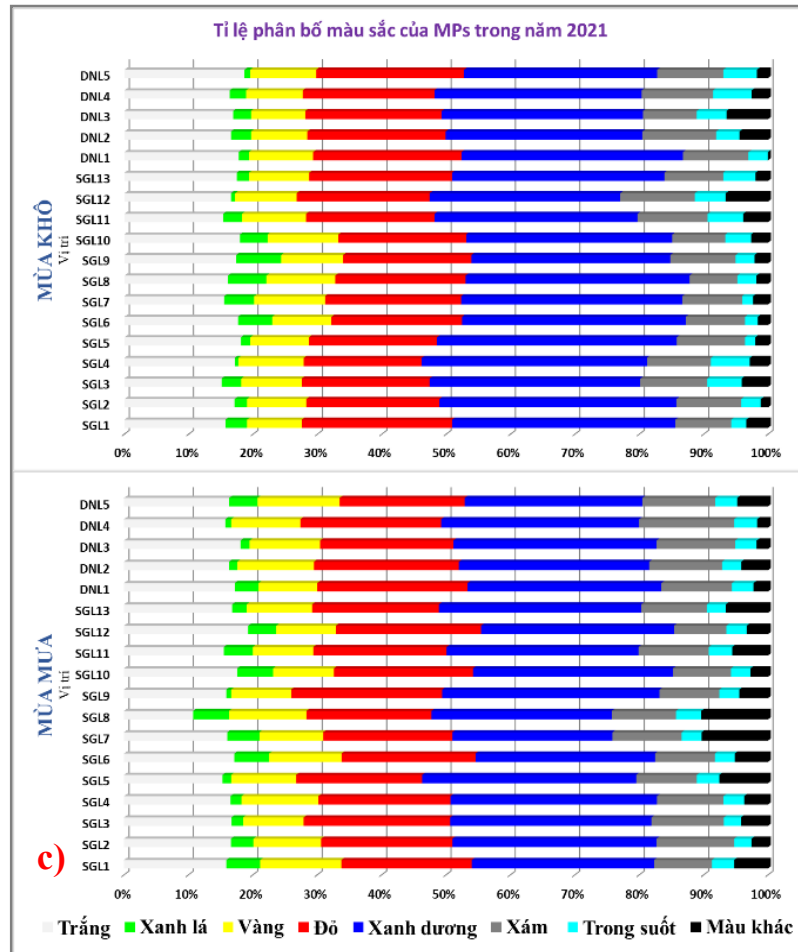
Phân tích cụm K-Mean đã xác nhận sự tương thích với kết quả PCA về hình thái vi nhựa. Cả 18 vị trí lấy mẫu đều cho thấy vi nhựa dạng sợi xuất hiện với tỷ lệ cao, đồng thời có xu hướng gia tăng từ năm 2021 đến 2022.

3.1.3. Màu sắc vi nhựa

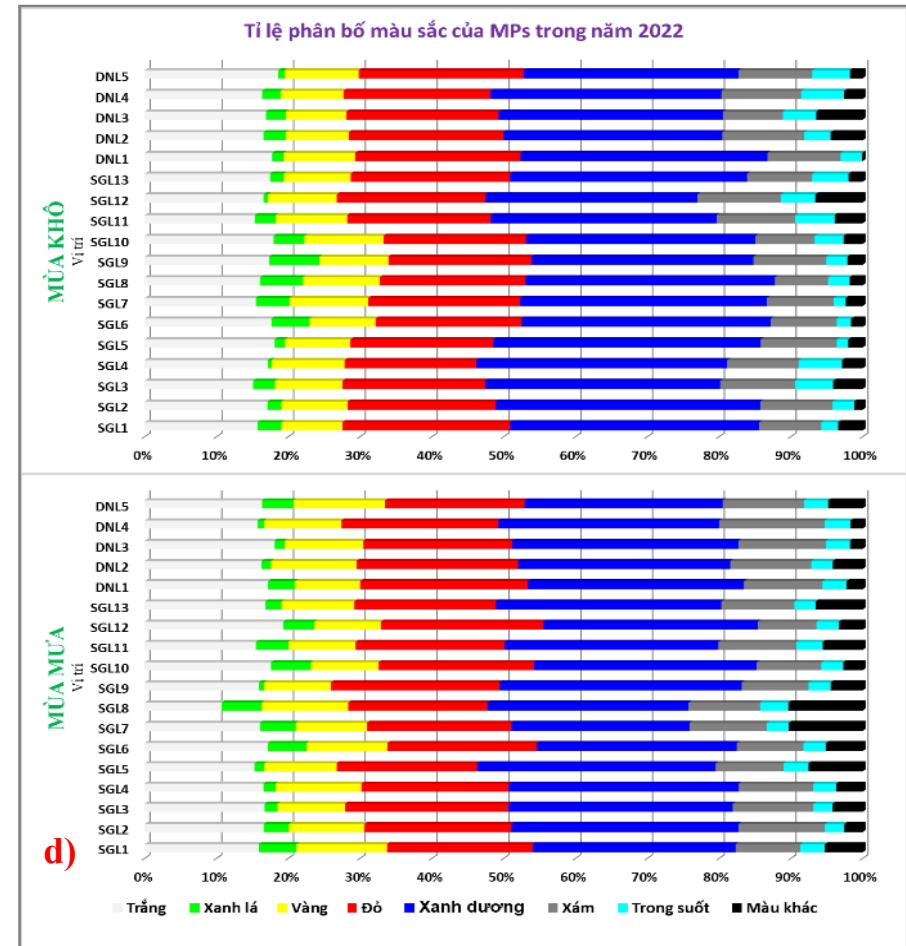
Các vi nhựa thu thập từ các vị trí khảo sát các sông Sài Gòn – Đồng Nai được phân loại theo màu sắc. Giới hạn phân loại màu sắc vi nhựa trong nghiên cứu này bao gồm là

màu trắng, xanh lá, vàng, đỏ, xanh dương, xám, trong suốt và còn lại là các màu khác. Số liệu thống kê về màu sắc vi được trình bày trong Hình 3.12 và Bảng 3.4.

Kết quả tương quan và diễn biến màu sắc vi nhựa theo thủy triều trong ngày bằng R được thể hiện trong Hình 3.13 và Hình 3.14. Kết quả phân tích cụm các đặc điểm màu sắc vi nhựa theo vị trí lấy mẫu bằng R được thể hiện trong Hình 3.15.



a)



b)

Hình 3. 12. Tỉ lệ % về màu sắc của vi nhựa trong năm 2021-2022 tại các vị trí khảo sát

a) Tỉ lệ phân bố màu sắc vi nhựa trong năm 2021;

b) Tỉ lệ phân bố màu sắc vi nhựa trong năm 2022.

Bảng 3. 4. Sự phân bố theo màu sắc của vi nhựa trong năm 2021 – 2022 tại các vị trí lấy mẫu nước sông Sài Gòn – Đồng Nai

NĂM 2021																
Giá trị	Mùa khô								Mùa mưa (%)							
	Trắng	Xanh lá	Vàng	Đỏ	Xanh dương	Xám	Trong suốt	Màu khác	Trắng	Xanh lá	Vàng	Đỏ	Xanh dương	Xám	Trong suốt	Màu khác
	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)
Nhỏ nhất	33.670	3.005	18.243	50.523	75.018	18.797	5.111	290	34.880	3.666	24.291	44.226	61.811	19.571	6.111	5326
Lớn nhất	129.758	37.456	78.642	159.704	244.784	71.267	36.461	43.132	95.836	35.326	67.616	127.875	183.089	87.540	21.061	44754
Trung bình	83.756	15.368	48.412	103.492	163.230	48.761	19.534	14.478	69.819	13.361	45.117	89.370	127.574	45.222	13.889	20001
Trung vị	88.417	11.580	47.901	101.245	168.862	49.076	17.841	12.155	73.558	9.663	45.418	94.696	131.664	45.321	14.517	18401
Độ lệch chuẩn	24.169	11.083	15.421	30.312	43.981	14.477	9.449	10.344	1.454	8.643	12.431	20.815	31.183	13.917	4.090	11542
NĂM 2022																
Giá trị	Mùa khô								Mùa mưa (%)							
	Trắng	Xanh lá	Vàng	Đỏ	Xanh dương	Xám	Trong suốt	Màu khác	Trắng	Xanh lá	Vàng	Đỏ	Xanh dương	Xám	Trong suốt	Màu khác
	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)	(Vi nhựa/m ³)
Nhỏ nhất	33.051	2.249	23.269	45.311	68.218	19.710	6.659	1.773	35.708	3.865	26.466	47.209	62.641	24.776	6.765	3615
Lớn nhất	126.266	39.678	84.956	14.9392	224.836	84.539	25.960	24.203	126.799	60.326	87.636	153.974	218.126	91.283	25.062	23251
Trung bình	82.570	16.040	56.009	104.030	153.949	54.159	16.017	8.483	83.380	17.518	58.169	103.980	151.263	56.596	16.354	8311
Trung vị	88.375	11.963	57.459	109.956	164.101	57.224	16.337	6.445	86.684	11.627	58.684	106.157	163.402	57.416	16.651	5728
Độ lệch chuẩn	25.439	11.202	16.909	31.804	47.247	17.414	5.566	5.806	25.295	14.549	17.189	30.786	40.262	17.702	5.440	5918

```

> print(pc)
Standard deviations (1, ..., p=8):
[1] 2.2234223 1.0887965 0.9441350 0.6585835 0.4892293 0.4113839 0.2797342
[8] 0.2428152

Rotation (n x k) = (8 x 8):

      PC1      PC2      PC3      PC4      PC5
Trang  0.4290332 -0.12259115 0.07395559 -0.02190546 0.2543171
XanhLa 0.1369786 -0.68380960 -0.56196168 0.37794979 -0.1361736
Vang   0.4129996 -0.07411397 -0.02044966 -0.11358976 -0.3300958
Do     0.4337751 -0.06079991 0.02548598 -0.08144782 0.2630207
XanhDuong 0.4180970 -0.07679432 0.13703836 -0.14875300 0.5069082
Xam    0.3979337 0.11043590 0.05877653 -0.33409617 -0.6689764
TrongSuot 0.3055703 0.42875945 0.15897958 0.82430756 -0.1009310
MauKhac 0.1091254 0.55340602 -0.79382191 -0.15461912 0.1548030

      PC6      PC7      PC8
Trang -0.08579825 0.63523608 -0.5651453202
XanhLa -0.15438812 -0.11231822 0.0000430893
Vang   0.83423569 -0.07153026 -0.0242618432
Do     -0.07860351 0.28705637 0.8019348293
XanhDuong -0.09476053 -0.69315360 -0.1788662098
Xam    -0.50555148 -0.09939616 -0.0372347300
TrongSuot -0.04353203 -0.07711789 0.0023298566
MauKhac 0.01477754 0.00728818 -0.0594784414

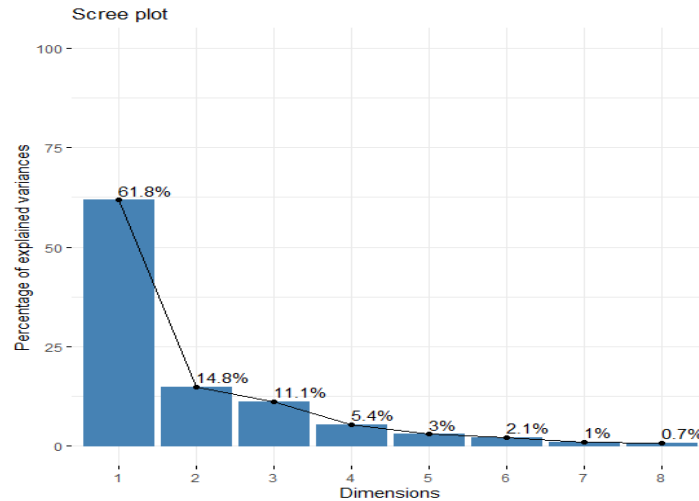
> summary(pc)
Importance of components:

      PC1      PC2      PC3      PC4      PC5      PC6      PC7
Standard deviation 2.2234 1.0888 0.9441 0.6585 0.4892 0.4113 0.2797
Proportion of Variance 0.6175 0.1482 0.1114 0.0542 0.0292 0.0211 0.0097
Cumulative Proportion 0.6175 0.7661 0.8776 0.9318 0.9619 0.9828 0.9926

      PC8
Standard deviation 0.2428
Proportion of Variance 0.0073
Cumulative Proportion 1.0000

```

a)



c)

```

Correlation matrix

      Trang XanhLa Vang   Do XanhDuong   Xam TrongSuot MauKhac
Trang   1.00   0.34 0.85 0.94   0.91 0.80   0.58   0.11
XanhLa  0.34   1.00 0.32 0.31   0.24 0.13  -0.08  -0.01
Vang    0.85   0.32 1.00 0.86   0.82 0.80   0.54   0.19
Do      0.94   0.31 0.86 1.00   0.92 0.82   0.59   0.19
XanhDuong 0.91  0.24 0.82 0.92   1.00 0.77   0.55   0.11
Xam     0.80   0.13 0.80 0.82   0.77 1.00   0.57   0.24
TrongSuot 0.58  -0.08 0.54 0.59   0.55 0.57   1.00   0.27
MauKhac 0.11  -0.01 0.19 0.19   0.11 0.24   0.27   1.00

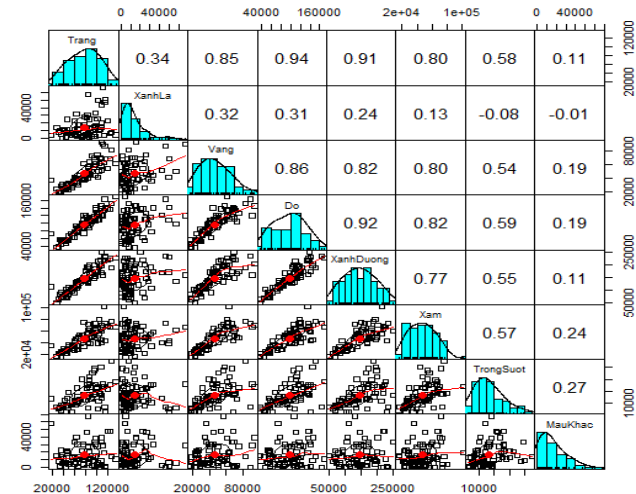
Sample Size
[1] 72

Probability values (Entries above the diagonal are adjusted for multiple tests.)

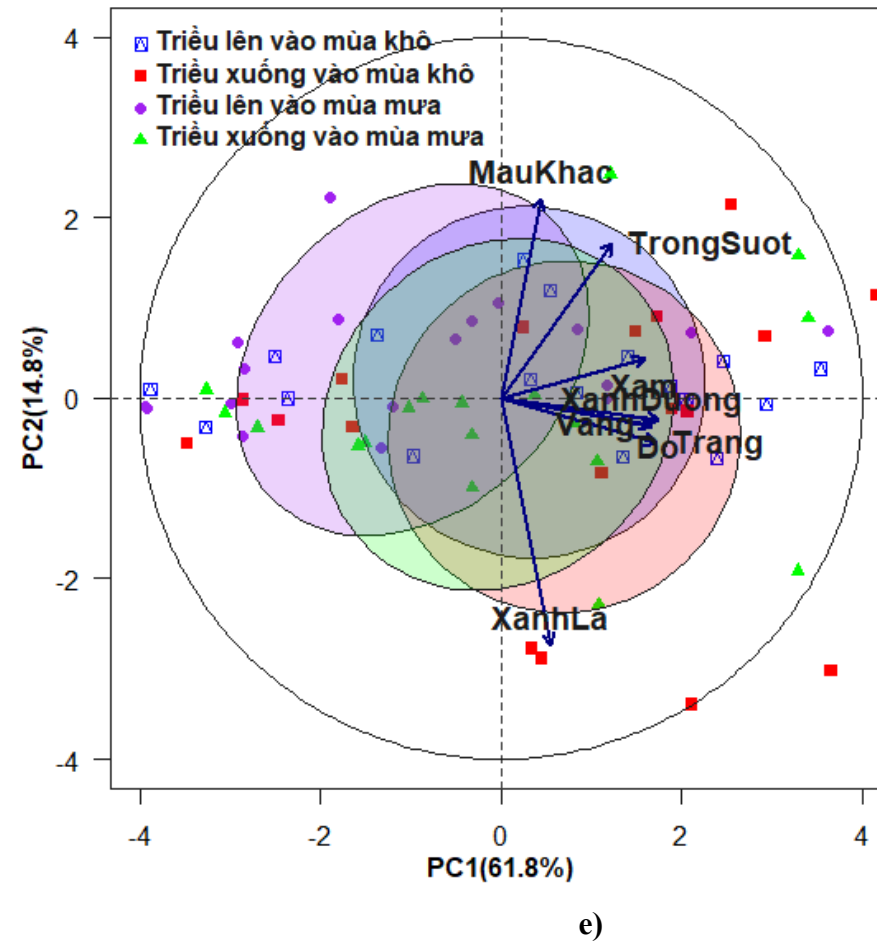
      Trang XanhLa Vang   Do XanhDuong   Xam TrongSuot MauKhac
Trang   0.00   0.05 0.00 0.00   0.00 0.00   0.00   1.00
XanhLa  0.00   0.00 0.07 0.09   0.35 1.00   1.00   1.00
Vang    0.00   0.01 0.00 0.00   0.00 0.00   0.00   0.79
Do      0.00   0.01 0.00 0.00   0.00 0.00   0.00   0.79
XanhDuong 0.00  0.04 0.00 0.00   0.00 0.00   0.00   1.00
Xam     0.00   0.27 0.00 0.00   0.00 0.00   0.00   0.35
TrongSuot 0.00  0.50 0.00 0.00   0.00 0.00   0.00   0.20
MauKhac 0.35   0.95 0.12 0.11   0.37 0.04   0.02   0.00

```

b)



d)



Hình 3. 13. Kết quả phân tích PCA đối với màu sắc vi nhựa trong mùa khô năm 2021

a) Kết quả phân tích PCA thu được từ R, b) Biểu diễn hệ số tương quan cùng giá trị P-Value của màu sắc vi nhựa theo kết quả từ R, c) Biểu đồ sườn dốc dùng để xác định các thành phần chính trong tập dữ liệu, d) Biểu đồ thể hiện mối quan hệ tương quan và phân bố dữ liệu thông qua Histogram, e) Hình minh họa kết quả phân tích PCA.

Dựa trên kết quả phân tích PCA, ba thành phần chính đầu tiên liên quan đến màu sắc vi nhựa trong năm 2021 đã giải thích hơn 10% phương sai, cụ thể gồm PC1 (61,8%), PC2 (14,8%) và PC3 (11,1%), như thể hiện trong Hình 3.13a và Hình 3.13c. Trong nghiên cứu, hai thành phần chính đầu tiên (PC1 và PC2) được chọn để tiếp tục phân tích, vì tổng cộng chúng chiếm 76,6% phương sai của tập dữ liệu vi nhựa. Các vector màu xanh đại diện cho mối quan hệ giữa các biến màu sắc vi nhựa với PC1 và PC2, trong đó độ dài của vector phản ánh mức độ tương quan.

Dựa trên kết quả phân tích ma trận xoay (Hình 3.13a), mối liên hệ giữa các màu sắc vi nhựa (Hình 3.13d) và giá trị P-Value (Hình 3.13b), nghiên cứu đã tiến hành trích xuất các biến màu sắc vi nhựa với các hàm hồi quy thu được như sau:

$$PC1 = 0,42 \text{ Trắng} + 0,413 \text{ Vàng} + 0,434 \text{ Đỏ} + 0,42 \text{ Xanh dương} + 0,39 \text{ Xám} \quad (8)$$

$$PC2 = 0,68 \text{ Xanh lá} + 0,42 \text{ Trong suốt} + 55,3 \text{ Màu khác} \quad (9)$$

Hầu hết các màu sắc vi nhựa tại các điểm khảo sát trên sông Sài Gòn – Đồng Nai có liên hệ với thành phần chính đầu tiên (PC1), trong khi vi nhựa có màu xanh lá, trong suốt và các màu khác ít phổ biến lại có mối quan hệ với thành phần PC2. Những màu sắc này được ghi nhận là nhóm vi nhựa chính thường gặp trong nước mặt tại khu vực nghiên cứu, xuất hiện vào cả hai mùa và vào các thời điểm triều lên, triều xuống.

Biểu đồ trực quan hóa dữ liệu sử dụng hai thành phần chính (Hình 3.13e) thể hiện kết quả phân tích PCA về màu sắc vi nhựa trong năm 2021. Tại các điểm lấy mẫu, vi nhựa xuất hiện vào mùa khô (cả khi triều lên và triều xuống) cũng như trong mùa mưa khi triều xuống, chịu tác động chủ yếu từ PC1 (cụm elip xanh dương, xanh lá, đỏ). Trong khi đó, vi nhựa trong mùa mưa khi triều lên bị ảnh hưởng chủ yếu bởi PC2 (cụm elip tím).

Kết quả PCA cũng cho thấy lưu vực sông Đồng Nai và Sài Gòn chịu ảnh hưởng từ các vi nhựa có màu trắng, vàng, đỏ, xanh dương và xám trong cả hai mùa. Đặc biệt, vi nhựa màu xanh dương xuất hiện với mật độ cao, có khả năng bắt nguồn từ các nguồn phát thải trong lưu vực sông. Phát hiện này cho thấy việc phân tích màu sắc có thể giúp xác định nguồn gốc vi nhựa và hỗ trợ kiểm soát ô nhiễm. Các sản phẩm nhựa liên quan, chẳng hạn như nắp chai, nhãn mác nhựa sử dụng trong thương mại (thường có màu xanh lá), cần được giám sát chặt chẽ để hạn chế tác động đến môi trường.

Phân tích tương tự cũng đã được thực hiện cho năm 2022, với kết quả PCA được trình bày trong Hình 3.14.

```

> print(pc)
Standard deviations (1, ..., p=8):
[1] 2.4164139 1.1057436 0.6797003 0.4233805 0.3648666 0.2872945 0.2274390
[8] 0.1721554

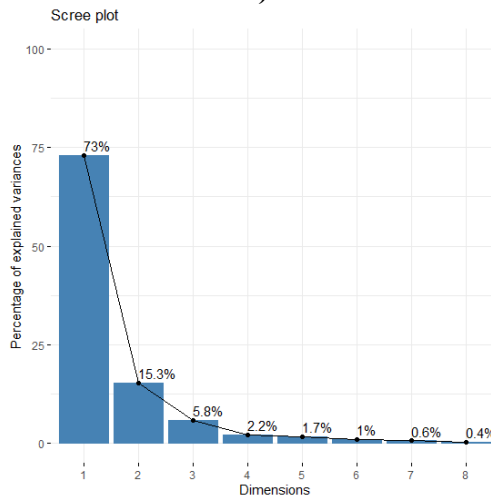
Rotation (n x k) = (8 x 8):
      PC1      PC2      PC3      PC4      PC5      PC6      PC7
Trang  0.4041616 -0.06401405  0.110264711 -0.18739213  0.011146947
XanhLa 0.1723007  0.71736758  0.648285390  0.01563215  0.130876707
Vang   0.3944863 -0.12513555 -0.063221917 -0.06381927  0.243756198
Do     0.4014153 -0.08346756  0.005908052 -0.09099704  0.261197473
XanhDuong 0.3846766 -0.25523896 -0.006095864 -0.12599605  0.423255937
Xam    0.3878650 -0.07747274  0.100716795 -0.35762879 -0.793732003
TrongSuot 0.3807818 -0.05017424 -0.025155863  0.89494112 -0.214256520
MauKhac 0.2163377  0.61965847 -0.743452743 -0.08715515 -0.006625089

      PC6      PC7
Trang -0.33587932  0.03900415  0.819036624
XanhLa 0.07408434 -0.07814807 -0.080334315
Vang   0.83402822  0.22560440  0.117119737
Do     -0.40025137  0.64411350 -0.424589260
XanhDuong -0.12584181 -0.71256971 -0.261208739
Xam    0.07714280 -0.09546079 -0.245849938
TrongSuot -0.04424700 -0.05529759  0.003727543
MauKhac -0.04634006 -0.08164457  0.006800096

> summary(pc)
Importance of components:
      PC1      PC2      PC3      PC4      PC5      PC6      PC7
Standard deviation  2.4164 1.1057 0.67970 0.42338 0.36487 0.28729 0.22744
Proportion of Variance 0.7299 0.1528 0.05775 0.02241 0.01664 0.01032 0.00647
Cumulative Proportion 0.7299 0.8827 0.94046 0.96287 0.97951 0.98983 0.99630

      PC8
Standard deviation  0.1722
Proportion of Variance 0.0037
Cumulative Proportion 1.0000

```



c)

Correlation matrix

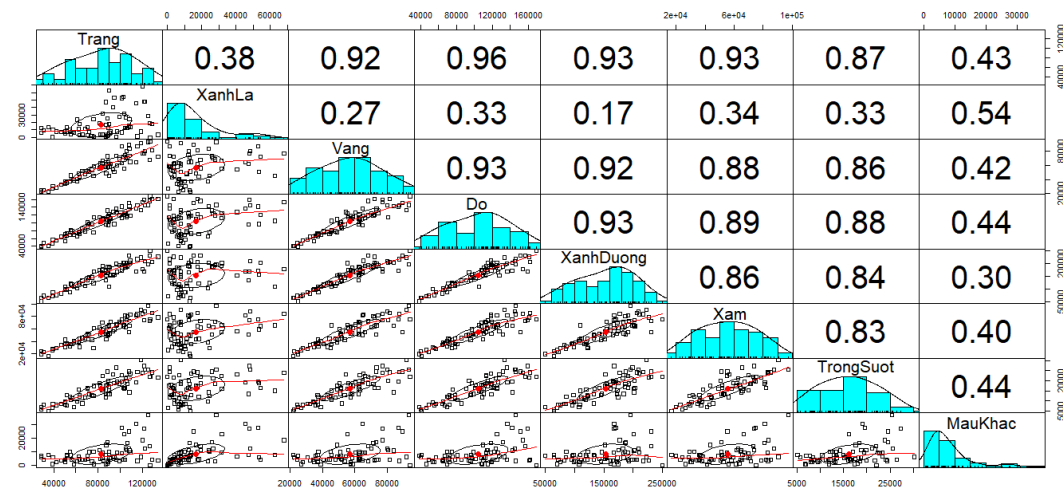
	Trang	XanhLa	Vang	Do	XanhDuong	Xam	TrongSuot	MauKhac
Trang	1.00	0.38	0.92	0.96	0.93	0.93	0.87	0.43
XanhLa	0.38	1.00	0.27	0.33	0.17	0.34	0.33	0.54
Vang	0.92	0.27	1.00	0.93	0.92	0.88	0.86	0.42
Do	0.96	0.33	0.93	1.00	0.93	0.89	0.88	0.44
XanhDuong	0.93	0.17	0.92	0.93	1.00	0.86	0.84	0.30
Xam	0.93	0.34	0.88	0.89	0.86	1.00	0.83	0.40
TrongSuot	0.87	0.33	0.86	0.88	0.84	0.83	1.00	0.44
MauKhac	0.43	0.54	0.42	0.44	0.30	0.40	0.44	1.00

Sample Size
[1] 72

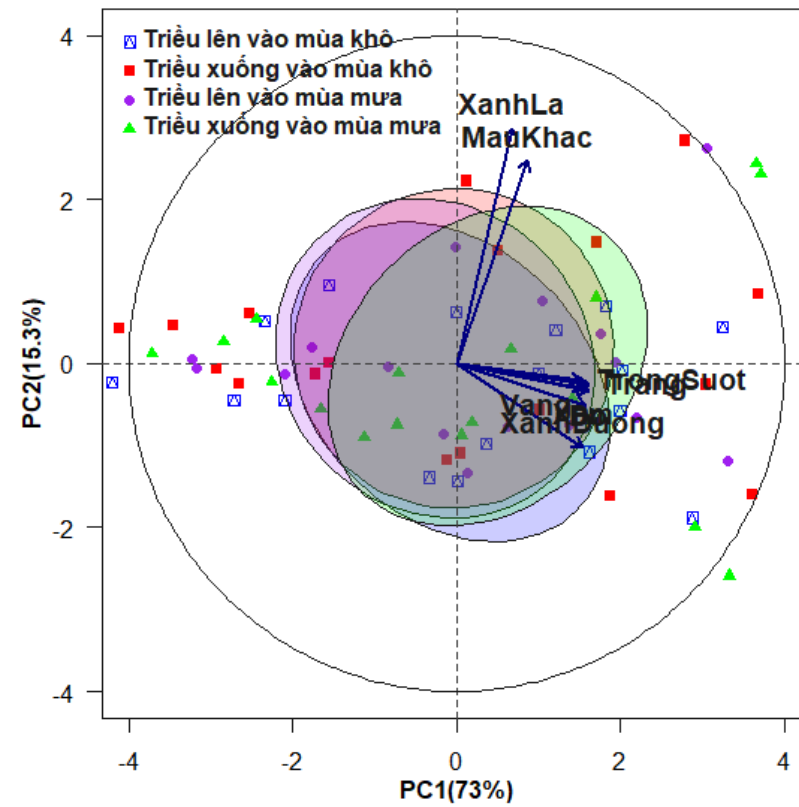
Probability values (Entries above the diagonal are adjusted for multiple tests.)

	Trang	XanhLa	Vang	Do	XanhDuong	Xam	TrongSuot	MauKhac
Trang	0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XanhLa	0	0.00	0.04	0.02	0.15	0.02	0.02	0.00
Vang	0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Do	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XanhDuong	0	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Xam	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TrongSuot	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MauKhac	0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00

b)



d)



e)

Hình 3. 14. Kết quả phân tích PCA đối với màu sắc vi nhựa trong mùa khô năm 2022

a) Phân tích PCA của R

b) Hệ số tương quan và giá trị P-Value của màu sắc vi nhựa theo kết quả từ R, c) Biểu đồ sườn dốc xác định các thành phần chính trong tập dữ liệu, d) Biểu đồ tương quan kết hợp với Histogram, e) Biểu đồ trực quan PCA

Hai thành phần chính PC1 và PC2 liên quan đến màu sắc vi nhựa trong năm 2022 đã giải thích hơn 10% phương sai, trong đó PC1 chiếm 73% và PC2 chiếm 15,3%, như thể hiện trong Hình 3.14a và Hình 3.14c. Tổng cộng, hai thành phần này đã mô tả 88,3% phương sai của tập dữ liệu. Các vector màu xanh biểu thị mối liên hệ giữa các biến màu sắc vi nhựa với PC1 và PC2, trong đó độ dài vector phản ánh mức độ tương quan. Dựa trên phân tích ma trận xoay (Hình 3.14a), tương quan màu sắc (Hình 3.14d) và giá trị P-Value (Hình 3.14b), các thành phần chính được xác định như sau:

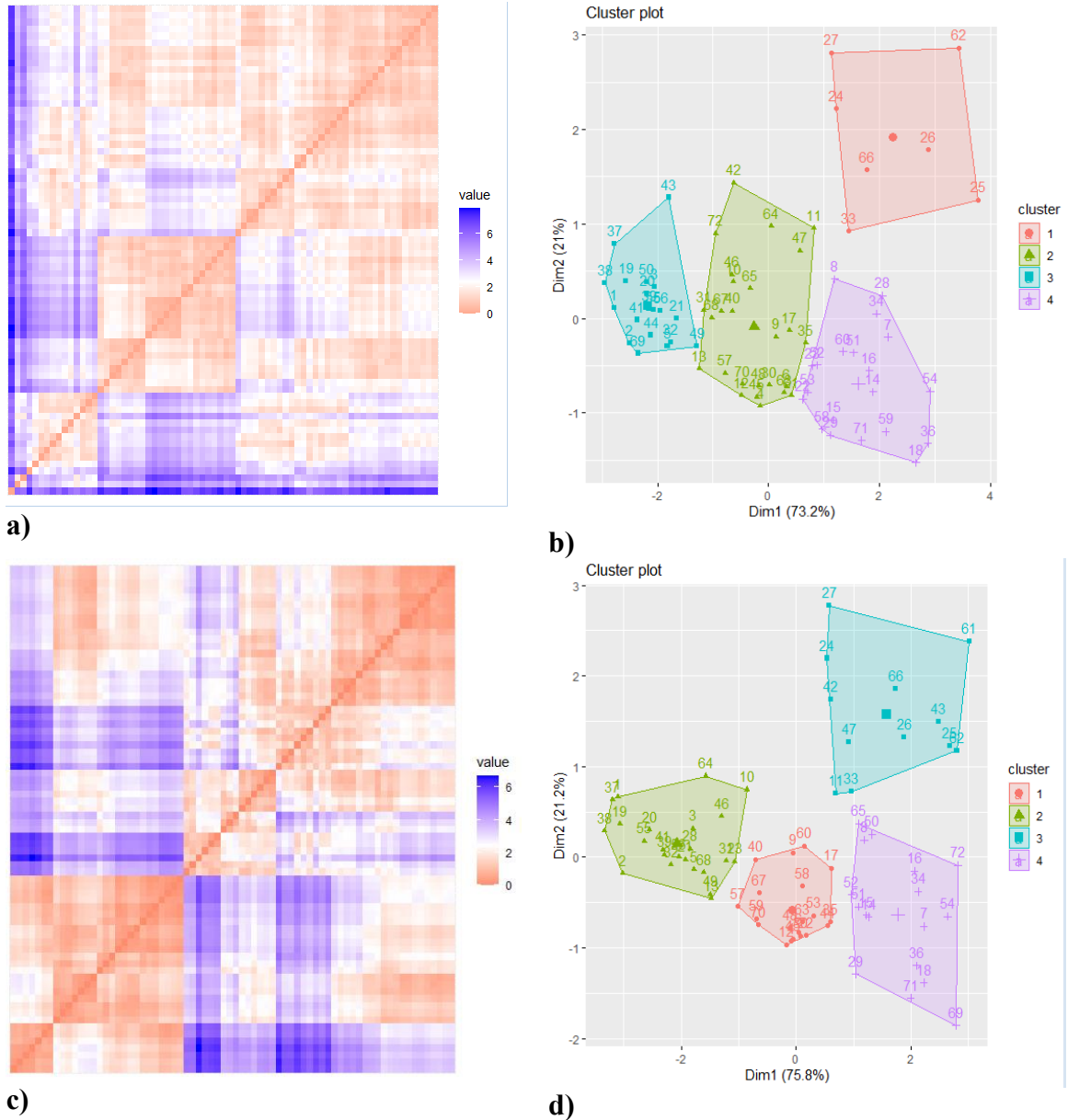
$$PC1 = 0,40 \text{ Trắng} + 0,38 \text{ Trong suốt}$$

$$PC2 = 0,71 \text{ Xanh lá} + 0,13 \text{ Vàng} + 0,25 \text{ Xanh dương} + 61,9 \text{ Màu khác}$$

Hình 3.14e minh họa kết quả phân tích PCA về màu sắc vi nhựa trong năm 2022. Vi nhựa thu thập tại các điểm lấy mẫu vào thời điểm triều lên và triều xuống trong mùa khô, cũng như triều lên trong mùa mưa, chủ yếu chịu tác động của PC1 với giá trị dao động từ -2 đến 1,8 (cụm elip tím, đỏ, xanh dương). Trong khi đó, vi nhựa xuất hiện trong mùa mưa khi triều xuống lại chịu ảnh hưởng chính từ PC2, với giá trị PC1 trong khoảng -1,8 đến 2,2 (cụm elip xanh lá). Ngoài ra, kết quả phân tích cũng chỉ ra rằng lưu vực sông Sài Gòn và Đồng Nai chịu ảnh hưởng từ các vi nhựa có màu vàng, xanh dương, trắng và xám trong cả hai mùa.

Đặc biệt, hàm lượng vi nhựa màu xanh dương trong năm 2022 có xu hướng gia tăng, cho thấy mức độ ảnh hưởng đáng kể từ các nguồn phát thải trên lưu vực sông. Do đó, cần tập trung phân tích nguồn gốc phát sinh vi nhựa có màu sắc này và đề xuất biện pháp kiểm soát ô nhiễm hiệu quả hơn.

Nhằm xác định các địa điểm có đặc điểm màu sắc vi nhựa tương đồng, nghiên cứu đã tiến hành phân tích cụm dựa trên màu sắc trung bình của vi nhựa trong mùa khô và mùa mưa (Hình 3.15). Các vị trí lấy mẫu được mã hóa bằng số thứ tự và trình bày chi tiết trong Bảng 3.3.



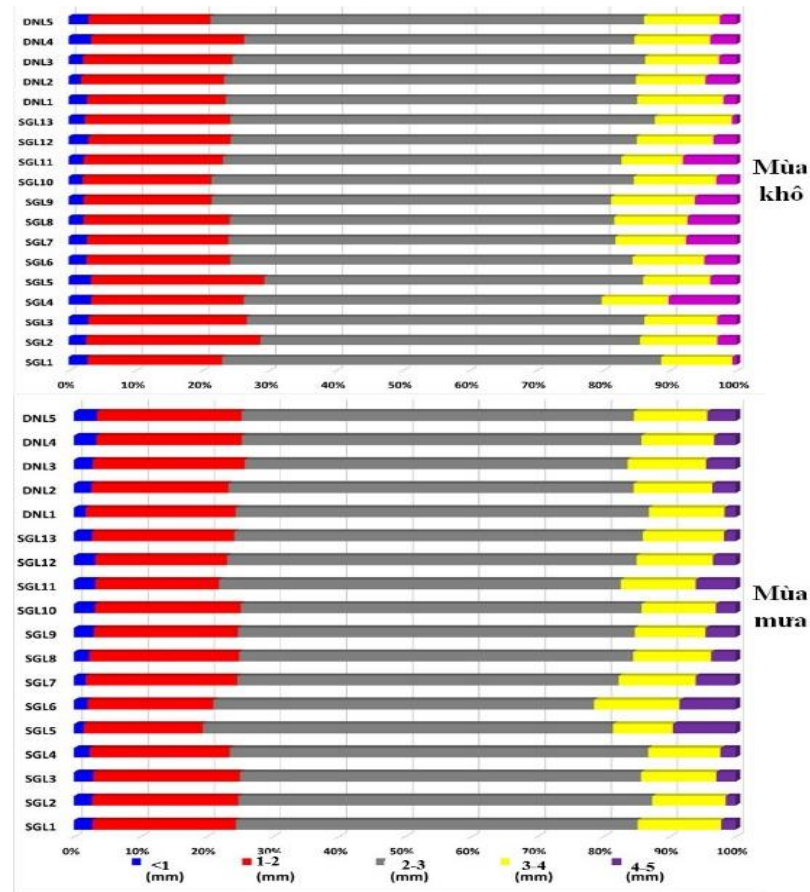
Hình 3. 15. Kết quả phân tích Cluster màu sắc của vi nhựa trong trong 2 năm 2021 - 2022
a) Phân cụm theo màu sắc (xanh dương và đỏ) trong năm 2021, b) Biểu đồ cụm (cluster plot) của 18 vị trí khảo sát năm 2021, c) Phân cụm theo màu sắc (xanh dương và đỏ) trong năm 2022, d) Biểu đồ cụm (cluster plot) của 18 vị trí khảo sát năm 2022.

Nghiên cứu xác định tổng cộng bốn cụm màu cơ bản gồm đỏ, xanh lá, xanh dương và tím, với chỉ số Hopkins lần lượt là 0,77 vào năm 2021 và 0,81 vào năm 2022, cho thấy dữ liệu phù hợp để phân tích cụm. Phương pháp K-cluster xác định số cụm tối ưu là bốn, do đó dữ liệu được phân thành bốn nhóm để quan sát. Phân nhóm màu sắc của các địa điểm lấy mẫu trong hai năm được thể hiện trong Hình 3.15a và Hình 3.15c. Các vị trí thuộc các nhóm màu xanh dương, xanh lá, đỏ và tím có sự tương đồng về tần suất xuất hiện vi nhựa có màu sắc tương ứng, được giải thích bởi PC1 trong cả hai năm. Những đặc điểm màu sắc này được chia thành các cụm riêng biệt, như thể hiện trong Hình 3.15b và Hình 3.15d.

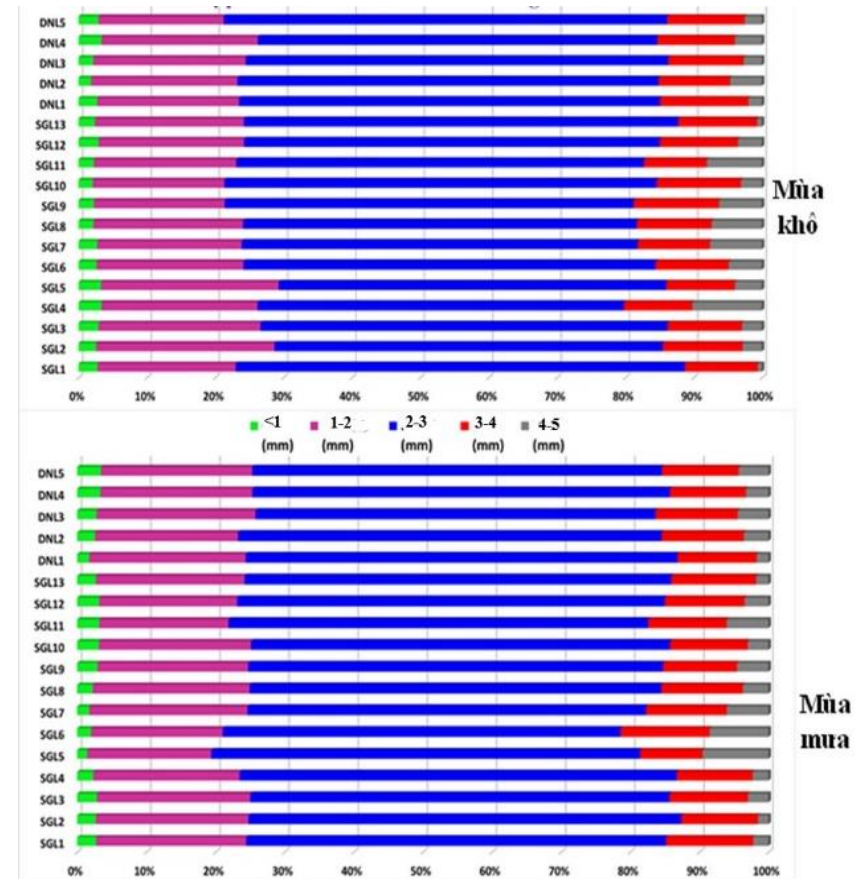
Kết quả phân cụm xác nhận tính chính xác của phân tích PCA về màu sắc vi nhựa trong giai đoạn 2021–2022. Tất cả các vị trí lấy mẫu trên lưu vực sông Sài Gòn và Đồng Nai đều ghi nhận mức độ nhiễm vi nhựa màu xanh dương và đỏ cao, có khả năng xuất phát từ các vật dụng nhựa như nắp chai, dây thun, ống hút nhựa và sản phẩm nhựa tái chế. Đáng chú ý, xu hướng ô nhiễm vi nhựa màu xanh dương và đỏ có dấu hiệu gia tăng theo thời gian. Các địa điểm lấy mẫu thuộc cùng một phân nhóm có thể được xem xét như một đơn vị nghiên cứu độc lập, cung cấp cơ sở tham khảo cho việc quản lý môi trường. Thông qua các nhóm này, nguồn phát sinh vi nhựa có thể được truy vết và kiểm soát hiệu quả hơn.

3.1.4. Kích thước vi nhựa

Trong nghiên cứu này, các hạt vi nhựa được phân loại theo kích thước thành bốn nhóm chính: 4–5 mm, 3–4 mm, 2–3 mm và 1–2 mm. Thống kê chi tiết về phân bố kích thước vi nhựa được trình bày trong Bảng 3.5, trong khi tỷ lệ phần trăm của từng nhóm theo từng vị trí lấy mẫu được thể hiện trong Hình 3.16.



a)



b)

Hình 3. 16. Sự phân bố kích thước của vi nhựa tại các vị trí lấy vào mùa khô và mùa mưa
a) Năm 2021; b) Năm 2022

Bảng 3. 5. Tỷ lệ kích thước vi nhựa trong các năm 2021-2022

NĂM 2021										
Gia trị	Mùa khô (Vi nhựa/m³)					Mùa mưa (Vi nhựa/m³)				
	<1 (mm)	1 - 2 (mm)	2 - 3 (mm)	3 - 4 (mm)	4 - 5 (mm)	<1 (mm)	1 - 2 (mm)	2 - 3 (mm)	3 - 4 (mm)	4 - 5 (mm)
Nhỏ nhất	6.038	43.562	141.683	23.075	1.294	5.269	46.981	131.526	25.436	3.437
Lớn nhất	20.521	150.890	451.468	78.955	54.220	19.836	130.265	357.637	65.132	45.932
Trung bình	13.017	107.009	298.865	54.909	23.230	11.263	90.141	256.538	48.291	18.120
Trung vị	13.350	112.234	304.878	57.449	17.535	10.849	90.319	267.193	50.108	17.965
Độ lệch chuẩn	4.035	28.284	85.808	15.265	16.335	4.138	20.937	58.400	10.888	11.234
NĂM 2022										
Gia trị	Mùa khô (Vi nhựa/m³)					Mùa mưa (Vi nhựa/m³)				
	<1 (mm)	1 - 2 (mm)	2 - 3 (mm)	3 - 4 (mm)	4 - 5 (mm)	<1 (mm)	1 - 2 (mm)	2 - 3 (mm)	3 - 4 (mm)	4 - 5 (mm)
Nhỏ nhất	5.800	41.815	131.524	26.241	4.463	6.581	49.027	133.261	27.639	2.852
Lớn nhất	20.695	166.245	436.346	81.156	237.506	22.250	160.137	432.595	81.467	42.269
Trung bình	12.952	107.952	285.047	55.638	29.669	12.973	105.883	299.058	56.755	20.902
Trung vị	13.165	110.458	300.136	57.310	12.403	12.617	108.131	302.384	58.971	21.282
Độ lệch chuẩn	3.646	34.154	86.762	16.231	52.012	4.223	32.377	83.932	17.265	12.620

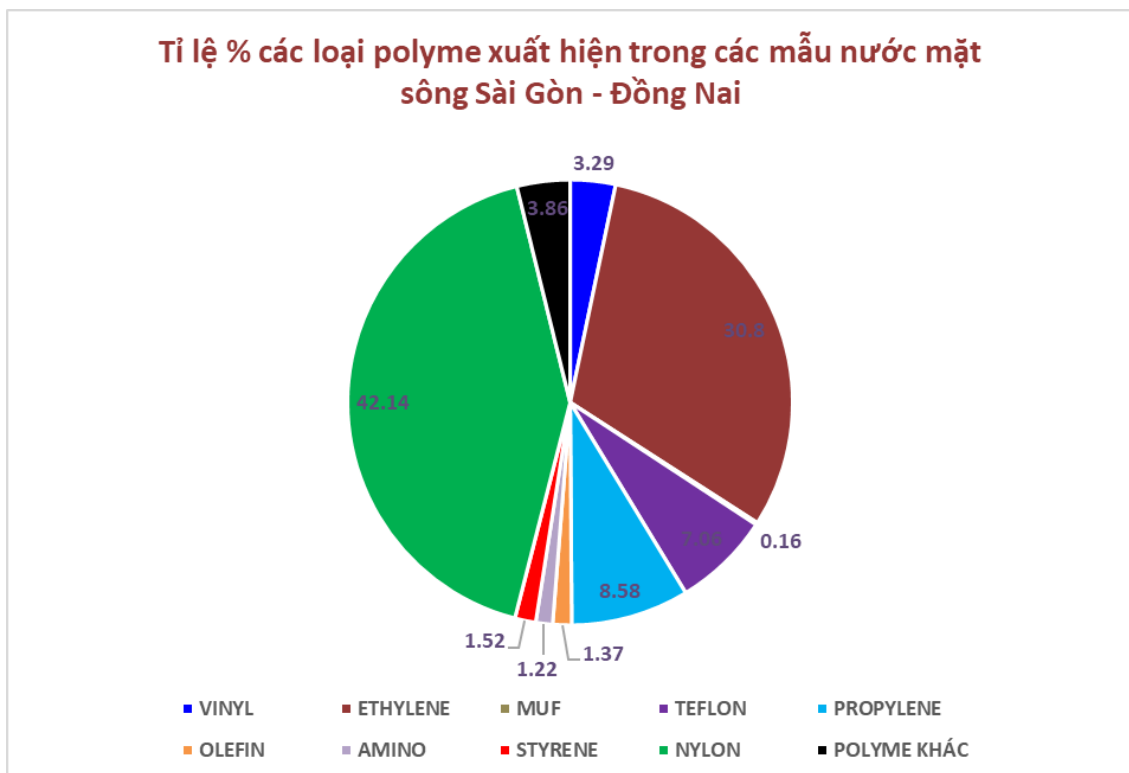
Sự khác biệt về tỷ lệ vi nhựa giữa các mùa và năm không quá lớn, cho thấy kích thước vi nhựa không có sự thay đổi đáng kể theo mùa. Điều này cũng chứng tỏ rằng vi nhựa tồn tại lâu dài trong môi trường nước của lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai, gây ảnh hưởng liên tục đến hệ sinh thái của hai con sông này. Các vi nhựa có kích thước lớn (4–5 mm, 3–4 mm, 2–3 mm) xuất hiện với tần suất cao hơn vào mùa khô và có xu hướng gia tăng theo thời gian, với số lượng ghi nhận trong năm 2022 cao hơn so với năm 2021. Xu hướng này gợi ý rằng vi nhựa kích thước lớn đang ngày càng tích lũy, đồng thời có khả năng phân rã và tạo ra nhiều vi nhựa kích thước nhỏ hơn trong tương lai.

Phân tích dữ liệu cho thấy các yếu tố môi trường như khí hậu, lượng nước thay đổi theo mùa hay thủy triều không tác động đáng kể đến quá trình phân hủy vi nhựa thành các kích thước nhỏ hơn. Nói cách khác, các điều kiện tự nhiên không ảnh hưởng rõ rệt đến sự tăng hay giảm của vi nhựa trong các nhóm kích thước khác nhau trong khoảng thời gian ngắn (vài năm). Đây có thể là một trong những nguyên nhân lý giải vì sao hàm lượng vi nhựa kích thước nhỏ trong nước mặt của sông Đồng Nai và sông Sài Gòn ở mức tương đối thấp.

Kết quả nghiên cứu còn chỉ ra rằng vi nhựa có mặt trong môi trường nước của hai con sông này xuất phát từ nhiều nguồn khác nhau, trong đó có sự phân rã của các mảnh nhựa lớn và sự phát thải từ các nguyên liệu nhựa nguyên sinh cũng như các nhà máy sản xuất nhựa.

3.1.5. Các dạng polyme được phát hiện

Tổng cộng có 100 mẫu vi nhựa được chọn ngẫu nhiên từ tất cả 432 mẫu đã được thu thập từ 18 vị trí trên lưu vực 2 sông trong 2 năm 2021, 2022 được nghiên cứu để định danh các loại polyme của chúng bởi phương pháp FTIR kết hợp phụ kiện ART. Kết quả phân tích quang phổ FTIR, nghiên cứu đã phát hiện được các chủng loại polymer được tìm thấy trong các mẫu nước theo gốc hóa học: nhựa gốc VINYL chiếm 3,29%; nhựa gốc ETHYLENE chiếm 30,8%; nhựa gốc keo tổng hợp MUF chiếm 0,16%; nhựa TEFLON (Poly Tetra Fluorethylene) chiếm 7,06%; nhựa PROPYLENE chiếm 8,58%; nhựa tổng hợp OLEFIN chiếm 1,37%; nhựa tổng hợp AMINO chiếm 1,22%; nhựa STYRENE chiếm 1,52%; NYLON chiếm 42,14%; tỷ phần chiếm 3,86% còn lại là các loại polymer khác (Hình 3.17).



Hình 3. 17. Tỉ lệ % các loại polyme xuất hiện trong các mẫu nước sông Đồng Nai, sông Sài Gòn

Kết quả phân tích quang phổ hồng ngoại biến đổi FTIR, nghiên cứu đã phát hiện hơn 60 polymer types từ vi nhựa đã được tìm thấy trong mẫu nước mặt của sông Sài Gòn – Đồng Nai. Kết quả này được biểu thị trong Bảng 12.

Bảng 3. 6. Các loại polyme của vi nhựa trong các mẫu nước được tìm thấy trong môi trường nước mặt sông Sài Gòn – Đồng Nai

STT	Loại polyme được khám phá	STT	Loại polyme được khám phá
1	EVOH EVAL FILM	31	UREA-FORMALDEHYDE COND.
2	FLUOROPOLYMER #2	32	POLY(ETHYLENE:VINYL CHLORIDE),~1:1
3	HDPE 30060M	33	POLY(TEREPHTHALOYL OXAMIDRAZONE)+SRC O3
4	LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE	34	POLY(N-METHYL ACRYLAMIDE)
5	MELAMINE-UREA-FORMALDEHYDE RESIN	35	POLYVINYL ALCOHOL AV. MOL. WT. 10
6	OLEFIN	36	POLY (1,4-CIS-ISOPRENE)
7	NYLON	37	POLY (2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE)
8	POLY(PROPYLENE::ETHYLENE);62% P	38	POLYTACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE
9	POLY(PROPYLENE:ETHYLENE);7MOL%C2	39	POLYBUTYLENE TEREPHTHALATE
10	POLY(VINYL ALCOHOL); SYNDIOTACTIC	40	POLYETHYL ACETATE
11	POLYBUTYLENE/ETHYLENE COPOLYMER #5	41	POLY(D,L-LACTIDE-CO-GLYCOLIDE)
12	POLYETHERURETHANE	42	POLYURETHANE
13	POLYETHYLENE	43	POLY (N-ISOPROPYLACRYLAMIDE)
14	POLYETHYLENE (TYPE II) #1	44	POLYSTYRENE/ACRYLATE COPOLYMER
15	POLYETHYLENE LOW DENSITY #3	45	POLY METHACRYLATED HYALURONIC ACID
16	POLYETHYLENE MARLEX CATALYST	46	POLY ISOBORNYL METHACRYLATE
17	POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)	47	POLYETHYLENE GLYCOL

18	POLYETHYLENE; FOAMING AGENT MIX #1	48	POLY CELLULOSE NITRATE
19	POLYPROPYLENE #1	49	POLYVINYLPIRROLID ONE
20	POLYPROPYLENE COPOLYMER	50	POLYURETHANE
21	POLYPROPYLENE HOMOPOLYMER #1	51	POLY TRIMETHYLSILOXYSILI CATE (SILICONE RESIN)
22	POLYPROPYLENE- POLYETHYLENE COPOLYMER	52	POLYTETRAHYDROFUR AN
23	POLYSTYRENE #3	53	POLYPROPYLENE OXIDE
24	POLY(STYRENE-CO- ALLYL ALCOHOL)	54	POLYMETHYL METHACRYLATE (PMMA)
25	POLYSTYRENE STANDARD; TYPICAL MW 200;000	55	POLY (N-HERTL METHACRYLATE)
26	POLY(TETRAFLUOROET HYLENE)	56	POLY LAUROLACTAM INTL ON 12 OR AMIDE-2
27	POLY(VINYL ALCOHOL); 100% HYDROLYZED; M.W.14;000	57	POLYETHYLENE VINYL ACETATE
28	POLYVINYL FLUORIDE	58	POLYCAPROLACTAM (NYLON 4)
29	POLYVINYL ALCOHOL AV. MOL. WT. 10	59	POLYACRYLONITRILE- BUTADIENE-STYRENE (ABS)
30	TEFLON	60	POLYACRYLONITRIL (PAN)

Những phát hiện này cho thấy vi nhựa đã xuất hiện trong nguồn nước của hai nhánh sông, bắt nguồn từ nhiều loại sản phẩm nhựa khác nhau như bao bì, lưới đánh cá, ống hút, khẩu trang và các sản phẩm dùng một lần. Các loại nhựa phổ biến bao gồm Polypropylene (PP), Polyvinylchloride (PVC), Polyethylene (PE), Polyethylene Terephthalate (PET), cùng với các loại keo nhựa tổng hợp như Resin và Epoxy, vốn được sử dụng trong sản xuất đồ trang trí, đồ chơi, móng tay giả,... Những loại nhựa này có thể kết dính và phân rã dưới tác động của tia UV trong môi trường tự nhiên hoặc khi tiếp xúc trực tiếp với đèn UV.

Kết quả nghiên cứu đã xác định rõ các loại vi nhựa có mặt trong môi trường nước và mối liên hệ giữa tỷ lệ polymer phát hiện được với nguồn gốc sản phẩm sinh ra vi nhựa. Chẳng hạn, nhựa Nylon (thuộc nhóm Polyamide - PA) có đặc tính chống

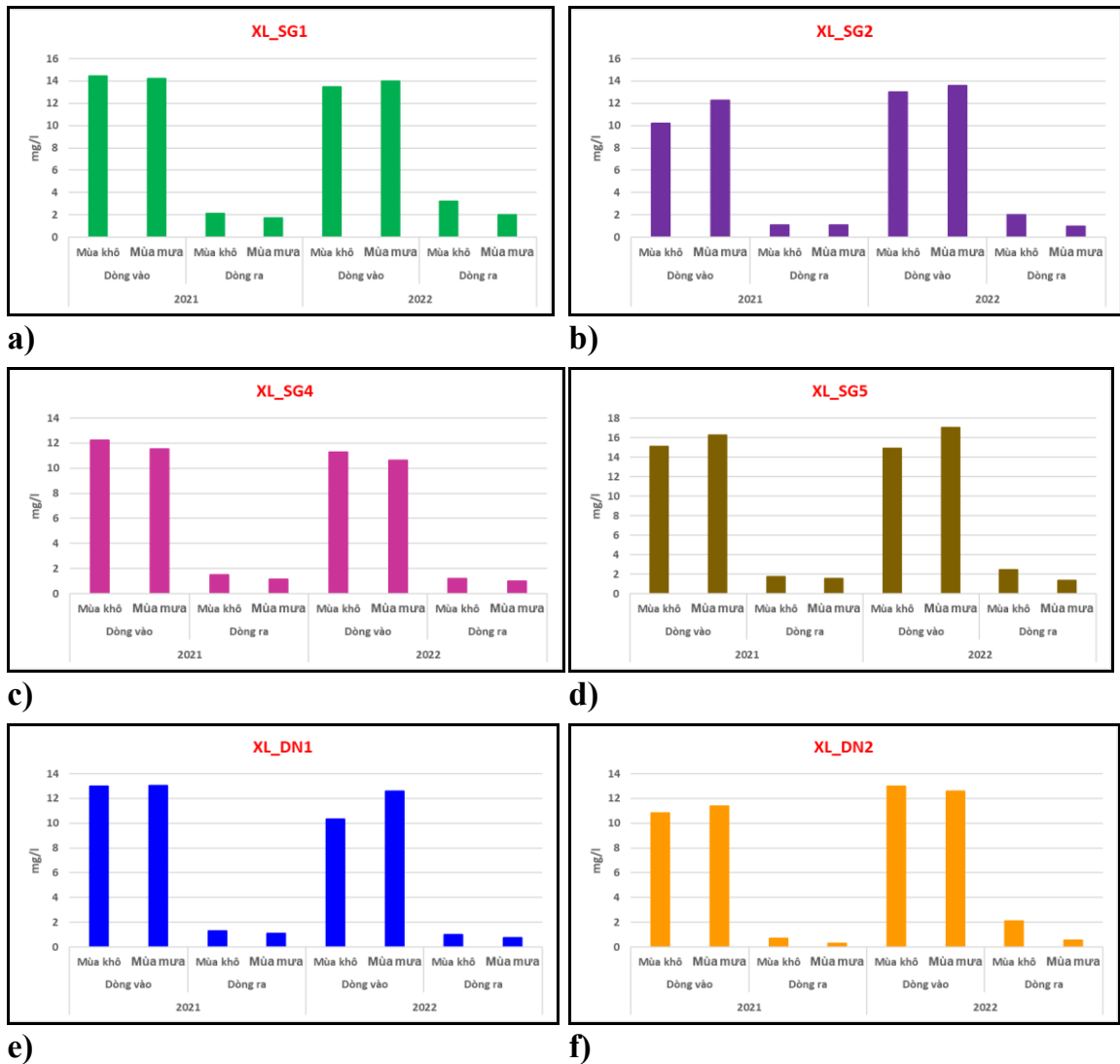
thấm nước, chống nấm mốc và côn trùng, thường được dùng để sản xuất sợi nhân tạo, thảm, áo mưa, túi đựng rác, khăn trải bàn, găng tay, màng bọc thực phẩm,... Những sản phẩm này dễ phân rã thành vi nhựa dạng sợi hoặc mảnh vụn. Trong khi đó, nhựa Polypropylene (PP) – một loại nhựa nhiệt dẻo có độ cứng và dẻo dai – được sử dụng để sản xuất nắp chai, hộp nhựa, thùng chứa thực phẩm,... Dưới tác động của ánh sáng và lực cơ học, loại nhựa này có xu hướng vỡ thành các mảnh vi nhựa nhỏ, cứng. Tương tự, nhựa Polyethylene (PE) – thuộc nhóm Polyolefin – là vật liệu linh hoạt, phổ biến trong sản xuất màng bọc thực phẩm, ống hút, túi zip,..., có khả năng bị nóng chảy hoặc đứt gãy dưới nhiệt độ cao và ánh sáng mặt trời.

Sự đa dạng của các loại polymer trong các mẫu nước thu thập vào cả mùa khô và mùa mưa trong hai năm 2021 - 2022 đã phản ánh rõ nguồn gốc phát sinh vi nhựa. Dù điều kiện thời tiết có thay đổi, thành phần vi nhựa phát hiện tại các vị trí lấy mẫu vẫn tương đồng nhau, cho thấy các khu vực khảo sát có nguồn phát sinh vi nhựa tương tự, chủ yếu đến từ sinh hoạt của cư dân dọc theo lưu vực sông Sài Gòn và sông Đồng Nai. Vi nhựa sơ cấp đóng vai trò chính trong việc góp phần gia tăng vi nhựa trong nước sông, trong khi các mảnh nhựa lớn có thể tiếp tục phân rã thành vi nhựa nhỏ hơn nhưng vẫn giữ nguyên thành phần polymer ban đầu dưới tác động của môi trường. Điều này cũng phù hợp với những nghiên cứu khoa học trước đây.

Việc thu thập mẫu nước vào các mùa khác nhau trong hai năm khảo sát đều cho thấy sự hiện diện của vi nhựa với cùng loại polymer, giúp làm sáng tỏ xu hướng sử dụng nhựa trên thị trường. Những loại polymer phổ biến như PE, PVC, PP được sản xuất với hiệu suất cao, ứng dụng rộng rãi và có giá thành hợp lý. Ví dụ, Polypropylene (PP) thường xuất hiện trong vải sợi, chăn mền, trong khi Polyethylene (PE) lại được sử dụng để chế tạo bao bì, ống nhựa và hộp đựng thực phẩm. Ngoài ra, một số loại keo tổng hợp như MUF, Resin và Epoxy UV cũng góp phần tạo ra vi nhựa trong môi trường.

3.2. Vi nhựa trong dòng nước thải của các nhà máy xử lý trên lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai

Trung bình, vi nhựa (tổng cộng 312 mẫu) trong dòng thải vào và ra khỏi quá trình xử lý nước thải sinh hoạt của 6 NMXLNT trong 2 năm khảo sát và công suất trung bình loại bỏ vi nhựa của chúng mỗi ngày từ các công nghệ kỹ thuật xử lý chính trong Hình 3.18.



Hình 3. 18. Mật độ về khối lượng vi nhựa trong dòng nước thải trước và sau khi ra khỏi các nhà máy xử lý

a) Nam Bình Dương (Thuận An);

b) VSIP 1;

c) Ba Bò (Đồng An);

d) Tham Lương – Bến Cát;

e) Dĩ An;

f) Khu công nghệ cao Thành phố Hồ Chí Minh

Hiệu suất loại bỏ vi nhựa khỏi dòng thải trong các NMXLNT được tính toán dựa trên giá trị mật độ của chúng được xác định trong dòng nước thải đi vào song chắn rác của các nhà máy và trong mẫu nước của nguồn tiếp nhận cách miệng xả một khoảng ước lượng 20 m. Việc tính toán hiệu suất loại bỏ vi nhựa của các công trình xử lý dựa vào công thức sau:

$$H_{Re} = \frac{(C_r - C_e) \times 100}{C_r} \quad (12)$$

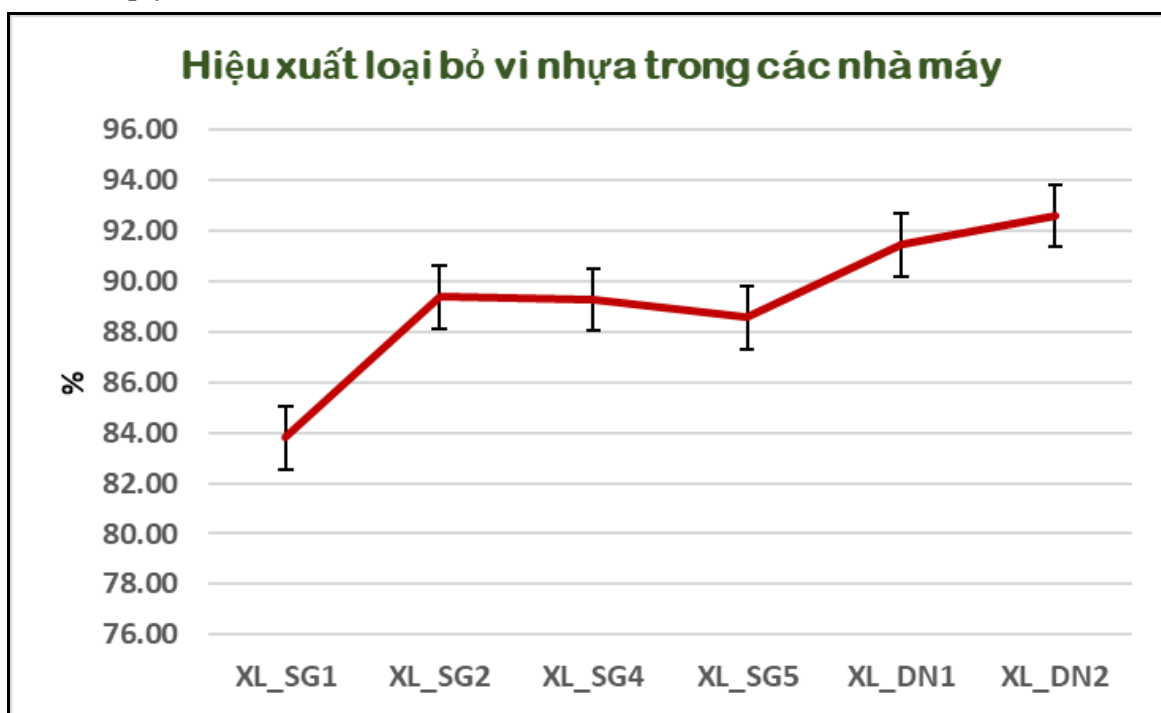
Trong đó:

C_r : Nồng độ vi nhựa trong nước đầu vào hệ thống xử lý của các nhà máy như công tập trung

C_e : Nồng độ vi nhựa trong nước của nguồn tiếp nhận cách miệng xả một khoảng ước lượng 20 m

H_{re} : Hiệu suất loại bỏ vi nhựa

Hiệu quả trung bình được đánh giá đạt 89,1% từ vai trò công nghệ xử lý nước thải tại các nhà máy trong việc loại bỏ vi nhựa khỏi dòng thải (Hình 3.19). Vi nhựa trong nước thải có thể được loại bỏ hiệu quả tại các giai đoạn xử lý đặc trưng trong toàn bộ quy trình.



Hình 3. 19. Tỷ lệ phần trăm về hiệu suất trung bình loại bỏ vi nhựa khỏi dòng thải của các nhà trong 2 năm quan sát 2021-2022

Sự khác biệt về mật độ vi nhựa có thể bị chi phối bởi nhiều yếu tố phức tạp như quy mô dân số được phục vụ, nguồn gốc nước thải (đô thị hay công nghiệp), điều kiện kinh tế và thói quen sinh hoạt. Tại các thành phố lớn như TP. Hồ Chí Minh, Bình Dương hay Đồng Nai, mật độ vi nhựa trong nước thải tại các nhà máy xử lý nước thải công nghiệp ghi nhận mức dao động từ 12,63 mg/l trước xử lý xuống còn 1,4 mg/l sau xử lý, với hiệu suất trung bình đạt 89,1% (Bảng 3.6).

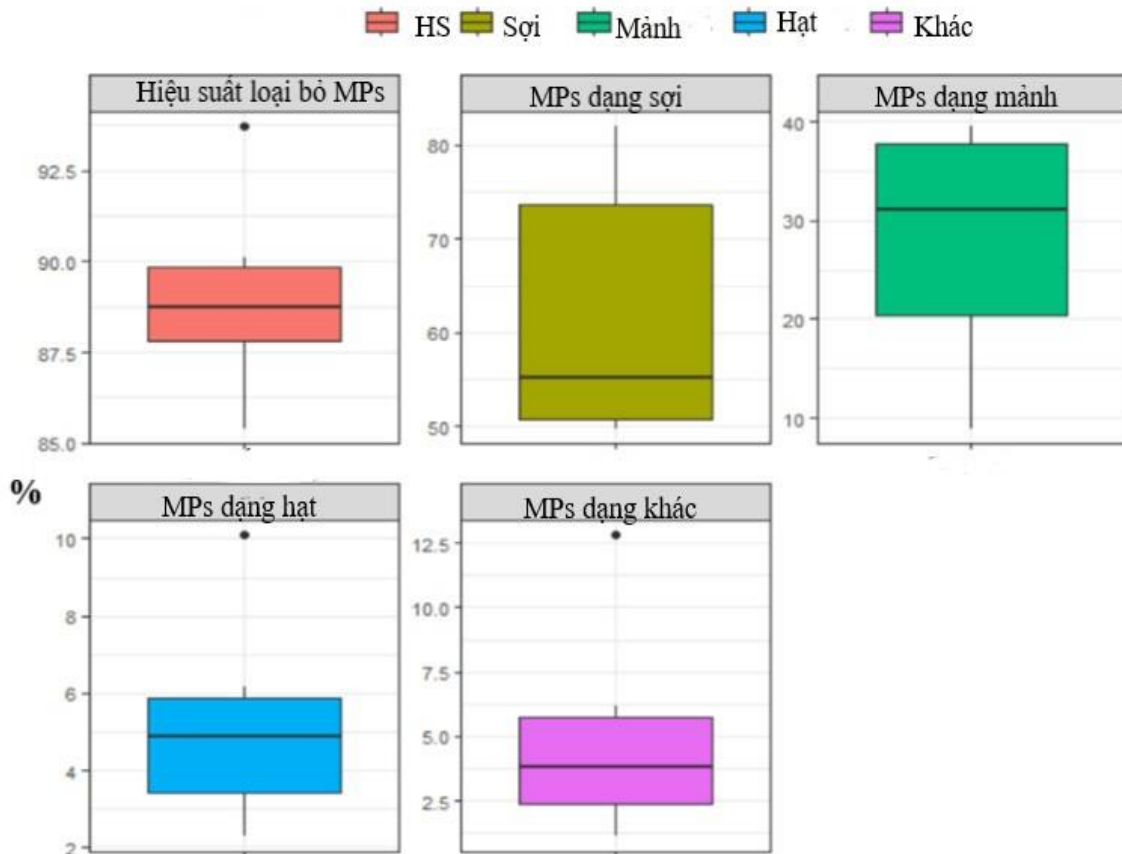
Bên cạnh đó, mật độ vi nhựa cũng có mối quan hệ tỷ lệ thuận với đặc điểm dân số tại các khu vực đặt nhà máy xử lý nước thải. Ngoài ra, phương pháp thu mẫu và lấy mẫu cũng tác động đáng kể đến kết quả xác định mật độ vi nhựa. Khối lượng mẫu nước thải hạn chế có thể làm gia tăng mức độ sai số, ảnh hưởng đến độ chính

xác của nghiên cứu và gây khó khăn trong quá trình phân tích vi nhựa tại các nhà máy xử lý nước thải.

Bảng 3. 7. Vi nhựa trong dòng thải đầu vào và đầu ra của quá trình xử lý nước thải sinh hoạt trong một số nhà máy trên lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai

STT	Nhà máy	Mật độ vi nhựa dòng vào (mg/l)	Mật độ vi nhựa dòng ra (mg/l)	Hiệu suất xử lý (%)
1	Nhà máy xử lý nước thải Nam Bình Dương	14,432	2,107	85,4
2	Trạm Xử Lý Nước Ba Bò	12,229	1,516	87,6
3	Nhà Máy xử lý nước thải Khu Công Nghệ Cao TPHCM	10,851	0,684	93,7
4	Nhà máy xử lý nước thải Tham Lương – Bến Cát	15,074	1,749	88,4
5	Nhà máy xử lý nước thải KCN VSIP 1	10,188	1,114	89,1
6	Nhà máy xử lý nước thải (gần trạm cấp nước An Bình)	12,986	1,286	90,1
Hiệu suất trung bình				89,1

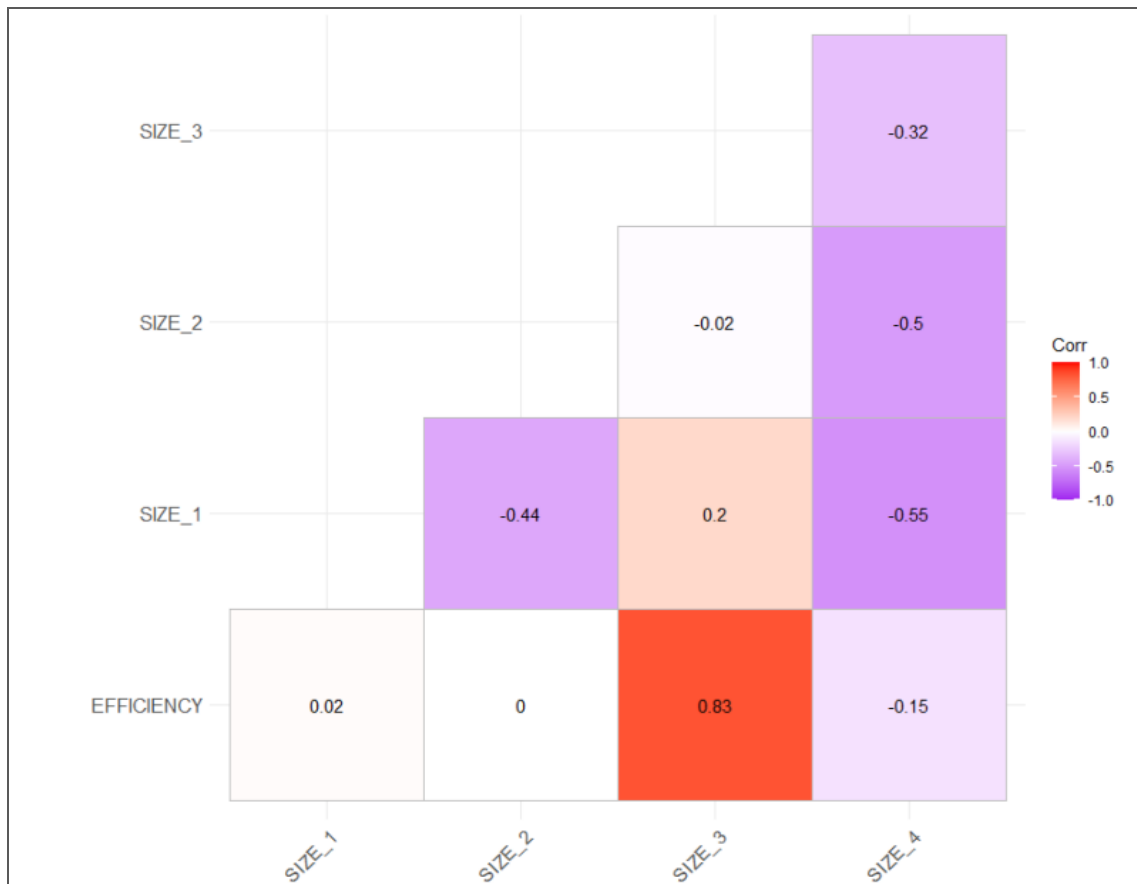
Hình thái là một yếu tố phân loại quan trọng của hạt vi nhựa. Các hình thái của vi nhựa ảnh hưởng đến hiệu suất loại bỏ chúng trong các NMXLNT [81]. Sợi hay một cấu trúc vi mô dạng sợi, là hình thái chiếm ưu thế trong 6 nhà máy được khảo sát. Hơn nữa, các hình dạng vi nhựa khác, chẳng hạn như bột, hạt, hình elip, đường và vảy cũng được phát hiện trong các nhà máy này và được nghiên cứu gọi là “dạng khác”. Các dạng sợi, hạt, mảnh và màng được phát hiện rộng rãi nhất về vi nhựa trong nước thải. Sự phân bố tỉ lệ và các giá trị ngoại biên theo mật độ các hình dạng vi nhựa và hiệu suất xử lý của các NMXLNT được thể hiện trên Hình 3.20.



Hình 3. 20. Phân bố giá trị phần trăm và các giá trị ngoại biên theo mật độ các dạng vi nhựa và hiệu quả xử lý của trạm xử lý nước thải

Hình 3.20 mô tả sự phân bố giá trị phần trăm mật độ vi nhựa với 4 phân loại hình dạng là sợi, hạt, mảnh, và dạng khác tương ứng với tất cả hình dạng khác còn lại. Độ dài của biểu đồ hiển thị phạm vi của 50% giá trị trung tâm của các hình dạng vi nhựa trong dòng nước thải đầu ra xả vào nguồn tiếp nhận. Trong đó cho thấy tỉ lệ vi nhựa dạng sợi vẫn xuất hiện ưu thế nhất về tần suất xuất hiện từ 49,8% (XL_SG5) đến 81,96% (XL_SG2). Dù vậy, trung vị của chúng vẫn ở mức thấp. Trên thực tế, loại sản phẩm nhựa phục vụ nhu cầu con người kết xuất thành dạng sợi vi nhựa nhiều hơn đáng kể so với các dạng khác, ví dụ như khẩu trang, bao chứa gạo, dây câu cá, lưới đánh bắt thủy sản.... Bên cạnh đó, vi nhựa dạng sợi có khả năng rã ra từ các khối lớn bằng nhựa (bao đựng gạo, khẩu trang...), dễ bị ảnh hưởng bởi gió, dòng nước, nhiệt độ và xói mòn bởi các chất cứng (đá, sỏi, công trình...) trong quá trình di chuyển. Mặc dù hạt vi nhựa trong nước thải có thể được loại bỏ thông qua quá trình lắng, lọc, tuyển nổi,...trong nhà máy xử lý nước thải, nhưng ngay từ ban đầu, không có quy trình nào trong số này được thiết kế để loại bỏ vi nhựa. Kết quả là, vẫn còn một lượng đáng kể vi nhựa trong nhà máy xử lý nước thải có thể thoát ra ngoài theo nước thải và đi vào nguồn tiếp nhận. Kết quả này đưa ra

rằng các vi nhựa được đưa vào môi trường nước thải có khuynh hướng từ nhiều nguồn đã có chứa Vi nhựa sơ cấp hoặc nguồn mà các chất thải nhựa có điều kiện môi trường, đủ thời gian phân rã như nước chảy tràn, nước mưa chảy vào vệ thống thoát nước chung, cống tập trung. Trong các thiết kế hệ thống xử lý nước thải tại Việt Nam hiện nay hầu như không có kỹ thuật công nghệ khử vi nhựa mà chỉ có thể loại bỏ thao hướng tách chúng khỏi dòng chảy.



Hình 3. 21. Ma trận tương quan giữa hiệu suất xử lý của nhà máy và các vi nhựa có kích thước khác nhau

Để đánh giá tác động của kích thước hạt đến hiệu suất xử lý tại các nhà máy xử lý nước thải, nghiên cứu đã phân tích mối quan hệ giữa hiệu suất loại bỏ vi nhựa và kích thước của chúng, được minh họa trong Hình 3.21. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý có mối tương quan chặt chẽ với vi nhựa có kích thước từ 2 mm đến 3 mm (Size_3), với hệ số tương quan đạt 0,83. Điều này cho thấy vi nhựa trong khoảng kích thước này dễ dàng bị loại bỏ nhờ các quá trình lắng, lọc và tuyển nổi trong hệ thống xử lý do trọng lượng và kích thước phù hợp với các phương pháp xử lý hiện có.

Quá trình xử lý nước thải được chia thành ba cấp độ chính nhằm loại bỏ vi nhựa và các tạp chất khác.

✓ *Xử lý cấp 1:*

Giai đoạn này bao gồm lưu trữ tạm thời nước thải trong bể lắng, nơi các hạt rắn có khối lượng lớn sẽ lắng xuống đáy, trong khi dầu, mỡ và các tạp chất nhẹ hơn nổi lên bề mặt để được tách loại. Các phương pháp cơ học và vật lý như song chắn rác, lưới chắn, bể điều hòa, bể lắng sơ cấp, bể tuyển nổi và các thiết bị lọc được áp dụng để loại bỏ các tạp chất. Trong đó, công nghệ tuyển nổi có hiệu quả cao đối với vi nhựa nhẹ nhờ khả năng bám dính vào bọt khí và nổi lên trên bề mặt. Tuy nhiên, công nghệ này không phù hợp với hệ thống xử lý quy mô nhỏ. Mặt khác, việc lắng cát và lọc trong hệ thống có thể loại bỏ vi nhựa có trọng lượng lớn hoặc kết dính thành cụm, nhưng lại kém hiệu quả đối với vi nhựa sợi hoặc có kích thước cực nhỏ.

✓ *Xử lý cấp 2:*

Giai đoạn này tập trung vào việc loại bỏ các chất hòa tan và chất hữu cơ lơ lửng. Trong quá trình xử lý bùn hoặc sử dụng bộ lọc nhỏ giọt để xử lý nhu cầu oxy sinh hóa (BOD) và nitơ, một phần vi nhựa cũng có thể bị loại bỏ. Ngoài ra, việc sử dụng các chất keo tụ như sunphat sắt và sunphat nhôm trong công nghệ keo tụ tạo bông giúp vi nhựa tích tụ thành cụm và dễ dàng lắng xuống bể xử lý sơ cấp. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng các thiết bị thổi khí, giá thể sinh học và các bộ phận làm từ nhựa trong hệ thống xử lý có thể góp phần làm tăng mật độ vi nhựa do quá trình bào mòn và phân rã. Bên cạnh đó, công nghệ màng lọc và bộ lọc sinh học với chi phí thấp cũng đóng vai trò quan trọng trong việc giảm lượng vi nhựa trong nước thải.

✓ *Xử lý cấp 3:*

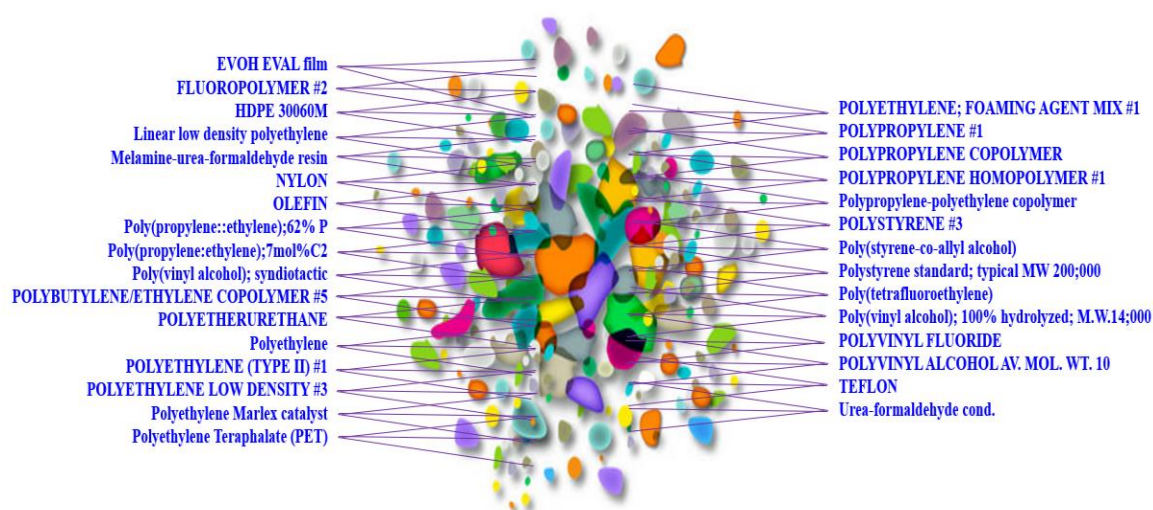
Giai đoạn này kết hợp các phương pháp hóa học và vật lý để loại bỏ vi nhựa cũng như các vi sinh vật gây hại. Các công nghệ thường được sử dụng bao gồm lọc tinh và khử trùng. Trong một số trường hợp, việc xử lý vi nhựa có thể kết hợp với quá trình loại bỏ chất dinh dưỡng như nitơ và photpho. Các hệ thống lọc cấp 3 sử dụng nhiều loại vật liệu như cát và than hoạt tính, đồng thời các hồ sục khí và hồ sinh học cũng đóng vai trò quan trọng trong việc loại bỏ vi nhựa.

Nhiều nghiên cứu trước đây đã chứng minh hiệu quả của từng giai đoạn xử lý. Giai đoạn lắng sơ cấp có thể loại bỏ khoảng 41% vi nhựa [111], trong khi công nghệ tuyển nổi đạt hiệu suất cao, lên đến 95% theo nghiên cứu của Talvitie và cộng sự (2017a) [112-113]. Tuy nhiên, khi nồng độ vi nhựa trong nước thấp, hiệu quả tạo bông giảm, khiến hiệu suất xử lý bằng phương pháp keo tụ bị ảnh hưởng. Bộ lọc cát và khử trùng có thể loại bỏ khoảng 56% vi nhựa còn lại [112-114].

Sự tồn tại của vi nhựa trong chuỗi thức ăn của môi trường tiếp nhận chủ yếu phụ thuộc vào kích thước của chúng, thay vì hình dạng. Bên cạnh đó, hiệu suất xử lý và sự biến đổi trong quá trình lọc tại các nhà máy xử lý nước thải cũng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến mức độ lưu giữ vi nhựa trong môi trường. Do đó, việc nghiên cứu và đánh giá kích thước của vi nhựa là điều cần thiết.

Vi nhựa sơ cấp có thể bị phân rã thành vi nhựa thứ cấp với kích thước nhỏ hơn. Những hạt vi nhựa này dễ bị sinh vật phù du, động vật ăn lọc và cá hấp thụ, gây ra nhiều tác động tiêu cực đối với hệ sinh thái. Khi con người tiêu thụ thực phẩm nhiễm vi nhựa, nguy cơ ảnh hưởng sức khỏe cũng trở nên khó lường. Vì vậy, nghiên cứu về kích thước của vi nhựa không chỉ giúp hiểu rõ hơn về tác động sinh học mà còn định hướng các nghiên cứu liên quan đến sự biến đổi môi trường của loại chất ô nhiễm này.

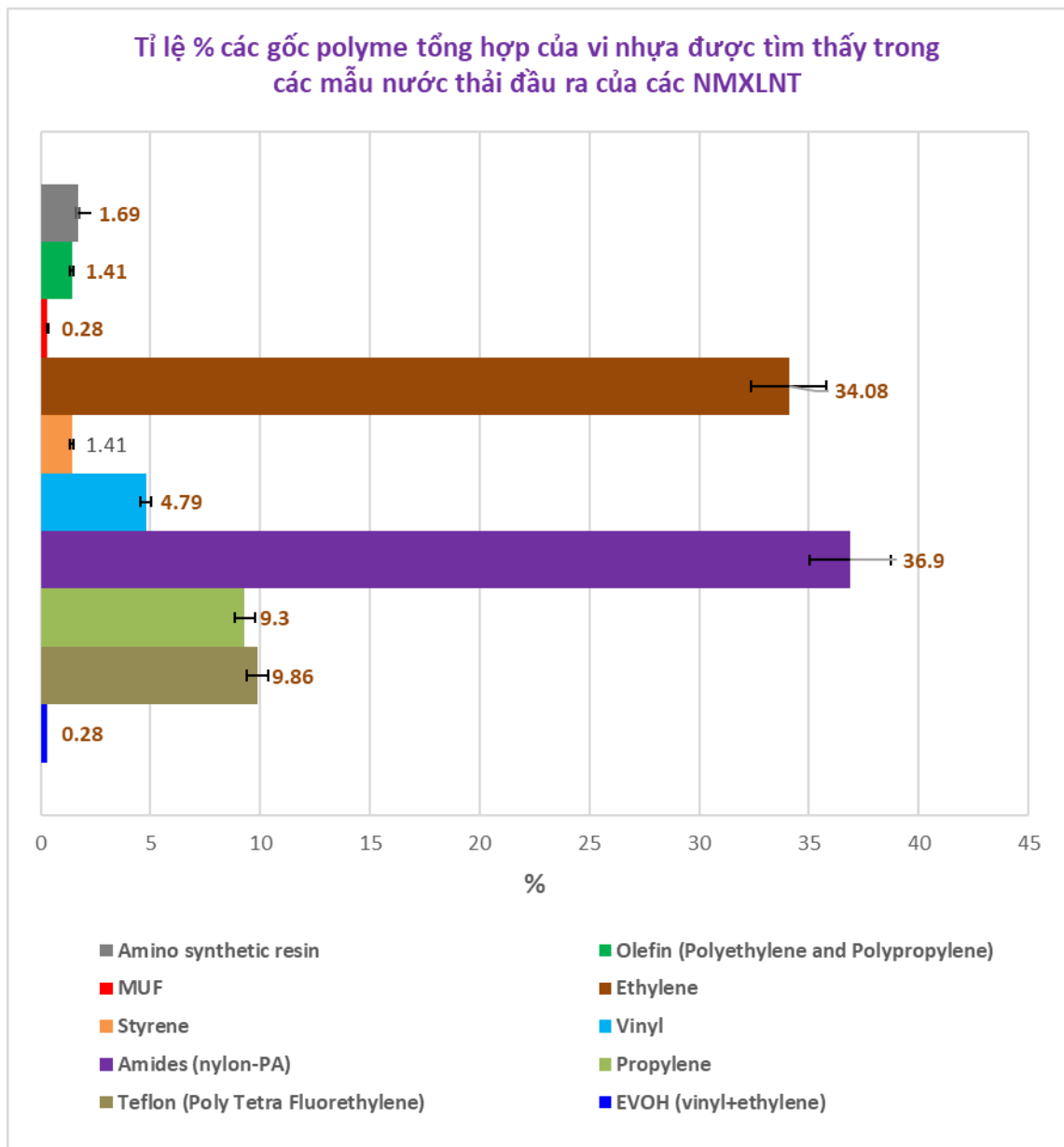
Các mẫu nước thải từ nhà máy xử lý trước khi chảy vào nguồn tiếp nhận đã ghi nhận sự xuất hiện của hơn 31 loại polymer vi nhựa khác nhau, được trình bày trong Hình 3.22.



Hình 3. 22. Danh mục polyme vi nhựa phát hiện trong các mẫu nước thải bằng phương pháp quang phổ hồng ngoại biến đổi FTIR

Hình 3.23 cho thấy tỉ lệ xuất hiện các loại polymer có gốc tổng hợp như sau: EVOH (Vinyl+Ethylene) 0,28%, Teflon (Poly Tetra Fluorethylene) 9,86%, Propylene 9,3%, Amides (nylon-PA) 36,9%, Vinyl 4,79%, Styrene 1,41%, Ethylene 34,08, MUF 0,28%, Olefin (Polyethylene và Polypropylene) 1,41% và nhựa tổng hợp Amino 1,69%. Vào mùa khô, mật độ khối lượng vi nhựa trung bình từ 116×10^{-2} đến 265×10^{-2} mg/l và từ 44×10^{-2} đến 187×10^{-2} mg/l vào mùa mưa. Hạt vi nhựa dạng sợi chiếm tỷ trọng lớn nhất, với tần suất dao động từ 49,8% (tại nhà máy xử lý

Tham Lương – Bến Cát) đến 81,96% (tại nhà máy xử lý nước thải Khu công nghiệp VSIP).

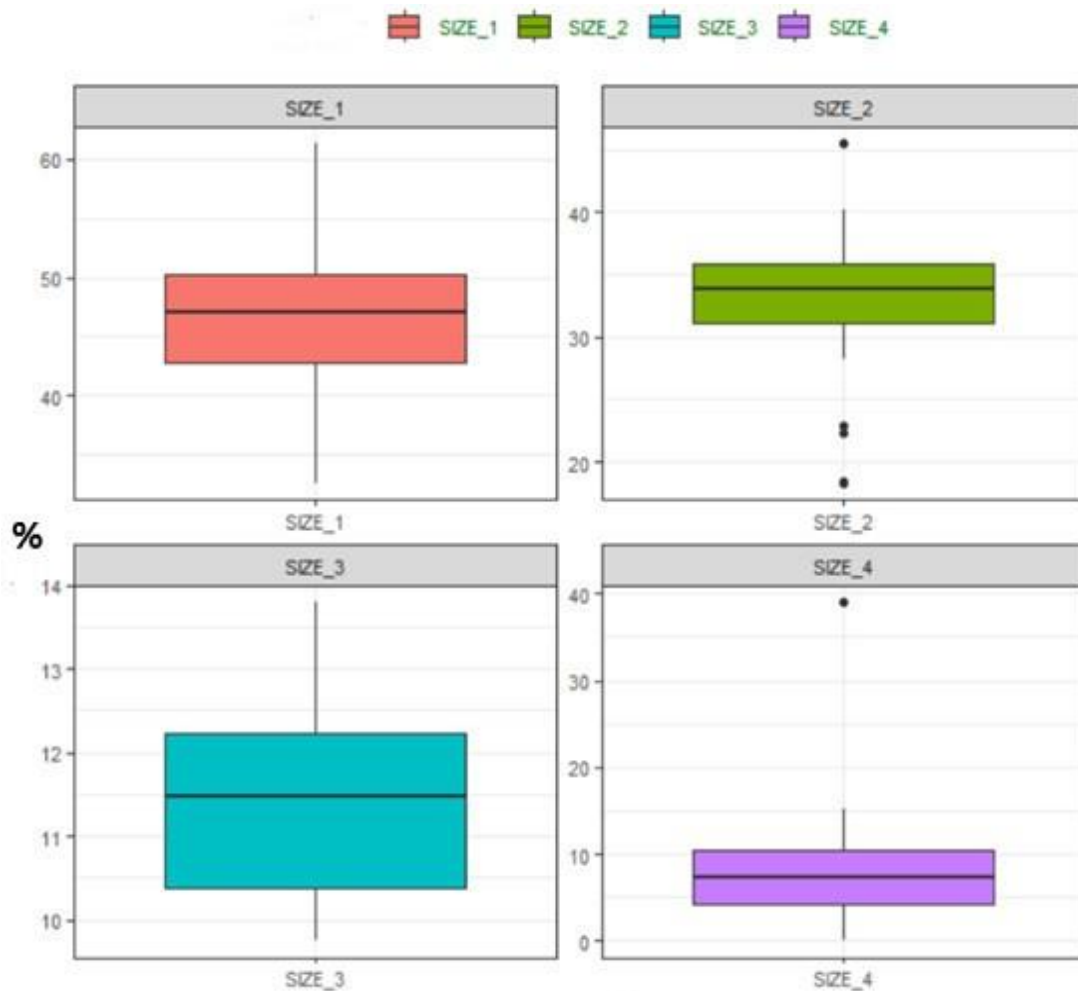


Hình 3. 23. Tỉ lệ % các gốc polyme tổng hợp của vi nhựa được tìm thấy trong các mẫu nước thải đầu ra của các nhà máy

Mặc dù các nhà máy xử lý nước thải đạt hiệu suất loại bỏ vi nhựa tương đối cao, dao động từ 85,4% đến 93,7%, nhưng sau quá trình xử lý, một lượng vi nhựa vẫn tồn tại trong dòng nước thải trước khi xả ra môi trường. Vào mùa khô, nồng độ vi nhựa trung bình dao động từ 116×10^{-2} đến 265×10^{-2} mg/l, trong khi vào mùa mưa, con số này giảm xuống khoảng 44×10^{-2} đến 187×10^{-2} mg/l.

Trong số các dạng vi nhựa, loại sợi chiếm tỷ lệ cao nhất, dao động từ 49,8% tại nhà máy xử lý nước thải Tham Lương – Bến Cát đến 81,96% tại nhà máy xử lý

nước thải Khu công nghiệp VSIP 1. Nếu phân loại theo kích thước, vi nhựa có kích thước nhỏ nhất (size_1) chiếm từ 44,67% đến 54,03%, tiếp theo là size_2 với tỷ lệ từ 28,77% đến 38,64%, size_3 từ 10,2% đến 12,55%, và cuối cùng là size_4 với mức từ 4,72% đến 14,13% (Hình 3.24).



Hình 3. 24. Phân bố giá trị phần trăm và các giá trị ngoại biên theo phân loại kích thước các vi nhựa và hiệu quả xử lý của trạm xử lý nước thải

Kết quả này cũng chịu ảnh hưởng bởi độ chính xác trong các thao tác của người quan sát, tuy nhiên nhìn chung tần suất xuất hiện các vi nhựa với kích cỡ trên 3 mm chiếm ưu thế (Size_1 và Size_2). Mặc dù ngưỡng giới hạn giá trị của size_3 là cao và trung vị xuất hiện tại khoảng các giá trị lớn nhưng tần suất xuất hiện của size_3 và cả size_4 còn lại cũng rất thấp, tương ứng trung bình chỉ từ 10,2% đến 12,55% và 4,72% đến 14,13%.

Như đã lập luận về các kết quả nghiên cứu đã có, hiệu suất loại bỏ vi nhựa được tính toán dựa trên các giá trị mật độ của chúng trong dòng thải. Dựa vào các tính chất của vi nhựa trong nước, có thể xem xét hiệu suất loại bỏ vi nhựa gần như tương tự với việc loại bỏ Tổng chất rắn lơ lửng trong nước (Turbidity & Suspendid

Solids – TSS). Kết quả nghiên cứu hiệu suất loại bỏ vi nhựa của 6 nhà máy được thể hiện trong Bảng 3.8.

Bảng 3. 8. Hiệu suất trung bình loại bỏ vi nhựa của 6 nhà máy xử lý nước thải

STT	Ký hiệu	Nam Bình Nhà máy xử lý nước thải	Công suất xử lý nước thải (m ³ /ngđ)	Hiệu suất trung bình loại bỏ vi nhựa (%)
1	XL_SG1	Dương (Thuận An)	17.000	85,4±0,05
2	XL_SG2	KCN VSIP 1	6.000	89,1 ±3,75
3	XL_SG4	Trạm Xử Lý Nước Ba Bò (KCN Đồng An)	20.000	87,6 ±0,35
4	XL_SG5	Tham Lương – Bến Cát	131.000	88,4 ±5,0
5	XL_DN1	Dĩ An	20.000	90,1 ±1,0
6	XL_DN2	Khu Công Nghệ Cao TPHCM	5000	93,7 ±0,3

Các công nghệ xử lý khác nhau được áp dụng trong 6 NMXLNT bao gồm quy trình xử lý sơ cấp (xử lý lắng sơ cấp, xử lý cặn và dầu mỡ xử lý), quy trình xử lý thứ cấp (lọc sinh học và các quy trình khác như phản ứng sinh học) và các quá trình xử lý bậc ba (UV, O₃, Clo hóa, lọc hoạt tính sinh học,...) hiển thị kết quả phân tích tổng hợp về loại bỏ Vi nhựa của các giai đoạn xử lý khác nhau. Quá trình xử lý sơ cấp và thứ cấp đạt được hiệu quả chính trong việc loại bỏ vi nhựa thông qua cơ chế lắng, lọc hay tách tỉ trọng. Quá trình xử lý bậc ba đạt được hiệu quả loại bỏ hạn chế. Hiệu suất loại bỏ vi nhựa qua các công trình đơn vị trong các nhà máy được trình bày ở Bảng 3.9.

Bảng 3. 9. Hiệu suất loại bỏ vi nhựa qua các công trình đơn vị trong các nhà máy

STT	NMXLNT	Năm 2021				Năm 2022				Hiệu suất trung bình (%)
		Lắng sơ bộ và tuyển nổi (%)	Xử lý sinh học, keo tụ và lắng bùn (%)	Lọc và khử trùng (%)	Hiệu suất của toàn nhà máy (%)	Lắng sơ bộ và tuyển nổi (%)	Xử lý sinh học, keo tụ và lắng bùn (%)	Lọc và khử trùng (%)	Hiệu suất của toàn nhà máy (%)	
1	Nhà máy xử lý nước thải Nam Bình Dương (Thuận An)	66,6	2,1	0,2	85,3	71,1	3,32	0,2	85,4	85,4±0,05
2	Nhà máy xử lý nước thải KCN VSIP 1	49,9	4,3	2,2	81,6	69,6	71,5	14,9	96,6	89,1 ±3,75
3	Trạm Xử Lý Nước Ba Bò (KCN Đồng An)	58,2	43,4	10,2	88,3	56,0	40,2	12,9	86,9	87,6 ±0,35
4	Nhà máy xử lý nước thải Tham Lương – Bến Cát	73,3	86,6	0,4	98,4	57,7	1,8	0,2	78,4	88,4 ±5,0
5	Nhà máy xử lý nước thải Dĩ An	62,5	56,1	0,2	92,1	58,1	48,2	0,3	88,1	90,1 ±1,0
6	Nhà máy xử lý nước thải Khu Công Nghệ Cao TPHCM	84,0	13,7	0,3	93,1	66,6	64,3	0,3	94,3	93,7 ±0,3

Trong các thiết kế hệ thống xử lý nước thải hiện nay hầu như không có kỹ thuật công nghệ khử vi nhựa mà chỉ có thể loại bỏ thao hướng tách chúng khỏi dòng chảy, cụ thể qua các quá trình tối ưu như: i/ Quá trình tách cát (lắng/lọc) trong hệ thống cũng có khả năng loại bỏ vi nhựa tỉ trọng lớn hay các tổ hợp vi nhựa kết dính, không phù hợp với các hạt vi nhựa size nhỏ hay dạng sợi.; ii/ Công nghệ tuyển nổi có hiệu quả rất lớn trong loại bỏ vi nhựa ra khỏi dòng chảy nhờ đặc tính tỉ trọng nhẹ, vi nhựa bám dính trong các lớp bọt nổi trên bề mặt và dễ dàng được loại bỏ.

Trong số các hình dạng, vi nhựa dạng sợi được phát hiện rộng rãi nhất trong nước thải. Xử lý cấp một có ưu thế hơn xử lý cấp hai và cấp ba trong việc loại bỏ sợi vi nhựa khỏi dòng thải. Sợi dễ bị mắc kẹt trong quá trình xử lý sơ bộ do sự keo tụ và lắng đọng. Trong quá trình xử lý sơ cấp, hầu hết các hạt dễ lắng hoặc được hút bọt đều bị loại bỏ, nhưng phần còn lại có thể có độ nổi trung tính. Ngược lại, các mảnh được loại bỏ khỏi dòng thải ở mức cao, thể hiện trong quá trình xử lý thứ cấp. Các mảnh có cấu trúc dạng lớp dần dần kết tụ và bị bùn hoạt tính hấp thụ trong các bể Aerotank (tuy nhiên cũng cần chú ý thêm về sự phát sinh vi nhựa do quá trình bào mòn các hệ thống sục khí, đây cũng là một trong những điểm hạn chế của nghiên cứu này). Hiệu quả loại bỏ vi nhựa của quá trình xử lý sơ cấp và thứ cấp cao hơn so với các quá trình xử lý bậc ba.

Vi nhựa dạng hạt lại dễ dàng được loại bỏ hơn trong quá trình xử lý bậc ba. Trong xử lý bậc ba, các vi nhựa thường có dạng hạt nhỏ (nhỏ hơn 1mm), khó phát hiện hơn và khó loại bỏ hơn. Ngoài ra, trong các quá trình oxy hóa bậc cao, các vi nhựa liên tục bị nghiền nát, tạo thành kích thước nhỏ hơn gây trở ngại trong việc loại bỏ chúng. Vì vậy, nghiên cứu và phân tích tổng hợp này chỉ được thực hiện trên các quy trình xử lý sơ cấp và thứ cấp. Vi nhựa có kích thước hạt nhỏ hơn 1 mm dễ bị mắc kẹt trong quá trình xử lý thứ cấp. Vi nhựa với kích thước từ 3 mm đến 5 mm được loại bỏ tốt hơn trong quá trình xử lý sơ cấp. Mặt khác, các sợi và mảnh vi nhựa có kích thước hạt lớn, mật độ thấp, chúng được loại bỏ dễ dàng bằng quá trình tuyển nổi và loại bỏ dầu mỡ. Các hạt vi nhựa thì chúng thường chìm xuống đáy bể do trọng lực.

Sự tương tác và cơ chế loại bỏ giữa vi nhựa và các chất trong công nghệ xử lý khá khác nhau. Keo tụ thông thường tương tác với các vi nhựa thông qua lực Van Der Waals hay các liên kết Hydro, hay lực tĩnh điện trong công nghệ keo tụ. Hệ thống phản ứng sinh học loại bỏ vi hạt nhựa chủ yếu thông qua việc ăn phải vi khuẩn và sự hình thành các khối bùn (bùn hoạt tính). Quá trình oxy hóa nâng cao ảnh hưởng đến tính chất vật lý và hóa học của vi nhựa, phá vỡ các liên kết hiện có và tạo các liên kết mới. Trong công nghệ lọc màng, sự tương tác giữa các hạt vi nhựa với các lỗ và bề mặt của màng làm cho các vi nhựa dễ dàng hấp phụ lên bề mặt màng. Một số vi nhựa thoát khỏi xử lý bởi các công nghệ trên được chuyển vào bùn thải, phần còn lại theo dòng thải được thải ra khỏi nhà máy xử lý nước thải gây độc hại và rủi ro cho môi trường.

Tuy nhiên, nghiên cứu trong luận án này vẫn còn khó khăn và hạn chế để xác định vi nhựa cho toàn bộ các nhà máy trong khu vực, cho toàn bộ từng công trình

xử lý riêng lẻ của quy trình xử lý. Chúng loại PE, được phát hiện thường xuyên nhất, đây là loại polyme vi nhựa trong NMXLNT đã được loại bỏ một cách hiệu quả trong quá trình xử lý thứ cấp, điều này cũng đúng với chúng loại nhựa PS. Các vi nhựa PE và PS tích điện dương có tỷ lệ cao ái lực với khối bùn hoạt tính tích điện âm được nghiên cứu ghi nhận tại các bể xử lý aerotank và lắng bùn hoạt tính, dòng hoàn lưu bùn tuần hoàn chỉ ở giai đoạn ban đầu, còn nhiều hạn chế.

Tóm lại, kết quả nghiên cứu so với các nghiên cứu tương tự trước đây tại Việt Nam và trên thế giới có những điểm chính sau: Kết quả nghiên cứu đã khẳng định sự hiện diện phổ biến của vi nhựa trong môi trường nước mặt và nước thải tại lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai, tương đồng với các kết quả ghi nhận tại nhiều quốc gia. Nghiên cứu của Lebreton và cộng sự (2017) và Li và cộng sự (2018) cho thấy mật độ vi nhựa tại các con sông lớn ở châu Á, như sông Dương Tử (Trung Quốc), dao động từ hàng trăm ngàn đến hàng triệu hạt/m³, đặc biệt tại các đô thị có mật độ dân số cao. Tại Việt Nam, nghiên cứu của Nguyễn Thị Thanh và cộng sự (2021) trên sông Cầu và sông Nhuệ cũng ghi nhận mật độ vi nhựa trong khoảng 200.000 – 600.000 hạt/m³, phù hợp với mức ghi nhận tại TP. Hồ Chí Minh (729.502 vi nhựa/m³) trong nghiên cứu này.

Về hình dạng và thành phần polymer, nghiên cứu hiện tại xác định chủ yếu là sợi (fiber) – tương đồng với kết quả của Dris và cộng sự (2016) tại Pháp, nơi các sợi từ dệt may được xác định là nguồn vi nhựa chính trong nước thải. Tỷ lệ cao của nylon (PA) và ethylene cũng phù hợp với kết quả của Browne và cộng sự (2011) khi khảo sát các nguồn vi nhựa từ quần áo tổng hợp và bao bì nhựa.

Đáng chú ý, mật độ vi nhựa trong nước thải sau xử lý tại các nhà máy được ghi nhận cao hơn 3–5 lần so với các nghiên cứu trước đây trong nước. Điều này có thể xuất phát từ đặc điểm đô thị hóa nhanh, thói quen tiêu dùng sản phẩm nhựa, cũng như hạn chế về công nghệ xử lý nước tại Việt Nam. Tuy vậy, hiệu suất loại bỏ vi nhựa của các nhà máy đạt mức 85,4–93,7% cho thấy tiềm năng cải thiện hệ thống xử lý hiện có, tương đồng với nghiên cứu của Carr và cộng sự (2016) tại Đức và Talvitie và cộng sự (2017) tại Phần Lan, nơi hiệu suất xử lý đạt từ 88–96% tùy theo công nghệ lọc.

Cuối cùng, phương pháp SWOT kết hợp thang Likert để đánh giá giải pháp giảm thiểu vi nhựa thể hiện cách tiếp cận toàn diện và phù hợp với xu hướng nghiên cứu hiện nay, được khuyến nghị bởi UNEP (2021) nhằm lồng ghép khoa học và chính sách trong quản lý vi nhựa.

3.3. Kết quả nghiên cứu đề xuất các giải pháp về giảm thiểu vi nhựa

3.3.1. Giải pháp quản lý chung

✓ Hoàn thiện chính sách và giải pháp quản lý chất thải nhựa

Cần tiếp tục hoàn thiện và đổi mới các cơ chế, chính sách nhằm cụ thể hóa quan điểm, định hướng của Đảng trong công tác bảo vệ môi trường, quản lý tài nguyên và ứng phó với biến đổi khí hậu. Điều này bao gồm việc thực hiện các nghị quyết quan trọng như Nghị quyết số 24-NQ/TW ngày 03/06/2013 của Ban Chấp hành Trung ương Đảng về tăng cường quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu; Kết luận số 36-KL/TW ngày 23/06/2022 của Bộ Chính trị về đảm bảo an ninh nguồn nước và an toàn hồ đập đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045; cùng với Luật Bảo vệ môi trường 2020 và các văn bản pháp lý liên quan.

Dựa trên các kết quả nghiên cứu, Luận án nhận thấy các giải pháp cần tập trung vào một số vấn đề cấp thiết. Trước hết, cần thay đổi thói quen xả rác của người dân tại các khu vực sông ngòi thông qua việc đẩy mạnh công tác tuyên truyền, nâng cao ý thức bảo vệ môi trường. Bên cạnh đó, việc quản lý chất thải nhựa tại các địa phương cần được cải thiện bằng cách xây dựng hệ thống thu gom và xử lý hiệu quả. Ngoài ra, hệ thống thoát nước cần được nâng cấp với các biện pháp như lắp đặt lưới chắn rác tại cửa xả để hạn chế rác trôi ra sông, đồng thời thực hiện nạo vét định kỳ. Cuối cùng, cần thúc đẩy việc giảm thiểu nhựa dùng một lần bằng cách khuyến khích sử dụng các sản phẩm thân thiện với môi trường.

✓ Bảo vệ và quản lý nguồn nước

Cần tăng cường hiệu quả trong công tác giám sát, quản lý và bảo vệ tài nguyên nước nhằm đảm bảo sự phát triển bền vững. Việc kiểm soát chặt chẽ chất thải, đặc biệt là nước thải trước khi xả vào các nguồn nước, phải tuân theo các tiêu chuẩn chất lượng phù hợp với chức năng của từng khu vực nước mặt và nước ngầm. Bên cạnh đó, truyền thông đại chúng đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao nhận thức cộng đồng về các chính sách và quy định liên quan đến an ninh nguồn nước cũng như tác động của chất thải nhựa đến môi trường nước. Cần đẩy mạnh công tác giáo dục, tuyên truyền và hướng dẫn người dân sử dụng nước một cách tiết kiệm, hiệu quả, góp phần bảo vệ tài nguyên nước cho các thế hệ sau.

✓ Quản lý chất thải nhựa, vi nhựa và chính sách môi trường

Việc cải tiến cơ chế và chính sách bảo vệ môi trường là yếu tố quan trọng trong kiểm soát chất thải nhựa và vi nhựa. Cần thiết lập các tiêu chuẩn và quy định cụ thể về sản xuất, sử dụng cũng như xử lý các sản phẩm nhựa nhằm hạn chế tác động tiêu cực đến hệ sinh thái. Đồng thời, cần tăng cường giám sát và kiểm soát chặt chẽ việc phát thải nhựa, đặc biệt là vi nhựa, ra môi trường. Phương tiện truyền thông đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao nhận thức cộng đồng, khuyến khích các hành động bảo vệ nguồn nước và giảm thiểu ô nhiễm nhựa.

Xây dựng hệ thống pháp lý toàn diện liên quan đến vi nhựa là điều cần thiết, bao gồm quy định về việc sử dụng vi nhựa làm nguyên liệu đầu vào trong sản xuất cũng như kiểm soát lượng thải ra môi trường. Cần có các điều khoản nghiêm ngặt hạn chế hoặc cấm sản xuất các sản phẩm nhựa không thiết yếu, đặc biệt là mặt hàng nhựa dùng một lần như vi nhựa nhân tạo trong mỹ phẩm, kem đánh răng và các sản phẩm chăm sóc cá nhân.

Trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR) nên được áp dụng nhằm buộc các doanh nghiệp sản xuất nhựa, bao gồm cả nhựa từ nguyên liệu hóa thạch, chịu trách nhiệm về tác động của sản phẩm trong toàn bộ vòng đời của chúng. Ngoài ra, cần đưa ra các tiêu chuẩn nhằm giảm thiểu độ phức tạp về hóa học của nhựa, kiểm soát chặt chẽ các chất phụ gia và đảm bảo sử dụng vật liệu an toàn, bền vững. Việc công khai thành phần nhựa và khả năng truy xuất nguồn gốc cũng là một biện pháp quan trọng để tăng tính minh bạch trong quản lý chất thải nhựa.

Cần phát triển giải pháp kiểm soát tại từng giai đoạn trong vòng đời sản phẩm nhựa, bao gồm xác định một số loại polyme nhựa là chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy (POP) theo Công ước Stockholm. Đồng thời, cần thiết lập hệ thống ghi nhãn sản phẩm để hỗ trợ người tiêu dùng lựa chọn các sản phẩm thân thiện với môi trường. Bên cạnh đó, khuyến khích các hoạt động tái chế, tái sử dụng chất thải nhựa cũng như phát triển các cơ chế ưu đãi cho các công nghệ tận thu năng lượng từ xử lý nhựa.

Quản lý chất thải nhựa nguy hại cũng cần được chú trọng, trong đó nên thành lập một cơ quan tư vấn chính sách khoa học thường trực để hỗ trợ đánh giá và triển khai các giải pháp hiệu quả trong giảm thiểu tiêu thụ nhựa, thu hồi và tái chế. Ngoài ra, việc giám sát chặt chẽ hoạt động nhập khẩu chất thải nhựa là cần thiết để tránh tình trạng ô nhiễm từ nguồn bên ngoài.

Cuối cùng, cần có chính sách hỗ trợ nghiên cứu dài hạn về vi nhựa nhằm đánh giá chính xác sự phân bố và tác động của chúng đối với môi trường. Việc nghiên cứu vi nhựa trong lĩnh vực y sinh cũng cần được đẩy mạnh để xác định ảnh hưởng

của vi nhựa đến sức khỏe con người, chuỗi thức ăn và hệ sinh thái, từ đó đưa ra các giải pháp kiểm soát phù hợp.

✓ ***Giải pháp công nghệ trong quản lý chất thải nhựa***

Việc khai thác các nguồn năng lượng sạch, thân thiện với môi trường cần được mở rộng để trở nên phổ biến và có chi phí hợp lý hơn. Đồng thời, cần đầu tư phát triển đội ngũ chuyên gia khoa học và kỹ thuật có trình độ cao nhằm theo dõi, đánh giá và hạn chế tác động tiêu cực của chất thải nhựa và vi nhựa đối với môi trường.

Công nghệ hiện đại trong xử lý rác thải nhựa và vi nhựa cần được cập nhật và ứng dụng, ưu tiên các giải pháp tái chế thân thiện với môi trường, tiết kiệm chi phí và hạn chế phát thải ô nhiễm. Hợp tác nghiên cứu nhằm xác định các phương pháp xử lý hiệu quả, đồng thời tìm kiếm các biện pháp giảm thiểu tác động tiêu cực của chất thải nhựa đối với hệ sinh thái.

Bên cạnh đó, việc quản lý chất thải một cách bền vững cần được triển khai đồng bộ, bao gồm phát triển hệ thống thu gom và xử lý hiện đại. Tăng cường khả năng tiếp cận các dịch vụ thu gom rác thải định kỳ, đồng thời khuyến khích đầu tư vào cơ sở hạ tầng quản lý chất thải nhằm ngăn chặn vi nhựa phát tán ra môi trường. Ngoài ra, việc áp dụng các công nghệ sẵn có để kiểm soát và ngăn chặn rác thải nhựa trôi vào hệ thống sông ngòi và đại dương cũng cần được đẩy mạnh, góp phần bảo vệ nguồn nước và hệ sinh thái biển.

✓ ***Giải pháp kinh tế và tài chính trong quản lý chất thải nhựa***

Việc triển khai các chính sách ưu đãi về vốn đầu tư và hỗ trợ tiêu thụ nguyên liệu nhựa sinh học, cũng như sản phẩm tái chế từ chất thải nhựa, đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn. Đồng thời, cần nghiên cứu và hoàn thiện các công cụ kinh tế nhằm giảm thiểu rác thải nhựa và vi nhựa, bao gồm: điều chỉnh thuế bảo vệ môi trường đối với túi nilon khó phân hủy, bổ sung thuế đối với nhựa dùng một lần, áp dụng thuế cho hạt nhựa trung gian và đánh thuế đối với nhựa nguyên sinh để khuyến khích tái chế.

Ngoài ra, các lợi ích kinh tế - xã hội từ việc giảm thiểu xả thải nhựa cần được công nhận và thúc đẩy, như tạo thêm việc làm, hỗ trợ lao động khu vực phi chính thức, phát triển du lịch bền vững, duy trì nguồn lợi thủy sản và bảo vệ đa dạng sinh học. Các chính sách quản lý chất thải cần được xây dựng dựa trên đánh giá tác động toàn diện, xem xét cả chi phí và lợi ích về kinh tế, xã hội và môi trường.

Việc tăng cường giao tiếp và hợp tác giữa các thành phố, khu vực chịu ảnh hưởng và các bên liên quan khác cũng rất cần thiết. Điều này sẽ giúp kết nối các lĩnh vực kinh tế như du lịch, thủy sản, vận tải biển, cảng biển và công nghiệp nhựa,

từ đó xây dựng các quan hệ đối tác chiến lược để quản lý chất thải và kiểm soát ô nhiễm hiệu quả hơn.

Cuối cùng, nội dung về phát triển kinh tế tuần hoàn và quản lý chất thải nhựa cần được lồng ghép vào các chiến lược phát triển ngành và quy hoạch tổng thể, bao gồm quy hoạch bảo vệ môi trường quốc gia, quy hoạch ngành, vùng và tỉnh, nhằm đảm bảo tính bền vững và đồng bộ trong quá trình triển khai.

✓ ***Nhân tố con người trong quản lý chất thải nhựa***

Để nâng cao nhận thức cộng đồng về giảm thiểu chất thải, tái sử dụng và tham gia vào hệ thống thu gom rác, cần đẩy mạnh các chiến dịch truyền thông rộng rãi cho cả người dân và doanh nghiệp. Việc tổ chức các chương trình đào tạo, hội thảo và trao đổi chuyên gia sẽ giúp nâng cao năng lực, đồng thời phát triển đội ngũ nhân lực có chuyên môn. Song song đó, cần khuyến khích sử dụng các sản phẩm thay thế nhựa dùng một lần như túi giấy, túi vải tái sử dụng, cốc giấy hoặc các sản phẩm nhựa sinh học thân thiện với môi trường.

Sự phối hợp giữa chính quyền địa phương, tổ chức xã hội, doanh nghiệp, tổ chức tài chính và giới khoa học đóng vai trò quan trọng trong việc quản lý chất thải nhựa. Việc thu hút sự tham gia của khu vực tư nhân không chỉ giúp giảm thiểu rác thải mà còn thúc đẩy các giải pháp xử lý và quản lý tổng hợp chất thải hiệu quả hơn. Đồng thời, mở rộng hợp tác quốc tế với các tổ chức và quốc gia khác sẽ tạo điều kiện trao đổi kinh nghiệm, áp dụng công nghệ tiên tiến trong kiểm soát ô nhiễm nhựa và vi nhựa.

Bên cạnh đó, cần khai thác tiềm năng từ các doanh nghiệp đang hoạt động để tăng cường đối thoại về trách nhiệm của ngành công nghiệp trong việc giải quyết vấn đề ô nhiễm nhựa. Việc phối hợp giữa các cơ quan bảo vệ môi trường cũng cần được thúc đẩy để triển khai các biện pháp kiểm soát rác thải nhựa và vi nhựa một cách đồng bộ, hiệu quả.

3.3.2. Đề xuất giải pháp giảm thiểu chất thải nhựa, vi nhựa

3.3.2.1. Đề xuất mô hình kinh tế tuần hoàn cho ngành nhựa và các sản phẩm nhựa

Hiện nay, nguồn cung nguyên liệu nhựa trong nước tại TP.HCM và các khu vực lân cận vẫn còn hạn chế, dẫn đến một nghịch lý: dù phải nhập khẩu nhựa nguyên liệu, nhưng chất thải nhựa nội địa lại chưa được tận dụng hiệu quả, gây lãng phí, ô nhiễm môi trường và làm tăng chi phí xử lý.

Theo báo cáo của Tổ chức Tài chính Quốc tế (IFC) và Ngân hàng Thế giới, nếu ngành tái chế nhựa được nâng cao và đạt tiêu chuẩn, Việt Nam có thể tiết kiệm gần 3 tỷ USD mỗi năm. Một nhà máy xử lý 300 tấn rác sinh hoạt mỗi ngày có thể sản xuất khoảng 450 tấn hạt nhựa tái chế mỗi tháng. Với mức giá trung bình 10 triệu đồng/tấn, tái chế nhựa mang lại lợi ích kinh tế đáng kể.

Tại Việt Nam, lượng chất thải nhựa phát sinh đạt khoảng 18.000 tấn/ngày, trong khi chi phí sản xuất nhựa tái chế thấp hơn đáng kể so với nhựa nguyên sinh. Kim ngạch xuất khẩu sản phẩm nhựa cũng duy trì mức tăng trưởng bình quân 20% mỗi năm. Việc tái chế không chỉ giúp giảm nhu cầu khai thác nhựa nguyên sinh, mà còn tiết kiệm năng lượng, hạn chế phát thải khí độc, giảm sử dụng hóa chất trong sản xuất, đồng thời cắt giảm chất thải và chi phí đầu vào, góp phần giảm giá thành sản phẩm nhựa. Dựa trên khối lượng chất thải rắn phát sinh hàng ngày, lợi ích kinh tế từ sản xuất nhựa tái chế được trình bày trong Bảng 3.10.

Bảng 3. 10. Lợi ích kinh tế dự kiến từ nguyên liệu là chất thải nhựa khi được tái chế

STT	Các địa phương	Chất thải sinh hoạt (tấn/tháng)	Lượng hạt nhựa tái chế (tấn/tháng) [149]	Giá hạt nhựa tái chế trong thị trường Việt Nam [150]	Lợi ích kinh tế dự kiến (triệu đồng/tháng)
1	Hồ Chí Minh	270.000	13.500	10 - 50 triệu đồng/tấn	135 - 675
2	Bình Dương	79.830	3.991		39,91 – 199,55
3	Đồng Nai	27.600	1.380		13,8 - 69
4	Bà Rịa, Vũng Tàu	39.600	1.980		19,8 - 99
5	Tây Ninh	12.300	615		6,15 – 30,75

Hệ thống thiết kế tái tạo, lấy cảm hứng từ nguyên tắc "học hỏi từ thiên nhiên", giúp tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên trong đô thị và giảm thiểu chất thải thông qua tái sử dụng. Thay vì tốn kém diện tích đất cho chôn lấp hoặc đầu tư vào lò đốt sử dụng nhiên liệu và vật liệu chịu nhiệt đắt đỏ, chất thải nhựa sau xử lý có thể tái chế thành nguyên liệu phục vụ nhiều ngành sản xuất, tùy theo nhu cầu thực tế.

Việc quản lý hiệu quả chất thải nhựa bao gồm tăng cường tỷ lệ tái chế, thúc đẩy mô hình kinh tế tuần hoàn, hạn chế rác thải ra môi trường và giảm thiểu ô nhiễm. Thành công của doanh nghiệp trong lĩnh vực này phụ thuộc vào khả năng phân loại chính xác, làm chủ công nghệ và sáng tạo trong việc chuyển đổi rác thải nhựa thành sản phẩm có giá trị kinh tế cao.

Thị trường sản phẩm từ nhựa tái chế rất phong phú với nhiều kiểu dáng, màu sắc và ứng dụng đa dạng, từ chậu cây, ống kính máy ảnh, dụng cụ làm vườn, đồ trang trí đến vật liệu làm đường. Một nhà máy xử lý 300 tấn rác sinh hoạt mỗi ngày có thể tạo ra hơn 450 tấn hạt nhựa tái chế mỗi tháng. Với mức giá trung bình khoảng 10 triệu đồng/tấn tại Việt Nam, có thể thấy tái chế nhựa không chỉ góp phần bảo vệ môi trường mà còn mang lại lợi ích kinh tế đáng kể.

Luận án này đề xuất một giải pháp toàn diện cho ngành nhựa nhằm giảm thiểu vi nhựa trong môi trường nước. Tầm nhìn về nền kinh tế tuần hoàn trong ngành nhựa được xây dựng dựa trên sáu nguyên tắc cốt lõi:

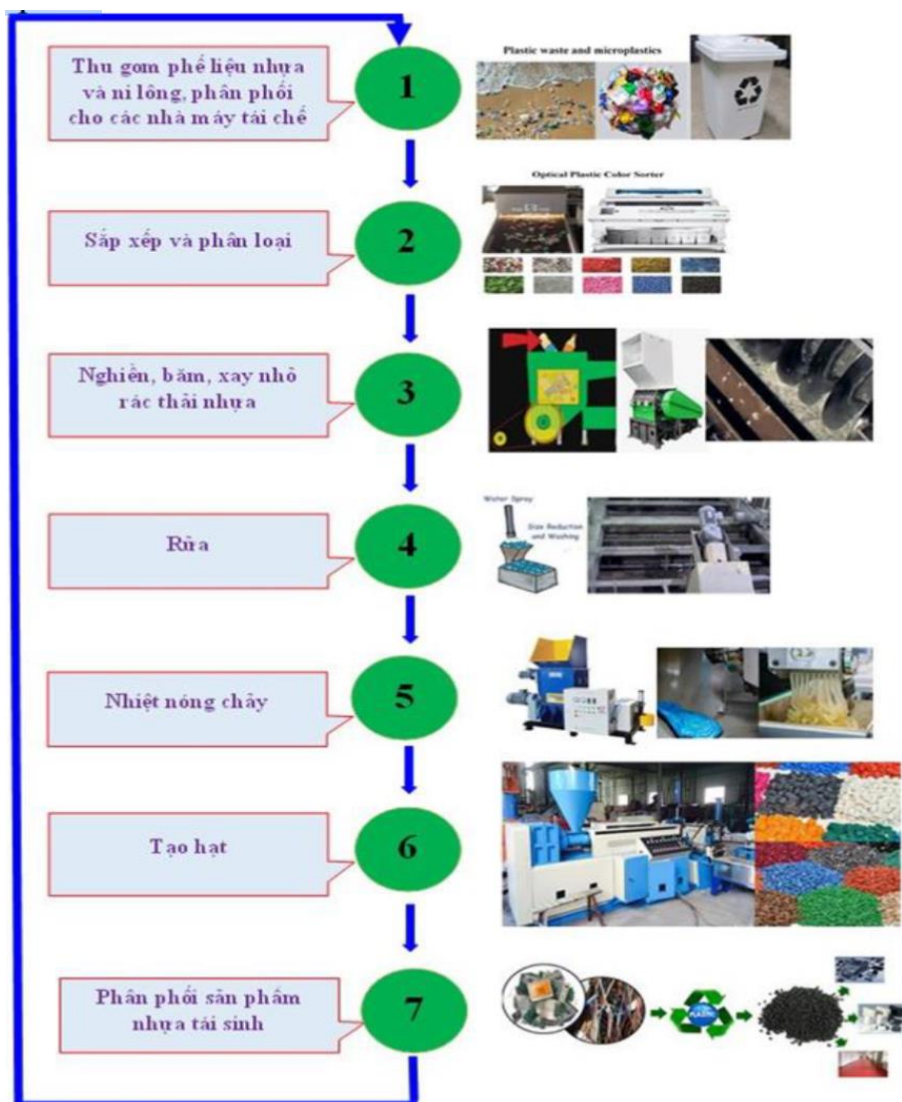
- i) Loại bỏ các sản phẩm nhựa không cần thiết hoặc tiềm ẩn rủi ro bằng cách cải tiến thiết kế, đổi mới công nghệ và áp dụng mô hình phân phối hiệu quả hơn;
- ii) Khuyến khích các mô hình tái sử dụng nhằm hạn chế nhu cầu đối với bao bì dùng một lần;
- iii) Đảm bảo tất cả sản phẩm nhựa có thể được tái sử dụng hoặc tái chế hoàn toàn;
- iv) Thúc đẩy khả năng tái sử dụng, tái chế hoặc phân hủy sinh học một cách thực tế và khả thi;
- v) Giảm sự phụ thuộc vào nguồn tài nguyên không tái tạo trong quá trình sản xuất nhựa;
- vi) Đảm bảo sản phẩm nhựa không chứa hóa chất độc hại, bảo vệ sức khỏe con người, an toàn môi trường và quyền lợi của các bên liên quan.



Hình 3. 25. Giải pháp đề xuất tổng thể cho ngành nhựa nhằm giảm thiểu phát thải chất thải nhựa và vi nhựa vào môi trường

3.3.2.2. Đề xuất sơ đồ công nghệ tái chế chất thải nhựa

Tái chế nhựa là quá trình chuyển đổi các sản phẩm nhựa đã qua sử dụng thành nguyên liệu mới để tái sử dụng trong sản xuất. Các phương pháp tái chế hiện nay không chỉ giúp giảm thiểu tác động tiêu cực của nhựa đến môi trường mà còn tạo ra giá trị kinh tế từ những sản phẩm tái chế. Dựa trên kết quả phân tích về thực trạng rác thải nhựa và vi nhựa tại TP.HCM cùng các tỉnh lân cận dọc theo sông Sài Gòn - Đồng Nai, nghiên cứu đề xuất một mô hình tái chế nhằm hạn chế ô nhiễm vi nhựa và thúc đẩy phát triển bền vững. Quy trình này được tối ưu hóa cho các loại nhựa phổ biến trong chất thải sinh hoạt, bao gồm PET (Polyethylene Terephthalate), HDPE (Polyethylene mật độ cao), PVC (Polyvinyl Clorua) và LDPE (Polyethylene mật độ thấp), hình 3.26.



Hình 3. 26. Sơ đồ công nghệ tái chế chất thải nhựa sinh hoạt

Bước 1: Thu gom và vận chuyển rác nhựa

Rác thải nhựa được thu gom thông qua mạng lưới thu gom bao gồm người nhặt rác, các đại lý phế liệu, doanh nghiệp tái chế và hệ thống thu gom rác thải của địa phương. Sau khi thu thập, rác nhựa được chuyển đến các cơ sở xử lý để tiến hành phân loại và tái chế. Quá trình thu gom có thể do các tổ chức chuyên trách thực hiện hoặc người dân tự mang đến các điểm tập kết như thùng rác tái chế hay trung tâm thu gom.

Bước 2: Phân loại nhựa trước khi tái chế

Nhựa được phân loại theo màu sắc, chất liệu và mã nhận diện để tách biệt các tạp chất không phù hợp. Phương pháp phân loại có thể thực hiện thủ công hoặc bằng máy móc hiện đại như hệ thống phân loại quang học, giúp xác định chính xác thành phần nhựa. Tại Việt Nam, việc phân loại chủ yếu vẫn dựa vào sức lao động, nhưng các nhà máy tái chế tiên tiến đã ứng dụng công nghệ tự động hóa để nâng cao hiệu suất và độ chính xác.

Bước 3: Xay nhỏ và nghiền nhựa

Sau khi phân loại, nhựa được đưa vào máy nghiền để cắt nhỏ thành các mảnh vụn, giúp quá trình xử lý tiếp theo diễn ra thuận lợi hơn. Nhựa nghiền nhỏ sẽ nhẹ hơn và dễ dàng tách biệt các thành phần khác nhau. Một số máy nghiền còn được trang bị nam châm để loại bỏ tạp chất kim loại như sắt, đảm bảo chất lượng đầu ra cho quá trình tái chế.

Bước 4: Rửa sạch nhựa

Các mảnh nhựa sau khi nghiền sẽ được rửa bằng nước hoặc dung dịch tẩy rửa chuyên dụng nhằm loại bỏ bụi bẩn, keo dán, tem nhãn, thức ăn thừa và các tạp chất khác. Công đoạn làm sạch đóng vai trò quan trọng, quyết định đến 80% chất lượng của hạt nhựa tái chế. Nhựa sau khi rửa sạch sẽ được sấy khô trước khi tiếp tục các bước xử lý tiếp theo.

Bước 5: Nung chảy nhựa

Sau khi làm sạch và sấy khô, nhựa được đưa vào hệ thống nung chảy ở nhiệt độ phù hợp nhằm đảm bảo cấu trúc vật liệu không bị phá hủy. Nhựa nóng chảy sau đó được ép đùn và định hình thành dạng hạt nhỏ để thuận tiện cho quá trình sản xuất tiếp theo.

Bước 6: Tạo viên nhựa

Các hạt nhựa sau khi nung chảy sẽ được phân loại dựa trên tỉ trọng và độ dày. Phế liệu nhựa được cho vào nước để tách riêng các loại có tính chất khác nhau, sau đó ép thành viên nhỏ giúp dễ dàng vận chuyển và sử dụng trong sản xuất. Việc tạo viên nhựa cũng hỗ trợ phân loại theo màu sắc, giúp quá trình phân phối và ứng dụng trở nên hiệu quả hơn.

Bước 7: Phân phối sản phẩm tái chế

Sau khi hoàn thành quy trình tái chế, các sản phẩm nhựa tái chế sẽ được cung cấp đến thị trường thông qua các kênh phân phối phù hợp, phục vụ nhu cầu sản xuất và tiêu dùng.

Hoạt động tái chế và tái sử dụng đóng vai trò quan trọng trong việc giảm chi phí đầu vào và hạ giá thành sản phẩm trong ngành nhựa. Thay vì cần diện tích lớn và tốn kém chi phí đất đai cho việc chôn lấp hoặc đầu tư vào các lò đốt rác, tối ưu hóa tỷ lệ tái chế mang lại hiệu quả cao, góp phần xây dựng nền kinh tế tuần hoàn bền vững và hạn chế ô nhiễm môi trường. Hiệu quả kinh tế của doanh nghiệp phụ thuộc vào khả năng phân loại rác, làm chủ công nghệ và sáng tạo trong việc chuyển đổi chất thải thành sản phẩm có giá trị.

Thị trường nhựa tái chế rất phong phú, đáp ứng đa dạng nhu cầu sử dụng, từ sản xuất chậu cây, bảo vệ ống kính máy ảnh, dụng cụ làm vườn, đồ trang trí đến vật liệu xây dựng như mặt đường. Tái chế không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng mà còn bảo tồn tài nguyên không tái tạo như dầu mỏ, tạo việc làm, giảm ô nhiễm và hạn chế lượng rác thải cần chôn lấp. Bên cạnh đó, ngành công nghiệp tái chế còn mở ra cơ hội đầu tư từ khu vực tư nhân, giảm sự phụ thuộc vào nguồn vốn công.

Ngoài ra, tái chế nhựa góp phần giảm phát thải khí nhà kính, hỗ trợ cắt giảm lượng CO₂ từ các ngành công nghiệp lớn như xi măng, sắt thép và sản xuất điện. Đối với những loại nhựa không thể tái chế, chúng có thể được tận dụng làm nhiên liệu trong các nhà máy đồng xử lý, giúp tiết kiệm than và thu hồi năng lượng hiệu quả hơn so với phương thức chôn lấp hoặc đốt thông thường, đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

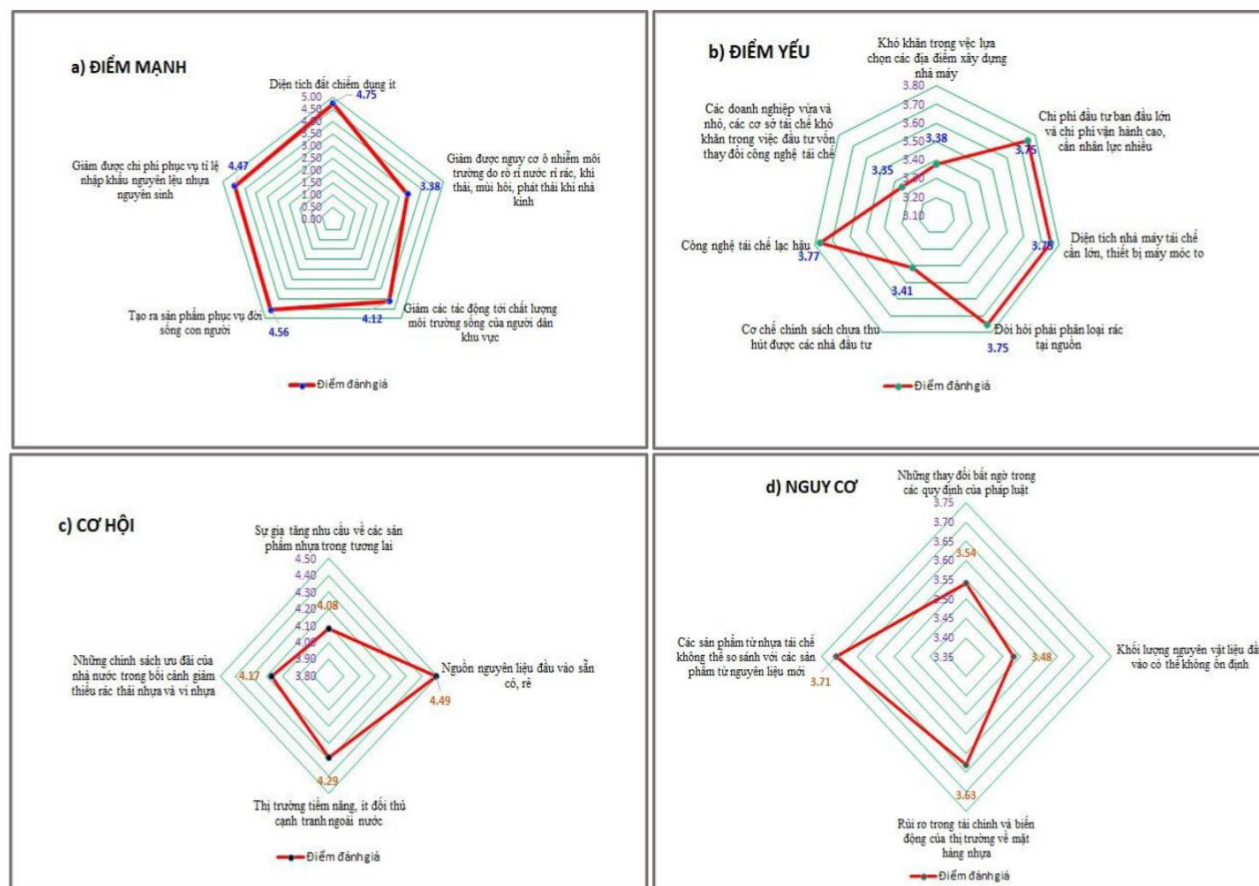
3.3.2.3. Phân tích tính khả thi khi áp dụng giải pháp mô hình kinh tế tuần hoàn

Luận án đánh giá tính khả thi của việc áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn trong ngành nhựa nhằm giảm thiểu rác thải nhựa và vi nhựa trong môi trường. Phương pháp phân tích SWOT được thực hiện dựa trên khảo sát thói quen tiêu dùng nhựa của người dân, kết hợp với đánh giá từ các chuyên gia theo thang điểm Likert 5 bậc. Kết quả phân tích SWOT được trình bày trong Bảng 3.11.

Bảng 3. 11. Kết quả phân tích SWOT khi áp dụng giải pháp đề xuất

Điểm mạnh	Điểm yếu
- Chất thải sau khi thu gom có thể được vận chuyển trực tiếp đến nhà máy, giúp tiết kiệm diện tích đất, loại bỏ nhu cầu chôn lấp và tối ưu hóa tài nguyên. - Giảm thiểu nguy cơ phát sinh khí thải, mùi hôi, nước rỉ rác và hạn chế lượng khí nhà kính thải ra môi trường. - Giảm ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng môi trường sống của cộng đồng. - Tái chế và tạo ra nhiều sản phẩm hữu ích phục vụ nhu cầu đời sống. - Cắt giảm chi phí vận hành và giảm sự phụ thuộc vào nguyên liệu nguyên sinh nhập khẩu.	- Việc xác định địa điểm phù hợp để triển khai phương án còn gặp nhiều thách thức. - Chi phí đầu tư ban đầu và vận hành cao, đồng thời yêu cầu lực lượng lao động lớn. - Nhà máy cần diện tích rộng, trong khi hệ thống máy móc và dây chuyền sản xuất có kích thước lớn. - Cần nâng cao ý thức phân loại rác tại nguồn của người dân. - Cơ chế, chính sách hiện nay chưa đủ hấp dẫn để thu hút nhà đầu tư. - Công nghệ sản xuất vẫn chưa theo kịp xu hướng hiện đại. - Việc huy động vốn để đổi mới công nghệ còn nhiều khó khăn, đặc biệt đối với doanh nghiệp vừa và nhỏ.
Cơ hội	Thách thức
- Sự gia tăng nhu cầu đối với các sản phẩm trên thị trường. - Nguồn nguyên liệu đầu vào dồi dào với chi phí hợp lý. - Thị trường rộng mở, đầy tiềm năng và có ít sự cạnh tranh từ doanh nghiệp nước ngoài. - Hỗ trợ từ chính sách ưu đãi của nhà nước.	- Sự thay đổi đột ngột trong các quy định pháp lý có thể ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất và kinh doanh. - Nguồn cung nguyên liệu đầu vào có thể không ổn định, đồng thời ngành công nghiệp còn phụ thuộc nhiều vào công nghệ, hóa chất và thiết bị nhập khẩu. - Rủi ro tài chính cùng với sự biến động của thị trường nhựa có thể tác động đến tính bền vững của ngành. - Sản phẩm nhựa tái chế gặp khó khăn trong việc cạnh tranh với nhựa nguyên sinh do chất lượng và giá thành.

Với thang điểm thang điểm Likert 5 bậc từ 1 đến 5, kết quả đánh giá tính khả thi của giải pháp được thể hiện trong sơ đồ nhện ở Hình 3.27.



Hình 3. 27. Biểu đồ mạng nhện Radar về đánh giá SWOT trong việc áp dụng giải pháp
(a) Điểm mạnh; (b) Điểm yếu; (c) Cơ hội; (d) Nguy cơ thách thức

Biểu đồ Radar cho thấy ngành nhựa có nhiều điều kiện thuận lợi và cơ hội để áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn. Hiện nay, ngành này đang phát triển mạnh mẽ với tiềm năng mở rộng trong tương lai. Đặc biệt, nguồn chất thải nhựa giá rẻ có thể trở thành nguyên liệu đầu vào cho quá trình sản xuất nhựa tái chế, đồng thời tạo ra nguồn tài chính hỗ trợ hoạt động kinh doanh. Bên cạnh đó, xu hướng sử dụng nhựa tái chế ngày càng phổ biến, không chỉ đáp ứng nhu cầu đa dạng của người tiêu dùng mà còn thể hiện ý thức bảo vệ môi trường.

Tuy nhiên, ngành nhựa cũng đang đối mặt với một số thách thức, bao gồm công nghệ tái chế chưa hiện đại, quy mô sản xuất nhỏ, thiết bị thô sơ và hiệu suất tái chế còn thấp, ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Để khắc phục những hạn chế này, Chính phủ cần ban hành các chính sách hỗ trợ, như hoàn thiện khung pháp lý nhằm thúc đẩy sự phát triển của kinh tế tuần hoàn, đồng thời xác định rõ trách nhiệm của các cơ quan quản lý nhà nước.

Phân tích SWOT chỉ ra rằng, để đạt được mục tiêu phát triển bền vững, cần thiết lập một lộ trình cụ thể với các bước đi và giai đoạn triển khai rõ ràng. Việc tăng cường hợp tác giữa các bên trong chuỗi giá trị ngành nhựa đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế, sử dụng và tái chế nhựa hiệu quả, giúp giảm thiểu lượng rác thải ra môi trường và hướng tới một nền kinh tế tuần hoàn bền vững. Đồng thời, cần xác định những cơ hội trong chuỗi cung ứng để tối ưu hóa quá trình giảm thiểu, tái sử dụng và tái chế nhựa. Ngoài ra, việc đầu tư và phát triển công nghệ mới sẽ góp phần tạo ra các sản phẩm, dịch vụ cũng như ngành công nghiệp hỗ trợ phù hợp với mô hình kinh tế tuần hoàn, giúp nâng cao hiệu quả sản xuất và bảo vệ môi trường.

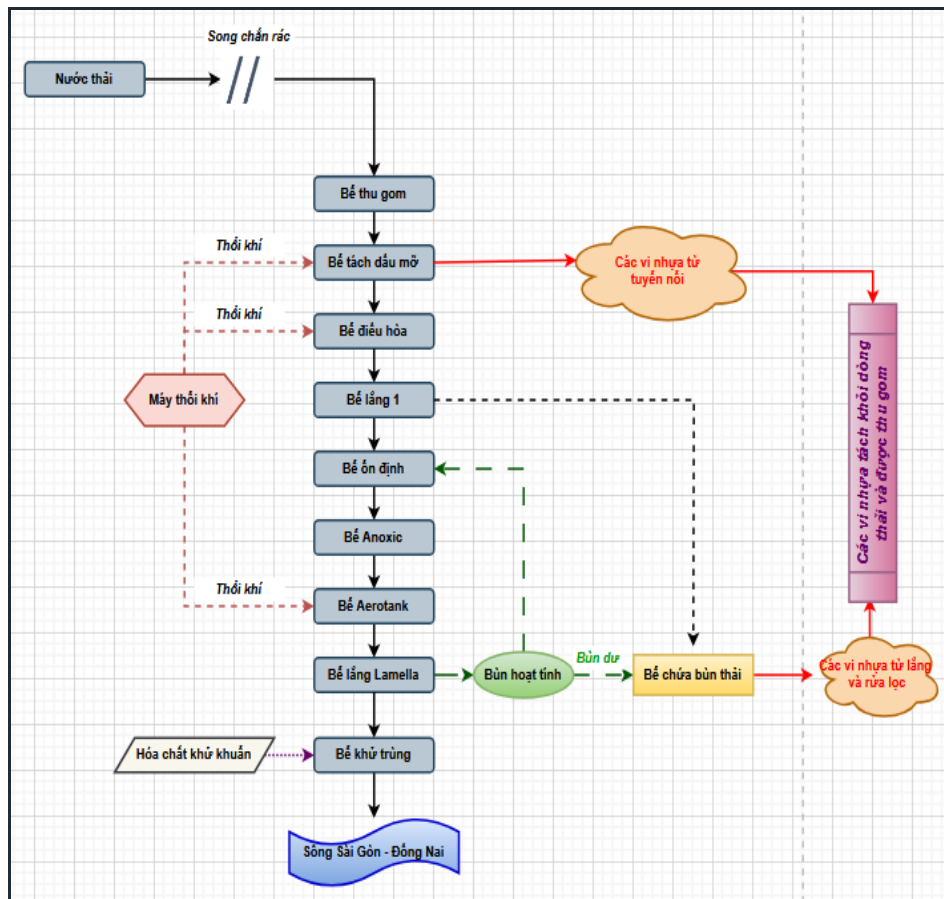
3.3.3. Đề xuất giải pháp công nghệ xử lý nước thải nhằm giảm thiểu vi nhựa

Các nghiên cứu trước đây đã đánh giá hiệu quả loại bỏ vi nhựa bằng cách phân tích các mẫu thu thập từ hệ thống xử lý nước thải. Tuy nhiên, những nghiên cứu này chưa thể xác định chính xác quy trình xử lý tối ưu cũng như cơ chế loại bỏ vi nhựa hiệu quả nhất. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào việc so sánh hiệu suất của các công nghệ xử lý khác nhau tại 6 nhà máy xử lý nước thải thông qua phân tích tổng hợp.

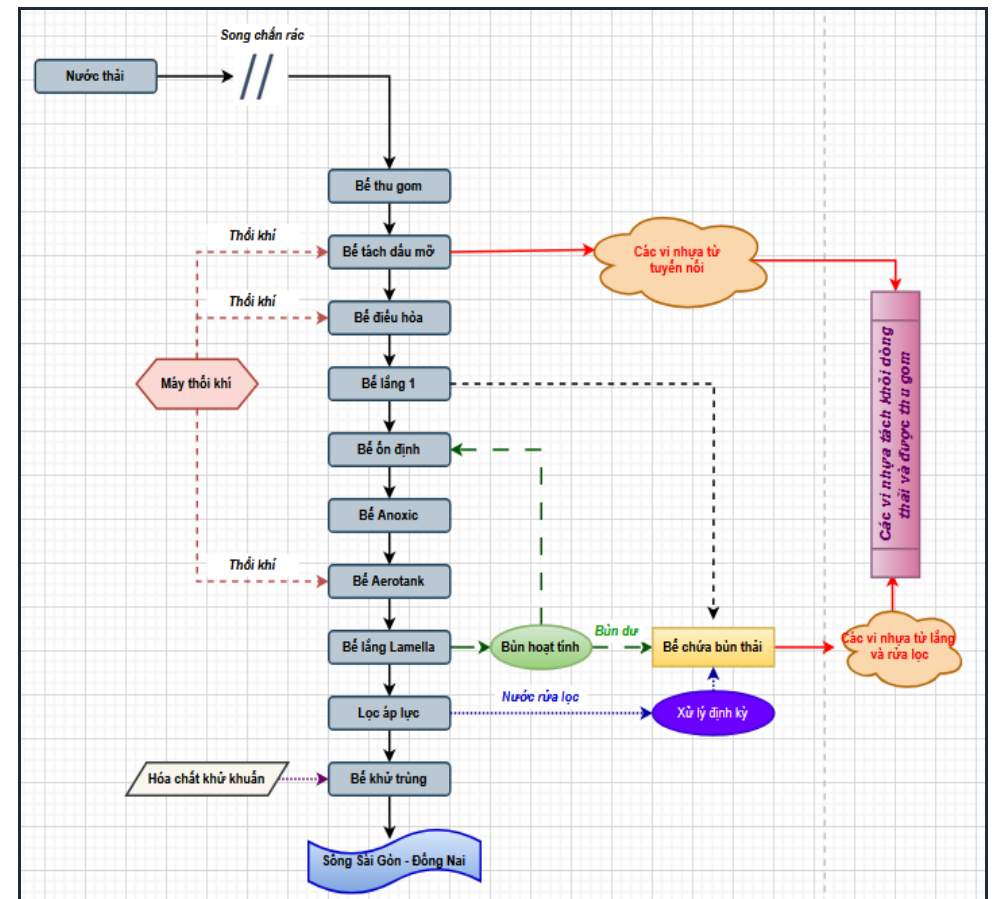
Kết quả cho thấy hiệu suất loại bỏ vi nhựa phụ thuộc vào các giai đoạn xử lý chính, bao gồm lọc sinh học, quá trình lắng sơ cấp, lọc, phản ứng sinh học cũng như loại bỏ cặn, cát và dầu mỡ. Dữ liệu thu được từ 6 nhà máy xử lý nước thải trên lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai chỉ ra rằng các công nghệ hiện có đáp ứng được quy

chuẩn QCVN 14:2008/BTNMT và đồng thời giảm thiểu đáng kể lượng vi nhựa trong nước thải.

Tuy vậy, để nâng cao hiệu quả xử lý, nghiên cứu đề xuất một sơ đồ công nghệ cải tiến, có thể điều chỉnh linh hoạt tùy theo công suất và yêu cầu đầu ra. Giải pháp này nhằm tối ưu hóa khả năng loại bỏ vi nhựa, góp phần bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng nước thải sau xử lý (Hình 3.28).



a)



b)

Hình 3. 28. Sơ đồ công nghệ xử lý nước thải được đề xuất để giảm thiểu vi nhựa trong dòng thải vào nguồn tiếp nhận (sông Sài Gòn – Đồng Nai)

a) Khi nước sau xử lý đã đạt QCVN 14:2008/BTNMT chỉ cần khử trùng và đưa vào nguồn tiếp nhận; b) Khi nước sau xử lý chưa đạt QCVN 14:2008/BTNMT, còn nhiều cặn bẩn (trong đó có cả vi nhựa) cần lọc áp lực trước khi đưa vào nguồn tiếp nhận.

Xử lý sơ bộ là quá trình loại bỏ tất cả các vật liệu có thể dễ dàng thu được từ nước thải ban đầu, nhằm ngăn chặn hư hại hoặc tắc nghẽn các máy bơm và đường ống. Trong giai đoạn này, các vật liệu như rác, cành cây, lá và các vật thể lớn khác thường được loại bỏ. Vi nhựa trong dòng nước thải đầu vào được thu gom và loại bỏ qua bể lắng, đồng thời cùng với dầu mỡ nổi trên bề mặt nước sẽ được tách ra ở bể tách dầu mỡ, nhằm tránh làm tắc nghẽn hệ thống máy bơm và đường ống phía sau (hiệu suất loại bỏ đạt 95% nhờ vào tính tỉ trọng của vi nhựa trong nước thải, điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây) [82]. Tại bể điều hòa, lưu lượng và nồng độ các chất được ổn định và cân bằng độ pH, bao gồm cả vi nhựa. Sau khi các yếu tố này được điều chỉnh, nước thải tiếp tục được xử lý theo công nghệ AO. Khi kết hợp bể Anoxic và Aerotank, đây được đánh giá là phương pháp hiệu quả và tiết kiệm cho quá trình xử lý nước thải. Bể sinh học thiếu khí Anoxic sử dụng các vi sinh vật tùy nghi sinh (có thể sử dụng hoặc không sử dụng oxy) để phân huỷ các hợp chất hữu cơ có chứa Nitơ và Photpho trong nước thải. Trong bể này, hai chuỗi xử lý sẽ diễn ra, bao gồm khử Nitrat và khử Phosphorit. Bể Anoxic có khả năng loại bỏ một lượng lớn chất hữu cơ trong nước, với khả năng xử lý BOD từ 80% đến 90%. Loại bể này không yêu cầu nhiều thời gian và năng lượng, và còn có thể sản sinh khí biogas có thể sử dụng làm nhiên liệu. Bể Aerotank là bể sinh học hiếu khí với hệ thống khuấy trộn. Bể này hỗ trợ các vi sinh vật hoạt động, tạo ra bùn hoạt tính lơ lửng và phân huỷ các chất hữu cơ. Để tạo điều kiện cho vi sinh vật hiếu khí phát triển, bể được trang bị máy sục khí cung cấp oxy và khuấy trộn dòng nước. Lớp đệm vi sinh trong bể có dạng gấp nếp, với nước và khí đi qua theo đường dích dắc với góc nghiêng 60%, giúp tăng khả năng tiếp xúc giữa bùn hoạt tính và nước. Quá trình xử lý này giúp loại bỏ photpho, giảm mầm bệnh, ổn định lượng bùn và loại bỏ khoảng 97% chất rắn lơ lửng, bao gồm cả vi nhựa. Tuy nhiên, để đảm bảo hiệu quả hoạt động của bể, tổng hàm lượng TSS và vi nhựa không được vượt quá 150 mg/l.

Tiếp theo, nước được đưa qua các tấm lắng Lamella, các tấm lắng này giúp lắng trọng lực các hạt cặn lơ lửng gồm cả vi nhựa ra khỏi nước. Nhờ trọng lực, nước thải được phân làm ba pha riêng biệt (pha huyền phù, pha bùn cặn, và nước trong). Bùn lắng ở đáy dốc của thiết bị bơm một phần tuần hoàn trở lại bể Aerotank. Phần bùn xả có bao gồm cả vi nhựa lắng được bơm định kỳ sang bể chứa bùn xả thải. Tại bể lắng này, 98% hạt vi nhựa bị loại bỏ trong bể khi chúng liên kết với chất rắn lơ lửng và được phân tách bằng quá trình lắng đọng. Một phần bùn hoạt tính sẽ được tuần hoàn lại bể ổn định để xử lý tiếp. Khi nước sau xử lý đã đạt QCVN 14:2008/BTNMT chỉ cần khử trùng và đưa vào nguồn tiếp nhận (Hình 3.28a).

Nhưng nếu nước sau xử lý chưa đạt QCVN 14:2008/BTNMT, còn nhiều cặn bẩn (trong đó bao gồm có cả vi nhựa) cần lọc áp lực loại trừ trước khi đưa vào nguồn tiếp nhận (Hình 3.28b).

Ưu điểm và khó khăn của công nghệ AO: Nếu sử dụng riêng lẻ bể Anoxic hay chỉ dùng riêng Aerotank thì những dạng nước thải có nhiều vi nhựa, vụn kim loại và tạo ra mùi hôi thối thì việc sử dụng đơn lẻ bể Anoxic hay Aerotank thường không mang lại hiệu quả quá vượt trội. Tuy nhiên, việc thi công bể Anoxic kết hợp Aerotank là khá khó khăn và tốn kém. Chính vì thế, thông thường chỉ những dự án lớn mới có thể tính toán bể Anoxic kết hợp Aerotank và thi công đầy đủ nhất. Mục tiêu kết hợp Anoxic và Aerotank trong hệ thống xử lý nhằm xử lý triệt để được hàm lượng chất thải hữu cơ từ hoạt động sinh hoạt của cộng đồng dân cư trên sông Đồng Nai và sông Sài Gòn; thêm nữa là quy trình công nghệ được đề xuất có thể chịu được tải trọng chất hữu cơ cao và công suất xả thải của khu vực tương đối lớn.

Sơ đồ công nghệ được đề xuất trong Hình 3.28 phù hợp để xử lý đối với các đối tượng:

i) Nước thải tập trung trong các khu công nghiệp có ngành sản xuất điển hình là sản xuất sản phẩm bao bì, chai lọ, nắp nút chai lọ nhựa, điện tử, dệt, may mặc... Với đặc trưng hàm lượng các chất BOD, COD, TSS, Nito, photpho, nước thải từ ngành sản xuất trên đều cao so với quy chuẩn;

ii) Nước thải sinh hoạt, đô thị có chứa nhiều các vi sinh vật gây bệnh vi khuẩn, vi rút, hay hàm lượng các chất dinh dưỡng như BOD, Nitơ, Photpho cao, các chất hữu cơ khó phân hủy và vi nhựa.

Vi nhựa dạng sợi có kích thước hạt lớn (3–5 mm) có thể dễ dàng được tách ra bằng quá trình lắng sơ cấp. Polyethene (PE) và các vật chất vi nhựa có kích cỡ nhỏ (nhỏ hơn 1 mm) dễ dàng bị vi khuẩn giữ lại trong bùn hoạt tính, lắng trong bể lắng 2 và 1 phần bùn hoàn lưu. Vì vậy, việc lựa chọn phù hợp kỹ thuật xử lý loại bỏ vi nhựa khỏi dòng thải trong các nhà máy xử lý nước thải có tính khả thi cao. Tác động của các hình dạng, kích thước hạt và chủng loại polyme khác nhau trong việc loại bỏ chúng trong các quy trình xử lý khác nhau nên nhận được nhiều sự quan tâm, nghiên cứu sâu hơn.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Luận án đã hệ thống hóa cơ sở lý thuyết và thực tiễn liên quan đến vi nhựa trong môi trường nước, từ các nguồn phát sinh đến phương pháp nghiên cứu theo hướng dẫn NOAA, kết hợp với kinh nghiệm quốc tế và điều kiện địa phương. Quy trình thu mẫu và phân tích vi nhựa trong nước sông và nước thải được xây dựng phù hợp với đặc thù hệ thống sông Sài Gòn – Đồng Nai và các nhà máy xử lý nước thải điển hình, đảm bảo độ chính xác và tin cậy.

Kết quả nghiên cứu cho thấy vi nhựa hiện diện phổ biến trong toàn bộ 432 mẫu nước mặt và 312 mẫu nước thải, với mật độ cao, phân bố phụ thuộc vào mùa, thủy triều và mật độ dân số khu vực. Nước sông ghi nhận hơn 60 loại polymer, trong khi nước thải phát hiện 31 loại, trong đó Nylon-PA và Ethylene chiếm ưu thế. Vi nhựa trong nước thải chủ yếu là dạng sợi, với hàm lượng cao hơn 3–5 lần so với các nghiên cứu trước, mặc dù công nghệ xử lý hiện tại chưa được thiết kế riêng cho vi nhựa nhưng vẫn đạt hiệu suất loại bỏ lên đến 93,7% đối với vi nhựa kích thước lớn.

Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, luận án đã đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm vi nhựa trong nước sông và nước thải, được đánh giá tính khả thi bằng phân tích SWOT và thang đo Likert. Các giải pháp đều cho thấy tính phù hợp cao với điều kiện thực tiễn, góp phần xây dựng cơ sở khoa học cho việc hoạch định chính sách kiểm soát vi nhựa tại Việt Nam.

Kiến nghị

Công trình trên cần được mở rộng định hướng nghiên cứu tiếp theo về phạm vi kích thước quan sát (kích thước vi nhựa nhỏ hơn 1mm), để phát hiện được nhiều loại vi nhựa đại diện khác trong các môi trường mẫu, đặc biệt trong nguồn nước cấp.

Cho đến hiện nay, Quy chuẩn Việt Nam chưa có giới hạn nào về vi nhựa của các nhà máy xử lý xả thải vào nguồn tiếp nhận nước thải hoặc nguồn cung cấp nước cho các nhà máy xử lý nước cấp. Vì vậy, cần phải có các nghiên cứu xây dựng Tiêu chuẩn, Quy chuẩn cụ thể vi nhựa trong môi trường nước, đặc biệt là nước cấp cho ăn uống và sinh hoạt.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Phú, H., **Hân, H. T. N.**, Thảo, N. L. N., Đông, Đ. V., & Hân, T. G. (2021). Nghiên cứu mức độ ô nhiễm vi nhựa trong nước và trầm tích sông Sài Gòn–Đồng Nai. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 731, 69-81.
2. Phu, H., **Hân, H. T. N.**, & Thao, N. L. N. (2022). Plastic waste, microplastics in the Saigon–Dong Nai river basin, the risk of impacts on the health of people. VN J. Hydrometeorol, 736(1), 14-27.
3. Phu, H., **Hân, H. T. N.**, Thao, N. L. N., & Ha, T. T. M. (2022). Microplastics and solutions to remove microplastics in wastewater from wastewater treatment plants in the Saigon–Dong Nai river basin, Vietnam. Vietnam J. Hydrometeorol, 12(13), 1-13.
4. Phu, H., **Hân, H. T. N.**, & Thao, N. L. N. (2023, August). Sources of microplastic pollution in the Saigon-Dong Nai rivers, potential risks affecting human health and recommendations for mitigation solutions. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1226, No. 1, p. 012017.
5. Phu, H., **Hân, H. T. N.**, Thao, N. L. N., & Ha, T. T. M. (2022). Overview of theoretical perspectives on methods of analyzing micro-sized plastics continental surface water. Technology and Society Studies (STS) 2022 – HUTECH. Page 131 – 137. ISBN: 978-604-76-2568-0.
6. **Hân, H. T. N.**, Phu, H., Hue, N. T., (2023). Research to identify types of microplastics, their shapes, and trends over space and time, and to propose solutions to reduce microplastic pollution from plastic waste in the surface water of the Saigon – Dong Nai River, Vietnam. The International Conference: Earth and Environmental Sciences, Mining for Digital Transformation, Green Development and Response to Global Change (Green EME 2023). Page 132 – 145. ISBN: 978-604-67-2826-9.
7. Phú, H., **Hân, H. T. N.**, Huệ, N. T., & Khang, V. H., (2023). Ứng dụng thuật toán trên nền tảng ngôn ngữ R để nghiên cứu vi nhựa trong nước mặt lục địa, sông Sài Gòn và sông Đồng Nai. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 759, 46-63.
8. Phú, H., & **Hân, H. T. N.**, (2024). Đánh giá chất thải nhựa, vi nhựa trong nước thải từ cộng đồng dân cư xả thải vào các sông Sài Gòn - Đồng Nai, đề xuất giải pháp xử lý đảm bảo mục tiêu phát triển bền vững. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 753, 37-49.
9. Phu, H., **Hân, H. T. N.**, & Hue, N. T. (2024, August). Developing a circular economy from plastic waste and identifying microplastics in domestic water supplies

in Ho Chi Minh City and the Southeastern provinces. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1391, No. 1, p. 012011.

10. Phu, H., **Han, H. T. N.**, & Nu, T. N., (2024). Analytical methods used in microplastics identification: A review. VN J. Hydrometeorol 19, 12-22.

11. Phu, H., Khang, V. H., & **Han, H. T. N.**, (2024). Applying information technology in analyzing and processing environmental data, evaluating the trend of changing the shape of microplastics in the water source of Saigon - Dong Nai River. The Conference HUTECH 2024. Page 380-390, ISBN: 978-604-76-2945-9.

12. **Hân, H. T. N.**, (2024). Thực trạng về chất thải rắn sinh hoạt và tiềm năng phát triển kinh tế tuần hoàn từ rác thải nhựa cho Thành phố Hồ Chí Minh. Tạp chí Môi trường Kỳ III – 2024, trang 3-11, ISSN: 2615-9597.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. (2009). Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364(1526), 1985-1998. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 364: 1985-1998.
- [2]. Brooks, A. L., Wang, S., & Jambeck, J. R. (2018). *The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade*. Science advances, 4(6), eaat0131.
- [3]. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). *Plastic waste inputs from land into the ocean*. science, 347(6223), 768-771.
- [4]. WHO (2020). *Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide*. World Healthy Organization. <https://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protectiveequipment-endangering-health-workers-worldwide>
- [5]. Yudell, M., Roberts, D., DeSalle, R., Tishkoff, S., & 70 signatories. (2020). *NIH must confront the use of race in science*. Science, 369(6509), 1313-1314.
- [6]. La, V. P., Pham, T. H., Ho, M. T., Nguyen, M. H., P. Nguyen, K. L., Vuong, T. T., ... & Vuong, Q. H. (2020). *Policy response, social media and science journalism for the sustainability of the public health system amid the COVID-19 outbreak: the Vietnam lessons*. Sustainability, 12(7), 2931.
- [7]. Peng, Y., Wu, P., Schartup, A. T., & Zhang, Y. (2021). *Plastic waste release caused by COVID-19 and its fate in the global ocean*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(47), e2111530118.
- [8]. Kieu-Le, T. C., Strady, E., & Perset, M. (2016). *Life cycle of floating debris in the canals of ho chi minh city*. HAL Id: hal-02357363. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02357363>
- [9]. Bái, Đ.T., (2018). *Plastics và vấn đề ô nhiễm do chất thải plastics*. Báo cáo tại Hội thảo khoa học “Cùng hành động vì môi trường Thủ đô”, Hà Nội, tháng 5/2018. VACNE-HUSTA, Hà Nội.
- [10]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020). *Hồ sơ chất thải nhựa đại dương*.

- [11]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2019a). Tờ trình số 97/TTr-BTNMT ngày 25/12/2019 về việc phê duyệt Đề án tăng cường công tác quản lý chất thải nhựa ở Việt Nam
- [12]. Chính phủ (2019). Báo cáo số 233/BC-CP ngày 18/5/2020 về công tác bảo vệ môi trường năm 2019
- [13]. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). *Lost at sea: where is all the plastic?*. Science, 304(5672), 838-838.
- [14]. NOAA, (2015). *Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environmet Recommendations for quantifying synthetic particles in water and sediments*. Technical Menmorandum NOS-OR&R-48
- [15]. Arthur, C., Baker, J. E., & Bamford, H. A. (2009). *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris*, September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA.
- [16]. Frere, L., Paul-Pont, I., Rinnert, E., Petton, S., Jaffré, J., Bihannic, I., ... & Huvet, A. (2017). *Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: a case study of the Bay of Brest (Brittany, France)*. Environmental Pollution, 225, 211-222.
- [17]. Iyare, P. U., Ouki, S. K., & Bond, T. (2020). *Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review*. Environmental Science: Water Research & Technology, 6(10), 2664-2675.
- [18]. Strady, E., Dang, T. H., Dao, T. D., Dinh, H. N., Do, T. T. D., Duong, T. N., ... & Chu, V. H. (2021). *Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing Southeast Asian country, Viet Nam*. Marine Pollution Bulletin, 162, 111870
- [19]. Quinn, B., Murphy, F., & Ewins, C. (2017). *Validation of density separation for the rapid recovery of microplastics from sediment*. Analytical Methods, 9(9), 1491-1498.
- [20]. Hoàng, T. T. H., Lê, T. L., Lê, T. P. Q., Lê, Q. T., Lê, N. Đ., Phạm, T. M. H., ... & Dương, T. T. (2022). *Bước đầu xác định vi nhựa trong một số mẫu nước thải sinh hoạt thành phố Hà Nội*. Tạp chí KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ. Tập 58 - Số 4 (8/2022)).
- [21]. Magnusson, K., & Norén, F. (2014). *Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant*.

- [22]. Goswami, P., Vinithkumar, N. V., & Dharani, G. (2020). *First evidence of microplastics bioaccumulation by marine organisms in the Port Blair Bay, Andaman Islands*. Marine pollution bulletin, 155, 111163.
- [23]. James, K., Vasant, K., Padua, S., Gopinath, V., Abilash, K. S., Jeyabaskaran, R., ... & John, S. (2020). *An assessment of microplastics in the ecosystem and selected commercially important fishes off Kochi, south eastern Arabian Sea, India*. Marine Pollution Bulletin, 154, 111027.
- [24]. Mallik, A., Xavier, K. M., Naidu, B. C., & Nayak, B. B. (2021). *Ecotoxicological and physiological risks of microplastics on fish and their possible mitigation measures*. Science of the Total Environment, 779, 146433.
- [25]. Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., & Xing, B. (2020). *Microplastics in aquatic environments: toxicity to trigger ecological consequences*. Environmental Pollution, 261, 114089.
- [26]. Gholizadeh, M., & Patimar, R. (2018). *Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from the Gorgan Bay, Caspian Sea*. Marine pollution bulletin, 137, 662-667.
- [27]. De Sá, L. C., Luís, L. G., & Guilhermino, L. (2015). *Effects of microplastics on juveniles of the common goby (Pomatoschistus microps): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions*. Environmental pollution, 196, 359-362.
- [28]. Lu, K., Qiao, R., An, H., & Zhang, Y. (2018). *Influence of microplastics on the accumulation and chronic toxic effects of cadmium in zebrafish (Danio rerio)*. Chemosphere, 202, 514-520.
- [29]. Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., & Kıdeys, A. E. (2017). *Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish*. Environmental pollution, 223, 286-294.
- [30]. Greven, A. C., Merk, T., Karagöz, F., Mohr, K., Klapper, M., Jovanović, B., & Palić, D. (2016). *Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (Pimephales promelas)*. Environmental toxicology and chemistry, 35(12), 3093-3100.
- [31]. Thiele, C. J., Hudson, M. D., Russell, A. E., Saluveer, M., & Sidaoui-Haddad, G. (2021). *Microplastics in fish and fishmeal: an emerging environmental challenge?*. Scientific reports, 11(1), 2045.

- [32]. Barboza, L. G. A., Cunha, S. C., Monteiro, C., Fernandes, J. O., & Guilhermino, L. (2020). *Bisphenol A and its analogs in muscle and liver of fish from the North East Atlantic Ocean in relation to microplastic contamination. Exposure and risk to human consumers*. Journal of hazardous materials, 393, 122419.
- [33]. Akhbarizadeh, R., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2018). *Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf*. Environmental pollution, 232, 154-163.
- [34]. Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., & Hassanaghahi, M. (2018). *Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf*. Chemosphere, 205, 80-87.
- [35]. Choi, J. S., Jung, Y. J., Hong, N. H., Hong, S. H., & Park, J. W. (2018). *Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the sheepshead minnow (Cyprinodon variegatus)*. Marine pollution bulletin, 129(1), 231-240.
- [36]. Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). *Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions*. Environment international, 102, 165-176
- [37]. Beer, S., Garm, A., Huwer, B., Dierking, J., & Nielsen, T. G. (2018). *No increase in marine microplastic concentration over the last three decades—a case study from the Baltic Sea*. Science of the total environment, 621, 1272-1279.
- [38]. Pittura, L., Avio, C. G., Giuliani, M. E., d'Errico, G., Keiter, S. H., Cormier, B., ... & Regoli, F. (2018). *Microplastics as vehicles of environmental PAHs to marine organisms: combined chemical and physical hazards to the Mediterranean mussels, Mytilus galloprovincialis*. Frontiers in marine science, 5, 103.
- [39]. Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). *Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs*. Water research, 75, 63-82.
- [40]. Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). *Microplastics in aquatic environments: implications for Canadian ecosystems*. Environmental Pollution, 218, 269-280.

- [41]. Kim, D., Chae, Y., & An, Y. J. (2017). *Mixture toxicity of nickel and microplastics with different functional groups on Daphnia magna*. Environmental science & technology, 51(21), 12852-12858.
- [42]. Shim, W. J., Hong, S. H., & Eo, S. E. (2017). *Identification methods in microplastic analysis: a review*. Analytical methods, 9(9), 1384-1391.
- [43]. Reichman, J. (2000). *Handbook of optical filters for fluorescence microscopy*. Chroma Technology Corporation.
- [44]. Turner, A., & Holmes, L. (2011). *Occurrence, distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean)*. Marine Pollution Bulletin, 62(2), 377-381.
- [45]. Ugolini, A., Ungherese, G., Ciofini, M., Lapucci, A., & Camaiti, M. (2013). *Microplastic debris in sandhoppers*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 129, 19-22.
- [46]. Ng, K. L., & Obbard, J. P. (2006). *Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment*. Marine pollution bulletin, 52(7), 761-767.
- [47]. Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Kang, J. H., Kwon, O. Y., Han, G. M., & Shim, W. J. (2014). *Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer*. Environmental science & technology, 48(16), 9014-9021.
- [48]. Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Rani, M., Lee, J., & Shim, W. J. (2015). *A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples*. Marine pollution bulletin, 93(1-2), 202-209.
- [49]. Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., & Janssen, C. R. (2013). *Microplastic pollution in deep-sea sediments*. Environmental pollution, 182, 495-499.
- [50]. Raman, I. B. *Detection of anthropogenic particles in fish*. Isolation and characterization of anthropogenic particles in three planktivorous fishes, 71.
- [51]. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). *Microplastic ingestion by zooplankton*. Environmental science & technology, 47(12), 6646-6655.
- [52]. Basu, P. (2018). *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*. Academic press.
- [53]. Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., & Fries, E. (2014). *A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments*. Environmental pollution, 184, 161-169.

- [54]. Dekiff, J. H., Remy, D., Klasmeier, J., & Fries, E. (2014). *Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney*. Environmental Pollution, 186, 248-256.
- [55]. Majewsky, M., Bitter, H., Eiche, E., & Horn, H. (2016). *Determination of microplastic polyethylene (PE) and polypropylene (PP) in environmental samples using thermal analysis (TGA-DSC)*. Science of the Total Environment, 568, 507-511.
- [56]. Imhof, H. K., Ivleva, N. P., Schmid, J., Niessner, R., & Laforsch, C. (2013). *Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles*. Current biology, 23(19), R867-R868.
- [57]. Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (2014). *The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river*. Environmental pollution, 188, 177-181.
- [58]. Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., & De Alencastro, L. F. (2015). *Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants*. Environmental chemistry, 12(5), 582-591.
- [59]. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). *Microplastics as contaminants in the marine environment: a review*. Marine pollution bulletin, 62(12), 2588-2597.
- [60]. Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., ... & Reisser, J. (2014). *Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea*. PloS one, 9(12), e111913.
- [61]. Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). *Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California*. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, 11(1), 65-73.
- [62]. Sadri, S. S., & Thompson, R. C. (2014). *On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England*. Marine pollution bulletin, 81(1), 55-60.
- [63]. Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2010). *Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines*. Environmental science & technology, 44(9), 3404-3409.
- [64]. Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., ... & Duarte, C. M. (2014). *Plastic debris in the open*

- ocean*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28), 10239-10244.
- [65]. Schlining, K., Von Thun, S., Kuhnz, L., Schlining, B., Lundsten, L., Stout, N. J., ... & Connor, J. (2013). *Debris in the deep: Using a 22-year video annotation database to survey marine litter in Monterey Canyon, central California, USA*. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 79, 96-105.
- [66]. Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L., Coppock, R., Sleight, V., ... & Thompson, R. C. (2014). *The deep sea is a major sink for microplastic debris*. Royal Society open science, 1(4), 140317.
- [67]. Hirai, H., Takada, H., Ogata, Y., Yamashita, R., Mizukawa, K., Saha, M., ... & Ward, M. W. (2011). *Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches*. Marine pollution bulletin, 62(8), 1683-1692.
- [68]. Heskett, M., Takada, H., Yamashita, R., Yuyama, M., Ito, M., Geok, Y. B., ... & Mermoz, J. (2012). *Measurement of persistent organic pollutants (POPs) in plastic resin pellets from remote islands: toward establishment of background concentrations for International Pellet Watch*. Marine pollution bulletin, 64(2), 445-448.
- [69]. Bergmann, M., & Klages, M. (2012). *Increase of litter at the Arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN*. Marine pollution bulletin, 64(12), 2734-2741.
- [70]. GESAMP (1991). Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: The state of the marine environment, London, Blackwell Scientific Publications
- [71]. Morritt, D., Stefanoudis, P. V., Pearce, D., Crimmen, O. A., & Clark, P. F. (2014). *Plastic in the Thames: a river runs through it*. Marine pollution bulletin, 78(1-2), 196-200.
- [72]. Leite, A. S., Santos, L. L., Costa, Y., & Hatje, V. (2014). *Influence of proximity to an urban center in the pattern of contamination by marine debris*. Marine pollution bulletin, 81(1), 242-247.
- [73]. Eriksson, C., Burton, H., Fitch, S., Schulz, M., & van den Hoff, J. (2013). *Daily accumulation rates of marine debris on sub-Antarctic island beaches*. Marine pollution bulletin, 66(1-2), 199-208.
- [74]. Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2014). *Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 140, 14-21.

- [75]. Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2014). *Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions*. Marine Chemistry, 167, 25-32.
- [76]. Smith, S. D., & Edgar, R. J. (2014). *Documenting the density of subtidal marine debris across multiple marine and coastal habitats*. PloS one, 9(4), e94593.
- [77]. Zhao, S., Zhu, L., Wang, T., & Li, D. (2014). *Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: first observations on occurrence, distribution*. Marine pollution bulletin, 86(1-2), 562-568.
- [78]. Wang, W., Ndungu, A. W., Li, Z., & Wang, J. (2017). *Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China*. Science of the Total Environment, 575, 1369-1374.
- [79]. Mani, T., Hauk, A., Walter, U., & Burkhardt-Holm, P. (2015). *Microplastics profile along the Rhine River*. Scientific reports, 5(1), 17988.
- [80]. Brennholt, N., Heß, M., & Reifferscheid, G. (2018). *Freshwater microplastics: challenges for regulation and management*. Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?, 239-272.
- [81]. Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). *Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities*. Science of the total environment, 586, 127-141.
- [82]. McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schluep, J., & Kelly, J. J. (2014). *Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river*. Environmental science & technology, 48(20), 11863-11871.
- [83]. Windsor, F. M., Tilley, R. M., Tyler, C. R., & Ormerod, S. J. (2019). *Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates*. Science of the total environment, 646, 68-74.
- [84]. Yu, Y., Zhou, D., Li, Z., & Zhu, C. (2018). *Advancement and challenges of microplastic pollution in the aquatic environment: a review*. Water, air, & soil pollution, 229, 1-18.
- [85]. Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., & Boldgiv, B. (2014). *High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake*. Marine pollution bulletin, 85(1), 156-163.
- [86]. Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A. & Ricciardi, A. (2014). *Microplastic pollution in St . Lawrence River sediments*. NRC Research Press 5: 1-5.

- [87]. General Statistics Office of Vietnam (GSO) (2016). Statistical yearbook of Ho Chi Minh City—2016, Ho Chi Minh City Statistical Office.
- [88]. Verma, R. L., Borongan, G., & Memon, M. (2016). *Municipal solid waste management in Ho Chi Minh City, Viet Nam, current practices and future recommendation*. Procedia Environmental Sciences, 35, 127-139.
- [89]. Lebreton, L. C. M., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). *River plastic emissions to the world's oceans*. Nat. Commun. 8, 15611.
- [90]. Minh, T. L. T., Phuoc, D. N., Quoc, T. D., Ngo, H. H., & Lan, C. D. H. (2016). *Presence of e-EDCs in surface water and effluents of pollution sources in Sai Gon and Dong Nai river basin*. Sustainable Environment Research, 26(1), 20-27.
- [91]. Lahens, L., Strady, E., Kieu Le, T. C., Dris, R., Boukerma, K. & Rinnert, E. (2018). *Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity*. Environmental Pollution 236: 661–671.
- [92]. Van Emmerik, T., Kieu-Le, T. C., Loozen, M., Van Oeveren, K., Strady, E., Bui, X. T., ... & Tassin, B. (2018). *A methodology to characterize riverine macroplastic emission into the ocean*. Frontiers in Marine Science, 5, 372.
- [93]. Nhon, N. T. T., Vy, Đ. T. Y., Nguyễn, N. T. & Hiền, T. T. (2019). *Vi nhựa trong cát biển Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh*. Kỷ yếu hội thảo Ô nhiễm chất thải nhựa trên biển Việt Nam: Thực trạng và giải pháp: 139–148.
- [94]. Bui, X. T., Nguyen, P. T., Nguyen, V. T., Dao, T. S., & Nguyen, P. D. (2020). *Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and removal technologies*. Environmental Technology & Innovation, 19, 101013.
- [95]. Hien, H. T., Lan, H. T., Trang, T. D. M., Cuc, N. T. T., Sen, T. M., & Long, N. T. (2019). *Initial results of microplastics on the sediment surface in the Balat river mouth, Northern Vietnam*. Kỷ yếu hội thảo Ô nhiễm chất thải nhựa trên biển Việt Nam: Thực trạng và giải pháp. Hà Nội.
- [96]. Rochman, C., Giles, R., Nguyen, C., Cong, N. V., Ngoc, N. T., Thu, H. T. Y. & Dinh, M. K. (2019). *Baseline research on marine debris, including plastic pollution at Ba Lat estuary, Xuan Thuy national park - Nam Dinh, Vietnam*. Kỷ yếu hội thảo Ô nhiễm chất thải nhựa trên biển Việt Nam: Thực trạng và giải pháp: 103–121.
- [97]. Emilie Strady, Nguyễn Minh Trang (2021). *Đánh giá vi nhựa trong môi trường nước ở Việt Nam*. Tạp chí Môi trường. Vol 9, pp 25-27

- [98]. Strady, E., Dang, T. H., Dao, T. D., Dinh, H. N., Do, T. T. D., Duong, T. N., ... & Chu, V. H. (2021). *Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing Southeast Asian country, Viet Nam*. Marine Pollution Bulletin, 162, 111870.
- [99]. Hoellein, T. J., McCormick, A., & Kelly, J. J. (2014, May). *Riverine microplastic: abundance and bacterial community colonization*. In Abstract. Joint Aquatic Sciences Meeting. Portland.
- [100]. Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). *Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris*. Environmental Chemistry, 12(5), 592-599.
- [101]. Estahbanati, S., & Fahrenfeld, N. L. (2016). *Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water*. Chemosphere, 162, 277-284.
- [102]. Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). *Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment*. Environmental science & technology, 50(11), 5800-5808.
- [103]. Chaskey, E., Hirsch, T., Drake, T., Ehmann, K., & Chu, Y. (2014). *Micro-plastic pollution: a comparative survey of wastewater effluent in New York*.
- [104]. Sea, N. *Suspended microplastics and black carbon particles in the Jade system, southern North Sea*. Water, Air, & Soil Pollution 224(2).
- [105]. Magnusson, K., & Norén, F. (2014). *Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant*.
- [106]. Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). *Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants*. Water research, 91, 174-182.
- [107]. Garneau, D. (2016). *Microplastic pollution: a survey of wastewater effluent in Plattsburgh*.
- [108]. Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). *Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks*. Environmental science & technology, 45(21), 9175-9179.
- [109]. Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). *Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions*. Marine pollution bulletin, 112(1-2), 39-45.

- [110]. Duis, K., & Coors, A. (2016). *Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects*. Environmental Sciences Europe, 28(1), 2.
- [111]. La Daana, K. K., Officer, R., Lyashevskaya, O., Thompson, R. C., & O'Connor, I. (2017). *Microplastic abundance, distribution and composition along a latitudinal gradient in the Atlantic Ocean*. Marine pollution bulletin, 115(1-2), 307-314.
- [112]. Michielssen, M. R., Michielssen, E. R., Ni, J., & Duhaime, M. B. (2016). *Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed*. Environmental Science: Water Research & Technology, 2(6), 1064-1073.
- [113]. Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). *Solutions to microplastic pollution—Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies*. Water research, 123, 401-407.
- [114]. Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., & Koistinen, A. (2017). How well is microlitter purified from wastewater?—A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. Water research, 109, 164-172.
- [115]. Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). *Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology*. Water research, 133, 236-246.
- [116]. Nguyen, P. D., Tran, Q. V., Le, T. T., Nguyen, Q. H., Kieu-Le, T. C., & Strady, E. (2023). *Evaluation of microplastic removal efficiency of wastewater-treatment plants in a developing country, Vietnam*. Environmental Technology & Innovation, 29, 102994.
- [117]. Habib, R. Z., Thiemann, T., & Al Kendi, R. (2020). *Microplastics and wastewater treatment plants—a review*. Journal of Water Resource and Protection, 12(01), 1.
- [118]. Hongprasith, N., Kittimethawong, C., Lertluksanaporn, R., Eamchotchawalit, T., Kittipongvises, S., & Lohwacharin, J. (2020). *IR microspectroscopic identification of microplastics in municipal wastewater treatment plants*. Environmental Science and Pollution Research, 27, 18557-18564.
- [119]. Yuan, F., Zhao, H., Sun, H., Zhao, J., & Sun, Y. (2021). *Abundance, morphology, and removal efficiency of microplastics in two wastewater*

- treatment plants in Nanjing, China. Environmental Science and Pollution Research*, 28, 9327-9337.
- [120]. Hidayaturrehman, H., & Lee, T. G. (2019). *A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. Marine pollution bulletin*, 146, 696-702.
- [121]. Hồ Tấn Trọn, Nguyễn Hiền Thân, Bùi Lê Thanh Khiết (2022). *Đánh giá sự hiện diện vi nhựa có trong nước thải sinh hoạt tỉnh Bình Dương. Tạp chí Môi trường. Chuyên đề I, tháng 3 năm 2022. Trang 34-38.*
- [122]. Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. (2017). *Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. Water research*, 112, 93-99.
- [123]. Bayo, J., Olmos, S., & López-Castellanos, J. (2020). *Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors. Chemosphere*, 238, 124593.
- [124]. Wang, Z., Lin, T., & Chen, W. (2020). *Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). Science of the Total Environment*, 700, 134520.
- [125]. Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., ... & Regoli, F. (2019). *The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. Science of the total environment*, 652, 602-610.
- [126]. Neira, M. (2023). *The minderoo-monaco commission on plastics and human health. Annals of Global Health*, 89(1).
- [127]. Rhodes, C. J. (2018). *Plastic pollution and potential solutions. Science progress*, 101(3), 207-260.
- [128]. Lâm Minh Triết, Lê Mạnh Thắng, Lê Mạnh Tân (2012). *Quản lý chất lượng nước sông Sài Gòn. Báo Tài Nguyên và Môi trường*, kỳ 12, 27-29.
- [129]. Tờ, T. C., Anh, P. T., & Hợp, N. V. (2021). *Áp dụng chỉ số chất lượng nước đánh giá chất lượng nước sông Sài Gòn cho các mục đích sử dụng nước. Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Earth Science and Environment*, 130(4B), 5-19.
- [130]. Lê Trình, Lê Quốc Hùng (2004). *Môi Trường Lưu Vực Sông Đồng Nai - Sài Gòn. NXB Khoa học và kỹ thuật.*
- [131]. Humphrey, A. SWOT analysis for management consulting. SRI Alumni Newsletter. SRI International. 2005.
- [132]. Likert, Rensis (1932). *Một kỹ thuật để đo lường thái độ. Lưu trữ Tâm lý học*: 1-55.

- [133]. Ihaka, R., & Gentleman, R. (1996). *R: a language for data analysis and graphics*. Journal of computational and graphical statistics, 5(3), 299-314.
- [134]. Nguyen Van Tuan, (2014). *Data analysis with R*. Publishing House General TP. HCM. PP 145-148
- [135]. Hoàng, T. C., & Nguyễn, M. L. (2005). Phân tích dữ liệu nghiên cứu với SPSS.
- [136]. Schneider, A., Hommel, G., & Blettner, M. (2010). *Linear regression analysis: part 14 of a series on evaluation of scientific publications*. Deutsches Ärzteblatt International, 107(44), 776.
- [137]. Tripepi, G., Jager, K. J., Stel, V. S., Dekker, F. W., & Zoccali, C. (2011). *How to deal with continuous and dichotomic outcomes in epidemiological research: linear and logistic regression analyses*. Nephron Clinical Practice, 118(4), c399-c406.
- [138]. Jackson, S. L. (2012). Research methods and statistics: A critical thinking approach.
- [139]. Peers, I. (2006). Statistical analysis for education and psychology researchers: Tools for researchers in education and psychology. Routledge.
- [140]. Jolliffe, I. (2005). Principal component analysis. Encyclopedia of statistics in behavioral science.
- [141]. Tipping, M. E., & Bishop, C. M. (1999). *Probabilistic principal component analysis*. Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, 61(3), 611-622.
- [142]. Greenacre, M., Groenen, P. J., Hastie, T., d'Enza, A. I., Markos, A., & Tuzhilina, E. (2022). *Principal component analysis*. Nature Reviews Methods Primers, 2(1), 100.
- [143]. Driver, H. E., & Kroeber, A. L. (1932). Quantitative expression of cultural relationships (Vol. 31, No. 4). Berkeley: University of California Press.
- [144]. Zubin, J. (1938). *A technique for measuring like-mindedness*. The Journal of Abnormal and Social Psychology, 33(4), 508.
- [145]. Wang, Z., Chen, M., Zhang, L., Wang, K., Yu, X., Zheng, Z., & Zheng, R. (2018). *Sorption behaviors of phenanthrene on the microplastics identified in a mariculture farm in Xiangshan Bay, southeastern China*. Science of the Total Environment, 628, 1617-1626.
- [146]. Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Kelly, F. J., Dominguez, A. O., & Jaafarzadeh, N. (2019). *Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran*. Environmental pollution, 244, 153-164.

- [147]. Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., & Li, D. (2019). *Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai*. Science of the total environment, 675, 462-471.
- [148]. Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, C. R. (2011). *Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast*. Marine pollution bulletin, 62(10), 2199-2204.
- [149]. IFC & World Bank Group (2021). Nghiên cứu thị trường Việt Nam: tính tuần hoàn của nhựa cơ hội và rào cản. Link: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/7610d60f-eb79-4dca-9592-d1853048792b/Market+Study-Vietnam+Plastic+Circularity-Appendices.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nMRr8PX>
- [150]. IANFA, (2023). General price list of recycled plastic granules in April 2023. <https://ianfa.vn>

PHỤ LỤC 1. CÁC PHIẾU KHẢO SÁT

1. Phiếu khảo sát các hộ dân về thói quen sử dụng sản phẩm nhựa

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

Tp. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm 20

PHIẾU KHẢO SÁT NHANH VỀ THÓI QUEN SỬ DỤNG SẢN PHẨM NHỰA

Nhằm chương trình nghiên cứu giải pháp giảm thiểu vi nhựa và rác thải nhựa vào môi trường nước sông Sài Gòn – Đồng Nai, rất mong Anh/chị nhiệt tình đóng góp ý kiến.

Phần 1. Thông tin chung

1. Họ và tên:
2. Trình độ học vấn:
3. Nghề nghiệp:
4. Số lượng thành viên trong hộ gia đình:
5. Điện thoại: Email:
7. Địa chỉ:

Phần 2. Khảo sát thói quen sử dụng sản phẩm nhựa

8. Ông/Bà có thói quen như thế nào đối với các sản phẩm nhựa không còn dùng? (Đánh dấu (X) vào nội dung lựa chọn).

STT	Sản phẩm nhựa	Có	Không
2	Bỏ hoàn toàn như rác thải sinh hoạt		
3	Bán cho những người thu gom đồng nát, ve chai		
4	Tận dụng tái chế các sản phẩm khác cho gia đình		
5	Theo ý kiến và thói quen cá nhân, Ông/ Bà nhận thấy vòng đời sản phẩm nhựa trước khi trở thành rác thải có dài không?		

Ý kiến khác:

.....

.....

Chân thành cảm ơn!

2. Phiếu khảo sát tính khả thi của mô hình kinh tế tuần hoàn

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

Tp. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm 20

PHIẾU KHẢO SÁT Ý KIẾN CHUYÊN GIA

Nhằm mục đích giảm thiểu vi nhựa và rác thải nhựa vào môi trường nước sông Sài Gòn – Đồng Nai, giải pháp mô hình kinh tế tuần hoàn nhựa và các sản phẩm nhựa đã được đề xuất, rất mong Quý chuyên gia nhiệt tình đóng góp ý kiến về chương trình đào tạo hiện nay của Nhà trường.

Phần 1. Thông tin chung về cơ quan/tổ chức/cá nhân cung cấp thông tin

A. Thông tin chung về người cung cấp thông tin

1. Họ và tên:
2. Trình độ học vấn:
3. Nghề nghiệp:
4. Chức vụ (nếu có):
5. Điện thoại: Email:

B. Thông tin chung về doanh nghiệp/tổ chức

6. Tên đơn vị/tổ chức:
7. Địa chỉ:
8. Điện thoại: Email:

Phần 2. Đánh giá sự cần thiết về giải pháp giảm thiểu rác thải nhựa và vi nhựa

9. Ông/Bà đánh giá như thế nào về mức độ cần thiết về giải pháp giảm thiểu rác thải nhựa và vi nhựa? (Đánh dấu (X) vào mức độ lựa chọn).

Ghi chú:

* Mức độ cần thiết: 1. Không cần thiết – 2. Ít cần thiết - 3. Không rõ – 4. Cần thiết - 5. Rất cần thiết

STT	Giải pháp giảm thiểu rác thải nhựa và vi nhựa	Mức độ cần thiết				
		1	2	3	4	5
1	Chính sách và pháp luật					
2	Tham gia các Hiệp định, Hiệp ước quốc tế					
3	Đào tạo tuyên truyền					
4	Chính sách kinh tế tài chính					
5	Kỹ thuật công nghệ					
6	Mô hình kinh tế tuần hoàn ngành nhựa và sản phẩm nhựa					
7	Công nghệ tái chế rác thải nhựa					

Phần 3. Đánh giá tính khả thi của mô hình kinh tế tuần hoàn ngành nhựa và các sản phẩm nhựa

10. Ông/Bà đánh giá như thế nào về tính khả thi của mô hình kinh tế tuần hoàn ngành nhựa và các sản phẩm nhựa (Hình)? (Đánh dấu (X) vào mức độ lựa chọn).



*** Ghi chú:**

- Cho tiềm năng mạnh (Strength): cao nhất là 5 điểm, thấp nhất là 1 điểm
- Cho tiềm năng yếu (Weakness): điểm số cho yếu tố yếu nhất là điểm 5 (điểm âm).
- Về tiềm năng cơ hội (Opportunity): khả thi nhất nhận điểm tối đa 5, thấp nhất là 1 điểm
- Về khả năng đe dọa (Threat): điểm số cho yếu tố gây thách thức cao nhất là điểm 5 (điểm âm).

TT	Tính khả thi của mô hình kinh tế tuần hoàn ngành nhựa và các sản phẩm nhựa	Điểm				
		1	2	3	4	5
Điểm mạnh (Strength)						
1	Có thể vận chuyển ngay đến nhà máy sau khi thu gom nên giảm diện tích đất, không cần chôn lấp, tiết kiệm tài nguyên					
2	Giảm được nguy cơ rò rỉ khí thải, mùi hôi, nước rỉ rác, phát thải khí nhà kính					
3	Giảm tác động xấu tới môi trường sống của người dân					
4	Tái tạo nhiều sản phẩm phục vụ đời sống con người					
5	Giảm được chi phí phục vụ, ít nhập khẩu nguyên liệu nguyên sinh					
Điểm yếu (Weakness)						
1	Khó khăn về việc chọn địa điểm xây dựng phương án					
2	Chi phí đầu tư cơ bản và vận hành cao, cần nhiều nhân lực					
3	Diện tích nhà máy lớn, các máy móc dây chuyền sản xuất to					
4	Người dân phải phân loại rác tại nguồn					
5	Cơ chế chính sách chưa thu hút các nhà đầu tư					
6	Công nghệ nội tại còn khá lạc hậu					
7	Việc đầu tư vốn thay đổi công nghệ khó khăn, đặc biệt là doanh nghiệp vừa và nhỏ					

<i>Cơ hội (Opportunity)</i>						
1	Sự gia tăng nhu cầu về các sản phẩm					
2	Nguồn nguyên liệu đầu vào sẵn, rẻ					
3	Thị trường khả tiềm năng, phong phú, ít đối thủ cạnh tranh nước ngoài					
4	Chính sách ưu đãi của nhà nước					
<i>Thách thức (Threat)</i>						
1	Những thay đổi bất ngờ trong các quy định của pháp luật					
2	Khôi lượng nguyên vật liệu đầu vào có thể không ổn định					
3	Sự phụ thuộc vào công nghệ, hóa chất, thiết bị nhập khẩu từ nước ngoài					
4	Rủi ro trong tài chính và biến động của thị trường về mặt hàng nhựa					
5	Các sản phẩm từ nhựa tái chế không thể so sánh với các sản phẩm từ nguyên liệu mới					

9. Ngoài nội dung đã được liệt kê ở trên, theo Quý chuyên gia có nhận thấy cần có thêm các nội dung nào?

Điểm mạnh (Strength) cần bổ sung:

.....

.....

Điểm yếu (Weakness) cần bổ sung:

.....

.....

Cơ hội (Opportunity) cần bổ sung:

.....

.....

Thách thức (Threat) cần bổ sung:

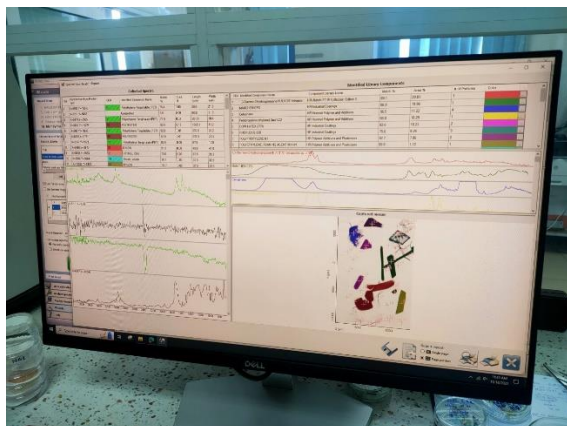
.....

.....

Chân thành cảm ơn!

PHỤ LỤC 2. HÌNH ẢNH THỰC HIỆN LUẬN ÁN

1. Một số hình ảnh tại phòng thí nghiệm



PL 1.1. Hệ thống máy FTIR-ATR (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)



PL 1.2. Phụ kiện kèm theo của FTIR-ATR (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)



PL 1.3. Khu vực chuẩn bị, tách chiết mẫu (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)



PL1.4. Khu vực thực hiện phân tích (*Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Nation Lab – IECES*)

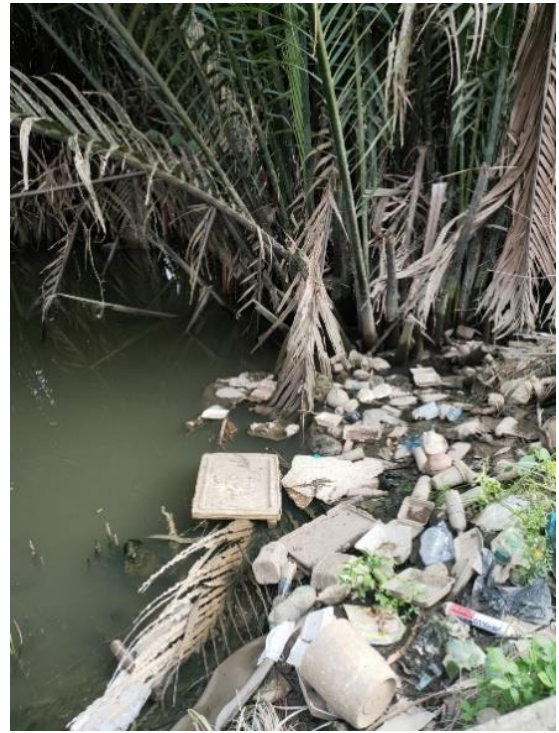


PL 1.5. Khu vực chuẩn bị mẫu và phân tích khối lượng (*Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Nation Lab – IECES*)

2. Một số hình ảnh về công tác thu mẫu và tiến hành thí nghiệm



PL 2.1. Lưới thu mẫu vi nhựa (*Ảnh chụp tại khu vực sông Sài Gòn*)



PL 2.2. Công tác lấy mẫu sông Đồng Nai (Ảnh chụp tại khu vực sông Đồng Nai)



PL 2.3. Thực hiện thuê thuyền thu mẫu (Ảnh chụp tại khu vực sông Đồng Nai và sông Sài Gòn)



PL 2.4. Công đoạn vận chuyển mẫu (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Nation Lab – IECES)

3. Một số hình ảnh tiến hành phá mẫu, tách chiết vi nhựa khỏi các hợp chất hữu cơ và khoáng vật



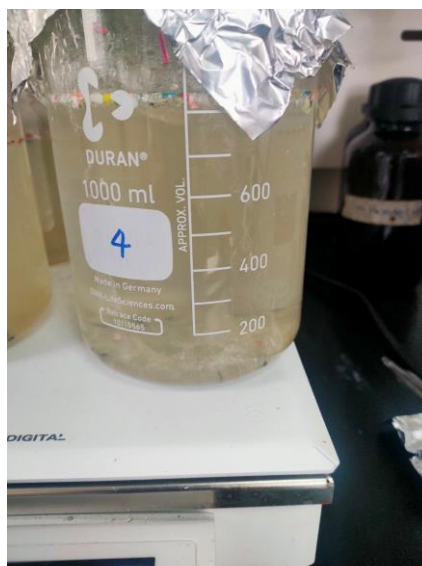
PL 3.1. Thực hiện pha ZnCl_2 (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Nation Lab – IECES)



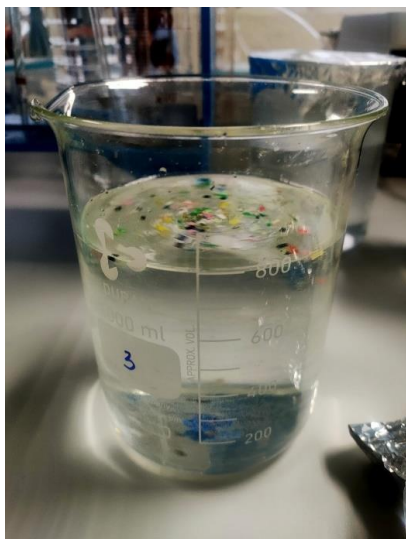
PL 3.2. Công đoạn rây và rửa mẫu (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)



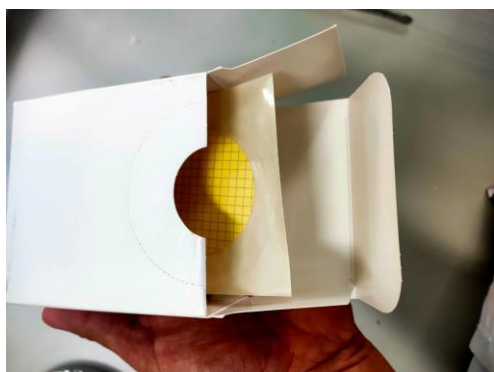
PL 3.3. Công đoạn oxy hóa để loại bỏ các chất hữu cơ (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)



PL 3.4. Giai đoạn dung dịch mẫu dần trở nên trong hơn, oxy hóa hoàn toàn các hợp chất hữu cơ (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)



PL 3.5. Giai đoạn cho dung dịch NaCl vào nhằm tách tỉ trọng, vì nhựa nổi trên bề mặt, khoáng vật và kim loại chìm xuống đáy cốc (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Nation Lab – IECES)



PL 3.6. Giai đoạn lọc chân không (Ảnh chụp tại phòng thí nghiệm Viện Công nghệ môi trường – Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)

4. Một số hình ảnh xác định số lượng, hình dạng và màu sắc, polyme vi nhựa trong các mẫu



PL 4.1. Vi nhựa được phát hiện trong mẫu nước với nhiều hình dạng và kích thước khác nhau



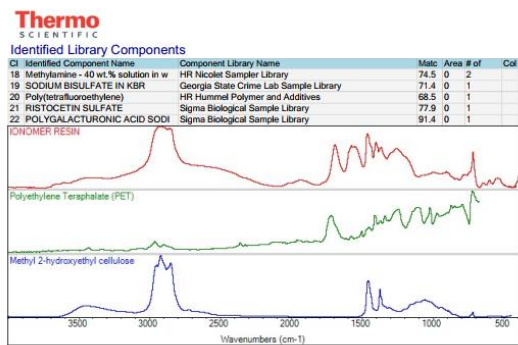
PL 4.2. Vi nhựa được phân loại màu sắc, hình dạng bằng nhíp



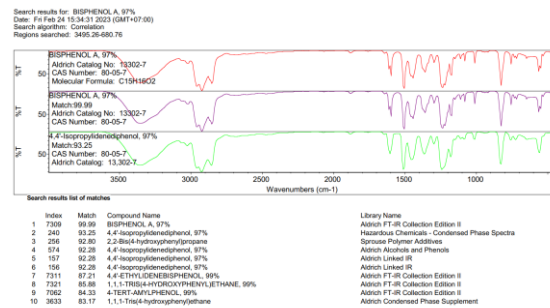
PL 4.3. Vi nhựa được phân loại theo kích thước



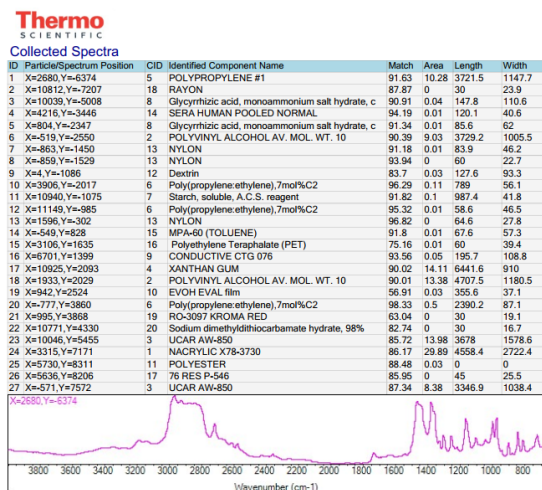
PI 4.4. Chuẩn bị gương vàng để soi vi nhựa bằng máy quang phổ FTIR



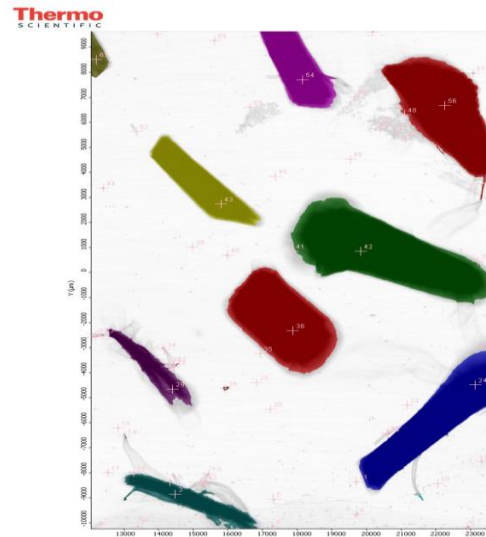
PL 4.5. Một số phổ polyme được phát hiện bởi máy FTIR kết hợp chụp ảnh



PL 4.6. Chất tổng hợp hữu cơ độc hại Bisphenol A được phát hiện trong mẫu vi nhựa



PL 4.7. Một số phổ polyme tại công tập trung nước thải (NMXLNT Nam Bình Dương) được phát hiện bởi máy FTIR kết hợp chụp ảnh



PL 4.8. Hình thái và màu giả lập của vi nhựa được xuất từ phần mềm kỹ thuật của máy FTIR kết hợp chụp ảnh

Số: 155/QĐ-HVKHCN

Hà Nội, ngày 26 tháng 3 năm 2025

QUYẾT ĐỊNH
Về việc thành lập Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện

GIÁM ĐỐC
HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

Căn cứ Quyết định số 364/QĐ-VHL ngày 01/3/2025 của Chủ tịch Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam về việc ban hành Quy chế Tổ chức và hoạt động của Học viện Khoa học và Công nghệ;

Căn cứ Thông tư số 08/2017/TT-BGDĐT ngày 04/4/2017 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc ban hành Quy chế Tuyển sinh và Đào tạo trình độ Tiến sĩ;

Căn cứ Quyết định số 1948/QĐ-HVKHCN ngày 28/12/2018 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc ban hành Quy định đào tạo trình độ tiến sĩ tại Học viện Khoa học và Công nghệ;

Căn cứ Quyết định số 1119/QĐ-HVKHCN ngày 10/8/2021 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc công nhận nghiên cứu sinh;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo.

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Thành lập Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện cho nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân với đề tài:

“Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn – Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu”.

Ngành: Kỹ thuật môi trường

Mã số: 9 52 03 20

Danh sách thành viên Hội đồng đánh giá luận án kèm theo Quyết định này.

Điều 2. Hội đồng có trách nhiệm đánh giá luận án tiến sĩ theo đúng quy chế hiện hành của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Học viện Khoa học và Công nghệ.

Quyết định có hiệu lực tối đa 90 ngày kể từ ngày ký và đảm bảo thời hạn đào tạo theo đúng quy định của Học viện. Hội đồng tự giải thể sau khi hoàn thành nhiệm vụ.

Điều 3. Trưởng phòng Tổ chức - Hành chính, Trưởng phòng Đào tạo, Trưởng phòng Kế toán, các thành viên có tên trong danh sách Hội đồng và nghiên cứu sinh có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này./.

Nơi nhận:

- Như Điều 3;
- Lưu hồ sơ NCS;
- Lưu: VT, ĐT. HK16.



GIÁM ĐỐC

TS. Vũ Đình Lâm



**DANH SÁCH HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ
CẤP HỌC VIỆN**

Kiểm theo Quyết định số 155/QĐ-HVKHCN ngày 26 / 3 /2025

Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ)

Chợ luận án của nghiên cứu sinh: Huỳnh Thị Ngọc Hân

Tên đề tài: “Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn – Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu”.

Ngành: Kỹ thuật môi trường

Mã số: 9 52 03 20

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Huỳnh Phú, Trường ĐH Công nghệ TPHCM.

Người hướng dẫn 2: GS.TS. Nguyễn Thị Huệ, Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm KHCNVN

TT	Họ và tên, học hàm, học vị	Chuyên ngành	Cơ quan công tác	Trách nhiệm trong Hội đồng
1	PGS.TS. Đỗ Văn Mạnh	Kỹ thuật môi trường	Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm KHCNVN	Chủ tịch
2	PGS.TS. Từ Bình Minh	Hóa học	Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội	Phản biện 1
3	PGS.TS. Lê Minh Cẩm	Hóa lý	Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, Bộ Giáo dục và Đào tạo	Phản biện 2
4	PGS.TS. Mai Hương	Hóa môi trường	Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm KHCNVN	Phản biện 3
5	TS. Dương Thị Hạnh	Kỹ thuật môi trường	Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm KHCNVN	Ủy viên- Thư ký
6	PGS.TS. Đỗ Thị Cẩm Vân	Kỹ thuật môi trường	Trường ĐH Công nghiệp Hà Nội, Bộ Công thương	Ủy viên
7	PGS.TS. Đỗ Văn Bình	Kỹ thuật môi trường	Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Bộ Giáo dục và Đào tạo	Ủy viên

Hội đồng gồm 07 thành viên./.

Hà Nội, ngày 12 tháng 6 năm 2025

**DANH SÁCH CHỮ KÝ THÀNH VIÊN HỘI ĐỒNG
BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ CẤP HỌC VIỆN**

Nghiên cứu sinh: Huỳnh Thị Ngọc Hân

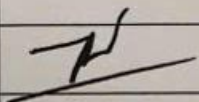
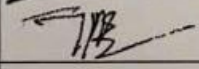
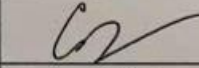
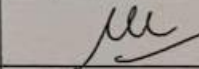
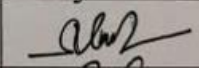
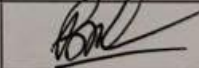
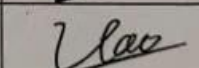
Tên đề tài: “Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn – Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu”.

Chuyên ngành: Kỹ thuật môi trường

Mã số: 9 52 03 20

Ngày bảo vệ: 12/6/2025

Số Quyết định thành lập Hội đồng: 155/QĐ-HVKHCN ngày 26/03/2025 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ.

Số TT	Họ và tên, học hàm, học vị	Chức danh trong Hội đồng	Chữ ký
1	PGS.TS. Đỗ Văn Mạnh	Chủ tịch	
2	PGS.TS. Từ Bình Minh	Phản biện 1	
3	PGS.TS. Lê Minh Cẩm	Phản biện 2	
4	PGS.TS. Mai Hương	Phản biện 3	
5	PGS.TS. Đỗ Thị Cẩm Vân	Ủy viên	
6	PGS.TS. Đỗ Văn Bình	Ủy viên	
7	TS. Dương Thị Hạnh	Thư ký	

Hà Nội, ngày 12 tháng 6 năm 2025

BIÊN BẢN HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ CẤP HỌC VIỆN

Nghiên cứu sinh: **Huỳnh Thị Ngọc Hân**

Tên luận án: **Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn - Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu.**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật môi trường** Mã số: 9520320

Người hướng dẫn khoa học: **PGS.TS. Huỳnh Phú và GS.TS. Nguyễn Thị Huệ**

Thời gian họp: **9h00, thứ Năm, ngày 12/6/2025**

Địa điểm: **Hội trường 1705, nhà A28, Học viện Khoa học và Công nghệ, số 18 đường Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội.**

NỘI DUNG

1. Từ 9 giờ 00 đến 9 giờ 15:

- Đại diện cơ sở đào tạo tuyên bố lý do, đọc Quyết định thành lập Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện. Đề nghị Chủ tịch Hội đồng điều khiển buổi họp.

- Chủ tịch Hội đồng điều khiển buổi họp:

+ Tuyên bố số thành viên Hội đồng có mặt: 07/07

+ Thư ký hội đồng đọc lý lịch khoa học và kết quả học tập của nghiên cứu sinh.

2. Từ 9 giờ 15 đến 9 giờ 45:

- Nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân trình bày nội dung luận án.

3. Từ 9 giờ 45 đến 11 giờ 00:

- PGS.TS. Từ Bình Minh - Phản biện 1 đọc nhận xét luận án và đặt câu hỏi (kèm theo toàn văn nhận xét).

- PGS.TS. Lê Minh Cẩm - Phản biện 2 đọc nhận xét luận án và đặt câu hỏi (kèm theo toàn văn nhận xét).

- PGS.TS. Mai Hương - Phản biện 3 đọc nhận xét luận án và đặt câu hỏi (kèm theo toàn văn nhận xét).

Các câu hỏi của phản biện và câu trả lời của nghiên cứu sinh: (ghi rõ họ tên, học vị, chức danh khoa học của người hỏi)

- **PGS.TS. Từ Bình Minh - Phản biện 1**

Câu 1: Đề tài cần so sánh kết quả nghiên cứu của mình với các nghiên cứu tương tự trong nước và trên thế giới?

- **PGS.TS. Lê Minh Cẩm - Phản biện 2**



Câu 2: Quy trình lấy mẫu được sử dụng trong luận án là quy trình đã được quy chuẩn hóa hay kế thừa từ các nghiên cứu đã được công bố?

- **PGS.TS. Mai Hương - Phản biện 3:**

Câu 3: Làm rõ tại sao trong nhiều phương pháp phân tích thành phần vi nhựa lại chọn phương pháp μ FTIR?

NCS. Huỳnh Thị Ngọc Hân trả lời các câu hỏi của phản biện:

Câu 1:

Đề tài đã so sánh mật độ vi nhựa trong nước mặt sông Sài Gòn – Đồng Nai và cho thấy mức ô nhiễm cao hơn nhiều nghiên cứu trước. Thành phần polymer và hình thái vi nhựa phù hợp với xu hướng chung toàn cầu, đặc biệt là dạng sợi chiếm ưu thế. Hiệu suất xử lý vi nhựa trong nước thải cũng tương đương với các nhà máy đô thị ở nhiều quốc gia.

Câu 2:

Quy trình lấy mẫu trong luận án được kế thừa từ phương pháp đã được quốc tế chuẩn hóa và công bố. Tuy nhiên, quy trình này đã được điều chỉnh linh hoạt để phù hợp với điều kiện thực tế tại hệ thống sông ngòi nội địa Việt Nam. Việc kết hợp nhiều công cụ lấy mẫu đảm bảo tính đại diện, khả thi và tuân thủ nguyên tắc phương pháp chuẩn.

Câu 3:

Phương pháp FTIR được lựa chọn vì có khả năng định danh chính xác loại polymer dựa trên phổ hấp thụ đặc trưng, với độ tin cậy cao, dữ liệu thư viện phổ lớn. FTIR cho phép phân tích không phá hủy, giữ nguyên hình dạng hạt vi nhựa và phù hợp với kích thước phổ biến trong môi trường. Ngoài ra, phương pháp này có chi phí hợp lý, dễ triển khai và được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu vi nhựa.

Câu hỏi khác của các ủy viên Hội đồng: Không

4. Từ 11 giờ 00 đến 11 giờ 15: Nghỉ giải lao

5. Từ 11 giờ 15 đến 11 giờ 40: Họp hội đồng riêng

- Thông qua kết luận của Hội đồng (có văn bản kèm theo).

- Ghi phiếu nhận xét luận án.

- Kết quả kiểm phiếu 07/07 thành viên tán thành và đề nghị Học viện ra quyết định công nhận học vị Tiến sĩ Kỹ thuật môi trường cho nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân.

6. Từ 11 giờ 40 đến 12 giờ 00

- Chủ tịch Hội đồng đọc kết luận của hội đồng đánh giá luận án:

+ Luận án có khối lượng nghiên cứu lớn, kết quả nghiên cứu phong phú, được trình bày rõ ràng, có độ tin cậy và đáp ứng được mục tiêu đặt ra của luận án. Kết quả nghiên cứu của luận án có ý nghĩa khoa học và thực tiễn lớn.

+ Luận án đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của một luận án Tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật môi trường, mã số 9 52 03 20.

+ Hội đồng thống nhất thông qua bản luận án tiến sĩ của Nghiên cứu sinh và đề nghị công nhận học vị Tiến sĩ Kỹ thuật môi trường cho nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân sau khi NCS chỉnh sửa và hoàn thiện luận án theo các ý kiến góp ý của các thành viên Hội đồng.

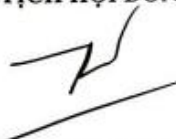
- Hội đồng kết thúc lúc 12 giờ 00 cùng ngày.

THƯ KÝ HỘI ĐỒNG



TS. Dương Thị Hạnh

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG



PGS.TS. Đỗ Văn Mạnh

XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO

**KT. GIÁM ĐỐC
PHÓ GIÁM ĐỐC**




Nguyễn Thị Trung



**BẢN GIẢI TRÌNH CHỈNH SỬA, BỔ SUNG LUẬN ÁN TIẾN SĨ
CẤP HỌC VIỆN**

Ngày 12 tháng 6 năm 2025, Học viện Khoa học và Công nghệ đã tổ chức đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện cho nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân theo Quyết định số 155/QĐ-HVKHCN ngày 26 tháng 3 năm 2025 của Giám đốc Học viện.

Đề tài: “Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn – Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu”.

Ngành: Kỹ thuật môi trường, Mã số: 9 52 03 20

Người hướng dẫn khoa học:

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Huỳnh Phú, trường ĐH Công nghệ TPHCM.

Người hướng dẫn 2: GS.TS. Nguyễn Thị Huệ, Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm KHCNVN.

Theo Biên bản của Hội đồng, NCS phải bổ sung và chỉnh sửa luận án các điểm sau đây:

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
1	Bổ sung nội dung nghiên cứu. Mục tiêu nghiên cứu cần ngắn gọn tập trung vào vấn đề nghiên cứu của luận án.	Luận án đã được bổ sung và điều chỉnh. (Trang số 2 – Phần mở đầu)
Chương 1		
2	Tổng quan điều chỉnh cho súc tích, mạch lạc, rõ ràng để làm nổi bật nội dung nghiên cứu.	Phần tổng quan đã được điều chỉnh súc tích, rõ ràng, mạch lạc. Làm nổi bật nội dung thực hiện của nghiên cứu. (Từ trang số 3 đến trang số 23 – Chương 1)
3	Bổ sung tổng quan về tình hình quản lý chất thải nhựa hiện nay tại Việt Nam và trên thế giới.	Nội dung tổng quan đã được điều chỉnh, bổ sung. (Từ trang số 3 đến trang số 5 – Chương 1)
Chương 2		
4	Cụ thể hơn về cơ sở, lý do lựa chọn đối tượng nghiên cứu và địa điểm nghiên cứu.	Luận án đã được điều chỉnh xác định rõ đối tượng nghiên cứu là vi nhựa trong nước sông và nước thải của sông Sài Gòn – Đồng Nai. (Từ trang số 24 đến trang số 25 – Chương 2) Cơ sở lựa chọn địa điểm lấy mẫu đã được xác định. (Bảng 2.1 trang số 27 và nội dung trang số 34 – Chương 2)
5	Làm rõ cách thức lựa chọn khu vực	Luận án đã được điều chỉnh bổ sung.

	thu mẫu, phương pháp thu thập và xử lý mẫu vi nhựa.	(Mục 2.3.2 và mục 2.3.3 – Chương 2)
6	Quy trình phân tích vi nhựa (tr. 42) nên cụ thể hóa được các điểm đã cải tiến trong quy trình phân tích từ quy trình phân tích của NOAA như thế nào?	Luận án đã được bổ sung nội dung cải tiến phương pháp phân tích của NOAA. (Từ trang số 47 đến trang số 48 – Chương 2)
7	Nên bổ sung thông tin ngắn gọn về QA/QC (Đảm bảo chất lượng/ Kiểm soát chất lượng) của việc phân tích vi nhựa và giá trị giới hạn phát hiện của phương pháp.	Luận án đã được điều chỉnh bổ sung. (Trang số 48 – Chương 2)
Chương 3		
8	Kết quả về tương quan, các Hình 3.4, 3.5, 3.7, 3.8 mô tả tóm tắt kết quả của các cặp tương quan.	Luận án đã được điều chỉnh bổ sung. (Trang số 62 và trang số 68 – Chương 3)
9	Nên luận giải, bình luận các kết quả nghiên cứu và so sánh với các nghiên cứu tương tự trước đây tại Việt Nam và trên thế giới.	Luận án đã được điều chỉnh bổ sung. (Trang số 107 – Chương 3)
10	Rà soát chỉnh sửa lại một số lỗi chính tả. Cần bổ sung độ lệch chuẩn cho các kết quả phân tích và các chú thích hình vẽ.	Độ lệch chuẩn, trung bình, trung vị đã được bổ sung đầy đủ trong các bảng số liệu về kết quả phân tích. Toàn bộ luận án đã được rà soát và điều chỉnh các lỗi chính tả, văn phong.
Phân kết luận		
11	Nên viết gọn lại cho cô đọng, tập trung vào các kết quả chính, điểm mới của luận án.	Phân kết luận của luận án đã được viết lại, cô đọng lại về kết quả nghiên cứu. (Mục Kết luận của luận án)

Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn Quý thầy, cô trong Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện đã góp ý và tạo cơ hội cho NCS hoàn thiện luận án của mình.

Xin trân trọng cảm ơn./.

Hà Nội, ngày 8 tháng 8 năm 2025

TẬP THỂ HƯỚNG DẪN

NGHIÊN CỨU SINH



PGS.TS. Huỳnh Phú GS.TS. Nguyễn Thị Huệ



Huỳnh Thị Ngọc Hân

XÁC NHẬN CỦA HỌC VIỆN
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG



Nguyễn Thị Trung

Hà Nội, ngày 12 tháng 6 năm 2025

**QUYẾT NGHỊ
CỦA HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ CẤP HỌC VIỆN**

Họ và tên NCS: Huỳnh Thị Ngọc Hân

Tên đề tài luận án: Nghiên cứu sự hiện diện và mức độ nhiễm vi nhựa trong các nguồn nước thải, nước sông Sài Gòn - Đồng Nai và đề xuất giải pháp giảm thiểu.

Chuyên ngành: Kỹ thuật môi trường

Mã số: 9 52 03 20

Người hướng dẫn: PGS. TS. Huỳnh Phú và GS. TS. Nguyễn Thị Huệ

Số thành viên Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện có mặt: 07 /07

Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện của NCS. Huỳnh Thị Ngọc Hân đã họp từ 9 giờ 00 phút ngày 12/6/2025 tại Học viện Khoa học và Công nghệ, số 18 đường Hoàng Quốc Việt - Cầu Giấy - Hà Nội.

Sau khi nghe nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân trình bày nội dung luận án trong thời gian 30 phút, Hội đồng đã nghe các phản biện và thành viên khác trong Hội đồng phát biểu, đọc nhận xét luận án và đặt câu hỏi. Hội đồng đã tiến hành thảo luận chung tại Hội trường, sau đó Hội đồng đã họp riêng và nhất trí quyết nghị như sau:

1. Kết quả bỏ phiếu đánh giá luận án của Hội đồng:

- Số phiếu tán thành là 07/07
- Số phiếu xuất sắc là 03/07

2. Những kết luận khoa học cơ bản, những điểm mới, đóng góp mới của luận án

- Tên luận án và tóm tắt luận án có nội dung phù hợp với chuyên ngành Kỹ thuật môi trường, mã số 9 52 03 20. Bản tóm tắt luận án phản ánh đầy đủ và trung thực nội dung của luận án.
- Nội dung cũng như các kết quả trình bày trong luận án là mới, không trùng lặp với nội dung và các kết quả của các luận án tiến sĩ đã bảo vệ trước. Các trích dẫn trong luận án là trung thực, đầy đủ và cập nhật.
- Luận án có đóng góp mới:
 - + Đã xác định được mật độ (vi nhựa/m³), đồng thời làm rõ xu hướng biến đổi về mật độ, kích thước, hình dạng và màu sắc của vi nhựa trong các mẫu nước sông Sài Gòn và sông Đồng Nai theo mùa và theo chu kỳ thủy triều trong 2 năm 2021 và 2022.



Handwritten signature

+ Luận án đã đánh giá được hiệu quả loại bỏ vi nhựa trong các công đoạn xử lý nước thải hiện nay, từ đó phân tích và lập luận rõ ràng cơ chế loại bỏ vi nhựa ra khỏi dòng nước thải thông qua các quy trình xử lý đang được áp dụng.

+ Đã xác định được mật độ vi nhựa (mg/L), thành phần polymer của vi nhựa trong mẫu nước thải tại các vị trí khác nhau trong 06 trạm xử lý nước thải trong 2 năm 2021 và 2022.

+ Đã đề xuất sơ bộ được các giải pháp quản lý, kỹ thuật trong quản lý và giảm thiểu phát sinh chất thải nhựa, giải pháp cải tiến công nghệ để tăng cường hiệu quả xử lý vi nhựa trong nước thải. Các đề xuất có cơ sở khoa học và khả thi trong thực tiễn, phù hợp với điều kiện địa phương.

3. Cơ sở khoa học, độ tin cậy của những luận điểm và những kết luận nêu trong luận án

- Luận án đã sơ đồ hóa trình tự các bước thực hiện nghiên cứu tương đối mạch lạc, rõ ràng. Các phương pháp thực nghiệm, bố trí thí nghiệm phù hợp với nội dung nghiên cứu của luận án được mô tả chi tiết và cụ thể như: phương pháp kế thừa và tổng hợp tài liệu chuyên ngành; phương pháp điều tra, khảo sát thực địa và lấy mẫu với các cải tiến phù hợp điều kiện nghiên cứu; phương pháp phân tích vi nhựa trong phòng thí nghiệm được cải tiến nhằm tăng độ chính xác và hiệu quả; phương pháp định danh vi nhựa bằng thiết bị quang phổ FTIR-ATR với độ nhạy cao và khả năng xác định chính xác các thành phần vi nhựa.

- Ngoài ra, luận án đã vận dụng hiệu quả các phương pháp phân tích dữ liệu hiện đại như: phân tích SWOT, hồi quy tuyến tính phân tích đa biến, phân tích tương quan đa biến, phân tích thành phần chính (PCA), và phân tích cụm (Clustering). Các phương pháp này được tích hợp và xử lý trên nền tảng ngôn ngữ lập trình R – một công cụ phân tích thống kê mạnh, góp phần nâng cao tính khách quan, độ chính xác và khả năng khai thác sâu dữ liệu nghiên cứu.

- Luận án được thực hiện bài bản, công phu, bố cục cân đối, logic. Các kết luận và luận điểm nêu ra trong luận án có cơ sở khoa học và độ tin cậy cao.

4. Những ưu điểm của luận án (ý nghĩa về lý luận, thực tiễn và những đề nghị sử dụng các kết quả nghiên cứu của luận án)

- Luận án đã đạt được mục tiêu nghiên cứu đề ra, cụ thể:

- Nội dung nghiên cứu bám sát mục tiêu đề ra, có chiều sâu khoa học và đóng góp thiết thực vào thực tiễn.

- Luận án được thực hiện bài bản, thể hiện tính logic và tư duy nghiên cứu mạch lạc. Kết cấu chương mục của luận án được sắp xếp hợp lý, đảm bảo tính kế thừa và liên kết giữa các phần trong luận án.

- Các bảng biểu, hình ảnh minh họa được sử dụng hợp lý, góp phần hỗ trợ việc trình bày kết quả nghiên cứu một cách trực quan và dễ hiểu. Ngôn ngữ trình bày khoa học, súc tích, rõ ràng. Luận án đáp ứng yêu cầu về nội dung và hình thức của luận án tiến sĩ theo qui định hiện hành.

5. Những thiếu sót về nội dung và hình thức cần bổ sung, sửa chữa của luận án

- Bổ sung phạm vi nghiên cứu. Mục tiêu nghiên cứu cần ngắn gọn tập trung vào vấn đề nghiên cứu của luận án.

Chương 1:

- Tổng quan lan man, cần viết lại làm nổi bật tính cấp thiết của luận án.
- Làm rõ cơ sở lựa chọn đối tượng nghiên cứu là vi nhựa, cơ sở lựa chọn địa điểm nghiên cứu.
- Bổ sung tổng quan về tình hình quản lý chất thải nhựa hiện nay tại Việt Nam và trên thế giới.

Chương 2:

- Nên làm rõ thông số kỹ thuật, chỉ tiêu chất lượng, xuất xứ và mục đích sử dụng cho các hóa chất, thiết bị được liệt kê.
- Làm rõ cách thức lựa chọn khu vực thu mẫu, phương pháp thu thập và xử lý mẫu vi nhựa.
- Quy trình phân tích vi nhựa (tr.42) nên cụ thể hóa được các điểm đã cải tiến trong quy trình phân tích từ quy trình phân tích của NOAA như thế nào?

Chương 3:

- Phần kết quả nên bổ sung thông tin ngắn gọn về QA/QC của việc phân tích vi nhựa và giá trị giới hạn phát hiện của phương pháp.
- Kết quả về tương quan, các Hình 3.4, 3.5, 3.7, 3.8. Có thể mô tả tóm tắt kết quả của các cặp tương quan (giá trị r , r^2 , p), các kết quả cụ thể xuất ra từ phần mềm SPSS có thể đưa vào phần phụ lục.
- Nên tăng luận giải, bình luận các kết quả nghiên cứu và so sánh với các nghiên cứu tương tự trước đây tại Việt nam và thế giới.
- Rà soát chỉnh sửa lại một số lỗi chính tả, thuật ngữ chuyên ngành và viết hoa thuật ngữ. Cần bổ sung độ lệch chuẩn hoặc sai số chuẩn cho các kết quả phân tích và chuẩn hóa chữ số có nghĩa trong biểu diễn số liệu của luận án. Hiệu chỉnh lại các hình cho rõ nét và chuẩn hóa chú thích của các hình vẽ.
- Phần kết luận: Nên viết gọn lại cho cô đọng, tập trung vào các kết quả chính, điểm mới của luận án.

6. Kết luận và kiến nghị của Hội đồng về việc công nhận trình độ và cấp bằng tiến sĩ cho nghiên cứu sinh

- Luận án có khối lượng nghiên cứu lớn, kết quả nghiên cứu phong phú, được trình bày rõ ràng, có độ tin cậy và đáp ứng được mục tiêu đặt ra của luận án. Kết quả nghiên cứu của luận án có ý nghĩa khoa học và có tiềm năng ứng dụng vào thực tiễn.
- Các nội dung nghiên cứu của luận án được công bố trên các Tạp chí KHCN trong nước, cụ thể 06 bài báo khoa học được đăng trên Tạp chí Khí tượng thủy văn, 01 công bố trên Tạp chí Môi trường và 05 công bố thuộc kỷ yếu Hội thảo khoa học chuyên ngành trong nước và quốc tế. Các công trình công bố gắn với kết quả của luận án, có giá trị khoa học và phản ánh tính mới và ý nghĩa khoa học của các kết quả nghiên cứu của luận án.
- Luận án đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của một luận án Tiến sĩ chuyên ngành Kỹ thuật môi trường, mã số 9 52 03 20.
- Bản tóm tắt của luận án trung thực với nội dung cơ bản của luận án.

- Nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân xứng đáng nhận học vị Tiến sĩ Kỹ thuật môi trường.

Căn cứ kết quả bỏ phiếu, Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện nhất trí đề nghị công nhận học vị Tiến sĩ Kỹ thuật môi trường cho nghiên cứu sinh Huỳnh Thị Ngọc Hân.

Cuộc họp kết thúc vào 12:00 cùng ngày.

THƯ KÝ HỘI ĐỒNG



TS. Dương Thị Hạnh

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG



PGS.TS. Đỗ Văn Mạnh

XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO

**KT. GIÁM ĐỐC
PHÓ GIÁM ĐỐC**




Nguyễn Thị Trung