ميكروبيولوجيا المياه

الجزء النظري

السـنة: الرابعة

القسـم: علم الحياة النباتيّة

الاختصاص: الأحياء الدقيقة

منشورات جامعة دمشق
كليـــة العلـــوم

ميكروبيولوجيا المياه

الجزء النظري

(الطبعة الثالثة، مزيدة ومنقحة)

الدكتور عدنان أحمد علي نظام

أستاذ في قسم علم الحياة النباتية

جامعة دمشق

١٤٣٨ – ١٤٣٩ هـ

2017 – 2018 م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المحتوى

الصفحة

المقدَّمة 13

الفصل الأول. مدخل إلى ميكروبيولوجيا المياه 17
Introduction to Aquatic Microbiology

أولاً. موجز تاريخ الميكروبيولوجيا A Brief History of Microbiology 19

1. الجذور التاريخية للميكروبيولوجيا 19
2. الدور الوظيفي للميكروبيولوجيا 20
3. الدور التقاني للميكروبيولوجيا 21
4. مكانة الأحياء الدقيقة في المحيط الحيوي 22

ثانياً. نشوء ميكروبيولوجيا المياه وتطورها 28
Origin and Development of Aquatic Microbiology

1. الأعوام المبكرة 28
2. حركيات الشبكة الغذائية 32
3. العمليات في الرسوبات 32
4. استكشاف أبعاد المحيط الحيوي 33

ثالثاً. مجالات ميكروبيولوجيا المياه Scopes of Aquatic Microbiology 33

1. ارتباط ميكروبيولوجيا المياه بالعلوم الأخرى 33
2. التطبيقات في التنمية 35
3. تصنيف الأحياء الدقيقة واستكشاف أنواع جديدة 36
4. لمحة عن ميكروبيولوجيا المياه في سورية 36

رابعاً. نشوء الحياة في المياه Origin of the Life in the Water 37

1. الجو الأصلي 37
2. التطور الكيميائي سابق الحياة 38
3. الخلية البدائية 41
4. التطور الأحيائي 43

الفصل الثاني. الخصائص العامة للمياه الطبيعية 45
General Characteristics of Natural Waters

أولاً. بنية الماء وتركيبه الكيميائي 47
Structure and Composition of Water

1. البنية الداخلية لجزيئة الماء 47
2. بنية الماء السائل 47

3. نظائر الماء 48
4. الماء النقي 49
ثانياً. الخواص الفيزيائية للمياه Physical Properties of Water **50**
1. درجة الحرارة 50
2. الكثافة 3. اللزوجة 52
4. العكارة 53
5. الناقلية الكهربائية 56
6. كمون الأكسدة والإرجاع 57
7. الطعم والرائحة واللون 57
8. الجريان والحركة 58
9. الضغط 58
10. التوتر السطحي 58
11. النشاط الإشعاعي 58
12. الانضغاط 58
ثالثاً. الخواص الكيميائية للمياه Chemical Properties of Water **59**
1. تفكك الماء 2. الشوارد الكيميائية 59
3. القساوة 4. الملوحة 61
5. الرقم الهدروجيني pH 62
6. الحموضة والقلوية 7. الغازات المنحلة 62
8. المواد العضوية 9. الأملاح المغذية 63
10. تفاعل الماء 64
رابعاً. الخواص الحيوية للمياه Biological Properties of Water **65**
1. الأحياء الدقيقة مكونات أساسية في المياه 65
2. فوائد الأحياء الدقيقة في المياه وأضرارها 65
3. الإمراضية والوبائية 66
4. القدرة على التخريب 66
الفصل الثالث. تصنيف الأحياء في البيئة المائية **69**
Classification of Aquatic Environments Organisms
أولاً. الدورة المائية الشاملة The Global Water Cycle **71**
1. الوجود في المياه 71
2. دور المحيط العالمي 73
3. الدورة المائية 75
4. دور الإنسان 76
ثانياً. النظم البيئية المائية The Aquatic Ecosystems **77**
ثالثاً. تنوّع الأحياء الدقيقة Biodiversity Microorganisms **79**
1. مجالات الحياة 79
2. تكوين الكتلة الحيوية وانتقالها 79

3. العلاقات الغذائية 80
4. بنية مجتمعات الأحياء الدقيقة 81

رابعاً. التصنيف البيئي للأحياء المائية 82
Ecological Classification of Aquatic Organisms
1. صفوف المواطئ البيئية 82
2. صفوف الموائل 83
3. صفوف المنشأ 85
4. صفوف مجال التحمل 85

الفصل الرابع. نشاطات الأحياء الدقيقة في البيئات المائية 89
Activities of Aquatic Environments Microorganisms

أولاً. الامتصاص والتفكك الحيوي 91
Uptake and Biological Decomposition
1. امتصاص الكربون وإفرازه 91
2. الأكسدة الحيوية للمواد العضوية 92
3. امتصاص الغُذَيَّات وتدويرها 94
4. الجراثيم غيرية الاغتذاء 97

ثانياً. التآثرات بين الأحياء الدقيقة 99
Interactions between Microorganisms
1. التنافس على الضوء والكربون 99
2. التنافس على الغُذَيَّات اللاعضوية 100
3. التضادّ والتنشيط والمنافسة 102
4. تآثرات الفيروسات والفطريات وغيرها 102

ثالثاً. الإنتاجية الحيوية Biological Productivity 103
1. مستويات السلسلة الغذائية 103
2. أنماط الإنتاجية 104
3. قياس الإنتاجية الحيوية 107
4. العوامل المؤثرة في الإنتاجية الأولية 112

رابعاً. المظاهر الحيوية لنموات الأحياء الدقيقة 114
Biological features of Microorganisms Growths
1. التغيرات الدورية 114
2. النموات السطحية والقاعية 115
3. الوَمضان الحيوي 116
4. تكوين الحجر الجيري وأرض المشطورات 117

الفصل الخامس. ميكروبيولوجيا البحيرات 121
Microbiology of Lakes

أولاً. ميزات البحيرات ومشكلات تصنيفها 123

Features and Problems of Lakes Classification
123 1. الميزات العامة للبحيرات 2. مصير البحيرات
124 3. الأراضي الرطبة
124 4. مشكلات تصنيف البحيرات
131 **ثانياً. تصنيف البحيرات وفقاً لحالة الاغتذاء**
Lake Classification According to Trophic Status
131 1. البحيرات قليلة الاغتذاء
133 2. البحيرات معتدلة الاغتذاء
133 3. البحيرات جيدة الاغتذاء
135 4. البحيرات الهرمة
137 **ثالثاً. توزُّع الأحياء الدقيقة في البحيرات**
Distribution of Microorganisms in Lakes
137 1. أسلوب انتشار الأحياء الدقيقة في البحيرات
137 2. توزُّع الأحياء الدقيقة في البحيرات
141 3. توزُّع الأحياء الدقيقة في رسوبات البحيرات
141 4. ميزات البحيرات المعتدلة
145 **رابعاً. تنوّع الأحياء الدقيقة في البحيرات**
Diversity of Microorganisms in Lakes
145 1. أنواع الأحياء الدقيقة في مياه البحيرات
149 2. تنوُّع الأحياء الدقيقة في رسوبات البحيرات
150 3. تنوّع الأحياء الدقيقة في البحيرات المالحة
151 4. المظاهر النوعية في البحيرات
159 **الفصل السادس. ميكروبيولوجيا الجداول والأنهار**
Microbiology of Streams and Rivers
161 **أولاً. طبيعة توزع الأحياء الدقيقة في الأنهار**
Distribution Status of Microorganisms in Rivers
161 1. النظم الجارية
165 2. النظم الراكدة
167 3. نقل المواد
169 4. المجتمعات القاعية في الأنهار
171 **ثانياً. تنوع الأحياء الدقيقة في الأنهار**
Diversity of Microorganisms in Rivers
171 1. أنواع الجراثيم في الينابيع والأنهار
172 2. أنواع الطحالب في الينابيع والأنهار
174 3. أنواع الفطريات في الأنهار
182 4. طبيعة توزع الأحياء الدقيقة في الأنهار
186 **ثالثاً. الظروف غير الملائمة في الأنهار** Adverse Conditions in Rivers

189 رابعاً. البيئات المفرطة في الأنهار Extreme Conditions in Rivers
189 1. البيئات المالحة 2. البيئات الجليدية والثجلية
190 3. التلوث العضوي واللاعضوي
193 4. المنطقة الميتة

201 الفصل السابع. ميكروبيولوجيا البحار
Marine Microbiology

203 أولاً. التوزع الجغرافي للأحياء الدقيقة في البحار
Geographic Distribution of Microorganisms in Marines
205 1. التوزع الأفقي للأحياء الدقيقة في البحار
206 2. التوزع الشاقولي للأحياء الدقيقة في البحار
210 3. التغيرات الدورية للأحياء الدقيقة في المياه البحرية
212 4. المعدنة والشبكة الغذائية في المياه البحرية

213 ثانياً. تنوّع الأحياء الدقيقة في البحار
Diversity of Microorganisms in Marines
213 1. الجراثيم
216 2. الطحالب
217 3. الفيروسات
218 4. الفطريات

218 ثالثاً. ميكروبيولوجيا البيئات غير الملائمة والمفرطة
Microbiology of Adverse and Extreme environments
218 1. المنافس الحارّة في أعماق البحر
222 2. البيئات الباردة والمتجمدة 3. جراثيم الرسوبات القاعية
223 4. الجراثيم التحتأرضيّة العميقة

227 رابعاً. المصبَّات Estuaries
229 1. تدفق النهر في المصب
230 2. المنطقة البحرية المفتوحة
231 3. غربلة المجتمعات
232 4. الرسوبات والمسطحات الطينية

235 الفصل الثامن. ميكروبيولوجيا المياه الجوفية
Groundwater Microbiology

237 أولاً. الترشيح والصخور الخازنة للمياه Filtration and Aquifers
237 1. الارتشاح
240 2. الصخور الخازنة للمياه
241 3. جريان المياه الجوفية 4. عمر المياه

242 ثانياً. خواص المياه الجوفية Properties of Groundwater

1. الانضغاط 2. النشاط الإشعاعي 242
3. التركيب الكيميائي للمياه الجوفية 4. العوامل المكونة للتركيب الكيميائي 242
ثالثاً. المياه المعدنية Mineral Waters 243
رابعاً. تنوّع الجراثيم في المياه الجوفية 244
Diversity of Bacteria in Groundwater
1. طبيعة توزع الأحياء الدقيقة في المياه الجوفية 244
2. الجراثيم النوعية في المياه الجوفية 246
3. الأعفان في مياه الآبار 250
4. الأحياء الدقيقة المسببة للأوحال الحيوية والتآكل 251
الفصل التاسع. ميكروبيولوجيا تلوث المياه 257
Water Pollution Microbiology
أولاً. الملوثات ومصادر تلوث المياه 259
Pollutants and Resources of Water Pollution
1. المعايير الأولية والثانوية لتلوث المياه 260
2. أنماط الملوثات 261
3. مصادر الملوثات 267
4. المطر الحمضي والاحتباس الحراري 269
ثانياً. الملوثات العضوية واللاعضوية 270
Organic and Inorganic Pollutants
1. حركية الغُذيَّات ومتاحيتها 270
2. مركبات النتروجين في المياه 271
3. مواصفات التلوث العضوي والجرثومي 275
4. الإصحاح البيئي 278
ثالثاً. السموم الكيميائية Toxic Chemicals 286
1. المعادن الثقيلة 286
2. المبيدات والأسمدة 288
3. المنظفات 289
4. النِّفط 290
رابعاً. التلوث الإشعاعي والحراري 291
Radiological and hydrothermal Pollution
1. مصادر النظائر المشعة 2. أضرار التلوث الإشعاعي 291
3. مصادر التلوث الحراري 4. أضرار التلوث الحراري 291
الفصل العاشر. التنقية الطبيعية للمياه والإثراء الغذائي 297
Natural Water Purification and Eutrophication
أولاً. عمليات التفكك الحيوي في البيئات المائية 299

Biodegradation Processes in Aquatic Environments
1. التفكك الميكروبيولوجي في البحيرات والبرك 299
2. التفكك الميكروبيولوجي في البحيرات المستحدثة 300
3. التفكك الميكروبيولوجي في البحار 306
4. الجراثيم قليلة الاغتذاء في البيئة المائية 308

ثانياً. التنقية الذاتية الحيوية في المياه الطبيعية 322

Biological self-purification in Natural Waters
1. التنقية الذاتية الحيوية 322
2. التنقية الذاتية في الأنهار 323
3. التنقية الذاتية في البحيرات 323
4. المركبات السامة 324

ثالثاً. الإثراء الغذائي Eutrophication 325
1. الرقاقات الحيوية 325
2. الازدهار والمد 327
3. الإثراء الغذائي في بيئات المياه العذبة 332
4. التأثيرات البيئية والصحية للإثراء الغذائي 335

رابعاً. المُشْعِرات (الدالات) الحيوية Bioindicators 345
1. مفهوم الاستدلال الحيوي 345
2. المناطق المائية وفقاً لدرجة النظافة 348
3. دالات التنوع الحيوي 352
4. دالات التنوع النوعي 354

الفصل الحادي عشر. ميكروبيولوجيا مياه الشرب 365

Drinking Water Microbiology

أولاً. مصادر مياه الشرب وصونها 367

Resources and Conserve of Drinking Water
1. مصادر مياه الشرب 367
2. حماية مصادر الإمداد بالمياه 367
3. المياه المخزونة 368
4. صلاحية مياه الشرب 368

ثانياً. إنتاج مياه الشرب Drinking water production 370
1. التصفية والحد من الطعم والروائح 370
2. التخثير والترسيب
3. الترشيح 372
4. التطرية والتعقيم (التعقيم) 374

ثالثاً. اختبارات مياه الشرب Drinking Water Tests 379
1. الطرائق القياسية للاعتيان 379
2. التحليل الفيزيائي 3. التحليل الكيميائي 382

4. الصفات الحيوية 383

رابعاً. تحقُّق جودة المياه Water Quality Control **385**

1. مواصفات جودة مياه الشرب 385
2. ضبط الأخماج المنقولة بالمياه 395
3. المخاطر الكامنة في مياه الشرب 396
4. الأحياء المؤذية 401

الفصل الثاني عشر. ميكروبيولوجيا معالجة المخلفات السائلة 405

Microbiology Wastewater Treatment

أولاً. معالجة المخلفات السائلة المنزلية **407**

Municipal (Domestic) Wastewater Treatment

1. المعالجة التمهيدية 410
2. المعالجة الأولية 3. المعالجة الثانوية (الحيوية) 411
4. المعالجة المتقدمة 416

ثانياً. معالجة المخلفات السائلة الصناعية والزراعية **425**

Industrial and Agricultural Wastewater Treatment

1. التخثير 2. المعالجة الحيوية 425
3. إزالة السمية 426
4. تفكيك المواد الغريبة 527

ثالثاً. المخاطر الصحية لتدبير المخلفات وإعادة استعمالها **427**

Health Risks of Wastes Reuse

1. أوجه الصحة العامة لتدبير المخلفات السائلة والصلبة الحيوية 428
2. معالجة الحمأة 430
3. استعمال الحمأة في الأراضي 433
4. الانتفاش والرغو في محطات الحمأة المنشطة 435

رابعاً. المواصفات القياسية للمخلفات السائلة المعالجة **435**

Standards of Wastewater Treatment

1. معايير صرف المخلفات السائلة المنزلية في المياه السطحية 435
2. معايير صرف المخلفات السائلة المنزلية في شبكة الصرف 436
3. المعايير النوعية للمخلفات السائلة المنزلية المعاد استعمالها في الري 437
4. معايير صرف المخلفات السائلة الصناعية 448

قائمة المصطلحات **453**

قائمة الأحياء **467**

المقدمة

نحاول في هذا الكتاب أن نعرض المسائل المختلفة التي تُعنى بالأحياء الدقيقة المنتشرة والمميزة بدور مهم في البيئة المائية، إضافة إلى التعريف بخواص المياه ومعالجتها، وأنماط ملوثات المياه وانتشارها وأخطارها وطرائق التخلص منها، ونناقش باختصار تاريخ هذ العلم، ونوضح المصطلحات والمكونات الراسخة والجديدة؛ ما يسمح بالحصول على معلومات كافية في موضوعات البحث، ويحدُّ من الأخطاء العامة التي يمكن أن يقع فيها العاملون والاختصاصيون بالأحياء والمياه والبيئة والمهندسون الكيميائيون والمهندسون البيئيون عندما يتعاملون مع البيئة المائية، وقد اقتضى التعريف بالنشاطات الميكروبيولوجية والتنقية الذاتية وعناصر المعالجة الحيوية والازدهار مع بعض التعمق.

ونتوقف على موضوعات التنوع الحيوي الذي يتحدد بالعمليات الطبيعية، وعلى نحو متزايد، بتأثير الإنسان، ونكشف عن تغيراته نتيجة التطور عبر التاريخ، فالأحياء الدقيقة تكوّن شبكة الحياة التي نحن جزء لا ينفصل عنها، إذ إن "الأحياء الدقيقة تحقق أقصى ما يمكن من التأثير في الحياة على الأرض" فهي تعيش على كوكب الأرض منذ أكثر من ثلاثة بلايين عام (ظهر النوع البشري منذ نحو 1.8 – 2 مليون عام)، وقدرتها على التكيف مع بيئات عديدة، لماذا؟ لأنها تحتفظ بجوانب عديدة تعكس القدرة الهائلة للاستقلاب؛ ما يكفل دورها الأساسي في العمليات الحيوية الكيميائية، مثل: دورات الكربون والنتروجين (النظام البيئي البري والمائي) ووجود المنتِجات والمستهلكات، في الشبكات الغذائية، والأحياء الدقيقة في النظم البيئية الطبيعية تلقى اهتماماً قليلاً في الوقت نفسه، فهي مجهولة إلى حد كبير في هذه المجالات وغير معروفة للجمهور عملياً ما عدا بعض المُمرضات ومسائل أصغر أخرى.

تقوم وظيفة الغلاف الحيوي تماماً على نشاطات عالَم الأحياء الدقيقة، فنحن نعيش بالفعل على "كوكب الأحياء الدقيقة"، وفي الوقت نفسه يكون التعريف بأهميتها في العمليات المهمة المفيدة والضارة والتنوع الحيوي وتدهوره أمراً مهماً.

إن النظم المائية المختلفة، مثل: المحيط العالمي والبحيرات والأنهار والينابيع والبرك والمياه الجوفية موائل لوجود الأحياء الدقيقة والحياة على الأرض، حتى إن مُمثلات الأحياء الدقيقة توجد حيث لا يوجد أي حيّ آخر، في المياه الحارّة والباردة والمتجمّدة، وفي المياه الجوفية، وفي الأعماق تحت الضغط، وفي جيوب صغيرة بعيداً عن الإشعاع الشمسي وأسباب الحياة المعروفة تحت قاع البحر، وهي تعمل على تكوين المادة الحية الجديدة، وتنقل المكوِّنات وهي المحرِّك القويّ في مسارات الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية والجزء الأساسي من الشبكات الغذائية التي تترك بصمتها في المناخ وتدوير العناصر والغُذيَّات للأحياء الأخرى.

وهكذا، كانت موضوعات المقرر التي تهدف إلى تحقيق الآتي:

- ✓ الاطلاع على التنوع الهائل للأحياء الدقيقة في الموائل المائية المختلفة، وتحديد أدوارها وفهم سلوكيتها.
- ✓ تزويد المتعلم بمهارات في البحث عن الغنى النوعي ودراسته ومعرفة أسباب اختلاله، وكذلك تنفيذ الإجراءات العملية في دراسة التنوع الحيوي في المياه وتلوثها وازدهارها والمشكلات التي تظهر أو يمكن أن تظهر فيها والمخاطر التي تجلبها والعمل على معالجة المشكلات الموافقة ولاسيما في مجالات التلوث ومياه الشرب والصرف المنزلي.

أما المخرجات التعليمية فيمكن اختصارها بالمعرفة الأساسية الآتية:

- فهم ميكروبيولوجيا التزويد بالمياه واستعمالات المخلفات السائلة في الأغراض المختلفة، ولاسيما الري.
- شرح معالجة مياه الصرف المنزلي من خلال المعالجة التمهيدية والأولية والثانوية والثالثية.
- تصنيف الأحياء الدقيقة على أساس العوامل البيئية السائدة في موائل المياه العذبة والمياه البحرية والمياه الجوفية – الألفة للحر والألفة للملوحة والألفة للقلوية والحموضة والألفة للضغط.

المهارات

◊ عزل، وتوصيف وتعريف الأحياء الدقيقة المرتبطة بموائل المياه العذبة والبحرية وبالحياة والأنشطة الصناعية.

◊ تعريف الأحياء الدقيقة التي ترتبط مع المياه الطبيعية، مثل: البرك والينابيع الحارة والساخنة والأنهار والبحار.

◊ اكتساب المعرفة العملية على أنماط المعالجة المناسبة للمخلفات السائلة في البيئة.

◊ تحديد المخاطر المحتملة والمشكلات التي يمكن أن تنشأ عن وجود الأحياء الدقيقة في المياه.

ويتضمن الكتاب اثني عشر فصلاً، كالآتي:

تتناول الفصول 1 – 4 **مدخلاً إلى ميكروبيولوجيا المياه**، و**الخصائص العامة للمياه الطبيعية**، و**تصنيف أحياء البيئة المائية**، و**نشاطات الأحياء الدقيقة ضمن البيئات المائية**، مع ذكر لمحة وجيزة عن تاريخ تطور ميكروبيولوجيا المياه، وتتناول الفصول 5 – 8 **ميكروبيولوجيا البحيرات**، و**ميكروبيولوجيا الجداول والأنهار**، و**ميكروبيولوجيا البحار**، و**ميكروبيولوجيا المياه الجوفية**.

أما في الفصول 9 – 12 فيجري الحديث عن **ميكروبيولوجيا تلوث المياه**، إضافة إلى شرح دور ميكروبيولوجيا المياه في التنمية: **التنقية الطبيعية والإثراء الغذائي**، و**ميكروبيولوجيا مياه الشرب** بما في ذلك المعالجة والمراقبة والمخاطر؛ من أجل تأمين مياه آمنة ومنع المخاطر المنتقلة بالمياه، وكذلك **ميكروبيولوجيا معالجة المخلفات السائلة** المنزلية والصناعية والزراعية ومخاطرها.

وُضع هذا الكتاب وفقاً لمنهاج مقرر ميكروبيولوجيا المياه لطلاب السنة الرابعة – فرع الأحياء الدقيقة في قسم علم الحياة النباتية من كلية العلوم، ولعله يحمل الفائدة أيضاً لطلاب الأقسام الأخرى والأساتذة والباحثين والمدرسين والمهتمين والعاملين في مجالات المياه والبيئة والأحياء الدقيقة وتطبيقاتها، وكُتب بلغة عربية صريحة، ويعد إضافة جديدة إلى المكتبة العربية، وهو في الأصل تعديل للكتاب الأساسي الذي نشر

في العام 2004، ولكم بذل المؤلف من الصبر والوقت في تأليف هذا الكتاب وتزويده بالأشكال المناسبة والجداول التوضيحية والصور والأمثلة العملية والتطبيقات المختلفة، بهدف تسهيل قبول المعلومات وترسيخها، وكذلك في استعمال المصطلح مقرناً المصطلحات العلمية باللغة الإنكليزية واللغة العربية في متن الكتاب، إضافة إلى قائمة المصطلحات في آخر الكتاب.

يحمل العمل في مجال ميكروبيولوجيا المياه المتعة والمخاطر، وتجمعُ الباحثين في هذا المجال خصلةُ الوفاء للمياه العذبة والبحر، وتتطلب الدراسةُ الخبرةَ والمعرفةَ والصبر، ولا بد من الاعتراف هنا بالفضل لجامعة دمشق في إصدار هذا الكتاب في طبعته الثالثة إلى النور، فقد نفدت نسَخُه مرتين، ففي هذه الطبعة المنقحة والمزيدة أُضيفت تعديلات واسعة مع تعديل شامل وعميق للقسم الأساسي بعد الأخذ في الحسبان التطورات الكبيرة في هذا المجال والجديد ومحاولة الإجابة عن كثير من المسائل والأسئلة المطروحة في المجال العلمي والمجتمعي.

يتقبل المؤلف بكل سرور أي ملاحظة على محتويات الكتاب وأي اقتراح لتطويره وتحسين مضمونه وإغنائه في المستقبل؛ ليقدّم أكبر ما يمكن من الفائدة للجميع.

دمشق في 22 آذار 2016

المؤلف

Email: adnizam60@yahoo.com

الفصل الأول

مدخل إلى ميكروبيولوجيا المياه



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يحدّد صلات ميكروبيولوجيا المياه بالعلوم الأخرى.
- يستنتج أهمية الدورة الكيميائية للماء في نشوء الحياة.
- يقارن بين التطبيقات المختلفة لميكروبيولوجيا المياه.
- يربط بين نشوء الحياة البسيطة والمياه.
- يسلسل مراحل تطور ميكروبيولوجيا المياه.
- يذكر عدداً من العلماء المساهمين في نشوء ميكروبيولوجيا المياه وترسيخها.
- يقدّر الأحياء الدقيقة في المحيط الحيوي.

مفاهيم مفتاحية

□ **الغلاف المائي** Hydrosphere

يتكون من المحيطات والبحار والجليديات والثلوج الدائمة والمياه الجوفية والبحيرات والمستنقعات والأنهار، وبخار الماء والمياه الموجودة في الأحياء.

□ **المجالات الحيوية** Biological Domains

تقسم المجموعات الحيوية إلى ثلاثة مجالات هي: البدئيات والجراثيم (جميع الجراثيم)، وحقيقيات النواة eukarya (بعض الأحياء حقيقية النواة).

□ **شجرة تطوّر السلالات المشتركة** Universal Phylogenetic Tree

يمكن استعمال rRNA كمقياس جزيئيّ للمسافات التطوّريّة بين الأحياء، فقد انتقلت المورّثات عمودياً من جيل لآخر، ولكن الانتقال الجانبيّ تميّز أيضاً بتأثير عميق في مسار التطوّر، ويتضمّن ذلك وصول مورّثات مفردة أو طواقم كاملة منها عبر الحواجز التي تفصل بين الأنواع.

□ **علم المياه العذبة** Limnology

هو دراسة النظم المائية (العذبة والمالحة) الواقعة ضمن الحدود القارية.

□ **علم المحيطات** Oceanography

هو دراسة النظم المائية بين القارات، ويتضمن أساساً المياه المالحة، مع التأثير الكبير في المَعالِم الشاملة global parameters، دورة الكربون ودوران المياه.

□ **الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية** Biogeochemical cycles

تمثّل دورة العناصر الكيميائية خلال الأوساط البيئية المختلفة والأحياء بتأثير الإشعاع الشمسي، يساعد 40 عنصراً منها في صون الأحياء واستمرارها.

□ **المحيط الحيوي** Biosphere

تتمثّل الحياة بمظاهر في البيئة تعكس وجود الأحياء سواء الأفراد أم الجماعات أم المجتمعات، ويقتضي بقاؤها واستمرارها الاعتماد على المكوِّنات الحيّة واللاحيّة، وتبيّن الأبحاث اتساعَه في الجو وفي الأعماق.

أولاً. موجز تاريخ الميكروبيولوجيا

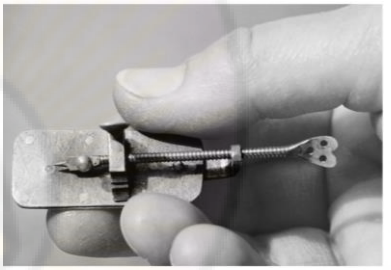
A Brief History of Microbiology

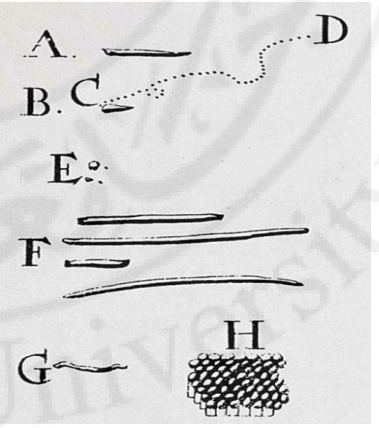
1. الجذور التاريخية للميكروبيولوجيا

The Historical Roots of Microbiology

تمكّن ليفنهوك تاجر الأقمشة الهولنديّ من صنع المجهر على أساس مجهر هوك، وفحص عيّنات من المياه والتربة ومفرزات الإنسان واكتشف الوحوش الصغيرة "animalcules" في عام 1676، فكان أول من أعطى معلومات عن أشكال الجراثيم وأبعاد الأنماط العاديّة منها (الشكل 1-1)، إذ تؤكد رسومُه أنه رأى أنواعاً مختلفة من الجراثيم، ودفعت دراساته إلى تطوير التقنية البصرية.







الشكل 1-1 فان ليفنهوك يستعمل مجهره
Antony van Leeuwenhoek
(1723 – 1632)
← أشكال الجراثيم كما رسمها ليفنهوك.

استعمل هوك Robert Hooke (1635 – 1703) المجهر، واكتشف ليفنهوك الجراثيم، ثم كان فرديناند كون Cohn (1828 – 1898) مؤسس الجُرثوميات bacteriology.

2. الدور الوظيفي للميكروبيولوجيا

Physiological Period of Microbiology

كانت اكتشافات باستور الكيميائي الفرنسي عظيمة عند دراسته عمليات التخمُّر fermentation، إذ أثبت أن التخمرات عمليات من وظائف الأحياء الدقيقة، وأن كلّ نمط من التخمر يرتبط بمسبب نوعي له، واكتشف فساد الخمْر والجِعَة بوقوع أحياء دقيقة دخيلة، واقترح طريقة لمكافحتها سميت طريقة البسترة pasteurization، وأوضح ارتباط الأمراض المُعْدِية infectious diseases بالأحياء الدقيقة، واقترح طريقة التَّلْقيح inoculation لمكافحتها باستعمال مزارع مُوْهَنة وضعيفة تسمى اللُّقاحات vaccines التي تسبّب المناعة في البدَن، واكتشف باستور أيضاً ظاهرة الحياة اللاهوائية، ووضع في عام 1864 نهايةً للجدال حول النشوء التلقائي spontaneous generation للأحياء الدقيقة من الطبيعة اللاحية؛ ولذلك كان باستور (الشكل 1-2) مؤسسَ مجمل الاتجاهات الأساسية في علم الأحياء الدقيقة الحديث.

ولقد أثبت الألماني كوخ R. Koch (1834- 1910) العلاقة بين الأحياء الدقيقة الممرضة والمرض، وكان ليستر Lister في عام 1878 أوّلَ من حصل على مزرعة نقيّة pure culture، ووضع أسسَ التطهير في عام 1860، وفي الوقت نفسه وضع كوخ أسسَ عزل الأحياء الدقيقة وعمل على استزراع المستعمرات النقية.



ثم جاء العصر الذهبي للميكروبيولوجيا إذ توسَّعت الاكتشافات والدراسات في مجالات الميكروبيولوجيا بفضل عدد كبير من العلماء مثل بيجرينك Beijerinck وفينوغرادسكي Winogradsky وهانسن Hansen وإيفانوفسكي Ivanowsky وفليمنغ Fleming وغيرهم من العلماء الذين أجادوا وأبدعوا ...

الشكل 1-2 باستور Louis Pasteur (1822- 1895)

3. الدور التقاني للميكروبيولوجيا

Technological Period of Microbiology

إن التقدم العلمي والصناعي الذي تعمّق وتوسّع في نهاية القرن التاسع عشر ومطلع العشرين دفع بقوة إلى نشوء أقسام مستقلة ومنفصلة في الميكروبيولوجيا، ويمكن تقسيمها عموماً إلى: أساسية وتطبيقية.

الميكروبيولوجيا الأساسية basic microbiology

- الجرثوميات bacteriology
- علم الفطريات mycology
- علم الطحالب phycology
- علم الحُمات (الفيروسات) virology
- علم الحيوانات الأوالي protozoology
- المناعيات Immunology
- الوراثة الجرثومية bacterial genetics
- علم الخلية الجرثومية bacterial cytology
- تصنيف الطحالب algal taxonomy

الميكروبيولوجيا التطبيقية applied microbiology

- ميكروبيولوجيا المياه aquatic microbiology
- ميكروبيولوجيا الهواء air microbiology
- ميكروبيولوجيا التربة soil microbiology
- ميكروبيولوجيا الأغذية microbiology of food
- الميكروبيولوجيا الطبية medical microbiology
- الحرب الحيوية biological warfare
- ميكروبيولوجيا الحشرات insects microbiology
- ميكروبيولوجيا الفضاء space (exobiology) microbiology
- الميكروبيولوجيا البيئية environmental microbiology
- الميكروبيولوجيا الجيولوجية geological microbiology
- الميكروبيولوجيا الصناعية والتقانات الحيوية industrial m. & biotechnology

4. مكانة الأحياء الدقيقة في المحيط الحيوي

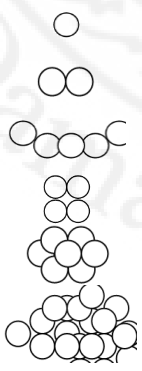
Position of Microorganisms in the Biosphere

كان من السهل جدّاً منذ القدم تقسيم الأحياء إلى مجموعتين متباينتين: الحيوانات animalia والنباتات plantae، غير أن اكتشاف الأحياء الدقيقة جعل تقسيم الأحياء أكثر صعوبة؛ فاقترح هيكل Haeckel في عام 1866 تسميتها الأولانيات protista التي وُضعت بدورها في مجموعتين: مجموعة دنيا lower تشمل الجراثيم والطحالب الزرقاء المخضرة، ومجموعة عليا higher تشمل الطحالب والفطريات والحيوانات الأوالي protozoa. تتضمن الأحياء الدقيقة مجموعات متباينة:

☺ الجراثيم Bacteria

مجموعة متباينة من الأحياء مفردة الخليّة، تقسم اعتماداً على مظهرها إلى عدد من الأنماط، مثل: المكوّرات والعصيّات والحلزونيّات، والمَلْويّات والوتديّات والشعاعيّات والمفطورات والمخاطيّات، إضافة إلى أنماط الشعيات والجراثيم الزرقاء، وتتباين في أحجامها وأشكالها وطريقة تجمعها (التجمع السائد؛ فنادراً ما تبدو الخلايا من نمط واحد جميعاً تحت المجهر) وتتباين في قدرتها على تكوين الأبواغ وقدرتها على الحركة، وانتشارها في الموائل البيئية المختلفة.

المكوّرات Cocci جراثيم مستديرة أو بيضويّة، لها أنماط من التجمع تفيد في تعريفها؛ اعتماداً على توضّع الخلايا الناتجة عن الانقسام وارتباطها (الشكل 1-3):



المُكَيَّرات Micrococci كالنوع: *Micrococcus luteus*

المُزدَوِجات Diplococci كالنوع: *Diplococcus pneumoniae*

العِقْدِيَّات Streptococci كالنوع: *Streptococcus lactis*

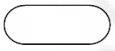
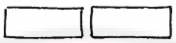
الرباعيّات Tetracocci كالنوع: *Pediococcus*

الرُزْمِيات Sarcinae كالنوع: *Sarcina ventriculi*

العُنْقُوديات Staphylococci كالنوع: *Staphylococcus aureus*

الشكل 1-3 أنماط المكورات.

العصويّات Bacilli: جراثيم أسطوانيّة أو عصويّة مستقيمة أو محنيّة قليلاً، تنتمي إليها غالبيّة الجراثيم (الشكل 1-4)، لا تنتظم الخلايا عادة في تجمّعات مميّزة لأجناسها، وتصادف أحياناً في أشفاع أو سلاسل؛ وفقاً للظروف البيئيّة أو لمرحلة النمو، ذات نهايات متباينة، وتأخذ طريقة التجمّع أنماطاً متباينة أيضاً، مفردة مزدوجة مجتمعة بصورة عشوائيّة عِقْديّة أو تجتمع في كتل صغيرة.

		
محدّبة النهاية	مبتورة النهاية	ذات نهاية واحدة مدبّبة
أفراد فصيلة الأمعائيّات	عصيّات الجمرة الخبيثة	الوتديّات
Enterobacteriaceae	*Bacillus anthracis*	*Corynebacterium*
		
ذات نهايتين مؤنّفتين	في هيئة الضمّات	العصيّات المكوّرة
المغزليّات	ضمّات الهيضة	(العُصوّرات Coccobacilli)
Fusiform	*Vibrio cholerae*	البُرُوسيلة *Brusella*

الشكل 1-4 أشكال بعض الجراثيم.

يبيّن المجهر الإلكترونيّ وجود صفات إضافيّة أحياناً لبعض الأنواع، مثل: وجود انتفاخات كرويّة، نموّات محدّبة، والتفاف لولبي مع توضع في هيئة نجوم.

الحلزونيّات Spirals: جراثيم طويلة عادة، ذات خلايا ملويّة ملتفّة كالحلزون تقريباً، توجد مفردة دائماً، ولها أشكال متباينة بالطول وعدد الانحناءات وصلابة الجدران الخلويّة، وتوضع في مجموعتين:

الحلزونيّات Spirilla	كالنوع: *Aquaspirillum magnetotacticum*
المَلْوِيّات Spirochetes	كالنوع: البَرِيْمية النزفية *Leptospira interrogans*

لبعض الجراثيم أجسام كالخيوط hyphae، مثل: *Thiothrix*، أو تريكوم تَرخوم trichome، وقد تحاط الخيوط بغُلُف، مثل: *Sphaerotilus natans* أو تكون من دونها، وتوجد في المياه أنماط معنّقة، مثل: *Caulobacter*، *Gallionella*.

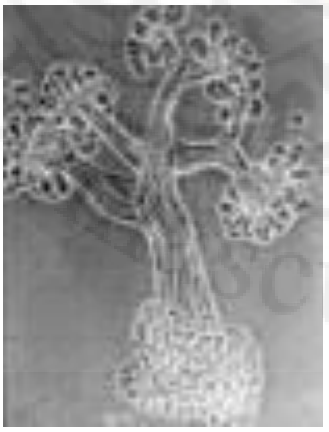
تتميّز أفراد الشُعَيّات actinobacteria (actinomycetes) بتفرّع شديد جدّاً، فلبعضها خيوط متفرّعة مراراً مع بنية معقّدة لحوامل الأبواغ (الشكل 1-5)، وتمتلك المتفطّرات Mycobacteria شكلاً متفرّعاً (الشكل 1-6).



الشكل 1-5 البنيات الثمريّة في الشُعَيّات actinobacteria.



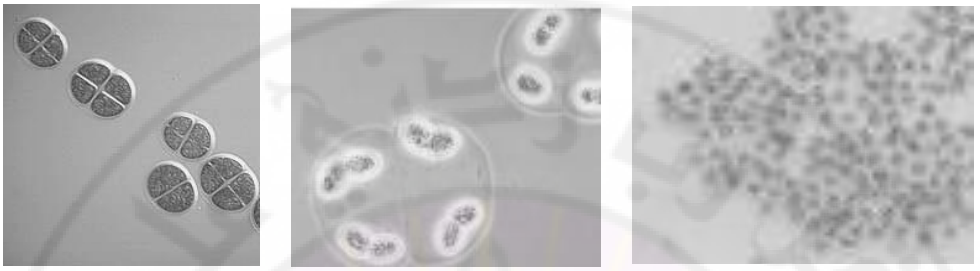
الشكل 1-6 أنماط من المتفطّرات Mycobacteria.



تتجمّع خلايا الجراثيم المخاطيّة (الهلامية) myxobacteria القادرة على الانزلاق بسبب ما تنتجُه حولها من هلام، إذ ترتبط الحويصلات الصغيرة المغمَّدة بجدار ثخين معاً مكوّنة الأجسام الثمريّة fruit bodies التي تأخذ اللون الأصفر أو الأحمر أو البرتقاليّ (الشكل 1-7).

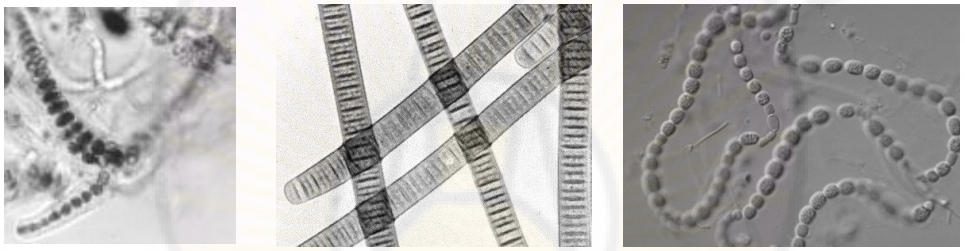
الشكل 1-7 المخاطيّة Myxobacteria

تتّصف الجراثيم الزرقاء Cyanobacteria بتنوّع كبير في أشكالها فهي حُبيبيّة، مثل: *Chroococcus*، وخيطيّة بسيطة يحتوي بعضُها حويصلات مغايرة، مثل: *Nostoc*، الفرد تريكوم لا يحيط به غمد، وله خليّة قِميّة (الشكل 1-8).



Chroococcus *Gloeothece* *Microcystis*

أنماط حُبيبية



Stigonema *Oscillatoria* *Nostoc*

أنماط خيطيّة بسيطة

الشكل 1-8 بعض أشكال الجراثيم الزرقاء.

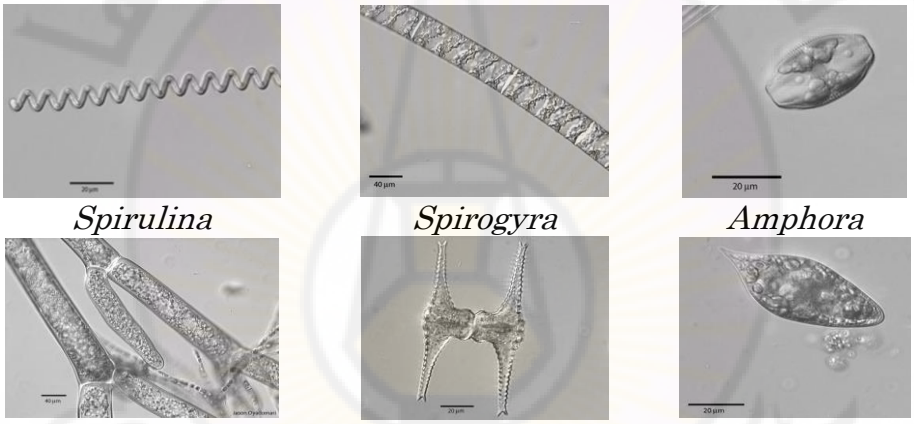
توجد الأنواع الخيطية من الأجناس *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Spirulina* عائمة في المياه أو منتقلة سلبياً فوق سطح الرسوبات القاعية، ويمكن أن تظهر الكتلة الكبيرة للخيوط عياناً بألوان خضراء – مزرقة أو مسودة (الشكل 1-9).



الشكل 1-9 كتلة الجراثيم الزرقاء في بحيرة بالسويداء، 2015. تصوير د. عدنان.

☺ الطحالب Algae

الطحالب أحياء حقيقية النواة، تطلق الأكسجين، وحيدة خلية أو خيطية، مستعمرات أو خلايا مختلطة (الشكل 1-10)، وما تبقى يمتلك بنية أكثر تعقيداً، وهي أحياء مائية غالباً تعيش في المياه العذبة أو في البحار، أكثر الطحالب البحرية عوالق مفردة الخلية، ويلتصق بعضُها بالنباتات المائية، وتصادف على بعض الحيوانات والثلوج، وتقسم إلى مجموعات متباينة كالمشطورات diatoms والطحالب الذهبية والخضراء المصفرّة والخضراء، أما الطحالب السمراء brown فهي بحرية غالباً، والطحالب الحمراء red أكثر تكيفاً مع المياه الدافئة، توجد غالباً في البحار.

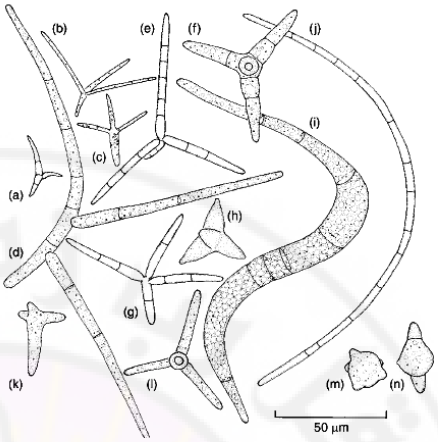


الشكل 1-10 أنماط من الطحالب algae.

☺ الفطريات fungi

الفطريات أحياء حقيقية النواة غيرية الاغتذاء، يمتلك معظمها تنظيماً حياتياً مناسباً للعيش في التربة "الموطن الطبيعي"، معظمها أعفان، تنشأ الأفطورة mycelium بنمو خلايا تناسلية وحيدة أو الأبواغ، ويكون التكاثر جنسياً أو لاجنسياً، وتنفرد الخمائر yeasts بكونها وحيدة الخلية، يوجد بعض الفطريات المائية في المياه العذبة، وبعضها الآخر يوجد في البحار، وهي غالباً من الفطريات السوطية mastigomycetes، وبعضها ينتمي إلى الزقيات ascomycetes أو الفطريات الناقصة deuteromycetes (الشكل 1-11).

(a) *Volucrispora* sp.,
(b) *Alatospora acuminata*,
(c) *Clavatospora longibrachiata*,
(d) *Tricladium splendens*,
(e) *Lemonniera aquatica*,
(f) *Lemonniera terrestris*,
(g) *Articulospora tetracladia*,
(h) *Clavatospora stellata*,
(i) *Anguillospora crassa*,
(j) *Anguillospora* sp.,
(k) *Heliscus lungdunensis*,
(l) *Unidentified*,
(m) *Margaritispora aquatica*,
(n) *Tumularia aquatica*.



الشكل 1-11 أنماط من كونيدات الفطريات المائية aquatic fungi.

☺ الحُمات (الفيروسات) viruses

توجد في البيئة المائية، وهي عوامل ممرضة للإنسان والحيوانات والنباتات، إضافة إلى عاثيات الجراثيم bacteriophages، وهي في الأساس حُمات تُطرح مع البراز، مثل: الحمات المعوية والحمات الريوية والحمات الغدّية، وربما حُمات التهاب الكبد، وتمتد قابليتها للعيش في المياه الملوثة مع انخفاض درجة الحرارة وازدياد التلوث العضوي والجرثومي؛ ولذلك فتفشي الوبائيات الناتجة عن وجودها في أحواض السباحة أمر شائع الحدوث، وتعدّ المخلفات السائلة المنزلية مصدراً وفيراً بالعاثيات الجرثومية، ولاسيما الممرضة لسلالات الإشريكية المعوية *E. coli*.

☺الحيوانات الأوالي protozoa

تنتشر في المياه مجموعة كبيرة من الحيوانات الأوالي، وهي تتغذى بجزيئات المواد العضوية الصغيرة أو بهضم الفرائس على هيئة خلايا صغيرة للطحالب والمشطورات، مثل: الهدبيات والمتحوّلات.

فمصطلح الأحياء الدقيقة يدلّ على الأفراد ذات الحجم الضئيل فقط، وبقيت الفيروسات viruses خارج التقسيم في مواجهة الأحياء جميعها، لأنها دقائق لاخلوية غير قادرة على التكاثر، ويتطلّب تضاعفها اعتمادها كلياً على خلايا المضيف (الثوي) host.

ثانياً. نشوء ميكروبيولوجيا المياه وتطورها
Origin and Development of Aquatic Microbiology

1. الأعوام المبكرة The Early Years

وضع أومليانسكي Omelianski الروسي أسسَ **ميكروبيولوجيا المياه العذبة** في عام 1917 عند دراسته أنماط من البحيرات، ثم توسّعت الدراسات في هذا المجال خلال العقدين التاليين، وبدت الاتجاهات الأساسية التي اتخذتها ميكروبيولوجيا المياه العذبة، ثمّ تعمقت وتأصَّلت فيما بعد (Kuznetsov 1981)، فبعد نجاح الروسي فينوغرادسكي Winogradsky في استعمال طريقة العدّ المجهري المباشر لجراثيم التربة، اتخذ كلودني Chlodny (1929) وكذلك رازوموف Razumov (1932) طريقةً مناسبة لعدّ المجموعات الجرثومية في المسطحات المائية، ثم تطوَّرت الدراسات على عدّ الجراثيم في بحيرات متباينة بوفرة الغذاء على المستويين الأفقي والشاقولي؛ إضافة إلى عدّها في الأوحال القاعية والمناطق قرب القاعية، كما أُجريت دراسات على استزراع الأحياء الدقيقة على الأوساط الغذائية الفقيرة، وتبيّن منذ وقت مبكر وجود جراثيم المياه قليلة الاغتذاء oligotrophs (وكانت تسمى قليلة الألفة للكربون oligocarbophils)، واكتشف بِرفيلِف Perfilev (1926) الأحياء المشاركة في التحجُّر بالحديد والمنغنيز.

لقد ساعد استعمال المجهر الإلكتروني على اكتشاف أشكال جديدة للجراثيم، مثل: الجراثيم المتبرعمة ذات الزوائد والملويات والأشكال المعقوفة ذات الناميات، واستكملت طريقة العدّ المجهري المباشر باستعمال الملوِّنات المفلورة واستعمال الأشعة الفَوْبنفسجية، واتجهت الدراسات الميكروبيولوجية إلى قياس شدة التركيب الضوئي وتفكّك المواد العضوية، ومعرفة مجال مشاركة الأحياء الدقيقة في دورات العناصر الكيميائية في البحيرات، باستعمال نظائر الكربون المشع.

واهتمت الدراسات بمعرفة التركيب النوعي لبعض مجموعات الأحياء الدقيقة في المياه، وعزل أنواع جديدة ودراسة خواصها الفيزيولوجية، مثل: تعريف جراثيم المياه

قليلة الاغتذاء وجراثيم الحديد والكبريت ذاتية الاغتذاء الضوئية، وكذلك الجراثيم اللاهوائية المكوِّنة للميتان، والجراثيم المؤكسدة للميتان، والجراثيم المؤكسدة للهدروجين، والجراثيم المنترِجة وتركيبها النوعي وفيزيولوجيتها.

كما أولت الدراسات الميكروبيولوجية اهتماماً نوعياً بالأحياء الدقيقة في مختلف النظم البيئية المائية، واتجهت لتحديد التآثرات interactions بين جماعاتها وبين هذه الأحياء وأوساطها المحيطة، مع الاهتمام بارتباط نموّها مع الشروط الفيزيائية والكيميائية للوسط والأحياء المرافقة، وكذلك درست السلاسل الغذائية وانتقال طاقة الإشعاع الشمسي، ومساهمة الجراثيم في السلسلة الغذائية المعقّدة ضمن النظم البيئية المائية، وقد شمل ذلك دراسة بنية جماعات الأحياء الدقيقة والكتلة الحيوية وتحديد عدد الجراثيم الحية والمجموعات الرمية.

عند دراسة الجراثيم البحرية الموجودة في المنتَجات البحرية، مثل: الجراثيم الوامضة والضمات التي تتحمّل تراكيز عالية للأملاح نشأت **ميكروبيولوجيا البحار**، ففي البلدان التي تتكون أساساً من الجزر، حيث يرتبط الاقتصاد إلى حد كبير بالبحار، مثل: بريطانيا واليابان وغيرها، تجمّعت معلومات حول الأسماك واللافقاريات والطحالب البحرية، وفي البلدان القاريّة، بالدرجة الأولى أوروبا، ارتبط تعرُّف الأحياء الدقيقة مع البعثات إلى أعالي البحار، وتميّزت المرحلة الأولى بالتأثير الشديد لأفكار باستور وكوخ وفينوغرادسكي، وأُجريت التحاليل الميكروبيولوجية لمياه البحر والأوحال في عدد من البعثات في نهاية القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين (Mishustina *et al.*, 1985)، ومنها:

البعثات الفرنسية: بدأت إلى المحيط الأطلسي Atlantic ولقد شارك فيها سيرت Certes الذي أثبت أن الجراثيم المُمَعْدِنة للمادة العضوية موجودة في المياه السطحية البحرية وفي الأعماق حتى بضع آلاف الأمتار (1884)، ودرس ليفين Levin الهواء والمجموعات الجرثومية في بحر غرينلندة (1899)، ودرس أمعاء الطيور والحيوانات القطبيّة، وأثبت وجود كمية ضئيلة من الجراثيم في الهواء القطبي وأن الأمعاء في بعض الحيوانات عقيمة نسبياً.

البعثات الألمانية: بدأت إلى بحر البلطيق Baltic وبحر الشمال North والمحيط الهندي Indian والمحيط الأطلسي Atlantic، وكان أهمها بعثة الأطلسي، ولقد شارك فيها فيشر Fischer الذي رسم صورة شاملة لتوزيع الجراثيم غيرية الاغتذاء في المياه (1889)، إذ بيَّن أن المناطق الشاطئية أكثر غنى بالجماعات الجرثومية، وأن العدد الإجمالي للجراثيم في البحار الداخلية ضعف ما هو عليه في الأعماق نفسها من البحر، وأن العدد الأكبر للجراثيم في الأعماق بين 200 و400 م، ويتناقص العدد في المناطق الأكثر عمقاً، ويرتبط العدد الأكبر للجراثيم بوجود البقايا النباتية الميتة وبقايا الحيوانات ومفرزاتها، وأن الجراثيم تنمو حتى في المياه النقية.

وصف فيشر أنواعاً من الجراثيم البحرية الجديدة، ولاحظ أن نمو الجراثيم يتطلّب تزويد الوسط بالأملاح المناسبة، وأن معظم الأشكال البحرية من المَلْوِيات والضمات متباينة المظهر، ونشر نتائجه في عام 1894، واستفاد غاسِرت Gasert من خبرته في بعثته إلى القطب الجنوبي (1906)، وكذلك أوتو ونومان Otto & Neuman (1906) وغروف Gräf (1909).

البعثات الروسية: كانت البعثة العلمية لصيد الأسماك إلى بحر بارِنْتْس Barents وإلى المحيط المتجمد الشمالي، ولقد شارك إساتشنكو Isachenko فيها، وأخذت أعمالُه مكاناً مميزاً في تلك الفترة إذ حصل أوّل مرّة على معلومات عن وجود مختلف المجموعات الجرثومية الفيزيولوجية في المياه البحرية والأوحال، وأثبت الفاعلية الجيوكيميائية مختلفة الجوانب للأحياء الدقيقة البحرية، وعُرف إساتشنكو في الأوساط العلمية كمؤسس لميكروبيولوجيا البحار ونال مؤلفه " microbiological researches of north frozen ocean" اعترافاً دولياً في عام 1914.

أوقفت الحرب العالمية الأولى الدراسات على المحيط، وفي نهايتها استؤنفت الأعمال الميكروبيولوجية مجدداً ولاسيما في المناطق الشاطئية، ونشأت في الثلاثينات والأربعينات المختبرات الميكروبيولوجية على قاعدة المحطات البيولوجية البحرية، ففي الاتحاد السوفييتي، كان المختبر الميكروبيولوجي البحري الأول في عام 1933 برئاسة كوب Kopp ثم ليبيديفا Lebedeva، ولقد ارتبطت به أيضاً المعرفة الحديثة حول

التركيب الجيولوجي لحوض البحر المتوسط والمحيط الأطلسي والمحيط الهندي، ومساهمة الجراثيم في الإنتاجية.

أخذت الأعمال الميكروبيولوجية في الأربعينات طريقها على قاعدة المحطة الحيوية المُورمانية بإشراف كامتشيلوف Kamchilov الذي أعار اهتماماً مميزاً للعمليات الميكروبيولوجية في منطقة المد والجزر، وأقيم مختبر للميكروبيولوجيا في المعهد العلمي للأسماك الذي أرسل بعثات دائمة إلى مناطق صيد الأسماك في بحر بارِنْتس وفي المناطق الداخلية لدراسة مشكلات دور الجراثيم والخمائر في البحار.

وفي هذه المرحلة توسعت أعمال ميكروبيولوجيا البحار في البلدان الأوروبية، وأقيم مختبر لميكروبيولوجيا البحار في فرنسا، أولاً على البحر المتوسط في مرسيليا برئاسة ديف Deves، التي توجد فيها مختبرات للميكروبيولوجيا تعمل على الموضوعات البحرية، مثل: تصنيف الجراثيم البحرية ودراسة تآثراتها مع الطحالب واللافقاريات ودورها في تنقية البحار وغير ذلك... وأُنشئ مركز لدراسة الأحياء البحرية وفي الدرجة الأولى الجراثيم والفطريات في كيل بألمانيا، وأُقيم مختبر للميكروبيولوجيا في بريطانيا في شوتلاندة، حيث عمل شوان Shewan على تصنيف الجراثيم البحرية وجراثيم الأسماك، وأُقيم مختبر آخر في بليموت.

وأخذت الدراسات البحرية الميكروبيولوجية طريقها في الولايات المتحدة الأمريكية على قاعدة معهد سكريبس Scripps في لاهاي بكاليفورنيا، وفي بدوس هول بماتشسيتي بفضل زوبِل Zobell ومدرسته، أما في اليابان فقد أجرى شيغا Shiga، تلميذ كوخ، دراسات ميكروبيولوجية على منتَجات البحار في جامعات المدن الساحلية.

وهكذا، تكوَّنت شبكة من المؤسسات الميكروبيولوجية البحرية في الفترة بين الحربين العالميتين، فتعمّقت الدراسات الميكروبيولوجية ووضح الدور الكبير للأحياء الدقيقة في حياة البحار، وظهرت النتائج الأساسية لميكروبيولوجيا البحار خلال هذه الفترة في مؤلف زوبل (1946) الذي أصبح كتاب الطاولة حول ميكروبيولوجيا البحار، ونال صاحبه شهرة عالمية كصاحب مدرسة في ميكروبيولوجيا البحار.

2. حركيات الشبكة الغذائية Food Web Dynamics

تستأثر الجراثيم بأهمية كبيرة في البيئة المائية؛ بما تتميز به من تنوّع وراثي وفيزيولوجي، غالبيتها غيرية الاغتذاء ويجعلها نشاطها تمتلك الدور المفتاحي في الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية biogeochemical cycles، وتعكس أدوارها المختلفة ومواقعها داخل النظام البيئي، إضافة إلى أهميتها الاستثنائية في البيئة اللاهوائية، ومساهمتها في علاقات حيوية مع الطحالب وغيرها، وهي المكوّن الأساسي في الشبكة الغذائية وإن كان بعضها، مثل: الإشريكية المعوية *Escherichia coli* ملوثات عَرَضية (Allman *et al.* 1992, David C. Sigee. 2005)، تتغذى الجراثيم على المواد العضوية المنحلّة وتسهم في 10 – 50% من الإنتاجية الأولية في البيئة المائية (Goldman *et al.* 1996)، وهذا يجعل تلك المكونات متاحة للمستويات الغذائية الأعلى [Azam *et al.*, 1983]، وتعدّ الإنتاجية الجرثومية الواجهة الحركية لوظيفة المجتمع community، والمكوِّن المهم للكتلة الحيوية والانتقال في الشبكات الغذائية، وتشكّل الجراثيم غيرية الاغتذاء المجموعة الأكبر ضمن النظم المائية، وتؤدي حركيتها إلى التوازن بين مجتمعات الأحياء (محمد وآخرون 2009).

3. العمليات في الرَّسُوبات Sediments Processes

تكتسب الجراثيم أهميتها في الرسوبات المائية بسبب قدرتها الكبيرة على تحمّل الظروف البيئية المتفاوتة من درجات الحرارة والرقم الهدروجيني وتركيز الأكسجين أكثر من الفطريات، إلى جانب إنتاجها للمستقلبات الثانوية التي تمتلك فاعلية كبيرة في التفكيك الحيوي للكتلة الحيوية المعقدة، وإزالة الملوثات بما فيها الهدروكربونات.

وغالباً ما يؤدي تكتُّل خلايا الجراثيم الزرقاء إلى تكوين مستعمرات تستقرّ على رسوبات البحيرات أو تعوم فيها بسهولة، ويكون بعض الأنواع متداخلاً في رسوبات الكلس لتكوين الحجر الجيري حول الينابيع الحارّة، ولما كانت المشطورات مجموعة أساسية في البحر فإن جدُرَها القاسية تسمح بتكديسها وتكوين رسوبات تسمى أرض المشطورات diatomaceous earth في بعض المناطق.

4. استكشاف أبعاد المحيط الحيوي Discovery of Biosphere Size

تستأثر الجماعات الجرثومية بأهمية في البيئات المائية، وتؤثر فيها العوامل البيئية المختلفة التي تجعلها متباينة في توزعها الجغرافي وإنتاجيتها، وفي علاقات الجماعات الجرثومية فيما بينها وتآثرها مع أوساطها، وهي تقع تحت تأثير العمليات التكتونية tectonic processes، ولها دور في تكوين الصخور في قاع المحيط، وتعيش أنواع منها أيضاً على نحو استثنائي في أعماق الأرض تحت قاع المحيط.

ثالثاً. مجالات ميكروبيولوجيا المياه

Scopes of Aquatic Microbiology

1. ارتباط ميكروبيولوجيا المياه بالعلوم الأخرى

The Link between Aquatic Microbiology and other Sciences

تعدُّ ميكروبيولوجيا المياه فرعاً من الميكروبيولوجيا التطبيقية يُعنى بدراسة الأحياء الدقيقة المنتشرة في المياه وتَعَرُّف التآثرات بين هذه الأحياء وبين الأحياء والوسط المحيط، ومواقع انتشارها وأشكالها الخلوية وتركيبها وخصائصها الفيزيولوجية والحيوية الكيميائية، وتحديد أنواعها وتصنيفها، ومعرفة فوائدها ومضارها للأحياء والبيئة، والأمراض التي تسببها وطرائق الوقاية منها، وكذلك مساهمتها في صون سلامة مياه الشرب والبيئة والتنمية المستدامة، وترتبط ارتباطاً وثيقاً بعدد من العلوم الأخرى، مثل:

* **علم المحيطات** oceanography: يهتم بدراسة مياه المحيطات في مختلف المجالات الفيزيائية والكيميائية والجيولوجية والحياتية، وتحديد التآثرات بين الأحياء المختلفة وبين الأحياء وبيئاتها، ويُعنى بأعماق القشرة الأرضية تحت القاع.
* **كيمياء وفيزياء المياه** chemistry and physics of water: علم يهتم بالخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه وتصنيفها، وتقدير إمكانات الاستفادة منها في الأغراض المختلفة، وكذلك معالجة المياه بالطرائق الكيميائية والفيزيائية واستعمال المركبات الكيميائية في التنقية وإزالة السمية.

* **علم الأحياء المائية** (الهِدروبيولوجيا) hydrobiology: علم يُعنى بالبيئة المائية وإنتاجيتها، بخصائصها الفيزيائية والكيميائية والحياتية والأرضية، إضافة إلى تأثير كل مكون في الآخر، وله أهمية كبيرة في اقتصاد عدد كبير من البلدان الواقعة على البحار.
* **الهِدروجيولوجيا** hydrogeology: علم يُعنى بدراسة منشأ المياه الجوفية وتوزيعها في أعماق القشرة الأرضية، وخواصها الفيزيائية والكيميائية وحركتها، والظروف المؤثرة فيها، ويهتم بعلاقة المياه الجوفية بالمياه السطحية والعوامل المناخية والخواص الفيزيائية للصخور القابلة لتخزين المياه وتوزيعها فيها.
* **الهدرولوجيا** hydrology: علم يختص بدراسة مراحل دورة المياه؛ بما في ذلك مختلف أصناف المياه على الأرض من حيث وجودها وتحوّلها وتوزّعها وانتقالها، وكذلك خواصها الفيزيائية والكيميائية، وربط جميع البيانات بالمتغيرات البيئية، ويعطي مجالها تاريخ المعرفة بالمصادر المائية واستعمالاتها.
* **علم البيئة المائية** aquatic ecology: يُعنى بالنظم البيئية المائية، ويشمل ذلك الجماعات والمجتمعات الحيوية ودراسة خصائصها وتأثير العوامل البيئية المؤثرة فيها، والإنتاجية، وأنماط التلوث ومصادره وطرائق معالجته.
* **الزراعة المائية** aquatic agriculture: علم اتخذ أساليب الاستفادة من النظم البيئية وتنمية الأحياء المائية النباتية والحيوانية أو بهدف زيادة الإنتاج في مزارع بدلاً من حصادها من بيئاتها الطبيعية، وهو حديث محدود الانتشار.
* **علم الفضاء** cosmology (exobiology): علم يهتم بدراسة الأحياء على الكواكب الأخرى ونقلها إليها، وقد نجحت تجارب في السفن الفضائية.
* **التقانات الحيوية** biotechnology: تعتمد غالباً على إنتاج المواد بتحوير النظم الحيوية وتطبيق تقانات المستوى الجزيئي أو الخلوي أو العُضيّات organelles باستعمال الدنا DNA لتوجيه مقدرة الخلايا الحية والتحكم فيها؛ وإنتاج مواد مرغوب فيها أو تحسين طريقة إنتاجها، أو بهدف أداء وظيفة معينة.

الميكروبيولوجيا المتكاملة integrated microbiology

أضحت الميكروبيولوجيا موحدة أكثر، فحقول فيزيولوجيا الجراثيم ووراثة الجراثيم وعلم بيئة الأحياء الدقيقة ونشوء الأمراض بفعل الأحياء الدقيقة وغيرها مجالات متصلة إذ يمكن للمختص في ميكروبيولوجيا البحار أن يتحدث بسهولة إلى المختص في دراسة العوامل الممرضة للإنسان، والعامل في مجال الأغذية يمكنه الحديث مع المختص بدراسة التطور الميكروبيولوجي بيسر.

تركت الميكروبيولوجيا على مرّ السنوات تأثيرها الكبير، مع ذلك، تعلمنا أكثر عن تأثير الأحياء الدقيقة في البيئة، ودور الأحياء الدقيقة في نشوء الأمراض، وتطبيقات الأحياء الدقيقة في التقانات النانوية nanotechnology، إلى جانب تأثير الميكروبيولوجيا في عدد من العلوم.

2. التطبيقات في التنمية application in development

من التطبيقات الميكروبيولوجية: تحديد التركيب النوعي للجماعات الجرثومية وإنتاجيتها، وقياس شدة العمليات الميكروبيولوجية في المياه، كالتركيب الضوئي وتفكيك المادة العضوية بفعل غيريات الاغتذاء، وإنتاج المواد الفاعلة حيوياً والمستحضرات الدوائية من الجراثيم البحرية، والأحياء الدقيقة الممرضة للإنسان والحيوانات وطرائق مكافحتها، وتشخيص أمراض الأسماك والأحياء المائية وسلامة المنتَجات البحرية والمائية، ومساهمة الأحياء الدقيقة في إنتاجية المزارع المائية. معالجة المشكلات: تحديد دور الجراثيم في دورات العناصر الكيميائية، ودراسة تأثير الملوثات الكيميائية والإشعاعية والحرارية في مجموعات الأحياء الدقيقة، وتحديد دور الأحياء الدقيقة في حماية المحيط من الملوثات وحماية المنشآت من الصدأ الحيوي biocorrosion والتركيب النوعي لمسبباتها، ودراسة ظاهرة ازدهار المياه.

وتسعى ميكروبيولوجيا المياه اليوم، استناداً على قاعدتها المعرفية في المجالات الطبيعية؛ وبالاستفادة من التقدم العلمي والصناعي والتقانات الحيوية، إلى حل كثير من المشكلات المرتبطة بالغذاء وزيادة الإنتاج والصحة وحماية البيئة والتنمية.

3. تصنيف الأحياء الدقيقة واستكشاف أنواع جديدة

تسعى الميكروبيولوجيا اليوم إلى البحث عن أشكال جديدة للجراثيم والأحياء الدقيقة الأخرى التي تنتشر في البيئات المائية النوعية وتصنيفها، مثل: المنافس الحارة ومناطق الأعماق والملاحات والبحيرات المالحة والينابيع الحارة والمعدنية وغيرها.

وكذلك تُعنى الأبحاث العلمية باستزراع الجراثيم المكتشفة على الأوساط الغذائية الفقيرة، واستزراع أنواع الطحالب الدقيقة والخمائر على الأوساط المناسبة لتحديد خصائصها المختلفة وظروف تنميتها وفيزيولوجيتها، وكثيراً ما يتبيّن أن للأنواع الجديدة خصائصَ رائعة، مثل: إنتاج المواد المفيدة، في مجالات الصحة والصناعة والبيئة.

4. لمحة عن ميكروبيولوجيا المياه في سورية

أُجري عدد من الأبحاث العلمية على **رصد التلوث الميكروبيولوجي** لمياه الأنهار والبحيرات، وتأثير الري في تلوث التربة والنباتات وأوراق الخضار التي تؤكل نيئة، ورافق أعمال الرصد البيئي في حالات كثيرة مجموعة من الاختبارات الفيزيائية والكيميائية لتعيين العناصر الثقيلة والمواد اللاعضوية والعضوية في المياه والرسوبات.

وأُجريت أبحاث أخرى على تقدير **نوعية المياه**، وفي حالات كثيرة رافق ذلك مجموعة من الاختبارات الفيزيائية والكيميائية، وكذلك باستعمال التابع الصنعي كوك بيرد، وأُجريت أبحاث على النباتات المائية وتأثيرها في نوعية المياه.

وأُجري عدد من الأبحاث على **معالجة المياه** الطبيعية وإزالة جراثيم الإشريكية المعوية107 والسلمونيلة09 باستعمال مرشحات من فلزات الزيوليت الطبيعي السوري، وعلى المعالجة الميكروبيولوجية للمخلفات السائلة المنزلية باستعمال النباتات المائية، وكذلك على معالجة المخلفات السائلة لعصر الزيتون، وإزالة العناصر الثقيلة من المخلفات السائلة الصناعية باستعمال الخمائر، كما أُجريت أبحاث على كفاءة استعمال المرسب الأنبوبي في تنقية المياه السطحية، وعلى التفكيك الحيوي للنفط الخام والمخلفات السائلة لعصر الزيتون بالطحالب الدقيقة، وإنتاج البيوديزل بتنمية الطحالب الدقيقة، وإنتاج الإتانول بتنمية الشعيات.

رابعاً. نشوء الحياة في المياه Origin of the Life in the Water

1. الجو الأصلي

كانت الأرض طينية في آخر مرحلة من مراحل تكوّنها تسود عليها خمسة عناصر خفيفة هي: الهدروجين والهليوم والكربون والنتروجين والأكسجين، ساهمت الجاذبية الأرضية في الاحتفاظ بالمواد الغازية التي كانت بجوارها، وكان الهدروجين، العنصر النشيط جداً، أكثر غزارة بكثير في صورتيه الحرة والمرتبطة، وإن لم يكن قادراً على الاتحاد مع غاز الهليوم الخامل، فلقد استأثر بالعناصر الأخرى، فبارتباطه مع الكربون تكوّن الميتان، ومع النتروجين تكوّن النشادر، ومع الأكسجين تكوّن بخار الماء، وهكذا تكوَّن الجو البدائي من الهدروجين والهليوم والنشادر والميتان، وتكوَّن ثنائي أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون بارتباط المركبات الكربونية مع الأكسجين، ولكن الغازات الخفيفة (الهدروجين والهليوم) ابتعدت في الفضاء الكوني، أما الثقيلة (الميتان والنشادر وبخار الماء) فلقد احتفظت بها الأرض دون ضياع مفرط عدة مليارات من السنين.

ليس لضياع غاز الهليوم الخامل أي أهمية، ولكن فقدان الهدروجين في الجو البدائي أدى إلى سلسلة من التغيّرات، ففي مرحلة متقدمة نوعاً ما من إزالة الهدروجين تفكك النشادر إلى مكوناته، ولكن الهدروجين الناتج أخذ طريقه مرة أخرى إلى الفضاء وتراكم النتروجين في جو ما عاد يحتوي الهدروجين الحر ولا النشادر بكميات ذات قيمة، ولقد حدث ذلك بعد ظهور الحياة بوقت متأخر. كان الجو مرجَعاً تهيمن عليه المركّبات الهدروجينية (الهدروجين والميتان)، ولكن بسبب فقدان المُخْرِقات لم يشتعل، أما اليوم فيسود جوٌّ مؤكسَد قابل لتأمين التنفُّس وتزويد المحرّكات بالمُخْرِقات.

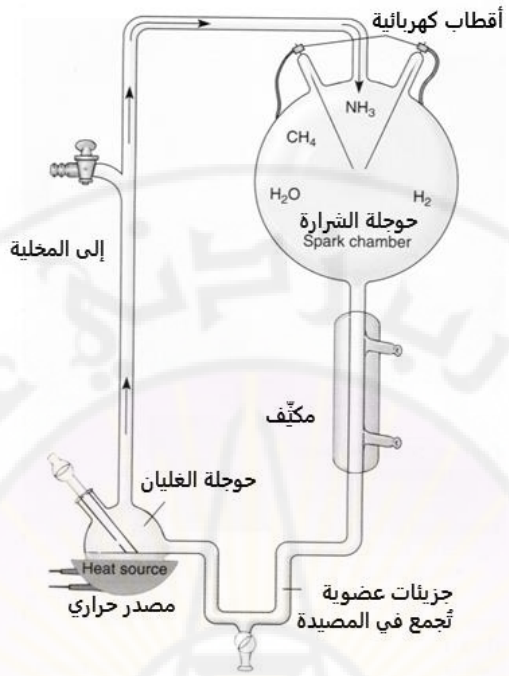
يستحقّ الماء إشارة خاصة في هذا الإطار، فهو غزير جداً بسبب الكميات الهائلة من الهدروجين والأكسجين التي كسبتها الأرض، ويتميز بثبات كبير وارتفاع درجة الغليان؛ ما جعل الأرض تتغطى بمحيط هائل من المياه يفصلها عن الجو، وقد تبخر جزء صغير في الجو، غير أن المحيط تمكّن من تأمين بقاء بخار الماء مكوِّناً هدروجينياً أساسياً ودائماً للجو؛ لأن أي سائل يقع في توازن مع بخاره حتماً.

2. التطور الكيميائي سابق الحياة

أجرى ميلر Miller التجارب الأولى عام 1955 محاولاً تقليد الجو البدائي للأرض (الشكل 1-12)، وحصل في النهاية على عدد من الحموض الأمينية، مثل: الأسبرتيك والغليسين والألانين وغيرها، إضافة إلى مركبات عضوية، مثل: حمض الفورميك وألدهيده وحمض السياندريك وحمض الخل وغيرها.. ثم حصل على البولة !. أثبت أن المواد الكربونية ليست بالضرورة من منتجات الأحياء (على نقيض ما سميت به كيمياء الكربون- الكيمياء العضوية)، وكانت النتائج نفسها عند استعمال الأشعة الفَوْبنفسجية ultraviolet UV كمصدر للطاقة عوضاً عن التفريغ الكهربائي.

أُجريت تجارب عديدة في أماكن مختلفة بالعالم، وأُنتجت الحموض الأمينية، وأُثبتت فرضية ميلر التي تتلخص بأن جميع نتائج التركيب تتكوَّن بدءاً من حمض السياندريك HCN، وأُجريت تجربة جديدة فكرتها أن البحار البدائية كانت تحتفظ بالأمونيوم (نتيجة انحلال النشادر) والألدهيد فورميك شديدة الانحلال في الماء، وكانت النتيجة مذهلة بظهور عدة حموض أمينية بتأثير الأشعة الفَوْبَنفسجية..! وفي الوقت نفسه، أُثبت أن جوّ الأرض البدائي كان مرجَعاً بالفعل، إذ لم تنجح التجارب في جو مؤكسد أو باستعمال خليط من غازات النتروجين والماء وثنائي أكسيد الكربون.

ربما ظهر مغلي عضوي على سطح البحار البدائية المعرضة لإشعاع الشمس، فارتباط الذرات لم يكن مصادفة فهي ذات حقل كهربائي يؤثر في الوسط المحيط به. وفي عام 1962 كان تعريض المواد التي حصل عليها ميلر للأشعة الفوبنفسجية، وجاءت النتائج مذهلة أيضاً إذ تكوّنت الأسس النتروجينية كالغوانين بدءاً من الحموض الأمينية، وظهرت طرائق عديدة لإنتاج هذه الأسس. وهكذا، تكوّن الأدنين بتأثير الحرارة من محلول ممدد للنشادر وحمض السياندريك الذي أنتج الأدنين والغوانين معاً بتأثير الأشعة الفوبنفسجية، وتكوَّن الرنا RNA والدنا DNA بتعريض محاليل ألدهيد فورميك لأشعة غاما أو فوبنفسجية، كما تكوَّن الأدينوزين وحيد الفُسفات AMP بتعريض الأدنين والريبوز والمركبات الفسفاتية، ثم كانت سلاسل النكليوتيدات ..!



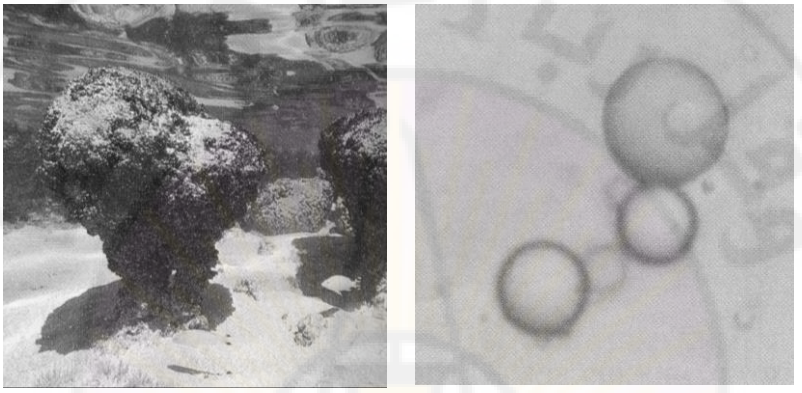
الشكل 1-12 تجربة ميلر (عن Solomon *et al.*, 1999).

احتفظ ميلر بخليط غازي من الميتان والنشادر وبخار الماء والهدروجين عدة أيام في حوجلة يخترقها سلكان لإحداث تفريغات كهربائية، تمثّل البرق الذي كان يحدث في الأعاصير والزوابع في تلك الحقبة.

ثبت أن المواد الحيوية ظهرت في البحار والمحيطات تحت جملة من الظروف بسبب وفرة المواد والحرارة المناسبة لتركيب المواد العضوية بتأثير البراكين، ففي البداية كانت كثافة المغلي العضوي تنمو باطراد؛ لأن الكتلة الحيوية المتكونة بتأثير طاقة الإشعاع الشمسي تزداد بانتظام، وهكذا هدهدت الأمواج البدائية كميات من المواد العضوية التي أصبحت ضخمة جداً (مع الزمن)... يلزم خمسة ملايين سنة لإظهار عشرة كيلوغرامات من المواد العضوية في المتر المربع، وهذا الزمن يمثّل مدة زهيدة في مدرج الحِقَب الجيولوجية؛ فهي تكاد تكون خمسة أسابيع في حياة الإنسان.

تراكم المغلي العضوي تدريجياً على هيئة حساء، وتكوَّنت جُزيرات حقيقية فوق سطح المحيطات؛ ما فسح المجال لتماس الحموض الأمينية وظهور سلاسل قصيرة وبسيطة من ارتباطاتها مجردة من أي معنى – بروتينات صغيرة microproteins

(الشكل 1-13)، يمكن لعشرة حموض أمينية أن تتّحد وفقاً لألف مليار نمط، ولكن ذلك يؤلِّف سلاسل ضعيفة الاستقرار؛ فإذا تكوَّنت البروتينات الصغيرة لا يمكنها التراكم بكميات كافية تسمح بتمكُّن مغلّيها (البروتينات الصغيرة المنعزلة نادرة وغير مستقرة) من تكوين البروتينات.. ولم يكن في الإمكان تكوين بروتينات مباشرة، أو إذا أمكن "تكوينات حية" لا في الاتحاد السوفييتي (كالينينكو) ولا في الولايات المتحدة (فوكس).



الشكل 1-13 تكوُّن البروتينات الصغيرة والجُزيرات من المواد العضوية في البحار (عن Solomon *et al.*, 1999).

تتمكَّن سلاسل النكليوتيدات من الارتباط الوثيق بالبروتينات الصغيرة؛ ما يسمح بنشوء تناغم "يحكي أسرار الحياة"، فالنكليوتيدات تؤمِّن الاستقرار للبروتينات الصغيرة التي تتمكَّن بدورها من الارتباط بسلاسل النكليوتيدات، وهكذا تأخذ أهمية أكبر فأكبر، ويرافق استطالتها تطوّر كيفي، إذ تفرض النكليوتيدات تكويناً معيَّناً على الحموض الأمينية التي تأخذها كشريكة، وقد أثبتت تجربة شبيغلمان أن الحموض النووية تنشطر ذاتياً (تتكاثر) إلى شطرين في وسط خصب، فتقوم البروتينات الصغيرة بدور أساسي؛ إذ تؤلِّف حول النكليوتيدات غلافاً يتحكم في تكاثرها، ويتبع تكاثر النكليوتيدات تكاثر سلاسل الحموض الأمينية المرتبطة بها، وعندها يحدث تكاثر البروتينات الصغيرة، ويبدأ في الوقت نفسه عمل الاصطفاء الذي يؤدي إلى البروتينات.

يتمنى الإنسان اليوم أن يجد آثار العملية التي قادت المادة إلى بدء الحياة، والتفتيش في عالم الفيروسات إغراء عظيم، فهي الجماد والحي، تبدو أحياناً دقائق عديدة الوجوه وتتضاعف مثل البلورات؛ والفيروسات هي في الأساس نكليوبروتينات.

3. الخلية البدائية

أثارت النكليوبروتينات تغيراً في نظام تطور المواد العضوية، وإن كان لا يُقبل أحياناً أن التكاثر الذاتي للمواد مزية للحياة فللبلورات هذه المزية أيضاً، ومنذ اللحظة التي وجدت فيها مواد ذات إنتاج ذاتي تغيَّر كلُّ شيء، إذ لم يعد يحدث النمو أو التكاثر وفق نسبة حسابية بل أخذ يجري وفق نسبة هندسية (أُسّيّاً) في شروط مناسبة، ومضى زمن حتى ظهرت بروتينات تمكَّنت من التحكم في جوارها ففتحت للحياة مساراً، أي ضبط الوسط والتحكم فيه، فالحياة في الحقيقة تفاعل جزيئي متسلسل، بدأت مع حوار النكليوتيدات والبروتينات، إذ قدَّمت الأولى ملجأً للثانية التي ساعدت بالمقابل على تكيُّف تكاثر النكليوتيدات التي أخذت تركّب بروتينات جديدة. ثم نُبذت الحياة البدائية، وعزلت تحت وطأة حيوية التطور التي تضفي على الخطة الإجمالية للتفاعلات المسلسلة صفة متحركة؛ أي النمو في اتجاه التكاثر وتعقيد المراحل منذ اللحظة التي يزيد فيها هذا التكاثر وهذا التعقيد فُرصَ البقاء.

إن الخطة الإجمالية نفسها هي حية، غير أن الحياة التي ظهرت لا هدف لها، إذ لم تحاول تكويناتها تحقيق شيء أكثر مما لو أن الجبال التي نشأت عن تموّج الأرض أرادت الوصول إلى السماء، ومع ازدياد التعقيد في التكوينات الخلوية ازدادت أبعادها، ولكن حجم الخلية لا يمكنه النمو دائماً؛ لأن التبادلات مع الجو المحيط مرتبطة بسطح التماس الذي ينمو بسرعة أقل من الحجم؛ وهكذا تكون الخلايا محصورة في أبعادها ولا تأخذ أحجاماً هائلة، أخذت الخلايا بالتكدس أولاً فنشأت مستوطنة يقوم أعضاؤها مبكراً بتأسيس تبادلات، ويزداد نشاطها فيما لو كانت تصرفات الخلايا غير متطابقة بل متكاملة، وأحسن من هذا إذا كانت الأفعال متناسقة.

تتوقف الخلايا ذات الأصل الواحد عن انتهاج السلوك نفسه منذ اللحظة التي توجد فيها أمام أوضاع مختلفة، وينجم بعض الخيارات عن التأثير المتبادل للخلايا؛ لأن كلاً منها تكسب جواً لجارتها فتفرض عليها تطوراً معيناً يمارس على الأولى عملاً خاصاً؛ بالمقابل ليزيد في تمييزه، ويرتبط ذلك بكون الإحاطة واسعة أو قليلة، لذلك تنمو

مجموعة من الخلايا وفق هندسة خاصة، أي تتمكن الخلايا المتولدة من خلية وحيدة أن تبدي وظائف مختلفة أولاً، ثم تتكاثر بتوليد مجموعات تتوضّع وفق هندسة معينة بدقة، وهكذا يظفر العضو بالشكل ويكتسب الجسم نفسه هيكلاً وتتأمَّن للفرد صلابة جسمه، وعندئذ كانت الحياة تستقطب طاقات الأرض الطبيعية المفيدة أو الضارة، مثل: البراكين والهزات الأرضية.

لم تؤثر الدورة الفيزيائية الكبيرة للماء في الحياة الناشئة بعملية التبخر، على عكس الدورة الكيميائية الصغيرة للماء التي تركت بصمتها في خلق الحياة بعملية التحلل الضوئي photolysis، فجزيئات الماء كانت من أصعب ما يمكن حلّه في مكونات الجو البدائي؛ وهي من أكبر مستهلكات طاقة الإشعاع الشمسي، وهكذا نشأت المواد الأولية للحياة بفعل الطاقة الناتجة عن الدورة الكيميائية للماء، فكانت الأحياء التي لم تتمكّن من الاستغناء عنها.

يتصف الأدينوزين ثلاثي الفُسفات ATP بوجود ثلاثة من الفُسفات، والنكليوتيدات تحتوي واحداً فقط؛ ما يجعله غير مستقر، فهو يميل للتحول إلى أدينوزين ثنائي الفسفات ADP محرراً بعض طاقته، ويصبح جاهزاً للشحن مرة أخرى، إنه بالفعل مخزن ووسيط للطاقة في الأحياء، وقد ساهم عندئذ في الحركة الكبرى للحياة.

تأخذ الدورة الكيميائية للمياه شكلاً جديداً لأن تفكك الجزيئات أخذ يتدخّل بإشراف عملية تجمّع طاقات عديدة من الفوتونات، فبعض مواد المغلي البدائي سيق ليقوم بدور الأبيال الضوئية الطبيعية، واتحاد المعادن مع بعض المركبات العضوية أنتج بالفعل مركبات حساسة للضوء مثل البورفيرين الناتج عن ارتباط البيرول مع مركبات الحديد.

كان الغرض تأمين انتقال الشحنة القادرة على تحويل مركبات أُدخلت فيها بعض جزيئات الماء، وهكذا اتجه التطور الطبيعي للمواد الحيوية المثبّتة للماء، فأخذت تفكك الجزيئات تدريجياً، وانتظم المعمل النباتي اعتماداً على الماء وطاقة الضوء البسيط.

ولما كانت كمية الطاقة الناتجة في الشروط المتماثلة متناسبة مع سطح الأبيال الضوئية، نزعت هذه الأخيرة لاتخاذ السطح الأكبر لكتلة معينة من المادة الحية (اليخضور النباتي في الصانعات الخضراء = البيل الضوئي)، الشبيه بالبورفيرين مع

استبدال الحديد بالمغنزيوم؛ ما ساهم في نشوء الورقة، إذ تتحلل جزيئات الماء ويتحرر الأكسجين، إن تطور الدورة الكيميائية للمياه بإشراف الحياة كان بحصر الهدروجين في المركبات الكيميائية مثل ATP بالدرجة الأولى، ولكن هذا المركب انفجاري، لذلك بدأت مع التحليل الضوئي عملية إدخال طاقة ATP في مركبات أكثر استقراراً، وكان الغلوكوز المرحلة الكبرى لهذا التخزين مدة طويلة، فهو السكر الأساسي ذو الطاقة العالية، ويتطلب كل جزيء منه 38 جزيئة ATP.

4. التطور الأحيائي

يشتمل عمل النباتات على تفكك جزيء الماء بصورة دقيقة، ويمثل ثنائي أكسيد الكربون الدعامة التي تتلقى الهدروجين، ولكن الغلوكوز لا يمثل إطلاقاً المرحلة النهائية في تخزين الهدروجين؛ لأنه قابل للانحلال، ولذلك كان من الضروري اتحاد عدد كبير من جزيئاته على هيئة مركب غير قابل للانحلال – النشاء، فأصبح النبات مخزناً للمركبات النشوية وذخيرة هائلة من الطاقة، تتمكّن الخلايا من استعادتها بتحليل النشاء عند الحاجة. ثم استولت الحياة على الحركة واكتسبتها بكل بساطة لأن بعض الظواهر الكيميائية سعت بالخلية لأن تتحرك، وقد عملت الحركة على توسع حقل النشاط، فتعلمت الخلية الاندفاع بنفسها واكتسبت الحيوانات أطرافها دون أن تدرك أنها تنتقل، وتتابع العمل نفسه في مرحلة تصنيع الإنسان الذي قلما يعلم كيف يتنبأ عن تطور أعماله. استعملت الحياة طريقة الخطوة فخطوة واستمرت الارتباطات والتجمعات المهمة بإرادة الظروف، فكل كائن حي وكل عضو قد تحسن بالتكرار لأن المواد المسؤولة عن الوظيفة قد تطورت في اتجاه هذا التكامل والتحسن.

الموت حق... فهو يزيل العثرة أمام التطور، إذ يزيل مستهلكاً بعد أن أدى رسالته، والموت هو توقف التفاعلات المتسلسلة التي تنقطع بسببها الجزيئات المختلفة المكوِّنة للكائن الحي، ربما يوقفها سريعاً أحد الحوادث، وقد نقص متوسط عمر الأحياء التي تحتوي مليارات من الخلايا، وهكذا تتكامل الولادة والموت على نحو عجيب، وفي بضع عشرات من الأجيال تجد المادة الحياتية نفسها تدور مجدداً في موجة جديدة.

أسئلة للمناقشة



- ما أهمية العلوم المختلفة في تطور ميكروبيولوجيا المياه؟.
- أوضح أهمية البحث العلمي في فهم أبعاد المحيط الحيوي.
- تتميز الدورة الكيميائية من الفيزيائية بأهمية في نشوء الحياة بسبب:...
- عدّد دون شرح مراحل نشوء الحياة في الماء.
- ما أهم المجالات المحتملة لعمل ميكروبيولوجيا المياه؟.
- عدد أهم مراحل تطور ميكروبيولوجيا المياه.
- ما دور ميكروبيولوجيا في التنمية؟.

المراجع References

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة (2009). تركيب مجتمع البكتريا غيرية الاغتذاء وفعاليتها في بحيرة سد الروم بالسويداء بسورية. مجلة جامعة أسيوط في النبات، المجلد 38 العدد 1، 263–280.

Allman R., Hann A. C., Manchee R., Lloyd D. (1992). Characterization of bacteria by multiparameter flow cytometry. J. Appl. Bacteriol.73:438–444.

Azam F., Fenchel T., Field J.G., Gray, J. S., Meyer-Reil L.A., Thingstad F. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 10:257–263.

David C. Sigee (2005). Freshwater Microbiology, biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in aquatic environment. University of Manchester, UK, John Wiley & Sons, LTD.

Goldman C. R., Elser J., Richards R., Reuter J., Priscu J., Levin A. (1996). Thermal stratification, nutrient dynamics, and phytoplankton productivity during phenology of freshwater bacteria 493 the onset of spring phytoplankton growth in Lake Baikal, Russia. Hydrobiologia 331: 9–24.

Kuznetsov S. I. (1981). Fundamental way of development microbiology in continental reservoirs. Microbiology successes № 16 , Nauka, Moscow, p 159 - 175.

Mishustina I., E., Sheglova I., k., Mitskevich I. N. (1985). Marine microbiology. USR, Vladivostok, Dalnevostok University.

Solomon E., berg L., Martin D. (1999). Biology, Fifth edition, Saunders College publishing.

ZoBell C. E. (1946). Marine microbiology. Chronica Botanica Co., Waltham, MA.

الفصل الثاني

الخصائص العامة للمياه الطبيعية



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يحدّد الخواص المميزة للمياه الطبيعية.
- يستنتج تأثير درجة الحرارة في الخواص الأخرى للمياه.
- يدرك طبيعة توزع الأكسجين في المياه وتأثيره فيها؟.
- يربط بين كثافة المياه وفرص الحياة.
- يفهم اختلاف تنوع المياه العذبة والمالحة.
- يذكر عدداً من الخواص الحيوية المميزة للمياه.
- يقدّر أهمية خواص المياه في البيئة المائية واستقرار الحياة.

مفاهيم مفتاحية

□ **الماء** water

سائل شفاف، عديم اللون، لا رائحة له إن كان مالحاً أو عذباً، ولا طعم للماء العذب، أما ماء البحر فله طعم مالح، وللمسطحات المائية زرقة خفيفة تتدرج بحسب العمق، وهي منظّم حرارة الأرض.

□ **الميكروبيولوجيا،** علم الأحياء الدقيقة microbiology

تُعنى بدراسة الأحياء الدقيقة وتحديد أدوارها المفيدة أو الضارّة وطرائق التحكّم فيها وإمكانات استعمالها في خدمة البيئة والتّنمية.

□ **الخواص الفيزيائية للماء** physical properties of water

هي جملة الخواص التي تكسب الماء صفات تعكس ردود الفعل تحت تأثير العوامل أو ارتباط المكونات وتآثرها، مثل: درجة الحرارة، والكثافة، والطعم.

□ **الخواص الكيميائية للماء** chemical properties of water

هي جملة الخواص التي تكسب الماء صفات تعكس وجود المكونات الكيميائية، مثل: القساوة والملوحة والحموضة ووجود الغُذيّات والأملاح.

□ **العكارة** turbidity

هي مجموع الدقائق العالقة في الماء، كالطين والطمي والطحالب التي تسبب بعثرة الضوء وامتصاصه.

□ **الماء النقي** pure water

توجد في الماء كميات متباينة من المواد وفقاً لمصدرها وبقائها والعوامل المؤثرة فيها وشدتها؛ ما يجعل الحياة متباينة، فهو لا يوجد نقياً في البيئة.

□ **السلوك الكيميائي للماء** chemical behavior of water

للماء خواص فريدة تكون أساسية للحياة، فهو مذيب جيد، وشفاف للضوء، وله حرارة تبخر أعلى وسعة حرارة أعلى (إلا الأمونيا) بين السوائل الشائعة، وله كثافة عظمى كسائل في الدرجة 4 ^{o}C.

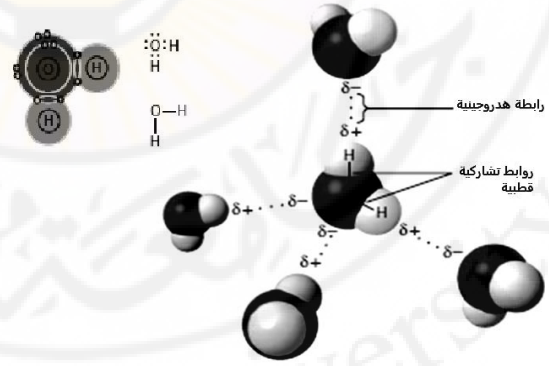
أولاً. بنية الماء وتركيبه الكيميائي

Structure and Composition of Water

1. البنية الداخلية لجزيئة الماء

The Internal Structure of Water Molecule

يتكون جزيء الماء من اتحاد ذرَّتين من الهدروجين وذرة واحدة من الأكسجين، وصيغته الكيميائية هي H_2O (الشكل 2-1)، وتعود أهمية الماء ليس لمواده بالضبط بل للمركبات المنحلة أو العالقة فيه، ويرتبط استعمال الماء وجودته بهذا المحتوى، كالملوحة وانحلال كلور الصوديوم وإن بمقدار 500 جزء في المليون ppm، أو وجود مقدار زهيد من رتبة 1 ppm من الرصاص، 10 ppm من النترات، 10 ppm من المخلفات الصلبة للصرف المنزلي، أو 5 ppm من المنظفات التي تجعله غير قابل للاستعمال، وتأخذنا الدهشة في التفاعل الكيميائي للماء إن عرفنا أن حصيلة نقاوته تبلغ 99.95%، ويتفوق الماء على مواد أخرى من حيث التعمق في دراسة خواصه، وحسبنا أن نذكر على الأقل أن الماء هو المادة الأولى التي بالقياس إليها جرى تعريف الغرام وتعيين سلَّم درجات الحرارة وغيرها (كيريبف 1979، Russell 2006).



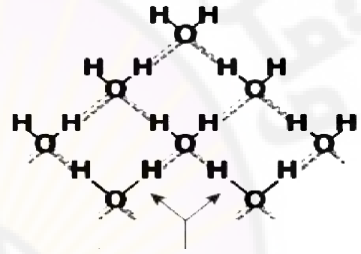
تتحد في جزيئة الماء H_2O القطبية جزيئتان من الهدروجين وواحدة من الأكسجين

الشكل 2-1 جزيئة الماء القطبية، الروابط الهدروجينية تربط بين جزيئات الماء – ظاهرة التجمُّع.

2. بنية الماء السائل The Structure of Liquid Water

يتميز الماء في حالته السائلة بظاهرة التجمُّع association، إذ توجد جسيمات ثنائية الهدرول $(H_2O)_2$، وثلاثية الهدرول $(H_2O)_3$، ودقائق أخرى أكثر تعقيداً في

الماء السائل، إلى جانب الجزيئات العادية (كيرييف 1979)؛ ما يسمح بارتباط جزيئات الماء معاً في هيئة شبكة فراغية متماسكة، في هذا التجمع تُكسب الروابط الهدروجينية صفات جديدة للماء كارتفاع درجة التجمّد والغليان، ويبلغ هذا التجاذب مداه في الحالة الصلبة للماء، ففي بنية الثلج تُحاط كل ذرة أكسجين بأربع ذرات من الهدروجين على هيئة هرم رباعي السطوح (الشكل 2-2)، ولولا هذا لكانت درجة غليان الماء ودرجة تجمّده منخفضة جداً، ولَاسْتحال وجود الماء على هيئة سائل وصلب على سطح الأرض ولما كانت الحياة.



الشكل 2-2 الروابط الهدروجينية في بنية الثلج.

تعد الصيغة العامة للماء H_2O [والأصح أن يُرمز له $(H_2O)n$] في الدراسات ممثلة للمركب $^{1}H_2{}^{16}O$ الذي يكوِّن القسم الأعظم من المياه الطبيعية.

وجزيء الماء منحن لا يتطابق فيه مركز الشحنتين الموجبتين لذرتي الهدروجين مع مركز الشحنة السالبة على ذرات الأكسجين (ليس جزيئاً خطياً)؛ ما يجعله كالمغناطيس بطرفين سالب وموجب، فجزيئاته قطبية والازدواج القطبي يسهم في الروابط الهدروجينية بين جزيئات الماء؛ ما يجعله من أقوى المُحلّات ولاسيما للمواد القطبية، وعلى العكس، فالمواد المكوّنة من جزيئات غير مشحونة وليس لها توزيع ثنائي القطب لا تنحل في المياه، مثل الزيت (يتكون من جزيئات هدروكربونات لا تحتوي إلا على ذرات الهدروجين وذرات وكربون ولا تتصف أي منها بقابلية جذب قوية للإلكترونات).

3. نظائر الماء Water Isotopes

تتكوّن ذرة الأكسجين ^{16}O من ثمانية إلكترونات (وثمانية بروتونات وثمانية نترونات)؛ أي للأكسجين سبعة نظائر، يمكن أن يتحد الأكسجين العادي مع الهدروجين العادي (البروتيوم)، أو يتحد أحد نظائره مع نظائر الهدروجين (الدتريوم، التريتيوم).

$^{20}O - {}^{19}O$ $^{18}O - {}^{17}O - {}^{16}O$ $^{15}O - {}^{14}O - {}^{13}O$

بالنتيجة، يمكن أن يتكوّن 48 (8×3×2) مركباً كيميائياً مختلفاً من الماء، تسعة مركبات منها فقط مستقرة، وهي موجودة دوماً في تركيب المياه الطبيعية:

$H_2{}^{17}O$ $H_2{}^{18}O$ $HD^{16}O$ $HD^{17}O$ $HD^{18}O$

$D_2{}^{16}O$ $D_2{}^{17}O$ $D_2{}^{18}O$

وأهم المركبات المستقرة ثلاثة أنماط: الماء الطبيعي (الخفيف) $^1H_2{}^{16}O$ توجد منه ملايين الجزيئات في قطرة الماء، والماء الثقيل $D_2{}^{18}O$ يوجد بنسبة زهيدة، والماء شبه الثقيل $HD^{18}O$ توجد آثار منه فقط (الجدول 2-1). يحتوي الطن الواحد من الماء الذي نشربه 150 غ من الماء الثقيل، 1800 غ من الماء شبه الثقيل، ويختلف الماء الثقيل عن الماء العادي بأنه أثقل وأكثر لزوجة، وأقل حلاً للملح العادي، وبأنه يغلي في درجة الحرارة 101.4 °C ويتجمد في درجة الحرارة 3.81 °C تحت الضغط الجوي النظامي.

الجدول 2-1 الغزارة النسبية للهدروجين والأكسجين للنظائر في جزيئة الماء.

النظير		الغزارة النسبية	النمط
^1H	الهدروجين العادي proteum	99.984	مستقر
^2H (D)	الدتريوم deuterium	0.016	مستقر
^3H (T)	التريتيوم tritium	$0 - 10^{-15}$	مشع*
^{16}O	أكسجين	99.76	مستقر
^{17}O	أكسجين	0.04	مستقر
^{18}O	أكسجين	0.20	مستقر

** نصف عمر العنصر = 12.3 سنة.*

4. الماء النقي Pure Water

يتضمّن الماء عادة شوائب مختلفة توجد بكميات متباينة: كالأملاح والغازات، والطحالب والدقائق العالقة، فالماء لا يوجد نقياً في البيئة، ولذلك فخواص الماء تجعله مادة من أكثر المواد الطبيعية أهمية للبيئة والأحياء على الإطلاق. تكون الأملاح المذابة في المياه مركبات شاردية متحللة كهربائياً غالباً، وتختلف قابلية الغازات للانحلال في الماء، وأهمها الأكسجين فالنتروجين، وتنتشر الأحياء عموماً في الماء.

يتصف الماء بعدد من الخواص الفريدة التي تكون أساسية للحياة إذ تُحدد سلوكه الكيميائي البيئي، ويمكن إجمال الخواص المهمة للماء بالآتي:

- ✓ مُحلّ رائع؛ ولذلك فهو يفيد في نقل الغُذيّات ونواتج المخلفات، متيحاً حدوث العمليات الحيوية في الوسط المائي.
- ✓ يمتلك الثابت الأعلى للعزل الكهربائي بين السوائل الشائعة التي تسبب الانحلالية العالية للركائز الشاردية وتشرُّدها (تأينها) في المحلول.
- ✓ شفاف للجزء المرئي وطول الموجة الأطول لضوء الأشعة الفوبنفسجية؛ ما يسمح للضوء اللازم للتركيب الضوئي بالاختراق على نحو كافٍ حتى الأعماق.
- ✓ يمتلك كثافة عظمى كسائل في الدرجة 4 سلسيوس ^{o}C؛ ما يحدّ من الدوران الشاقولي في الأجسام المتطبقة للماء.
- ✓ يمتلك حرارة تبخّر أعلى مقارنة بما هي عليه لأي مادة أخرى، والتي تحدّد نقل الحرارة وجزيئات الماء بين الجو والأجسام المائية.
- ✓ يمتلك سعة حرارة أعلى مقارنة بما هي عليه لأي سائل آخر، إلا الأمونيا، والتي تساعد في استقرار درجة الحرارة للأحياء والمناطق الجغرافية.

ثانياً. الخواص الفيزيائية للمياه Physical Properties of Water

1. درجة الحرارة Temperature

تتباين درجة حرارة المياه السطحية ضمن مجال واسع خلال العام وفقاً لتغيرات حرارة الهواء والوسط المحيط، وهي تقلّ مع الارتفاع عن سطح الأرض، وتتأثر بخطوط العرض ووجود المدن والصناعات، وتكون ثابتة تقريباً في المياه الجوفية.

كان يجب أن يغلي الماء في درجة الحرارة – 80 س ويتجمد في – 100 س، وفقاً لموقع عناصره في جدول مندلييف الدوري للعناصر، ولئن حدث ذلك فالمحيطات تتبخر فجأة تماماً، ويختفي الثلج والجليد والغيوم على الأرض وتصبح الحالتان السائلة والصلبة شاذتين!!.

في الواقع، يغلي الماء في درجة الحرارة 100 س، ويتجمد في درجة الحرارة 0 س، والماء هو المادة الوحيدة التي تتقلص أولاً بعد انصهارها ثم تتمدّد مع ارتفاع حرارتها، وتبلغ قيمتها العظمى في درجة الحرارة +4 س؛ وما دامت درجة حرارة الجسم المائي دون +4 س فالماء المتبرّد يهبط نحو الأسفل؛ ومع انخفاض درجة الحرارة يبقى الماء الأكثر برودة في الأعلى ويتوقف هبوط الماء المتبرّد نحو الأسفل، ولهذا دور مهم في وجود الحياة، فطبقة الماء البارد تبدو غطاء دافئاً لجميع الحيوانات في الماء.

وعلى خلاف ذلك، لو كانت الكثافة العظمى للماء عند الدرجة صفر س لتجمدت المياه من أسفلها إلى أعلاها في البحيرات والأحواض المائية والأنهار تدريجياً دون أن تنصهر بتأثير طاقة إشعاع الشمس، وتتحول إلى كتل ضخمة من الجليد، ويتحول سطح الأرض إلى سهول من الجليد يكسوها قميص رقيق من الماء فقط.

يتقلص الماء أيضاً في الحجم كلما صار أبرد مادامت درجة حرارته فوق أربع درجات مئوية، وما إن يبلغ هذه الدرجة حتى يبدأ بالتمدّد خلافاً للسوائل المعروفة، وعندما يتجمّد فإنّه يتمدّد أكثر من ذلك ويتصلَّب، ويصبح وزنه أخف من الماء السائل فيطفوا الجليد على سطح الماء، وهذه الخاصة للماء شاذة في الطبيعة واستثناء رائع!.

ولما كانت الأحياء المائية تتمتع بمجال ضيق لتحمُّل درجة الحرارة فإن ارتفاع الحرارة النوعية للمياه يحمي الأحياء إلى حدّ كبير من شدّة تأثير التغيّرات في درجات الحرارة المفاجئة (تكون تغيرات درجة حرارة المياه أقل)، ولدرجة الحرارة تأثير مهم في الخواص الأخرى للماء وفي الأحياء؛ إذ يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى الآتي:

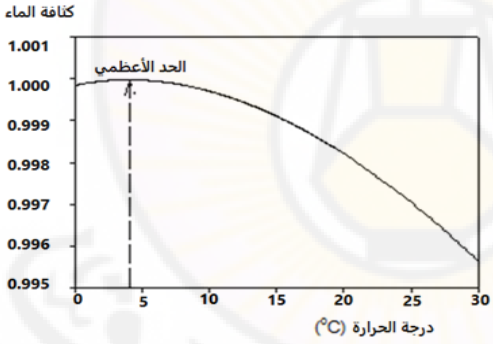
- ✓ ازدياد نشاط العمليات الميكروبيولوجية وسرعتها؛ وبالتالي فعالية تحليل المادة العضوية، وتضاعف معدلات تفاعلات الأحياء الدقيقة لكل 10 درجات س، وازدياد حساسية الأحياء المائية للمواد السامة المنحلة في البيئة المائية.
- ✓ ازدياد معدلات التفاعلات الكيميائية، ونقصان درجة انحلال الغازات وتركيز الأكسجين المنحل الذي يجلب الضرر للأحياء ويحد من التنقية الذاتية، ويؤدي الارتفاع الشديد بدرجة الحرارة إلى خلل بيئي وظهور أنواع جديدة من الأحياء.

2. **الكثافة** Density

تزداد الكثافة بازدياد كمية الأملاح المذابة في المياه وازدياد الضغط؛ وإن كان الضغط يرتبط بالعمق، وتقل الكثافة عموماً بارتفاع درجة الحرارة، ما عدا بين الدرجتين صفر و 4 س؛ ما يفسر وجود الكثافة العظمى للماء عند الدرجة 4 °C س (بالضبط عند 3.98 س) وليس عند الدرجة صفر، فالكثافة تزداد وتبلغ قيمتها الواحد، يقلّ عدد الجزيئات المرتبطة معاً بالروابط الهدروجينية عند ازدياد درجة الحرارة؛ ما يسمح بصون الأحياء في كتلة المياه الباردة (الجدول 2-2، الشكل 2-3)، تكون الجزيئات أقل تراصاً في البلورات مما هي عليه في السائل؛ والجليد أخف من الماء ويطفو عليه، ويقل حجمه نحو 10% عند الذوبان.

الجدول 2-2 كثافة الماء (غ/سم^3) في درجات الحرارة المنخفضة (كيربيف 1979).

t °C س	الكثافة
4	1.000000
3	0.999992
2	0.999968
1	0.999270
0	0.998680
-1	0.99979
-2	0.99700
-3	0.99580
-4	0.99450
-10	0.99815



الشكل 2-3 الحد الأعلى لكثافة الماء.

3. **اللزوجة** Viscosity

هي مقاومة الماء للانتقال الذي تقوم به طبقة إلى أخرى، وترمز إلى الاحتكاك الداخلي، ويسمى مقلوب اللزوجة بالسيولة fluidity (الشكل 2-4)، ولزوجة الماء هي القوة المعاكسة التي تبذلها المياه ضد الجريان، أو أي قوّة تبذل لتغيير شكل الماء الطبيعي، وله أقل لزوجة ممكنة عن سواه من المواد السائلة، والماء أكثر سيولة بعشرة ملايين مرة من القطران وبألف مرة من الغليسرين، ومئة مرة من زيت الزيتون وعشرين مرة من حمض الكبريت.



الشكل 2-4 اختلاف درجة اللزوجة.

ترتبط لزوجة الماء مع تراكيز الأملاح المذابة التي يمكن إهمال دورها في المياه العذبة، وهي تزداد بانخفاض درجة الحرارة؛ ولذلك تحتاج حركة الأحياء المائية إلى جهد أكبر في المياه الباردة والمالحة، وكذلك تجري عمليات الترسيب داخل الماء ببطء في درجات الحرارة المنخفضة، وعندما تقع لزوجة الماء خارج النطاق الاعتيادي تضطرب الأحياء، ففي اللزوجة المنخفضة تتعرّض لحركات عنيفة، وعندئذ لن يكون الماء قادراً على دعم التركيب الضوئي في الخلية، وفي اللزوجة العالية يعوق الماء نشاط الميتاكوندريا وعمليات الانقسام الخلوي، وتتوقف النشاطات الحيوية الخلوية.

4. **العكارة** Turbidity

تتميز المواد العالقة في المياه، مثل: الطين والأحياء الدقيقة، بقابليتها للترسيب مع الوقت عند الركود، وتمثل مقياساً لامتصاص الضوء وبعثرته أي العكارة، وواحدتها وحدة العكارة النيفلومترية nephelometric turbidity unit NTU.

ترتبط درجة العكارة بكمية الركائز المنحلة وغير المنحلة، كالمواد العضوية واللاعضوية وكميتها ونوعها ولونها ودقة حبيباتها، والطين clay، والحموض الدبالية humics (organic acids)، والطمي silt، والمركبات الملوّنة، وتزداد العكارة بازدياد الجريان، وتآكل الضفاف، وحدوث الفيضان، والنمو المفرط للطحالب، ووجود أكاسيد المعادن الترابية وألياف الخضار الورقية والأحياء الدقيقة ولاسيما العوالق وتأثير النشاط البشري كالسياحة والصرف، وتكون العوالق سبباً مهماً للعكارة في الصيف، ويكون الطمي عاملاً مهماً في فترات الهطل الشديد.

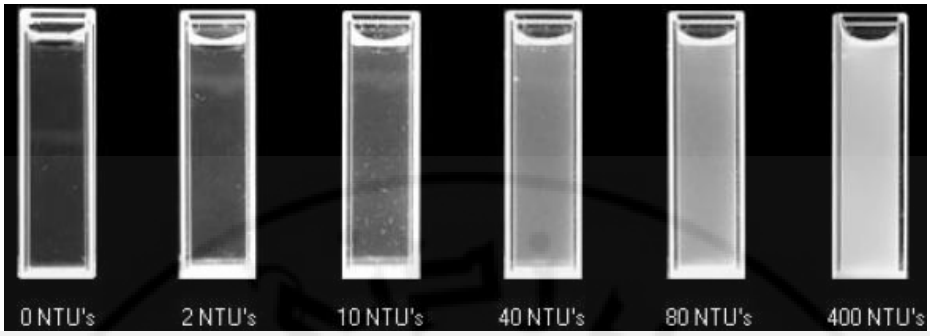
تدل العكارة في المياه على مجال شفافيتها، وكلما ازداد العكر قلّت الشفافية، وإذا كان العكر عاملاً بيئياً محدداً لوجود الأحياء فإن الشفافية تصبح دليلاً على الإنتاجية.

تتراوح قيمة الشفافية بين بضعة سنتيمترات في المسطحات المائية شديدة العكر و40 متراً في مياه البحيرات الجبلية عالية الشفافة جداً وغير المنتجة، ولما كان الماء محلّاً جيّداً لكثير من المواد والمركبات الكيميائية فإنه لا يوجد نقياً في الطبيعة، ويبيّن الشكل 2-5 معايير العكارة في المياه وأسبابها.

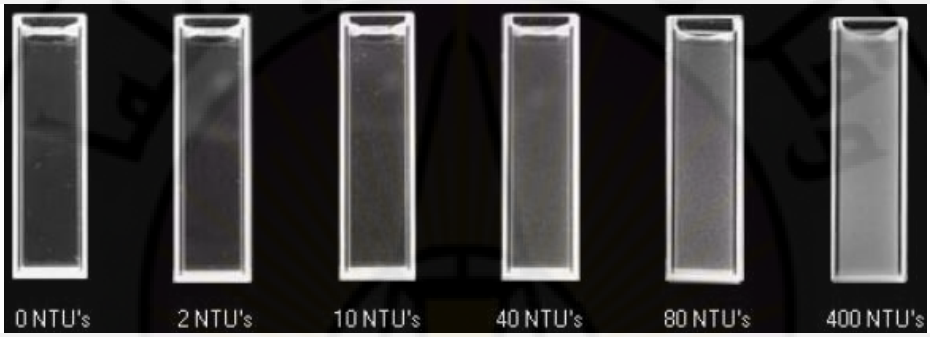
تحتوي المياه مواد وشوائب عالقة ذات كثافة أعلى من كثافة الماء، ويرتبط بقاؤها عالقة بحركة الماء، وهي عضوية، مثل: بقايا النباتات والحيوانات، أو لاعضوية، مثل: الرمل والتراب، وحيوية، مثل: الطحالب والجراثيم، ودرجة العكارة المقبولة للمياه هي: مياه الشرب 5 mg/dm^3، المياه السطحية: 20 أو 30 أو 50 mg/dm^3.

عندما تكون نسبة العكارة 30 غ/ل تعدّ المياه السطحية طبيعية وجيدة، إذ تعوق عكارة الطمي التي تزيد على 30 سم نموذجياً ازدهار العوالق النباتية في المياه العذبة، وتقاس العكارة بقرص سيكي Secchi disk (الشكل 2-6) أو بمقياس العكارة turbidometer، ويمكن إجمال تأثير العكارة بالآتي:

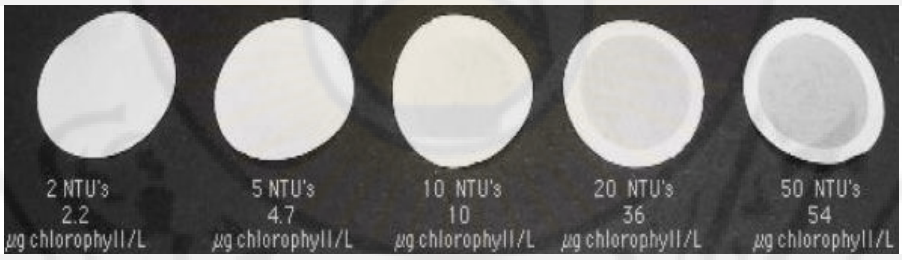
- ✓ يؤدي ازدياد العكارة إلى انخفاض اختراق الضوء للطبقة المائية؛ فتنخفض معدلات التركيب الضوئي وإنتاج الأكسجين وعملية التكاثر، وتتدهور الحياة المائية، وتموت النباتات في المعدلات المنخفضة جداً للضوء.
- ✓ تقلل العكارة العالية تركيز الأكسجين المنحل في الماء؛ فتنخفض معدلات التنقية الذاتية.
- ✓ تزيد العكارة العالية ثخانة طبقة الطمي في قاع المجرى السفلي؛ فتزداد معدلات العمليات اللاهوائية بوجود المادة العضوية وغياب الأكسجين، وتكوّن المركبات الكبريتية والفسفورية والأمينية السامة.
- ✓ تزيد العكارة معدل التنفس، وتسبب إغلاق أجهزة الترشيح.
- ✓ تعمل الدقائق العالقة على تأمين المأوى للأحياء الدقيقة الضارة.
- ✓ للعكارة أهمية في تحديد مجال صلاحية المياه للشرب وللاستعمالات المنزلية.



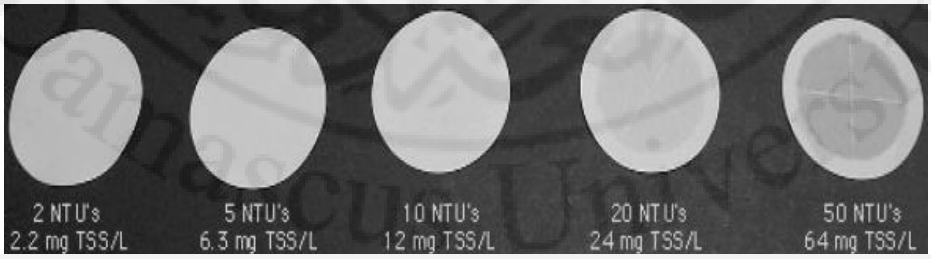
معايير العكارة



عكارة الطين العالق

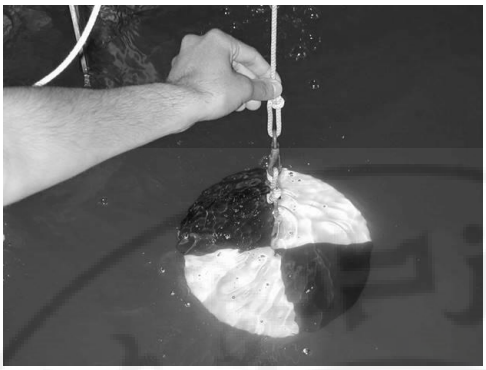


العكارة الناشئة عن الطحالب



العكارة الناشئة عن الرسوبات

الشكل 2-5 معايير العكارة في المياه وأسبابها ودرجات العكارة.





يُترك القرص ليسقط في المياه حتى يختفي، ويسجَّل العمق، مقدراً بالسنتيمتر أو المتر.

الشكل 2-6 قرص سيكي – مقياس العكارة.

يمثّل إجمالي المواد الصلبة مجموع المواد الصلبة المنحلة الإجمالية والمواد الصلبة العالقة الإجمالية (الجدول 2-3).

الجدول 2-3 المواد الصلبة total solids TS.

المواد الصلبة المنحلة الإجمالية total dissolved solids TDS		المواد الصلبة العالقة الإجمالية total suspended solids TSS	
العضوية	اللاعضوية	العضوية	اللاعضوية
الحمض الدبالي العفص tannins البيروجينات pyrogens	السيليكا المتفاعلة reactive silica (المنحلة)	الطحالب الفطريات الجراثيم	الطمي الطين الصدأ rust الندف

5. **الناقلية الكهربائية** Electrical Conductivity EC

الناقلية الكهربائية للماء دالة غير مباشرة لتقدير الملوحة salinity، تزداد بازدياد المركبات الكيميائية المتحللة كهربائياً كالأملاح والأسس والحموض، وهي تمثّل مقياساً للمحتوى المعدني في المياه، وواحدتها µS/cm، يمكن استعمالها لتقدير كمية الأملاح المذابة في المياه، وتعد قيمة ثابت العزل الكهربائي للماء عالية جداً.

µS/cm	3000	1500	750 – 150
	عامل لحدوث خلل في التوازن البيئي	دالة على الملوحة العالية	المجال الطبيعي

6. كمون الأكسدة والإرجاع Oxidation and Reduction Potential

يعبّر كمون الأكسدة والإرجاع عن القدرة المؤكسدة أو المرجعة لمحلول معين، ويرتبط بعوامل، مثل: قيمة pH وكمية الأكسجين المنحل وطبيعة المواد المنحلة ونسب المركبات المؤكسدة والمرجعة وليس كمياتها المطلقة، ويفيد كمون الأكسدة والإرجاع في ترسيب بعض الشوارد، وفي تحرير العناصر من قاع البحيرات، وينخفض بوضوح عند الانتقال من المياه (المؤكسدة) إلى الرسوبات القاعية (المرجَعة)، وتتجلى ظاهرة الأكسدة والإرجاع عند الجراثيم الكبريتية والحديدية، يترك تفاعل الأكسدة والإرجاع تأثيراً في عمليات التركيب الضوئي والتنفس في المياه.

7. الطعم والرائحة واللون Taste, Odor and Color

تكتسب المياه طعماً ورائحة ولوناً بسبب العوامل الطبيعية، مثل: المواد العضوية المتحللة لاهوائياً، وكبريت الهدروجين، وتكاثر الطحالب ومنتجاتِها ولاسيما بعد موتها، وبسبب العوامل الصنعية، مثل: المركبات الكيميائية المضافة إلى المياه عند المعالجة، وصرف المخلفات السائلة الصناعية والمنزلية دون معالجة، والمركبات اللاعضوية كالأمونيا والكلورين وكبريت الهدروجين، وتبدو الأجسام المائية زرقاء على عمق ثلاثة أمتار، وتكتسب المياه لوناً معيناً بحسب مصدر عكارتها والمواد العضوية المنحلة فيها، وبعض الشوائب المعدنية العالقة فيها، ومركبات الحديد والمنغنيز والنحاس، والرقم الهدروجيني، وتبدو الحموض الدبالية غير ضارة بالأنواع في المزارع المائية، وقد تزدهر العوالق النباتية (غالباً الطحالب الداينوية) إلى درجة تبدو فيها المياه حمراء.

ينشأ الحديد عن الصخور البركانية: الهِماتيت والمَغنِتيت وخام السلفيد في الصخور الرسوبية والاستحالية، إذ توجد شوارد الحديد المنحلة أو غير المنحلة، وتبدو المياه المتضمنة الحديد الثنائي صافية وعديمة اللون لأنه منحل تماماً، وعند تعرضه للهواء يتعكر الماء بسبب أكسدة الحديد الثنائي إلى أكسيد الحديد البني المحمر.

يمكن تحديد طعم ورائحة المياه بوساطة الذوق والشم، فهي خواص حسية، وكذلك يمكن تحديدها في المختبر.

8. **الجريان والحركة** Flowing and Movement

تتعرض مياه الأنهار والجداول بمعدلات أكبر للهواء عند الجريان؛ فتتجانس درجة الحرارة في مياهها وكمية الأكسجين والغازات المنحلة والأملاح المغذية، ويترك المد والجزر تأثيراً مهماً في الشواطئ، وكثيراً ما تتكوّن الدوامات في الأجسام المائية.

9. **الضغط** Pressure

يزداد الضغط في المياه بازدياد الكثافة وازدياد العمق، يتحمّله بعض الأنواع وهناك أنواع أليفة للضغط barophilic.

10. **التوتر السطحي** Surface Tension

إن السطح الفاصل بين الماء والهواء شبيه بغشاء مطاطي مشدود، وأي جزيء فيه يخضع للتجاذب من جميع الاتجاهات بفعل الجزيئات الأخرى، وتنعدم المحصلة بسبب تساوى شدة القوى المؤثرة، أما الجزيئات السطحية المكونة للغشاء السطحي فتخضع لقوى الجزيئات الجانبية والسفلية؛ وتقلل حجمها للتخلص من الشد (التوتر)، أي يفيد التوتر السطحي في التصاق الماء وتماسكه. ينخفض التوتر السطحي للمياه بازدياد درجة الحرارة والمواد المنحلة، وواحدته هي دينة/ سم Dyn/cm أو نيوتن /المتر، وقيمته للماء عالية جداً، يكسب التوتر السطحي الماء خاصية الفعل الشعري فينتقل بما فيه من مواد منحلة في النباتات والأقنية والشقوق الدقيقة في التربة والصخور، والسطح الفاصل بين الماء والهواء موئل لعدد من الحشرات.

11. **النشاط الإشعاعي**

يرتبط النشاط الإشعاعي ولاسيما في المياه الجوفية بوجود أملاح المواد المشعة، مثل: الراديوم واليورانيوم أو غاز الرادون.

12. **الانضغاط**

هو مقدار تغيّر حجم المياه تحت تأثير الضغط، وترتبط درجة الانضغاط أساساً بكمية الغازات المنحلة فيه ودرجة الحرارة والتركيب الكيميائي للماء.

ثالثاً. الخواص الكيميائية للمياه Chemical Properties of Water

الماء محلّ للمواد اللاعضوية والغازات، ولذلك تكون المياه الطبيعية مشوبة دوماً؛ ما يؤثر في مجال صلاحيتها للاستعمالات المختلفة ويحدّد طرائق معالجتها المحتملة، والخواص الكيميائية عامل بيئي مهم لانتشار الأحياء المائية، وتصبح عاملاً محدداً لوجودها وانتشارها أحياناً؛ كما في حالات الملوحة العالية والمفرطة والتركيب الكيميائي لأنواع محددة من المركبات اللاعضوية والمعدنية.

1. تفكك الماء

يتفكك الماء إلى الهدروجين والأكسجين، عند إمرار شرارة كهربائية في بخار الماء، وإن كانت نسبة التفكك لا تزيد على 0.02% في درجة الحرارة 1200 س، لا تزيد نسبة خلط الهدروجين والأكسجين الناتج على 11% في درجة الحرارة 2600 س، وهذا الخليط يبرد بسرعة، ولا يجد الظروف المناسبة لتكوين جزيئات الماء ثانية.

2. الشوارد الكيميائية Chemical Ions

توجد في المياه الطبيعية أملاح لاعضوية مذابة ومواد عضوية وغازات وأحياء نباتية وحيوانية وأحياء دقيقة، وتتضمن شوارد مختلفة.

شوارد سالبة anions	الكلوريدات والكبريتات والبيكربونات، والكربونات في كثير من الأحيان.
شوارد موجبة cations	شوارد الصوديوم والكلسيوم والمغنزيوم، وشوارد أخرى بكميات ضئيلة جداً، كالبوتاسيوم والحديد والمنغنيز وغيرها.

يعود الدور الأساسي في تكوُّن المحتوى الكيميائي بالمياه للظروف المناخية السائدة وشروط التربة ودرجة الحرارة والأحياء المائية؛ ما يجعل المياه متباينة جداً في محتواها الكيميائي، إذ تتفاوت كمّيات الشوائب وأغلبها متحللات كهربائية، وقد توجد حموض عضوية عند تفكك المخلفات النباتية، أو مواد كلسية عند مرور المياه في تكوينات الأحجار الجيرية، وكميات قليلة من الكلور والنترات والكبريتات والسيليكات.

تحدث تنقية المياه من الشوائب والمواد العالقة عند ارتشاحها خلال القشرة الأرضية، غير أن المياه الجوفية تتضمن كميات زهيدة من المواد المنحلة كالأملاح المعدنية التي تختلف طبيعتها اختلافاً واسعاً من بقعة لأخرى على الأرض، أما بعض الأملاح المعدنية، مثل: أملاح الكبريت والحديد فتُكسب المياه طعماً غير مستساغ، ويتميّز بعضها الآخر بتأثير مهضّم أو مليّن أو مقوّ، وتزداد نسبة مركبات الكلس أو الجير فالصوديوم والمغنزيوم في المناطق الجافة؛ ما يحدّ من استعمال المياه القلوية، وتزداد مركبات الكلسيوم في مياه المناطق الرطبة وتجعلها عسرة، وتقلّ أملاح الصوديوم بسبب الغسل المستمر للتربة.

يسمح تركيب الشوارد السائدة والعلاقة فيما بينها وفقاً لدراسات ألِكين بتقسيم المياه الطبيعية (الجدول 2-4) وفق الآتي (Alekin 1970).

الجدول 2-4 صفوف المياه اعتماداً على الشوارد الكيميائية.

الصف	المجموعة	الأنماط
الهدروكربوناتي C	الكلسية	I, II, III
	المغنزية	I, II, III
	الصودية	I, II, III
الكبريتي S	الكلسية	I, II, III
	المغنزية	I, II, III
	الصودية	I, II, III
الكلوريدي Cl	الكلسية	I, II, III
	المغنزية	I, II, III
	الصودية	I, II, III

$HCO_3^- > Ca^{2+} + Mg^{2+}$

$HCO_3^- < Ca^{2+} + Mg^{2+} < HCO_3^- + SO_4^{2-}$

$HCO_3^- + SO_4^{2-} < Ca^{2+} + Mg^{2+}$ or $Cl^- > Na^+$

$HCO_3^- = 0$

3. **القساوة** Hardness

هي مجموع شوارد المعادن القلوية الترابية Sr^{2+}, Ba^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} في المياه، وواحدتها ملي مول/ل (mmol/L)، تمثل قساوة الماء عدم قابليته لتكوين الرغوة مع الصابون ، ولما كانت شوارد الباريوم والسترنسيوم نادرة في المياه فإن المعادن القلوية الترابية أساساً هي شوارد المغنزيوم والكلسيوم، والقساوة (العسر) نمطان:

القساوة المؤقتة (الكربوناتية)	يسببها ثنائي كربونات الكلسيوم وثنائي كربونات المغنزيوم التي يمكن التخلص منها بغلي الماء.
القساوة الدائمة (غير الكربوناتية)	يسبّبها وجود أملاح الكلسيوم والمغنزيوم باستثناء ثنائي الكربونات.

وتُصنف قساوة المياه وفق المستويات الآتية (الجدول 2-5):

الجدول 2-5 تصنيف المياه وفقاً لمستويات القساوة.

التصنيف	مستوى القساوة ppt
مياه خفيفة/ لينة	1 >
مياه قاسية قليلاً	3.5 – 1
مياه قاسية باعتدال	7.0 – 3.5
مياه قاسية	10.5 – 7.0
مياه قاسية جداً	10.5 <

4. **الملوحة** Salinity S

هي كمية الأملاح (تركيز الشوارد) المذابة في واحدة الحجم من المياه، وواحدتها ppt أو mg/L، والشوارد الأهم هي Na^+ و Cl^-، ثم Mg^{2+}، Ca^{2+}، K^{2+}، SO_4، والبيكربونات HCO_3^-، وتختصر الملوحة إجمالي الظروف الهدرولوجية والجيولوجية، تتباين كمية المواد المنحلة في الأنهار، وتقسم المياه إلى ثلاثة أنماط كالآتي:

النمط	العذبة	شبه مالحة	مالحة
تركيز الأملاح غ/ل	1 >	25 >	25 <

5. الرقم الهدروجيني pH

هو اللوغاريتم السلبي لتركيز شوارد الهدروجين مقدراً بالمول في اللتر، وتدل على درجة الحموضة أو القلوية للمياه، ومجالها 1.0 – 14.0.

$$pH = \log 10\ 1l/[H^+] = -\log 10\ [H^+]$$

ويقع المجال الطبيعي بحدود 6.0 – 9.0، إذ يؤمّن الحماية لحياة أسماك المياه العذبة واللافقاريات القاعية، ويحدّد التأثيرات السامة للمخلفات الزراعية والمنزلية والصناعية، كالحديد والألمنيوم والأمونيا، أو الزئبق وغيرها.

6. الحموضة والقلوية Acidity and Alkalinity

يسبب وجود الحموض القوية والضعيفة الحموضة في المياه، أما قلوية المياه فتنتج عن وجود الأسس القوية والضعيفة وأملاح الحموض الضعيفة ذات التفاعل الأساسي عند انحلالها، مثل: بيكربونات المعادن القلوية والقلوية الترابية، وكربونات وفُسفات وسيليكات المعادن القلوية، وواحدتها جزء في المليون من كربونات الكلسيوم.

7. الغازات المنحلة Dissolved Gasses

تنحلّ الغازاتٌ الجوية في المياه كالأكسجين O_2 وثنائي أُكسيد الكربون، وكذلك غازات كبريت الهدروجين والميتان والنتروجين والهليوم وغيرها في بعض المواقع، وتؤدي التهوية والجريان إلى إغناء المياه بالأكسجين، إلى جانب التركيب الضوئي.

ينخفض تركيز O_2 المنحل في المياه بازدياد درجة الحرارة والملوحة، ويزداد في المياه العذبة عما في البحار وفي المياه السطحية عما في القاع، وغياب الأكسجين في المياه يؤدي إلى حدوث العمليات اللاهوائية، ويأتي معظم CO_2 من الجو والكربونات المنحلة من الصخور، ويرتبط بجزيئات المياه لتكوين حمض الكربون الذي يتحول إلى بيكربونات وكربونات الكلسيوم وفق قيمة pH.

يتميز غاز H_2S برائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد، ويُصادف في المواقع اللاهوائية، ويساهم في حدوث الصدأ، ويتأكسد بسرعة بالكلور.

ينحل غاز الرادون radon بالماء، وينتج عن تفكك الراديوم ونظائره، ويوجد في المياه الجوفية طبيعياً نتيجة التماس مع تشكيلات الغرانيت، والتراكم الطبيعي للفُسفات واليورانيوم، ويوجد الكلوريد chloride بتراكيز منخفضة غالباً في المياه، فهو شديد الانحلال ويتحرك مع الماء بحرية خلال التربة والصخور.

8. **المواد العضوية** Organic materials

توجد مواد عضوية منحلة متباينة جداً في المياه الطبيعية، مثل: الحموض الدبالية، والعفص Tannins، والحموض الفولفية Fulvic acids، ومكوّنات المخلفات السائلة المنزلية والصناعية والزراعية التي تُصرف في المسطحات المائية والوديان دون معالجة؛ وأهمها: الفينولات والمنظفات والهدروكربونات والكربوهدرات، وهي تُنتِج مركّبات ثانوية ضارّة بالبيئة المائية، إضافة إلى مركبات طيّارة مؤذية.

يُحدَّد الكربون العضوي الإجمالي total organic carbon TOC في اختبارات الدراسات البيئية، وهو اختبار أساسي يستعمل في نظم المعالجة المائية، يقيس المادة العضوية الكربونية القابلة للأكسدة مباشرة.

9. **الأملاح المغذية** Nutrient Salts

نظراً إلى وفرة الغُذيَّات المناسبة فإن الأحياء الدقيقة تتميز بقدرة مذهلة على التوزع والانتشار، وتمثل النترات والفُسفات عاملاً محدِّداً تقريباً في مجمل النظم البيئية المائية العذبة، ويضاف إليها أحياناً أملاح البوتاسيوم وغيرها في المياه العذبة اليسرة.

للنتروجين في البيئة صيغ مختلفة تفيد كغُذيات لاعضوية وعضوية.

النتروجين اللاعضوي	النتروجين الجوي (غاز) N_2، النترات NO_3^-، النتريت NO_2^-، الأمونيا NH^{3+}.
النتروجين العضوي	في البروتينات.

تعيد النباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة تدوير النتروجين، والجراثيم تحوّل النتريت إلى النترات بسرعة، ولكن تفاعلات النترات في المياه العذبة يمكن أن تسبب استنزاف الأكسجين؛ ما يؤدي إلى موت الأحياء المائية الهوائية.

إن المخلفات السائلة المنزلية والصناعية والزراعية مصادر أساسية للنتروجين، ولعمليتي النترجة nitrification ونزع النتروجين denitrification تأثير في تركيز النترات في المياه، والنترات هي الملوث الأكثر شيوعاً في المياه الجوفية، توجد الفُسفات على هيئة محلول أو دقائق أو ضمن الأحياء المائية، وتسبب الكمية المفرطة منها ازدهار الطحالب والنباتات المائية، والفُسفور من أهم العناصر الضرورية لنمو النباتات والحيوانات، سام جداً، ومصادره تحلل الطحالب.

10. **تفاعل الماء** Reaction of Water

يتفاعل الماء أساساً مع المعادن ومع اللامعادن، إضافة إلى تفاعله مع المركبات.

يتحد الماء مع **المعادن** بطريقة تعطي قياساً لنشاط هذه المعادن، فكل منها يتحد مع الماء البارد وينطلق الهدروجين، ويصبح المحلول قلوياً، فمثلاً: يتفاعل مع الصوديوم أو البوتاسيوم لتكوين الهدروكسيدات.

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$$

ويكون التفاعل أقل عنفاً مع المعادن القلوية في الفصيلة II، يتفاعل بعض المعادن الانتقالية (كالحديد والزنك والمغنزيوم) مع الماء الساخن أو البخار مكونة الأكاسيد.

قلما يتفاعل الماء مع **اللامعادن**، مثل: الكربون والكبريت والفُسفور، على عكس الفحم الذي يتفاعل عادة مع بخار الماء في درجة الحرارة 1000 س.

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

يتفاعل الماء مع الهالوجينات لتكوين محلول حمضي، إذ يتفاعل مع الكلور لتكوين حمض كلور الماء الضعيف وهو مؤكسد قوي، ولهذا الحمض يعود الفعل المطهّر لماء الكلور وفعل القصْر bleach أيضاً.

$$H_2O + Cl_2 \rightarrow HCl + HOCl$$

ويتفاعل مع هاليد الفسفور لتكوين حموض الفسفور.

$$PCl_5 + 4\ H_2O \rightarrow H_3\ PO_4 + 5\ HCl$$

رابعاً. الخواص الحيوية للمياه Biological Properties of Water

1. الأحياء الدقيقة مكونات أساسية في المياه

Microorganisms are natural and essential constituents

للبيئة المائية خواص فيزيائية وكيميائية وحيوية تجعلها تؤمّن ظروفاً مناسبة لوجود الأحياء الدقيقة؛ ما يسمح بوجود أعداد قليلة أو هائلة منها وترك بصمتها في نوعية البيئة المائية ذات الحركية والتغيّر والتنوّع باستمرار، ويمكن تقسيمها كالآتي:

هناك أحياء دقيقة منتِجة للمادة العضوية؛ فهي قادرة على تركيب مادتها الحية، بامتصاص الضوء أو الاكتفاء بطاقة المركبات اللاعضوية، ويستهلك بعض الأحياء المادة العضوية المتكوّنة، وتعيد المفككات كالجراثيم والفطريات (والحيوانات) المادة العضوية ثانية إلى الأصل اللاعضوي، توجد أحياء دقيقة ذاتية الاغتذاء الضوئية أو الكيميائية، وأخرى غيرية الاغتذاء تستعمل المادة العضوية بطريقة هوائية اعتماداً على عمليات الأكسدة والإرجاع، كالجراثيم والفطريات.

وللأحياء المائية أساليب متباينة في حياتها، فالفيروسات تتضاعف في خلايا المضيف، ويقاوم بعض الجراثيم المواد المعقمة كالكلور، وبعض الأحياء الدقيقة ممرض للإنسان، أما وجود الأحياء الدقيقة في المصدر المائي فيعتمد على الحدود القصوى المفضلة، وعلى الحدود القصوى المسموح بها لتراكيز المواد في مياه الشرب.

2. فوائد الأحياء الدقيقة في المياه وأضرارها

Benefit and hazards of Microorganisms in water

تعمل الأحياء الدقيقة على تحليل المركبات العضوية؛ بما فيها الذيفانات toxins، وتتميز بقدرة كبيرة على التدوير وتكوين الدبال، إذ تمتص الغُذيات والغازات، وبالمقابل تفرز مركبات كيميائية وغازات ضارة ومخلفات سامة، وتخضع الأحياء الدقيقة لكثير من العوامل تجعلها في علاقات كالتنافس والتآزر والتكافل والافتراس والتطفل وغيرها، وقد تبدي ظواهر الازدهار والنمو المفرط في ظروف معينة، ولها أنواع تسبب الأمراض للإنسان والحيوانات والنباتات وغيرها.

3. **الإمراضية والوبائية** Pathogenicity and Epidemiology

المُمْرِض pathogen هو أحد أنواع الأحياء الدقيقة أو أصنافها الذي يسبب المرض للنباتات والحيوانات أو الإنسان.

الإمراضية pathogenicity هي القدرة على إحداث المرض في المضيف، وتدل الفوعة virulence على درجة الإمراضية للممرض، وتعتمد نتيجة العدوى infection على فوعة الممرض والدرجة النسبية لمقاومة المضيف أو حساسيته التي تعود أساساً لكفاءة آليات دفاعه.

الوبائية epidemiology هي حالة تفشي مرض معين في مكان ما خلال فترة محددة قد ترتبط بالإصحاح sanitation أو الفقر أو الحروب أو العادات أو ضعف تأمين مياه الشرب النظيفة أو الأغذية السليمة.

يسبب الماء كثيراً من حالات تفشي الأمراض المنقولة بالمياه أو نتيجة تلوث المياه أو بسبب عدم معالجة المياه أو ضعف وسائل المعالجة، أو نتيجة استعمال مياه الري الملوثة، أو مياه الصرف الخام، ومن أهم الأمراض: الهيضة والزحار وحالات الإسهال واليرقان والشلل وغيرها.

4. **القدرة على التخريب** Ability to destruction

نظراً إلى قدرة الأحياء الدقيقة على النمو والتكاثر في البيئة المائية الطبيعية أو الصنعية؛ فهي تعمل على تآكل الخرسانة والمعادن وتخريب المنشآت والأجهزة والوسائط المائية؛ وتؤدي إلى تلوين المياه وتغيير الطعم وإصدار رائحة وعرقلة التصفية وانسداد شبكات توزيع المياه، ويرتبط ذلك مع نموها وتكاثرها وتكتلها وإنتاج مواد هلامية في خزانات الإمداد، فالمشطورات والجراثيم الزرقاء تعرقل عمل المرشحات، وتنشأ رائحة كريهة نتيجة تفكيك الطحالب غالباً في محطات معالجة مياه الشرب بفعل الفطريات والجراثيم؛ بما فيها الشُعيات.

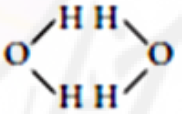
تساعد الطحالب النامية في شبكات توزيع المياه في زيادة كمية المادة العضوية التي تتغذى بها الجراثيم والديدان الخيطية وغيرها من الأحياء غير المرغوب فيها.

تعد ظاهرة تآكل الخرسانة والمعادن في الأنابيب والمسخِّنات مشكلة دائمة، وتساهم الطحالب أحياناً مباشرة في عملية التآكل في مواضع محددة، وتؤدي إلى تآكل الأحواض المعدنية المعرضة لإشعاع الشمس، وقد تؤدي الكبريتيدات الناتجة عن إرجاع الكبريت بفعل الجراثيم الكبريتية إلى تآكل الأحجار والخرسانة؛ ولاسيما في الأحواض اللاهوائية المستعملة لمعالجة المخلفات السائلة المنزلية.

أسئلة للمناقشة



- ما أهمية اختلاف نوعية المياه؟.
- أوضح تأثير ارتفاع درجة الحرارة في خواص الماء.
- تتميز العكارة بخواص مهمة في أداء المياه لوظيفتها كالآتي: ...
- لماذا يكون بعيد الاحتمال أن تنتظم جزيئتان جارتان للماء على النحو التالي؟.



- ما أهمية الأملاح المغذية في المياه؟.
- عدد أهم الخواص الحيوية للمياه.
- ما دور الكثافة في صون الحياة المائية؟.

المراجع References

الجنايني؛ محمد عبد الرحمن، الفتياني؛ فاروق (1986). الهيدرولوجيا ومبادئ هندسة الري، كلية الهندسة – جامعة بيروت العربية وجامعة الإسكندرية، دار الراتب الجامعية، بيروت– لبنان.

دوكروك، ألبير (1981). قصة الحياة، ترجمة د. أحمد سعاد الجعفري، وزارة الثقافة، دمشق.

كيرييف، ف. (1979). الكيمياء الفيزيائية، الجزء الأول. ترجمة عيسى مسوح، دار مير للطباعة والنشر، موسكو، الاتحاد السوفييتي.

Alekin O. A. (1970). The Bases of Hydrochemistry. Leningrad, Hydrometeoizdat, 444 pp.

Moiseev P. A., (1989). Biological resources of world ocean. Moscow, Agroprom.

Odum Eugene P. (1971) , Fundamentals of Ecology, third Edition, W.B.Saunders Company Philadelphi – London – Toronto , Univ. of Georgia, Athens, Georgia.

Reece J. B., Wasserman S. A., Urry L., Minorsky P., Cain M., Jackson R. (2014). Campbell biology, tenth edition, Inc. Pearson. www.pearsonhighered.com

Russell David L., (2006). Practical Wastewater Treatment, John Wiley & Sons, Inc.

Solomon E., berg L., Martin D. (1999). Biology, Fifth edition, Saunders College publishing.

Classification of Aquatic Environments Organisms

الفصل الثالث

تصنيف الأحياء في البيئة المائية



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُعرِّف المناطق المائية: الطافية، السطحية، الشاطئية، وقرب القاعية.
- يستنتج تكيّف الأحياء الدقيقة لدرجات الحرارة المفرطة.
- يفهم الاصطلاح extremophile ويعيّن أمثلة من الموائل الموافقة.
- يربط بين خواص المنافس الحارّة ومجتمعاتها الحيوية.
- يقارن بين مفهومي الموئل والموطئ.
- يصف الحلقة الميكروبيولوجية.
- يقدّر أهمية التنوّع في بنية المجتمعات الحيوية.

مفاهيم مفتاحية

□ **المادة العضوية** organic matter

تتضمن المادة العضوية نمطين هما: المادة العضوية المنحلة، والمادة العضوية الدقائقية.

□ **الموطئ** niche

يمثّل الدور الإجمالي للنوع أو الجماعة ضمن المجتمع؛ وامتصاص الغُذيَّات، والموضع في المجتمع، ومعدل نمو الجماعة.

□ **الرقاقات الحيوية** biofilms

هيئة مجتمع الجراثيم (وتساهم الأحياء الدقيقة الأخرى أيضاً في حالات كثيرة) المنظمة الملتصقة على السطوح الفيزيائية؛ ما يمكّنها من مقاومة التدفق وتحمّل نقص الغُذيات، تسبب الضرر الفيزيائي (نشوء الصدأ)، وتقلل معدلات التدفق، هوائية ولاهوائية، مصدر للممرضات، ومصدر للون والطعم والرائحة، مقاومة للمطهرات والصادات الحيوية.

□ **الحلقة الميكروبيولوجية** microbial loop

تتكون أساساً من الجراثيم غيرية الاغتذاء، إضافة إلى السوطيات النانوية والهدبيات، وتعتمد وظيفتها على العوامل الفيزيائية والكيميائية والحيوية؛ فهي تمثل مسالك الشبكة الغذائية في النظم البيئية المائية حيث يعود الكربون العضوي المنحل إلى مستويات الاغتذاء العليا باندماجه مع الكتلة الحيوية للجراثيم المصدر الغذائي لمستهلكاتها.

□ **الإجهاد البيئي** environmental stress

يتعرّض استقرار النظام البيئي المائي وكذلك تتعرّض حتماً مجتمعاته المعقدة للاختلال بسبب الاضطراب الفيزيائي الناتج عن التنافس بين مكوناته: المنتِجات الأولية والمفترسات، أو تحت تأثير الملوثات.

□ **المنطقة وافرة الإضاءة** euphotic zone

هي الطبقة المائية العليا من الأجسام المائية، حيث يخترق الضوء المياه فيها جيداً، وتشمل المناطق الشاطئية والمضاءة.

□ **أليف الإفراط** extremophile

لأنواع معينة من الأحياء أُلفة للبيئة المتطرفة إذ تنتشر في ظروف قاسية، ومفرطة بعامل أو أكثر من العوامل البيئية، مثل: درجة الحرارة والملوحة والرقم الهدروجيني.

أولاً. الدورة المائية الشاملة The Global Water Cycle

1. الوجود في المياه The aquatic existence

لقد نشأت الحياة منذ 3.5 – 4 بلايين عام في البيئة المائية، أولاً كجزيئات قادرة على التكاثر الذاتي (Alberts *et al.*, 1962)، ثم كان التطور اللاحق لبدائيات النواة التي تبعتها حقيقيات النواة (الشكل 3-1)؛ ما أدى إلى وجود الأحياء الدقيقة التي تكيفت على نحو رائع مع النظام المائي (Sigee, 2005).



الشكل 3-1 ارتباط الماء بالحياة.

"**هو ذا الماء يجعلنا فريدين ويمنح الأرضَ الحياة**"

"water makes us unique and gives life to Earth"

تغطي المياه نحو ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية، وهي في حركة دائمة في مواضعها وكذلك من موقع لآخر، متحولة من نمط لآخر، ويرتبط مصير الأحياء بها ارتباطاً وثيقاً جداً، فبعض الأحياء يقضي جزءاً من حياته في المياه ثم يخرج إلى اليابسة، ويعتمد بعضها الآخر عليها في حياته كلها، والبيئة المائية هي الوسط الذي تؤدي المياه فيه الدور الرئيس كوسط خارجي، والماء مكوِّن للأحياء ويمثل الجزء الجوهري من المادة الحية من حيث أهميته ونسبته؛ لذلك يمكننا القول:

"**إن الحياة كلها ماء**".

يتكون الغلاف المائي hydrosphere من المحيطات والبحار والجليديات والثلوج الدائمة والمياه الجوفية والبحيرات والمستنقعات والأنهار، إضافة إلى بخار الماء في الجو والمياه التي تكوِّن نسبة عالية جداً في الأحياء المختلفة (الجدول 3-1).

الجدول 3-1 انتشار المياه الطبيعية على الأرض.

المياه	مساحة الانتشار ألف كم^2	الحجم، ألف كم^3	النسبة المئوية من المخزون الإجمالي
المحيط العالمي	36100	1338500	96.53
الجليديات والثلوج الدائمة	16227.5	24064.1	1.74
الأرضية (الجوفية والشعرية)	134800	23400	1.69
الجليد الجوفي الدائم	2100	300	0.023
الرطوبة في التربة	82000	16.5	0.001
البحيرات	2058.7	176.4	0.014
المستنقعات	2682.6	11.47	0.0007
الأنهار	148800	2.12	0.0002
مياه الأحياء	510000	1.12	0.0001
الماء في الجو	510000	12.9	0.001

تتكوَّن المياه الجوية atmospheric water من الأمطار والبَرَد والرطوبة الجوية والثلوج التي قد يتحول بعضها إلى جليد، ولكن الهواء بيئة غير مناسبة لوجود الأحياء الدقيقة بسبب غياب الشروط الملائمة وعدم وجود المواد الغذائية، ومع ذلك فإن عدداً كبيراً منها يصل إلى الهواء من التربة والإنسان ونشاطه، وتوجد أبواغ بعض الجراثيم الرمية والفطريات الزقية واللاقحية (الازدواجية) وبعض الخمائر والجراثيم الممرضة، وهي أحياء غير متوطنة، والهواء حامل لها فقط.

تشغل المياه العذبة جزءاً صغيراً من سطح الأرض مقارنة بالبحار واليابسة، ولكن أهميتها للإنسان والبيئة كبيرة جداً، وتشمل المياه العذبة مياه:

الأنهار والبحيرات والجليديات والمياه الجوفية ومياه الرتشاح والتشبع

يعدّ المخزون الإجمالي للمياه العذبة كبيراً جداً على الأرض مقارنة بالموارد الطبيعية الأخرى، وتبلغ نسبته نحو 2.8% من الموارد الإجمالية للمياه، ولكن الجزء

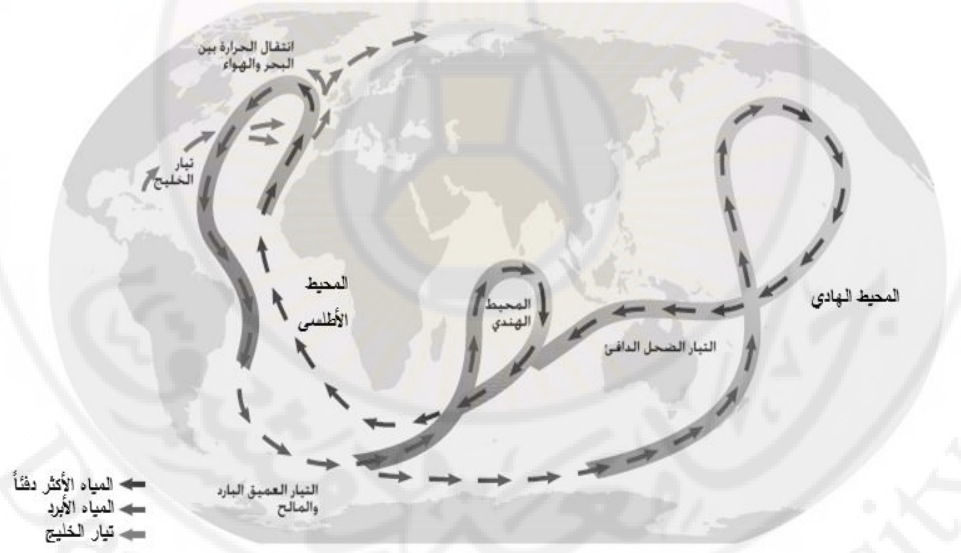
الأكبر (2.1% من المورد الإجمالي) يتراكم في الجليديات والثلوج الدائمة في القطب الجنوبي، وغرينلاند، وجزر القطب الشمالي والمناطق الجبلية العالية من اليابسة، إذ يوجد على هيئة ثلوج وجليد في المناطق صعبة المنال وغير صالحة للسكن الدائم؛ ما يجعله غير متيسر للإنسان واستعمالاته، وهنالك أكثر من 10 ملايين كيلومتر مكعب في المناسيب تحت السطحية، ولذلك، فإن كمية المياه العذبة التي يمكن الاستفادة منها في الأغراض المختلفة هي بحدود 0.6% من إجمالي المياه على الأرض.

يبلغ حجم المياه في مجاري الأنهار نحو ألفي كيلومتر مكعب في وقت واحد؛ أي أقل من 0.01% من المخزون الإجمالي للمياه العذبة على الأرض، ولكن هذا الحجم يتجدد وسطياً 23 مرة كل عام، فيزيد بذلك الموارد الحقيقية للمياه النهرية حتى 46.8 ألف كم^3 في العام، ويؤمّن خصائصها النوعية الرائعة، كالقدرة على التنقية الذاتية المستمرة، والحفاظ على معدنة منخفضة، وتعادل المياه البحيرية العذبة 91 ألف كم^3، ولكن الجزء المتجدد منها يبلغ 1000 كم^3 في العام تقريباً، ويُحسب عادةً مع المياه النهرية، وهنالك اليوم أكثر من 10 آلاف بحيرة مستحدثة reservoirs في العالم سعتها نحو 5 آلاف كم^3 من الماء.

2. دور **المحيط العالمي** The role of World's Ocean

يمتص سطح الأرض، ولاسيما المحيط، كمية من طاقة الإشعاع الشمسي، ويحدث معظم انتقال المياه بين المحيط والجو بالبخر والهطل، ويؤدي تباين كثافة المياه البحرية التي تحدِّدها درجة الحرارة والمحتوى الملحي (الشكل 3-2) إلى توجيه دوران المياه على الأرض؛ فالحرارة تنتقل مع مياه السطح الدافئ نحو القطبين، وتعود في مياه أبرد وأعمق نحو خط الاستواء، وتكون المياه الأبرد العائدة أكثر ملوحة وكثافة، وعندما تغطس هذه المياه، تُستبدل بمياه أدفأ تتدفق نحو القطبين، ولهذا الدوران أهمية عظيمة، فهو يحمل ثنائي أُكسيد الكربون إلى عمق المحيط، ويوزع الحرارة، ويحل المواد، ويؤمِّن الغُذيات للحياة البحرية، وتقترن التموجات واسعة النطاق في المحيط مع دوران الغلاف الجوي؛ ولهذا تأثير عميق في المناخ العالمي.

تزيد كتلة المحيطات بمقدار 300 مرة على كتلة الغلاف الجوي، ويمكن أن تختزن من الحرارة نحو 1200 مرة ومن الكربون نحو 70 مرة أكثر من الغلاف الجوي، فهي في آن واحد مضخّة حرارية فالمحيط العالمي هو محرك الآلة المُناخية على الأرض، إذ تسلك تيارات المحيط الأطلسي، بدءاً من الخليج الكاريبي إلى أوروبا، سلوك شبكة من قنوات التدفئة المركزية الضخمة عرضها مئة كيلومتر وعمقها كيلومتر واحد، وتنقل من خط الاستواء نحو القطب الشمالي طاقة تعادل طاقة إنتاج مليون ونصف مليون محطة كهربائية باستطاعة الواحدة منها 1300 ميغاواط، وهذه المياه الساخنة تتبرَّد خلال مسارها مسببة الغيوم والرطوبة، يتجه جزء منها إلى السطح مرة أخرى نحو الجنوب فيسخن من جديد، ويغوص الجزء الآخر في الأعماق ليدور حول العالم خلال بضع مئات من السنين (مجلة العلوم الجيولوجية، 1998).

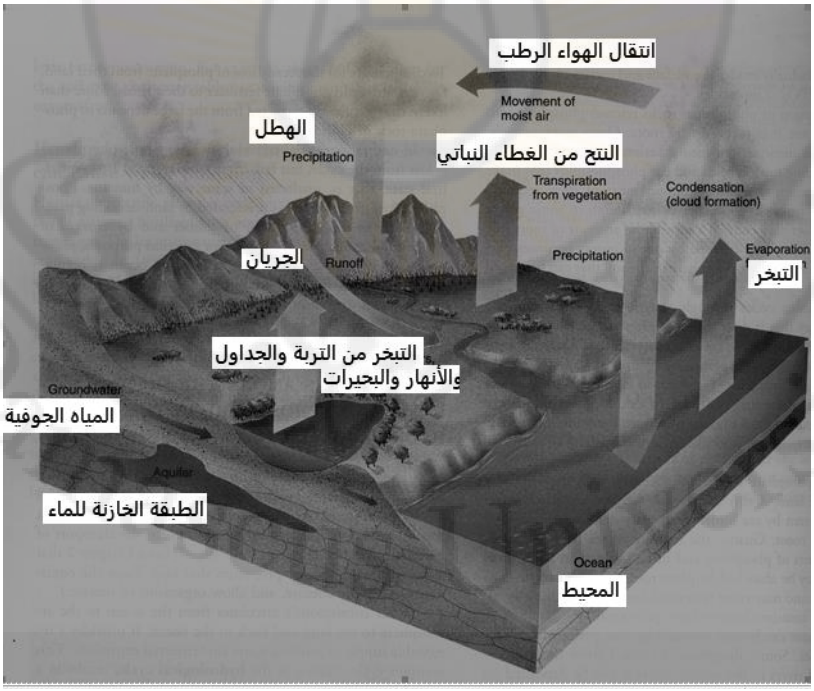


الشكل 3-2 ناقل المحيط العالمي (المصدر IPCC, 1996).

تغطي مياه المحيط العالمي 70.8% من مساحة الأرض، ويشغل المحيط الهادي 49.4% منه، وتحتل البحار والخلجان ومناطق المد والجزر مساحة غير كبيرة نسبياً، وتبلغ الكتلة المائية للمحيط العالمي 0.0124% من كتلة كوكب الأرض الذي يزيد قطره نحو 1717 مرة العمق المتوسط للمحيط (Moiseev, 1989).

3. الدورة المائية Water Cycle

تتضمَّن الدورة المائية العامة (الشكل 3-3) تبادل المياه بين المحيط والجو واليابسة، يتبخر إلى الجو كل عام 385 ألف كم^3 من بخار الماء خال من الملوثات: 325 ألف كم^3 من مياه المحيطات والبحار، 60 ألف كم^3 من مياه البحيرات والأنهار والتربة والنباتات الأرضية، يهطل منها على اليابسة نحو 100 كيلومتر مكعب، وتملأ الكمية الزائدة، 40 ألف كيلومتر مكعب، البحيرات والأنهار والخزانات الجوفية وتحرك محطات التوليد؛ فهي تعود مرة أخرى إلى المحيطات، فوق سطح الأرض أو تحته، ويظل التوازن قائماً بين ما يرد وما يُفقد. تتباين سرعة تبادل المياه في الأجزاء المختلفة من الغلاف المائي، إذ تتجدد الأبخرة في الغلاف الجوي خلال تسعة أيام، وتتجدد المياه في الأنهار خلال اثنتي عشر إلى خمسة عشر يوماً، والرطوبة في التربة تتجدد خلال عام واحد، وتتجدد مياه الجليديات خلال ستة عشر ألف سنة، ومياه المحيط العالمي تتجدد خلال مليوني سنة، وهكذا فالدورة المائية دورة متجددة.



الشكل 3-3 الـــدورة المائيـــة (Solomon *et al.*, 1999).

4. دور الإنسان Role of Man

استقرت الحضارة عموماً في مناطق جغرافية نادرة المياه، فكانت حضارات بلاد الشام والرافدين وضفاف النيل، وكان أحد أهم أسباب النجاح هو إدراك الإنسان لأهمية تدبير المياه، وحسبنا أن نذكر حضارة ماري ذات الألفي مهندس ري التي نشأت على ضفة نهر الفرات واستقرت، وآثار تلك الحضارات شاهدة حتى اليوم، مثل: تقسيم نهر بردى إلى سبعة فروع وشبكة ري معقدة ومتفرعة لري الغوطة، وسد مأرب، وهي تمثِّل أساليب لاستثمار المياه، وقد ترافقت بتطور الشرائع والقوانين التي تعنى بشؤون المياه كشريعة حمورابي وأرنمو وقانون أشنونة التي تعود إلى نحو أربعة آلاف سنة مضت.

ازداد عدد السكان في سورية من نصف مليون شخص في بداية القرن العشرين إلى ثلاثة ملايين في منتصفه، وإلى نحو عشرين مليوناً في نهايته، ونحو 24 مليوناً في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين بمعدل ازدياد يزيد على 2% سنوياً.

أُقيمت السدود والقنوات وشبكات الري بدءاً من خمسينات القرن العشرين، وحفرت الآبار العامة والخاصة، ومع استعمالات تقنيات الضخ جفت آلاف الأقنية في المنطقة وحرمت آلاف التجمعات السكانية من الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي، وتتعرض المياه الجوفية والسطحية للتلوث بالمخلفات الصناعية في سورية ولاسيما قرب التجمعات السكانية الرئيسة (البنك الدولي: برنامج الأمم المتحدة الإنمائي 1999)، وقد تعرضت مصادر المياه العذبة إلى ضررين في آن واحد: زيادة استعمالات المياه، وزيادة وصول الملوثات. تبيّن تقارير المنظمات الدولية أن نحو 80 بلداً في العالم تضم 40% من سكانه تعاني نقصاً جدياً في المياه، وأن شح المياه فيها أصبح عاملاً يحد من التنمية الاقتصادية والاجتماعية...

يميل الإنسان لاستنفاد الموارد المائية وتلويثها، ولا تزال التغيرات في الغلاف المائي تحت التأثير البشري تحمل طابعاً محلياً حتى الآن، وكذلك الأمر فيما يتعلق بالغلاف الحيوي، ففي بعض المناطق أخذ يغيّر الإنسان العلاقة النسبية بين سرعة الجريان السطحي والجوفي، ويزيد أو يقلل سطح التبخر ويسبب الهطل المطري.

ثانياً. النظم البيئية المائية The Aquatic Ecosystems

تتميز البيئات البحرية في المنطقة الاستوائية والمدارية بدرجات حرارة معتدلة تسمح بتنامي الأحياء المختلفة، أما البحار القطبية والجليديات فتتميز بالبرودة والانخفاض النسبي لمعدلات التنامي، وتتميز المصبّات النهرية بخصائص انتقالية بين صفات المياه العذبة والمالحة، وتتنوع البيئات المائية القارية، كالبحيرات والأنهار، وللمياه الجوفية أهميتها، وكثيراً ما تتميز المستنقعات والملّاحات بأهمية وفقاً لخصائصها، وقد استحدث الإنسان منظومات بيئية مائية، كالآبار والخزانات والأقنية والبحيرات، ومحطات معالجة مياه الشرب ومعالجة الصرف، والشبكات وغيرها.

ويمتلك تطرُّف درجة الحرارة والرقم الهدروجيني تأثيرات حاسمة في توزع الأنواع وتركيبها، وكذلك الملوحة غير العادية، والمكونات الغازية المنحلة، ومستويات السموم، والصفات البصرية، وطريقة المزج، فتكون الأحياء أليفة الحرارة الصارمة أو المخيّرة التي توجد غالباً كمهاجرات شتوية؛ ففي هذه البيئة الفريدة يتطور تجمع حيوي فريد.

توجد في الجداول والأنهار منطقتان عموماً، هما: المياه الضحلة ذات الجريان السريع وتقع عادة في أعالي النهر بالمناطق الجبلية، يكون القاع فيها صلباً وخالياً من الوحل، تعيش فيها أحياء متكيفة كالقاعية والملتصقة والأسماك. أما المنطقة الثانية فهي المُنبَسط المائي ذات المياه العميقة ضعيفة الجريان، وذات الأرضية الطرية التي تسكنها الأحياء الحفّارة والسوابح والعوالق. وفي الحالتين، توجد منطقتان: منطقة شاطئية على يمين المجرى أو يساره، تنمو فيها النباتات الراقية غالباً، ومنطقة الطبقة المائية التي تزداد أهمية مع الاقتراب من المصب، ويمكن تمييز منطقة وافرة الإضاءة وأخرى قليلة الإضاءة أو مظلمة بحسب العمق.

توجد في البحيرات ثلاث مناطق عموماً، هي:

– المنطقة الشاطئية littoral zone: ذات المياه الضحلة التي يخترقها الضوء حتى القاع، تنمو فيها النباتات الراقية، وقد تغيب تماماً في أحواض تربية الأسماك.

– المنطقة المضاءة limnetic zone: هي الطبقة المائية العليا، تنمو فيها العوالق

والطافيات فقط وأحياناً السوابح، وتشمل المنطقة وافرة الإضاءة euphotic zone المناطق الشاطئية والمضاءة.

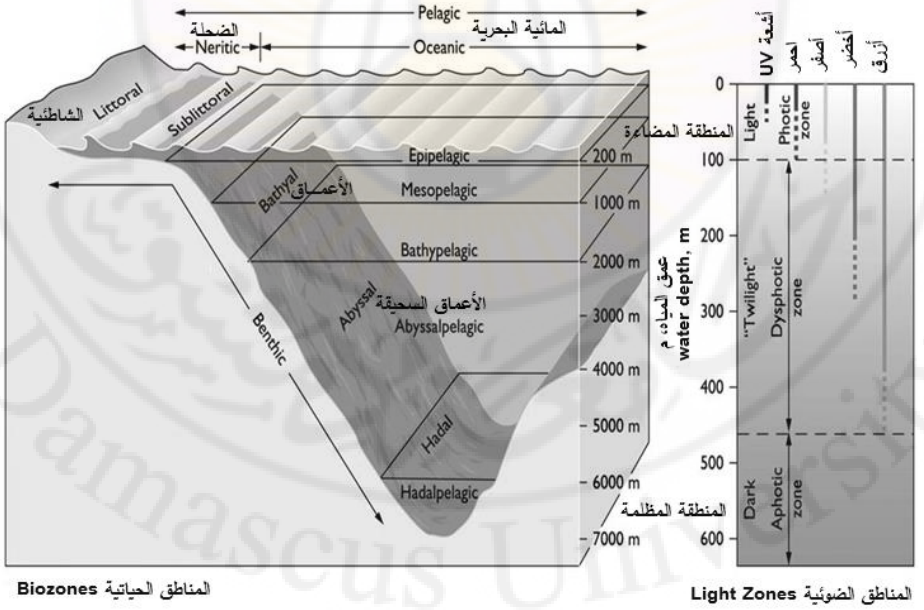
– منطقة الأعماق profoundal zone: هي الطبقة المائية العميقة المظلمة، على القاع، وكثيراً ما تغيب في البرك.

وتوجد في البحار المناطق الآتية (الشكل 3-4):

المناطق الأفقية horizontal zones أو مناطق المياه البحرية (أو البيلاجية): منطقة الجرف القاري (تحيط بالقارات وتمتد حتى العمق 200 م، وهي المنطقة الأكثر إنتاجاً مقارنة بمنطقة عرض البحر)، المنطقة الشاطئية ومنطقة المد والجزر والمنطقة تحت الشاطئية، منطقة المحيط oceanic أو منطقة أعالي البحر open sea zone.

المناطق الشاقولية vertical zones: المنطقة المضاءة (تكون غالباً وافرة الإضاءة)، المنطقة العميقة، المنطقة السحيقة القاعية (المظلمة aphotic zone).

وهناك مناطق التيارات، ولاسيما الصاعدة.



الشكل 3-4 المناطق الأفقية والشاقولية البحرية.

تتضمن الرَّسوبات Sediments ما تحمله المياه، من الحصى إلى دقائق الطمي.

ثالثاً. تنوّع الأحياء الدقيقة Biodiversity Microorganisms

1. مجالات الحياة Domains of life

للعالَم الحيَّ ثلاثة مجالات domains هي بدائيّات النواة وحقيقيّات النواة والبدئيّات Archaea، يؤكد التشابه بين آليّة الانتساخ والترجمة تفرّع حقيقيّات النواة من البدئيّات، وقد أعطى السلفُ المشترك الأخير الجراثيمَ والبدئيّات، غير أنّ مورّثات حقيقيّات النواة تشتقّ غالباً من الجراثيم، واللافت أنّ عدداً كبيراً من هذه المورّثات الجرثوميّة يخدم سيرورات لاتنفّسيّة ولا علاقة لها بالتركيب الضوئيّ بل بالبقاء، ولقد هاجرت إلى حقيقيّات النواة وليس إلى البدئيّات، ولغالبيّة البدئيّات مخزون من المورّثات الجرثوميّة.

وعلى الرغم من أنّ المورّثات انتقلت عمودياً من جيل لآخر، فإنّ الانتقال المورّثي الأفقيّ تميّز أيضاً بتأثير عميق في مسار التطوّر evolution، ويتضمّن وصول مورّثات مفردة أو طواقم كاملة منها، ليس من الخليّة الأمّ إلى أنسالها، بل عبر حواجز الأنواع؛ ما يفسّر التقاط حقيقيّات النواة المورّثات من الجراثيم، وامتلاك بدئيّات متنوِّعة مورِّثات توجد عادة في الجراثيم، وهكذا، بقيت المجالات الثلاثة متميّزة لأنّ معظم النّقل المورّثي الذي يحدث في أيّامنا (وليس كلّه) متواصل داخل المجالات نفسها، وتبقى الوحدة الحيويّة الكيميائيّة حقيقة ثابتة، وقد شقَّت الأحياء الحاليّة جميعها الطريق الطويل للتطوّر معاً.

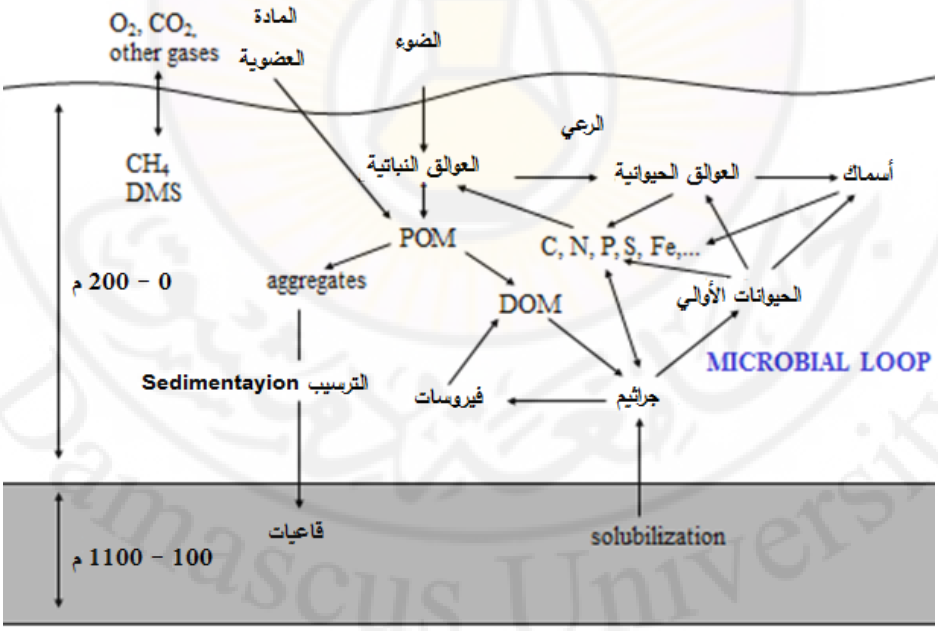
2. تكوين الكتلة الحيوية وانتقالها Biomass formation and transfer

تتميز ذاتيات الاغتذاء بقدرة على استعمال CO_2 الخارجي، وغالبيتها تستعمل غُذيّاتها (NP) من المركبات اللاعضوية البسيطة، مثل: الطحالب الدقيقة والجراثيم ذات التركيب الضوئي، وهي المنتِجات الأولية في العديد من النظم البيئية للمياه العذبة، إضافة إلى الطحالب والنباتات الراقية في بعض النظم المائية، وتستعمل غيريات الاغتذاء المركبات العضوية المعقدة كمصدر للكربون، والأحياء الدقيقة في المياه العذبة، غالبية الجراثيم والحيوانات الأوالي والفطريات، هي غيرية الاغتذاء.

3. العلاقات الغذائية Trophic Relationships

تستأثر العلاقات الغذائية بأهمية كبيرة، إذ ترسم الشبكة الغذائية في البيئة المائية التي تكون المنتِجات القاعدة الأساسية فيها، وعليها تعتمد وظيفة النظام البيئي، وتعمل مجتمعات الأحياء الدقيقة على نقل المادة العضوية في النظام البيئي المائي من المنتِجات الأولية إلى المستويات الغذائية الأعلى.

إن الحلقة الميكروبيولوجية microbial loop (صاغ المصطلح Azam *et al.*, 1983) تبيّن استعمال الجراثيم للمادة العضوية المنحلة كمصدر للطاقة، ويرتبط ذلك مع رعي العوالق الحيوانية ولاسيما السوطيات النانوية أو التحلل الفيروسي، وتعود المادة العضوية المنحلة غير الفعالة فقط إلى السلسلة الغذائية الأساسية (الشكل 3-5)، وقد يكون مصدر المادة العضوية تلك المنحلة المتحررة بفعل المواشي وهذا مثير للجدل (Azam *et al.*, 1983, Jumars *et al.*, 1989, Kalinowska, 2004).



الشكل 3-5 الحلقة الميكروبيولوجية في النظام البيئي المائي.

المادة العضوية المنحلة Dissolved Organic Matter DOM

المادة العضوية الدقائقية Particular Organic Matter POM

ويعرّف دُكلو (Ducklow 2000) الحلقة الميكروبيولوجية بأنها الاستعادة الجرثومية للمادة العضوية المنحلة عند امتصاصها واستقلابها، أو "فقدانها" بالإفراز excretion، والاستحلاب exudation، والانتشار diffusion. أما وظيفة الحلقة الميكروبيولوجية فتعتمد على عدد العوامل الفيزيائية والكيميائية والحيوية، وأعداد المكونات المستقلة في المياه تُختزل بطريقة التحكم "من علِ إلى الأسفل" أو من القاع نحو الأعلى، والعمليات التي تجري في الهرم الغذائي trophic pyramid (Chrost *et al.*, 2009).

4. بنية مجتمعات الأحياء الدقيقة

Structure of Microorganisms Communities

يمتلك بعض نظم المياه العذبة استقراراً ظاهراً نسبياً ومجتمعات معقدة، ويتعلق ذلك بالتآثرات الحيوية وتنوُّع الشبكة الغذائية، تظهر المنافسة competition أساساً بين المنتِجات الأولية (على المكان، والغُذيَّات، والضوء) وبين المفترسات (على مصادر الغذاء المحدودة)، وتعجز جماعات العواشب عن تقييد نمو المنتِجات الأولية، وتبقى دون مقدرة الحمل النظرية لاستعمال الغذاء المتاح عن طريق الافتراس predation (Hairston *et al.*, 1960)، وتجلب المستويات المتنوعة للإجهاد (الاضطراب) أهم تغيّرات المنافسة والافتراس، أما المستويات العليا للإجهاد نتيجة الاضطراب المستمر فلا تسمح لأي نوع من الرسوخ (Menge and Sutherland 1987).

إن الاضطراب العنيف للماء في الأنهار والجداول سريعة الجريان مثال جيد على البيئة ذات الإجهاد الأعلى، فاللافقاريات والأحياء الدقيقة حرة العيش لا تكون قادرة على التشبث وتذهب بعيداً مع التيار، عندئذ تبقى الطحالب الفَوْنباتية والرقاقات الحيوية التي يمكن أن تعاني بدورها الإجهاد البيئي، أما تحت الظروف الطبيعية في البحيرات فتبدو مستويات الإجهاد خلال الدورة الفصلية، والمستويات العليا للإجهاد خلال مرحلة الماء الصافي، ويكون التنافس بين العواشب (العوالق النباتية) عالياً وتكون جماعات العوالق النباتية منخفضة وتبدي تغيرات سريعة، وتكون الطحالب النامية بسرعة فقط قادرة على البقاء في ظروف غير ملائمة خلال هذا الزمن.

يظهر الإجهاد المستحدث في البحيرات التي تتعرّض للتلوث العالي بالغُذيات (الإثراء الغذائي eutrophication) نتيجة أنشطة الإنسان، ولهذا تأثير كبير في جماعات الأحياء الدقيقة، فنمو الجراثيم الزرقاء يثبّط العواشب (العوالق الحيوانية) والمفترسات (الأسماك)، مع تنافس شديد ضمن مجتمع العوالق النباتية الذي يوجه سيادة الجراثيم الزرقاء. أما الاستراتيجية التنافسية للأحياء وتكيفها مع البيئات غير المزدحمة وغير المستقرة فتقوم على أن اضطراب الشبكة الغذائية يسبب أيضاً سلاسل غذائية أقصر وتنوعاً متدهوراً كأنواع مفردة تحقق سيادة مؤقتة.

يمتلك بعض البيئات كثافات منخفضة للجماعات وتسود فيها أحياء متكيفة من أجل معدلات عليا لنمو وسرعة إنشاء المستعمرات، وتمتلك الأخرى كثافات عالية للجماعات وتسود فيها أحياء متكيفة للبقاء في هذه الظروف التنافسية العالية، وتتضمن العوالق النباتية أمثلة متكيفة جيداً لكلا النمطين من الأحياء مع تغيرات في السيادة للطحالب المختارة خلال التقدم الفصلي (Sigee 2005).

رابعاً. التصنيف البيئي للأحياء المائية

Ecological Classification of Aquatic Organisms

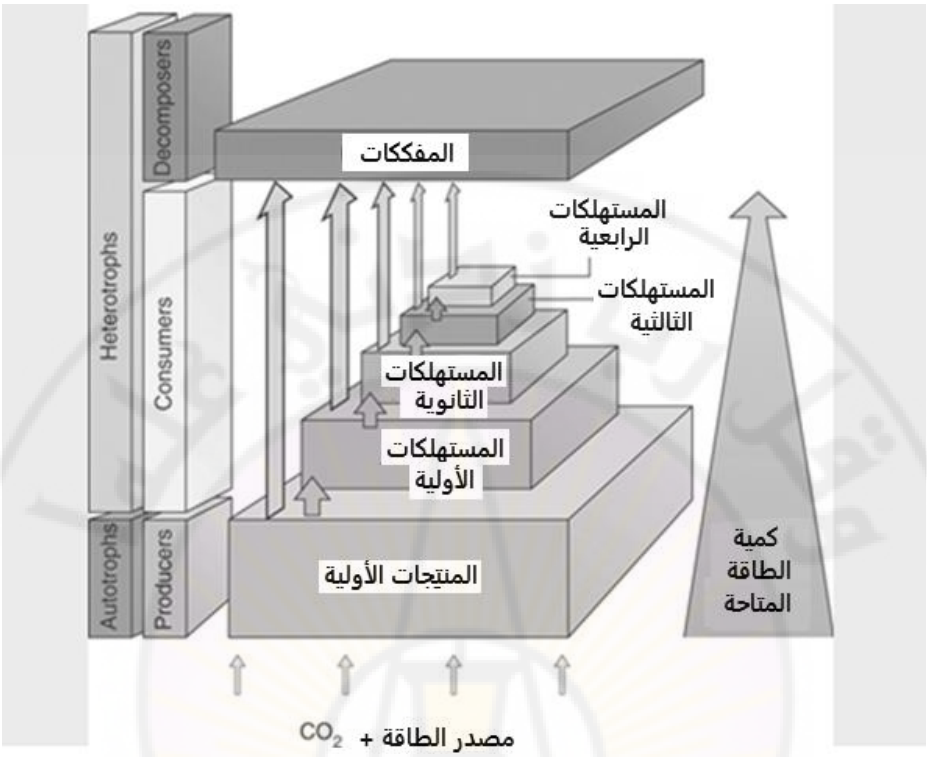
1. صفوف المواطئ البيئية Ecological Niches Classes

تُصنّف الأحياء وفق موضعها في الموطئ البيئي أو موضعها في السلسلة الغذائية (الشكل 3-6)، إلى:

المنتِجات producers: أحياء ذاتية الاغتذاء تتضمن النباتات الخضراء والطحالب، إضافة إلى الجراثيم ذاتية التغذية الضوئية وذاتية التغذية الكيميائية.

المستهلِكات consumers: أحياء غيرية الاغتذاء تتضمن العواشب والمفترسات والطفيليات، وهي مستهلكات أولية وثانوية وثالثية ورابعية.

المفكّكات decomposers: أحياء دقيقة تفكك المواد العضوية وتمتصها من الأحياء الميتة؛ فتعمل على تدويرها ومعدنتها إلى مواد لاعضوية وغازات.



الشكل 3-6 توضع الأحياء وفق المواطئ البيئية.

عند تحديد موطئ أي نوع من الأحياء، يجب أن نأخذ في الحسبان موقعه في التصنيف البيئي، فالمشطورات عوالق منتجة تنتشر في المنطقة المضاءة، وإذا كان النوع وافراً في الربيع وقليلاً في الفصول الأخرى، يجب النظر في سيادته بين المنتِجات في الربيع، إضافة إلى أنه يمكن أن يكون التصنيف البيئي للنوع نفسه مختلفاً في الأطوار المختلفة لحلقة حياته.

2. **صفوف الموائل** Habitats Classes

تُصنّف الأحياء، وفقَ وجودها في الموائل المختلفة أو وفق نمط حياتها إلى:

القاعيات benthos: أحياء تعيش في قاع الأجسام المائية متثبتة أو على القاع، وتكون فَوْصخرية epilithon وعلى الركائز أو ضمن الرسوبات والبيئة الطمية alluvial أو الرملية، وقد تكوّن الأحياء الدقيقة بنية مميزة لتنامي المجتمعات، على هيئة الحصيرة mats أو الرقاقات الحيوية biofilms.

العوالق plankton: أحياء الطبقة المائية أو البِيلاجية pelagic، تبدو غير قادرة على الحركة القوية ضد التيارات المائية عادة وتنتقل معها، وإن كان بعض ممثلات العوالق الحيوانية قادراً على الحركة النشطة والحفاظ على الموقع الشاقولي، وأنواع كثيرة قادرة على الحركة في المياه الراكدة، وتتضمن العوالق الجرثومية bacterioplankton، والعوالق النباتية phytoplankton، والعوالق الحيوانية zooplankton. هناك أنواع فَوْنباتية epiphyton تتشبث بسوق النباتات الراقية وأوراقها، وأنواع ركيزية periphyton تتشبث بسطوح الركائز ضمن الأجسام المائية، وهناك أنواع عوالقية في الوقت المبكر من حياتها ثم تصبح قاعية لاحقاً.

السابحات والطافيات nekton and neuston: أحياء تنتقل بحُريّة كالأسماك والبرمائيات والحشرات الضخمة، ويمكنها الهرب من وسائل جمع العينات عادة كالشبكة net والمعماق bathometer، والأحياء الطافية التي ترتبط بسطح المياه أو تسبح عليه، بما فيها الطافيات الجرثومية bacterioneuston.

تُقسم العوالق إلى مجموعتين (الجدول 3-2):

- عوالق شبكية net plankton يمكن التقاطها باستعمال شبكة خاصة ذات عيون صغيرة.
- عوالق نانوية nanoplankton تُجمع عادة باستعمال المعماق أو المضخة.

الجدول 3-2 أحجام العوالق.

أنماط		الحجم µ	المجموعة	
SIZE الحجم	العوالق الفِمتية femtoplankton	0.2 – 0.01	الفيروسات والجراثيم الصغيرة	ABUNDANCE الغزارة
	العوالق البيكية picoplankton	2 – 0.2	الجراثيم، البدئيات، بعض السوطيات	
	العوالق النانوية nanoplankton	20 – 2	السوطيات، المشطورات، الطحالب الداينوية	
	العوالق الدقيقة microplankton	200 – 20	الهدبيات، المشطورات، الطحالب الداينوية، والطحالب الأخرى	
	العوالق الضخمة macroplankton	200 <	الجراثيم الزرقاء المستعمرية	

3. **صفوف المنشأ** Origin Classes

تُصنّف الأحياء وفقَ مصدرها في الأجسام المائية إلى:

الأحياء الدقيقة الأصيلة autochthonous microorganisms: مجموعات تصنيفية متباينة، من الجراثيم ذاتية الاغتذاء الضوئي: الجراثيم الأرجوانية الكبريتية واللاكبريتية، والجراثيم الخضراء الكبريتية واللاكبريتية، ومن الجراثيم ذاتية الاغتذاء الكيميائي: جراثيم النترتة، وجراثيم الحديد، وجراثيم الكبريت، وجراثيم الهدروجين. ومن الجراثيم غيرية الاغتذاء: *Pseudomonas*، *Achromobacter*، *Micrococcus*، *Spirillum*، *Vibrio*، *Hyphomicrobium*، *Caulobacter*.

الأحياء الدقيقة الدخيلة allochthonous microorganisms: تدخل إلى المياه عَرَضياً مع المخلفات السائلة المنزلية والصناعية، مثل: الإشريكية المعوية *E. coli*، إضافة إلى كميات كبيرة من الأحياء الدقيقة الأرضية Terrestrial التي تنتقل مع الأمطار والثلوج والرياح والري وغيرها، رمية عادة تزداد أعدادها عند وصول المادة العضوية، وهي جزء أساسي في مجموعات الأحياء الدقيقة، وبعضها طفيلي، مثل:

Proteus, Enterobacter, Pseudomonas aeruginosa, Arthrobacter, Bacillus, Corynebacterium, Clostridium, …

وتوجد جراثيم في المياه قليلة الاغتذاء ذات الألفة للتغذية القليلة، مثل:

Sphaerotilus, Liptpthrix, …

4. **صفوف مجال التحمل** Tolerance Range Classes

تُصنّف الأحياء وفقَ مجال تحمّلها للظروف البيئية المفرطة extreme إلى: ضيقة المجال، ومتحملة، وواسعة المجال أو متسامحة.

تكون درجة الحرارة عالية جداً في المنافس الحارّة أو منخفضة جداً في الثلج والجليد (Brock *et al.*, 1994)، ولكن درجة الحرارة فوق الدرجة 113 س مخرّبة، ومن أهم أنواع الجراثيم *Pyrolobus fumarii*، إذ تكون درجة الحرارة المثلى 106 س (Stetter *et al.*, 1999)، وتكون درجة الحرارة المثلى 105 س لنمو سلالات *Methanopyrus kandleri*.

وهناك بعض الأنواع أليفة الحرارة، من البدئيات: *Acidilobus aceticus*، *Desulfurococcus kamchatkensis*، *Desulfurococcus fermentans*، وقد عزل *Thermococcus sibiricus* اللاهوائي في غربي سيبيريا الروسية، من تجمّع نفطي ذي درجة حرارة عالية 85 س، على عمق 2350 م، ومن الجراثيم: *Melioribacter roseus* التي تنمو على نحو مثالي في الدرجة 55 س، ويكون السليلاز مستقراً في الدرجة 96 س.

هناك أنواع من الجراثيم تنمو في مجال يرتبط بالرقم الهدروجيني pH فتكون واسعة أو ضيقة مجال تحمّل الحموضة أو القلوية، وكذلك توجد أنواع من الجراثيم واسعة مجال الملوحة euryhaline لها مقدرة للتنظيم الحلولي وقابلية لتحمّل مستويات متباينة من الملوحة، وأنواع أخرى ضيقة مجال الملوحة stenohaline محدودة التحمّل، وهناك أنواع يرتبط وجودها بالضغط أو وفرة الغُذيات أو قلة الغُذيات، وبعضها يكون مقاوماً للإشعاع.

أسئلة للمناقشة



- عرّف الحلقة الميكروبيولوجية، وأوضح أهميتها؟.
- ما الكمية المفيدة من الهطل وما أهميتها في التنمية؟.
- تتميز الأحياء الدقيقة في المياه وفق مصدرها بالآتي: ...
- لماذا تستأثر المنطقة المضاءة بأهمية كبيرة في البيئة المائية؟.
- عدد طرائق التصنيف البيئي للأحياء المائية.
- ما أهم الخواص التي تتميز بها المجتمعات الحيوية في المنافس الحارة.
- ارسم مخططاً توضيحياً لتصنيف الأحياء الدقيقة وفق مصادر الطاقة والكربون.

المراجع References

إدارة الموارد البيئية (erm) 1998، الأحواض المائية السبعة. دمشق، سورية.

بحيري، صلاح الدين (1979). أشكال الأرض. دار الفكر، الطبعة الأولى، دمشق. سورية.

البنك الدولي: برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، خطة العمل البيئية القومية، التقرير النهائي، كانون الثاني (يناير) 1999 أعدته وزارة الدولة لشؤون البيئة بالتعاون مع البنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي.

مجلة العلوم الجيولوجية (1998). العدد 14، تموز، سورية.

Alberts B. *et al.* (1962) Molecular Biology of the Cell. Garland Publishing Inc., New York, USA.

Amblard C, Carrias JF, Bourdier G, Maurin N (1995). The microbial loop in a humic lake: seasonal and vertical variations in the structure of different communities. Hydrobiologia 300/301: 71-84.

Azam F, Fenchel T, Field JG, Gray JS, Meyer-Reil LA, Thingstad F (1983). The ecological role of water column microbes in the sea. Mar Ecol Prog Ser 10: 257-263.

Brock T., Madigan M., Martinko J., Parker J., (1994). Biology of Microorganisms, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Chrost R. J., Adamczewski T., Kalinowska K., Skowrońska A. (2009). Abundance and structure of microbial loop components (bacteria and protist) in lakes of different trophic status. J Microbiol Biotechnol 19: 858-868.

Dobson M., Frid C. (1998). Ecology of Aquatic Systems. Addison Wesley Longman Ltd., Harlow, UK.

Ducklow H. (2000). Bacterial production and biomass in the oceans. Pp. 85-120 in D. L. Kirchman, ed., Microbial ecology of the oceans. Wiley-Liss, New York. 542.

Hairston N. *et al.* (1960). Community structure, population control competition. The american Nationalist 94:421-425.

Jumars P. A., D. L. Penry J. A. Baross M. J. Perry, B. W. Frost. (1989). Closing the microbial loop: dissolved carbon pathway to heterotrophic bacteria from incomplete ingestion, digestion & absorption in animals. Deep-Sea Res. 36: 483 495.

Kalinowska K. (2004). Bacteria, nanoflagellates and ciliates as components of the microbial loop in three lakes of different trophic status. Pol J Ecol 52: 19-34.

Kot-Wasik, Agata (2007). Parameters of Natural Water. Water Quality Control.

Menge B., Sutherland J. (1987). Community regulation: variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. American Naturalist 130: 730-757.

Moiseev P. A., (1989). Biological resources of world ocean. Moscow, Agroprom.

Sanders R. W., Porter K. G., Bennett S. J., DeBiase A. E. (1989). Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers, and cladocerans in a freshwater planktonic community. Limnol Oceanogr 34: 673-687.

Sigee David C. 2005. Freshwater Microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern, Gate, Chichester, West Sussex, England.

Solomon E., berg L., Martin D. (1999). Biology, Fifth edition, Saunders College publishing.

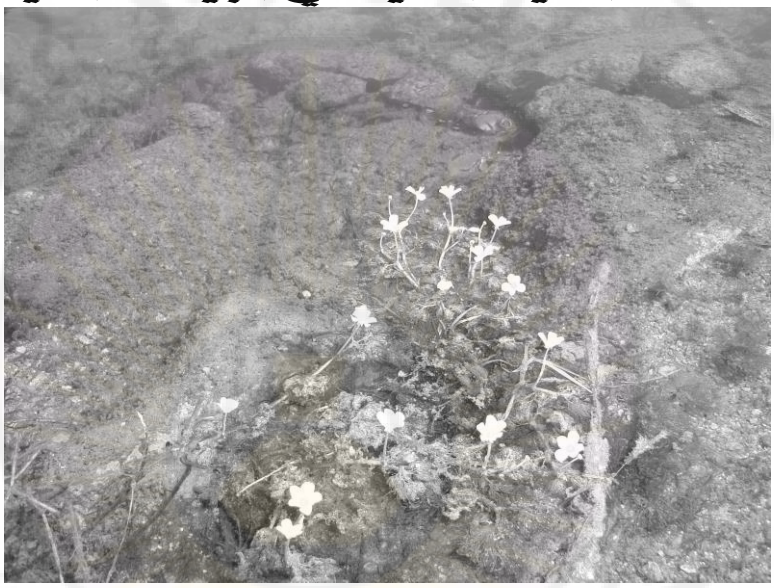
Stetter K. O. (1999). Extremophiles and their adaptation to hot environments. Federation of European Biology Society–Letters 452, 22–25.

Szeląg-Wasielewska E, Fyda J (1999). Phytoplankton and ciliate communities of ten lobelian Pomeranian lakes (NW Poland). Acta Hydrobiol 41: 153-164.

http://www.jrc.ec.europa.eu/ Joint Research Centre JRC Scientist and technical reports. European Union, 2010. Institute for Environ Printed in Italy. Environment and Sustainability, European Commission.

الفصل الرابع

نشاطات الأحياء الدقيقة في البيئات المائية



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُحدد العوامل المؤثرة في الإنتاجية الحيوية.
- يستنتج أهمية الجراثيم غيرية الاغتذاء ودورها.
- يقارن بين الأحياء الدقيقة الهوائية واللاهوائية.
- يربط بين المظاهر الحيوية ونموات الأحياء الدقيقة.
- يفهم طبيعة انتشار المادة العضوية في البيئة المائية.
- يصف تركيب الحصيرة الميكروبيولوجية وأسباب وجودها.
- يقدّر أهمية التركيب والتفكيك والمعدنة في البيئة المائية.

مفاهيم مفتاحية

□ **الشبكة الغذائية** food web

تبدأ السلسلة الغذائية بالمنتِجات، وتتشعب في المستويات الأعلى للمستهلكات، ويزداد تعقيدها فتسمى الشبكة الغذائية.

□ **زمن جيل الجراثيم** generation time of bacteria

هو الزمن اللازم لتضاعف أعداد الجراثيم وكتلتها الحيوية، ولها أهمية كبيرة في دالات الإنتاجية الحيوية والرصد الميكروبيولوجي للنظم البيئية المائية.

□ **التحجُّرات** concretions

هي تكوين الحجر الجيري أو أرض المشطورات في البيئة المائية، أو تحجُّرات الحديد – والمنغنيز على الأعماق الكبيرة ولاسيما في المحيط.

□ **المَعْدنة** mineralization

تؤكسد الأحياء الدقيقة المواد العضوية؛ فتحقق دورة العناصر التي تعدّ من العمليات الأكثر أهمية في النظام البيئي، وتفيد في التنقية وتزويد المنتِجات بالغُذِّيات وإزالة الملوثات وإعادة التركيب الكيميائي الأولي للمياه.

□ **الغُذيَّات (العناصر الغذائية)** nutrients

تعمل الغُذيَّات العضوية واللاعضوية على ترسيخ جماعات الأحياء في البيئة المائية، مثل: مركبات النتروجين والفُسفور والبوتاسيوم والحديد ...

□ **المجموعات الجرثومية الوظيفية** physiological bacterial groups

جراثيم غيرية الاغتذاء يرتبط نشاطها بشدّة مع تغيّر تراكيز المادة العضوية التي تعمل على أكسدتها ومعدنتها، كالفينول والهدروكربونات والسموم والسليلوز والكيتين والنشاء والهلام والدُسم، ولها اليوم أهمية أيضاً في محطات التنقية.

□ **عمود فينوغرادسكي** Winogradski column

تنمو الأحياء الدقيقة في مواضع مختلفة في عمود المياه، إذ تختلف مجتمعات الأحياء الدقيقة وفقاً لتدرُّج غذائي منتقى ناجم عن مسلك الأكسدة المقابل.

أولاً. الامتصاص والتفكك الحيوي

Uptake and Biological Decomposition

1. امتصاص الكربون وإفرازه Carbon uptake and excretion

تعمل الأحياء ذاتية الاغتذاء الضوئي على تثبيت CO_2 في البر والمياه، أما عملية التنفس والأنشطة البشرية فتعيده إلى الجو، ولكن العمليات الميكروبيولوجية هي المصدر الأساسي لتحرير CO_2 إلى الجو، وتقترن دورتا الكربون والأكسجين معاً، فذاتيات الاغتذاء الضوئي هي أساس دورة الكربون، ويجري التركيب الضوئي على عكس التنفس وفق الآتي:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow (CH_2O) + O_2 \qquad \text{(التركيب الضوئي)}$$

$$(CH_2O) + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \qquad \text{(التنفس)}$$

◊ **الأحياء الدقيقة الهوائية** Aerobic Microorganisms

تؤكسد غيريات الاغتذاء المركبات العضوية إلى مركبات نهائية: CO_2 والماء إضافة إلى الطاقة، وتستعمل ذاتيات الاغتذاء المركبات اللاعضوية وتنتج NO_2 والماء وحمض كلور الماء إضافة إلى الطاقة، أما في غياب الأكسجين فتفيد مركبات أخرى كمستقبلات للإلكترونات دون تكوين الماء، مثل: نزع بعض سلالات الزوائف *Pseudomonas* للنتروجين من النترات، وإنتاج H_2S من الكبريتات بفعل جراثيم *Desulfovibrio*، وإنتاج الميتان من CO_2 بفعل المُمَيْتِنة *Methanobacterium*.

◊ **الأحياء الدقيقة اللاهوائية** Anaerobic Microorganisms

يتشابه أسلوب التفكيك اللاهوائي مع التفكيك الهوائي، غير أن الهدروجين المنتزع من المركبات العضوية يتبدد في تفاعلات أخرى مع أحد نواتج تفكيك السكريات، ولا تقتضي مساهمة الأحياء الدقيقة بالضرورة إنتاج الطاقة أو استهلاكها، إذ إن تحويل المعقدات يستدعي أولاً تفكيكها إلى صورة أبسط قابلة للاستعمال، مثل: السليلوز (سكر معقد)، والهميسليلوز والكيتين والبكتين والسكريات، كالآتي:

$$(C_6H_{10}O_5)n \text{ / Cellulose} + nH_2O \rightarrow n\,C_6H_{12}O_6 \text{ / Glucose}$$

تنتج العمليات الهوائية قدراً أكبر من الطاقة مقارنة باللاهوائية، ولذلك يكون النمو وإنتاج الكتلة الحيوية أفضل في التفاعلات الهوائية عند أكسدة السكريات البسيطة، وحسبنا أن نذكر، أن تفكك جزئية واحدة من الغلوكوز ينتج 38 جزيئة ATP في الظروف الهوائية، وبالمقابل ينتج جزيئتين فقط في الظروف اللاهوائية.

يؤدي استعمال الجزيئات المختلفة من السليلوز والهميسليلوز والبروتين والبكتين والنشاء والكيتين والهدروكربونات العطرية إلى تكوين سكريات بسيطة وحموض عضوية، ويرتبط التفكك بعوامل الوسط المختلفة كدرجة الحرارة والتهوية والرقم الهدروجيني ونسبة اللغنين Lignin الذي يبدو مقاوماً للتفكيك الإنزيمي وتؤثر فيه الفطريات عادة، وعند تفكيك السليلوز والهميسليلوز والبروتين والحموض العضوية والكحولات في الظروف اللاهوائية تتكون كميات كبيرة من الميتان الذي تنتجه مجموعة متخصصة من الجراثيم اللاهوائية المجبرة في الأراضي المشبعة بالماء والمستنقعات السبخة والعذبة؛ وفي الرواسب القاعية بالبحار والمياه العذبة والمخلفات المنزلية السائلة، مثل: *Methanobacterium*، *Methanococcus*، *Methanosarcina*، *Methanospirillum*، وتوجد جراثيم تؤكسد الميتان CH_4 إلى CO_2.

2. الأكسدة الحيوية للمواد العضوية

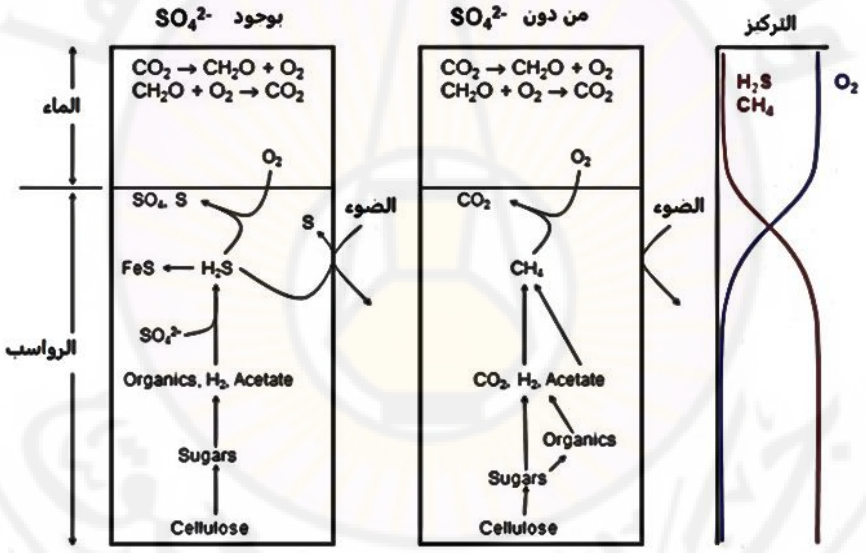
Biological Oxidation of Organic Substances

توجد المادة العضوية منحلة أو عالقة في البيئة المائية (Tranvik 1984):

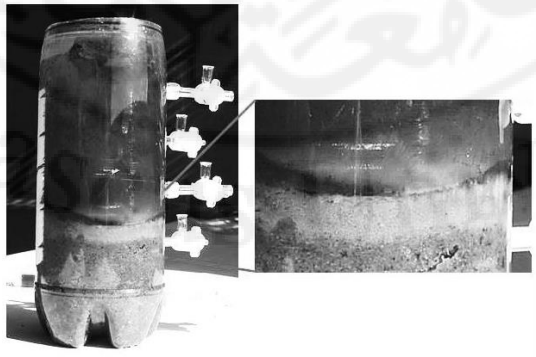
- المادة العضوية المنحلة dissolved organic matter DOM يقل حجمها عن 0.2 ميكرون، ويرتبط تركيزها في المياه الطبيعية بالحالة الغذائية والاختلاف بين 1 ملغ C/ل (المياه قليلة الاغتذاء) إلى 50 ملغ C/ل (المياه مفرطة الاغتذاء).
- المادة العضوية الدقائقية particulate organic matter POM يزيد حجمها على 0.2 ميكرون، وتحتجزها المرشحات، ونسبتها أقل من 10% عادة من المادة العضوية الإجمالية، وتركيزها لا يتجاوز 0.2 ملغ C/ل في البيئات قليلة الاغتذاء وفي البيئات جيدة الاغتذاء 1 ± 2 ملغ C/ل (Thurman 1985).

تشارك الإنزيمات الخارجية على اختلافها في تفكيك المادة العضوية المنحلة والدقائقية، ومعظمها إنزيمات متكيّفة (Chrust 1990, 1991, 1994)، ولها دور في عمليات تفكيك المادة العضوية المنحلة، مثل: الببتيداز، والليباز، والغلوكوزيداز.

يتميز التوزع الشاقولي لكميات الكربون والنتروجين والفُسفور في المياه بدلالة معنوية غالباً لإجمالي عدد الجراثيم في البحار (Fuhrman *et al.*, 1989) والبحيرات (Cole and Caraco 1993)، ويمكن رسم صورة كيميائية أرضية حيوية في البيئة المائية على هيئة عمود فينوغرادسكي (الشكل 4-1)، ويمثل الشكل 4-2 أسلوب التطبُّق ومواضع أخذ العينات للدراسة.



الشكل 4-1 الحالة الكيميائية الأرضية الحيوية في البيئة المائية على هيئة عمود فينوغرادسكي.



الشكل 4-2 التطبُّق ومواضع أخذ العينات في عمود فينوغرادسكي الذي تكوّن خلال سنوات عديدة.

3. **امتصاص الغُذيَّات وتدويرها** Nutrients Uptake and Cycling

تدور العناصر الكيميائية، ولاسيما الكربون والأكسجين والنتروجين والهدروجين والفسفور والبوتاسيوم والكلسيوم والحديد والمغنزيوم، خلال الأوساط البيئية المختلفة والأحياء بتأثير طاقة الإشعاع الشمسي، وتشارك الأحياء الدقيقة في تركيب المادة العضوية وتفكيكها، ففي الطبقات السطحية من المياه تنتشر العوالق النباتية، وتشارك المجموعات الجرثومية الفيزيولوجية في تفكيك المركبات العضوية وتحقيق دورات العناصر؛ وهكذا تنتشر الغُذيّات العضوية واللاعضوية عموماً وتعمل على ترسيخ جماعات الأحياء في البيئة، وكثيراً ما تصل الغذيات إلى الأجسام المائية من المصادر البرية نتيجة الهطل وتأثير الأنشطة البشرية.

تمتص الطحالب شوارد النترات والأمونيوم المنحلة، وتتعرّض المركّبات العضوية النتروجينية لعمليتي النترجة nitrification ونزع النتروجين denitrification بفعل جراثيم نوعية، وهناك جراثيم قادرة على تثبيت النتروجين nitrogen fixation بسبب امتلاكها الحويصلات المغايرة heterocysts والنتروجيناز nitrogenase التي تعمل في ظروف لاهوائية، وتستعمل الجراثيم الزرقاء النترات عادة، ويمكنها استعمال النتريت وأملاح الأمونيوم، والنتروجين العضوي؛ ما يساعدها على الانتشار والسيادة في المياه الملوثة بالمواد العضوية، كالبولة والحموض الأمينية والببتونات والكازيين، ويتمكن من القيام بذلك أيضاً بعض الطحالب الخضراء البدائية والنارية، وتحرّر الجراثيم الزرقاء 5 – 45% من النتروجين المثبّت في الوسط على هيئة حموض أمينية ودهون عديدة؛ ما يترك تأثيراً مهماً في إنتاجية أوساطها البيئية.

تحدث تفاعلات الإرجاع في ظروف لاهوائيّة حتّى في الأحياء الدقيقة الهوائيّة، حيث تُصان إنزيمات تثبيت النتروجين بآليّات عديدة بما فيها الحواجز الفيزيائيّة، كما في الحويصلات المغايرة، والجزيئات المزيلة للأكسجين، والنسب العالية من الفاعليّة الاستقلابيّة، ومن أهم الأنواع القادرة على تثبيت النتروجين الجوي:

Oscillatoria, Anabaena, Calothrix.

تنقل الأحياء الدقيقة المركبات النتروجينية على هيئة صيغ النتروجين الضرورية للأحياء في البيئة المائية، وتمثل الجراثيم في المنطقة السطحية المضاءة أهمية كبيرة، حيث يجري التدفق الأساسي للمادة والطاقة، ويؤدي وصول المادة الحيوية الإضافية إلى زيادة أعداد الجراثيم وإنتاجيتها، وتتميز التيارات الواصلة الضخمة ونشاطات الإنسان المختلفة بتأثير كبير في انتشار الجراثيم، وتبقى أعداد المنشدرات عالية عموماً في المنطقة الشاطئية، وتنخفض فاعلية عمليات النشدرة ammonification والنترجة nitrification مع ازدياد العمق، وتقع قيمتها العظمى على عمق 5 – 10 أمتار عادة، وتصبح كمية المادة العضوية صعبة الأكسدة ملموسة في الأعماق الكبيرة، وقد يرتبط ذلك بنقصان أعداد المنشدرات مع العمق.

تبقى أعداد الجراثيم المثبتة للنتروجين والجراثيم أليفة قلة النتروجين Oligonitrophilous الهوائية ضئيلة وتنتشر في مناطق محدودة، وترتبط غزارة الجراثيم المساهمة على نحو شديد بفصول السنة، ويتباين انتشار الأحياء الدقيقة القادرة على تحويل الفسفات والليسيتين Lecithin والفيتين Phytin غالباً حسب شدة إنتاج المادة العضوية عن طريق العوالق النباتية، مثل: المكورات والعصيات والخمائر والأعفان التي تؤكد غزارتها الكبيرة في المياه والرواسب القاعية الشاطئية على شدة العمليات الحيوية.

تتميّز الخمائر والجراثيم بأهمية كبيرة في الآفاق العليا (0 – 20 سم) من الرسوبات، وتدل غزارة الأحياء الدقيقة المفككة للفُسفات والمحوِّلة لها على احتمال تبادل الفُسفور بين الطبقة قرب القاعية والطمي السطحي على الرغم من أن بعض العمليات الميكروبيولوجية يمكن أن يجري في مجمل طبقة الرسوبات، فإن الانخفاض الشديد بأعداد الجراثيم حتى عمق متر واحد لا يترافق دوماً بانخفاض نشاطها الجيوكيميائي.

تستعمل الجراثيم والفطريات والشعيات المركبات العضوية الكبريتية، وتفككها وتمعدنها، ثم تستعملها الأحياء الهوائية واللاهوائية، مثل: الكبريتات وكبريت الهدروجين والكبريتيدات والكبريت اللاعضوي، فمثلاً:

تؤكسد جراثيم *Thiobacillus* (ذاتية الاغتذاء الكيميائي) الكبريت اللاعضوي باستثناء جراثيم النوع *T. novellus* إذ يستعمل CO_2، هوائية مجبرة ما عدا جراثيم النوع *T. denitrificans* التي تستعمل النترات كمستقبل للإلكترونات لاهوائياً، ويستعمل النوع *T. ferrooxidans* أملاح الحديدي أو أملاح الكبريت والكبريتيد، مثل: كبريتيد النحاس والرصاص والنيكل و... الشاردية، والتيونات العديدة، والكبريت اللاعضوي كمصدر للطاقة.

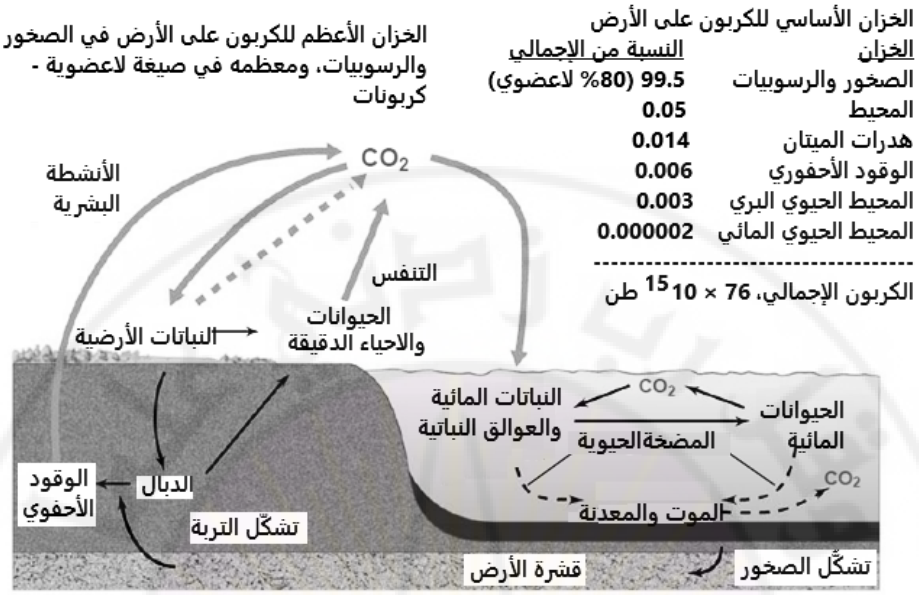
وتُرجع جراثيم النوع *Desulfovibrio desulfuricans* الكبريتات إلى كبريت الهدروجين وهي لاهوائية مجبرة، وأنواع لاهوائية من الجراثيم *Desulfotomaculum* الأقل انتشاراً، وتُرجع الشوارد السالبة الأخرى إلى كبريتيد، وتشارك الجراثيم المرجعة للكبريتات في تكوين ترسبات الكبريت.

توجد جملة الحديد والمنغنيز Fe - Mn بتراكيز عالية جداً على هيئة مركبات غروانية في الطبقة المائية السطحية من المحيط، وتتكون تحجُّرات Concretions الحديد والمنغنيز على الأعماق الكبيرة، وهناك جدال حول مشاركة جراثيم الحديد فيها.

ويتأكسد الكبريت اللاعضوي بفعل الجراثيم والشعّيات والفطريات غيرية الاغتذاء، ومن المهم أيضاً امتصاص السليكون Silicon Si في البيئة المائية، ولا يمكن إغفال الدور الحيوي المهم جداً للعناصر الصِغرِّية trace elements.

تتصف المجموعات الجرثومية الوظيفية بأهمية كبيرة في الأجسام المائية، وتتباين أعداد الجراثيم المؤكسدة للفينول، والهدروكربونات، والمنترِجات، والسليلوز هوائياً، إلى حد كبير، ويوضح الشكل 4-3 تحولات المركبات العضوية في البر والبحر.

ربّما يصبح إفراط التغذية وإنتاج المادة العضوية عند وفرة العوالق النباتية؛ مسألة مهمّة لتغذية الحيوانات القاعية، ولكن الفُتَات العضوي يتوافر في البحار والبحيرات بكميّات ملموسة قد تفوق كتلة العوالق النباتية نحو عشرة أضعاف، وقد تتغذى العوالق الحيوانية الموجودة في المنطقة المضاءة بالفُتات العضوي عند حرمانها من العوالق النباتية، أو بالفتات العضوي مع العوالق النباتية عندما تتكوّن تجمعات مناسبة في المياه؛ ما يكسب الإنتاجية الأولية بُعداً إضافياً.



دورة الكرون ودورة الأكسجين مرتبطتان معاً، فالتركيب الضوئي الأكسجيني يمتص CO_2 وينتج O_2 وعمليات التنفس تنتج CO_2 وتمتص O_2

الشكل 4–3 ارتباط تحولات الكربون والأكسجين في البر والبحر.

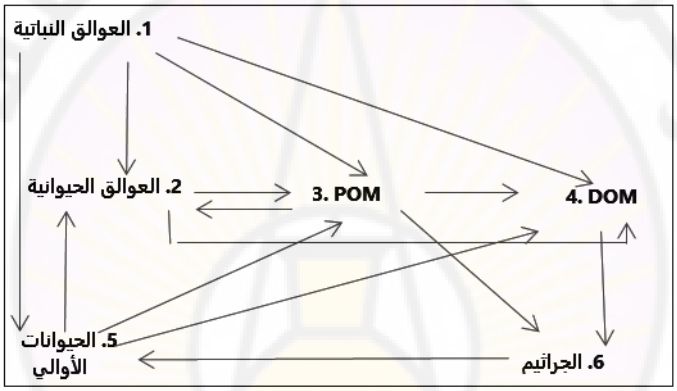
4. **الجراثيم غيرية الاغتذاء** Heterotrophic Bacteria HB

تتميز الأحياء الدقيقة بدور كبير إلى درجة يعدُّها معظم الباحثين العاملَ الأساسي المكوّن لنوعية المياه، فهي ذات جهاز إنزيمي قوي يعمل على أكسدة مجمل المواد العضوية ومعدنتها وتدوير العناصر (Anderson 1981)، ويرتبط نشاط الجراثيم غيرية الاغتذاء بشدة مع تغير تراكيز المادة العضوية، وتتميز بمساهمة كبيرة في عمليات التنقية، إذ تؤدي إلى إزالة الملوثات وإعادة التركيب الكيميائي الأولي للمياه، ويسمح بالحفاظ على خواصها الطبيعية وصون التركيب النوعي للأحياء فيها؛ ولذلك فهذه الأحياء تسمى المجموعات الجرثومية الوظيفية (Ali Nizam 1992).

كانت أعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء منخفضة شتاء في مياه نهر بردى، وبلغت الحد الأقصى في حزيران، ثم تراجعت الأعداد بسبب استنزاف الأكسجين المنحل في المياه وزيادة تركيز المواد العضوية وانخفاض الغزارة (علي نظام وسعود 2001)، ولما كان مجمل كتلة الجراثيم غيرية الاغتذاء ممثَّل بالأشكال عديمة الأبواغ ويتكوّن أساساً

من المُكَيّرات فإنه يؤكد وجود المادة العضوية سهلة الأكسدة من في المياه، ويدل وجود العقديات *Streptococci* في المياه باستمرار على التلوث البرازي الحديث.

بلغت القيمة العظمى لأعداد الجراثيم في حزيران على وسط الآغار المغذي في مياه بحيرة سد الروم بالسويداء، ويتفق ذلك مع القيمة العظمى لإجمالي الكربون العضوي TOC؛ وهذا يؤكد الدور الكبير للجراثيم غيرية الاغتذاء في عمليات التفكيك الحيوي (محمد وآخرون 2009)، يبين الشكل 4-4 تحوّلات المادة العضوية المنحلة والدقائقية وبعض مسالك الكربون خلال الشبكة الغذائية في البحار.



الشكل 4-4 نموذج مفاهيمي لتدفق الكربون خلال الشبكة الغذائية وبعض المسالك الأساسية للكربون من العوالق النباتية إلى الجراثيم في البحار، المادة العضوية الدقائقية POM، المادة العضوية المنحلة DOM،

2-1	**رعي العوالق الحيوانية وتحرير البراز، munchates (2-3) والمنتجات المنحلة (2-4).**
3-1	**موت العوالق النباتية بالفيروسات أو نفاد الغذيات التي يتبعها انحلال الجراثيم (3-6).**
4-1	**تحرر المادة العضوية المنحلة بفعل العوالق النباتية.**
5-1	**رعي العوالق الحيوانية للعوالق النباتية البيكية، وتحرير البراز (5-3) والمنتجات المنحلة (5-4).**

يمثل الاغتذاء المختلط mixotrophy نمطي الاغتذاء البلعمي phagotrophic والاغتذاء الضوئي phototrophic في نوع مستقل، ويكون معنوياً إلى حد كبير في الشبكات الغذائية للأحياء الدقيقة، وتفيد الطحالب مختلطة الاغتذاء كعواشب محتملة للجراثيم، وهي تسود في البحر الأبيض المتوسط.

ثانياً. التآثرات بين الأحياء الدقيقة

Interactions between Microorganisms

1. التنافس على الضوء والكربون

Competition for light and carbon dioxide

لما كان الضوء عاملاً حاسماً في البيئة المائية، ولاسيما في بيئة المياه العذبة، فإن النباتات الراقية والطحالب تدخل في تنافس شديد على الضوء، وإن كان بعض أنواع الطحالب يتعرّض للتثبيط الضوئي photoinhibition ويهاجر بعيداً عن السطح في أوقات الإضاءة الشديدة، ويعتمد الضوء في البيئة عادة على موقع الشمس من خط العرض والفصل من السنة ووجود الغيوم، ففي المناطق المعتدلة مثلاً يمكن أن تنخفض الشدة الضوئية إلى النصف في يوم صيفي صحو إذا حجبت الغيوم شمس النهار، ويمكن أن تنخفض الشدة الضوئية في يوم شتوي صحو إلى خُمس قيمتها في يوم صيفي صحو، وإلى عُشر قيمتها في حال وجود الغيوم.

تتغير الشدّة الضوئية ومكونات طول الموجة خلال ساعات النهار، وتبلغ الشدّة الضوئية أقصى قيمة في أيار وحزيران، وتنخفض إلى تُسع قيمتها عن مستوى الصيف في كانون الأول وكانون الثاني. تبقى الشدّة الضوئية اليومية في المناطق الاستوائية طوال العام، مثلما هي في صيف المناطق المعتدلة، ما عدا في الفصل الممطر، أما في المناطق الباردة، فيخترق الضوء طبقة الثلج إلى الماء المتوضّع تحتها، وإن كان الجليد يقلّل من قدرة الضوء على الاختراق.

يكون الحدّ الأدنى للمنطقة المضاءة الحد الذي لا يتمكّن الإشعاع المتاح available radiation AR من تحقيق التركيب الضوئي (1% من الضوء تحت السطح) في ذاتيات الاغتذاء، وإن كان الحد ليس واحداً لجميع أنواع العوالق النباتية، ويرتبط مع طبيعة البيئة ونوعية العوالق النباتية وخط العرض والفصل السنوي والوقت من اليوم وشفافية المياه وكمية المواد العالقة.

يقع أعمق حدّ في مياه المحيط الصافية تنفذ إليه الأشعة الزرقاء المخضرة في حدود 450 – 500 م، بينما تُمتصّ الأشعة الحمراء والأشعة فوق البنفسجية في الطبقات العليا من المياه، وعندما يسمح الإشعاع الضوئي المتاح للتركيب الضوئي بتوازن الإنتاج الإجمالي تماماً مع معدل الهدم، يكون إنتاج العوالق النباتية معدوماً، يسمى هذا الحدّ عمق التعويض الضوئي light compensation depth الذي يختلف باختلاف نوع العوالق النباتية والظروف البيئية، وهو لا ينطبق بالضرورة على الحد الأدنى للمنطقة المضاءة، فقد يقع عمق التعويض الضوئي فوقه أو تحته.

تنخفض شدّة الضوء بوضوح مع ازدياد العمق وازدياد عكارة المياه السطحيّة واضطرابها؛ الأمر الذي يجعل الضوء عاملاً محدّداً للتوزّع العمودي للعوالق النباتيّة في بيئاتها، فهي أليفة للضوء Photophilic أو أليفة للظلام Sciaphilic، إذ تحتوي المشطورات والطحالب الناريّة والذهبيّة صبغاً إضافياً بنيّ اللّون، إضافة إلى اليخضور؛ ما يمكّنها من تحقيق تركيب ضوئيّ نشط رغم قلة الإضاءة.

تستعمل الجراثيم، المرتبطة مع الجراثيم الزرقاء *Nodularia spumigena*، نسبة كبيرة من المواد العضوية التي تنتجها على نحو مباشر، وفي المناطق القطبية ترتبط الجراثيم التي تستعمل الأكسجين في منطقة الحويصلات المغايرة مع الجراثيم الزرقاء العوالقية المثبتة للنتروجين (تعايش Symbiosis).

2. التنافس على الغُذَيَّات اللاعضوية

Competition for inorganic nutrients

تدخل أنواع الطحالب في تنافس على الغُذَّيات التي تقلُّ كمياتها تدريجياً مع ازدياد أعداد الجماعات، ويتفوّق بعض الأنواع الأسرع بالنمو أو الأكثر تحمّلاً لعوز هذه الغُذَّيات، وكثيراً ما تلاحظ التآثرات بين العوالق النباتية والجراثيم في الطبقة السطحية، وقد تدخل في علاقة تعايش، وإنّ سحب الكميات الأخيرة للعناصر المغذية يمكن أن يجعل بعض الأنواع أو كثيراً منها في حالة من الحرمان الحاد من الغُذيّات. وتكون تراكيز الأمونيا منخفضة ومتباينة في مياه البحر والمياه العذبة غير الملوّثة، غير أنّ

الجراثيم المفكّكة للمادّة العضويّة والمخلّفات الحيوانيّة تزوّد العوالق النباتية بالأمونيا، وتكون المستويات العالية للملوّثات العضويّة الناجمة عن المخلّفات السائلة المنزليّة أو الزراعيّة؛ المصدر الأساسيّ للأمونيا في الأنهار التي يمكن أن تحملها إلى البحيرات أو المصبّات، وتتحوّل النترات إلى أمونيا في خلايا العوالق النباتية.

تتّصف شاردة النترات بتغيّرات موسميّة في المنطقة المضاءة، ولها تراكيز أكبر من الأمونيا في المياه غير الملوّثة، وكميّات النتريت أقلّ كثيراً ولا توجد معنويّاً إلّا عند انخفاض تراكيز O_2، ويُرجع النتريت مباشرة إلى أمونيا في الخليّة.

يتميّز السيليس في صورته المنحلة بأهميّة خاصّة في المشطورات والسوطيّات، فقد تتراوح كميّته في جدر بعض مشطورات المياه العذبة بين 26 – 63% من وزنها الجافّ، ويؤدي نموّها الشديد إلى انخفاض تراكيز السيليس حتى تصبح التراكيز المنخفضة جدّاً منه عاملاً مثبّطاً في البحيرات (0.5 ملغ /ل)، وإن تمكّن بعض الأنواع من النموّ بجدر سيليسيّة رقيقة جدّاً بأعداد كبيرة في الازدهار الربيعيّ كالنوع البحريّ *Skeletonema costatum*، وتحدث عمليّة تدوير السيليس في مياه البحار ورواسب البحيرات أساساً بفعل العوالق الحيوانيّة التي تفتّت جدر المشطورات، وقد تزيد الأملاح المذابة في البحار معدّلات التدوير، ويعدّ استنزاف السيليس فيها عاملاً محدّداً لنموّ المشطورات، ويكون ذلك أقلّ أهميّة في مياه البحار بسبب سرعة التدوير.

لا يرتبط تكوُّن الحُبيبات الحجريّة coccolithes (حراشف كلسيّة قرصيّة غالباً تغطي الخلايا) بحلقة حياة الطحالب الذهبيّة التي يمكنها أن تتنامى من دونها، وتنشأ الدروع السيليسيّة في المشطورات بدءاً من حمض السيليس H_4SiO_4، وتنفصل الخليّتان الوليدتان عند انتهاء تكوُّن مصراعيّ الدرع.

يكدّس بعض الطحالب كربونات الكلسيوم أو المغنزيوم وقليلاً من السيليس والكبريت والحديد واليود، وكميّات زهيدة من المنغنيز والبور والكروم والزنك وغيرها؛ ما يسمح باستعمالها في صناعة الأسمدة، وتكدّس خلايا العوالق النباتيّة احتياطات كبيرة من الفسفات تفوق احتياجها أحياناً، تكون متاحة عند انخفاض تركيز الفسفات في البيئة، ويدعى استهلاك الرفاهيّة luxury consumption.

3. التضادّ والتنشيط والمنافسة

Antagonism, Activation and Competition

تدخل الطحالب والجراثيم في علاقة تضاد نتيجة انتشار المفرزات الخلوية للطحالب في محيطها بتراكيز متدرجة تدعى المحيط الطحلبي phycosphere، وهي مركبات منشّطة للجراثيم أو مثبّطة لها، فمثلاً:

تبدي مشطورات النوع *Skeletonema costatum* تأثيراً متبايناً في الجراثيم عند نموها النشط ، فهي ذات تأثير منشّط لنمو الجنس *Flavobacterium*، وتأثير مثبّط لنمو *Pseudomonas* (Boney 1989)، وإنّ تجمُّعات خلايا مشطورات النوعين *Asterionella japonica* و *Chaetoceros lauderi* في مرحلة النمو النشط تبدي تأثيراً مثبّطاً للجراثيم الموجبة بصبغة غرام. وتتميز الجراثيم الفَوْنباتية epiphytic بأهمية في البيئة المائية وتدخل في علاقات مع العوالق النباتية.

4. تآثرات الفيروسات والفطريات وغيرها

Interaction between Viruses, Fungi and others

كثيراً ما تعمل الفيروسات على ضبط مضيفاتها في البيئة المائية، وللفطريات الطفيلية والمفترسة أهمية أيضاً في بعض المواقع، وتتميز النشاطات الرعوية في بيئة المياه العذبة بأهمية كبيرة، حيث تنتشر الحيوانات الأوالي: الهدبيات والسوطيات والأميبات والدوارات والقشريات واللافقاريات ولكل منها دورها، وتتّصف أنواع العوالق النباتية المختلفة بقيمة غذائية كامنة، غير أنّ العوالق الحيوانية لا تبدو قادرة على هضم الدروع السيليسية، والجدر الثخينة للعوالق الخضراء *Chlorella* غير المناسبة للتغذية، والعوالق الحيوانية لا تتمكّن بسهولة من اصطياد الطحالب السوطية العارية الصغيرة جداً والقابلة للهضم، وبعض العوالق النباتية منتِج للصادات وبعضها سام.

وتمثّل الدوَّارات rotifers والقشريات الصغيرة المستهلِكات الأولية الأساسية في المياه العذبة، حيث تتغذى بالمشطورات الصغيرة والعوالق النانوية والمواد العضوية والجراثيم.

ثالثاً. الإنتاجية الحيوية Biological Productivity

1. مستويات السلسلة الغذائية Food Web Levels

تمتص النباتات الخضراء نحو 2% فقط من الضوء الواصل؛ وتستعمل نصف هذه النسبة فقط (1%) في عملية التركيب الضوئي، أما معدل الكفاءة البيئية للمُنتجات في المحيط فيبلغ 0.18% فقط بسبب تشتّت نسبة كبيرة من الضوء على سطح المياه، وتختزن النباتات نحو 0.04% من طاقة الإشعاع الشمسي كإنتاجية صافية يمكن للمستهلكات الاستفادة منها على هيئة طاقة كيميائية في المواد العضوية المختلفة.

الإشعاع الشمسي (الأمواج الكهرومغنَطيسية)	
الأشعة الفَوْبنفسجية ultraviolet light	تكوّن 6– 7% من الإشعاع الشمسي، وتقل موجاتها عن 400 نانومتر. لا يصل إلى الأرض سوى جزء ضئيل منها لأن طبقة الأوزون تمتصها. تعد مهمة لصحة الإنسان، غير أن زيادتها تؤثر سلبياً في الأحياء.
الأشعة المرئية visible light	تكوّن 42% من الإشعاع الشمسي، تتراوح أطوال موجاتها بين 300 – 740 نانومتر. تشمل الأشعة الزرقاء والحمراء والصفراء والخضراء والبرتقالية والبنفسجية والنيلية، وهي ضرورية لعملية التركيب الضوئي.
الأشعة تحت الحمراء infrared light	تكوّن نحو 51% من الإشعاع الشمسي، تتراوح أطوال موجاتها بين 750 – 4000 نانومتر. يفيد الجزء الأكبر منها في زيادة درجة حرارة سطح الأرض والغلاف الجوي.

تمثّل السلسلة الغذائية food chain انتقال الطاقة المختزنة في المنتِجات عبر سلسلة من المستهلكات؛ والمنتِجات هي المستوى الغذائي الأول، أما المستهلكات المختلفة فهي المستويات الأخرى، تتشعب السلسلة الغذائية ويزداد تعقيدها وتسمى الشبكة الغذائية food web. تتداخل السلاسل الغذائية عموماً في النظم البيئية، وتتدرّج المستويات الغذائية فتتوزع الأحياء وفقاً لدورها الغذائي على هيئة هرم بيئي ecological pyramid، تكون المنتِجات في قاعدته وأقوى المستهلكات في قِمَّته، وللطفيليات والمفكّكات أهمية في المستويات الغذائية (خاتوغ–بوران وآخرون 1996).

2. أنماط الإنتاجية Types of productivity

إن العوالق النباتية هي المصدر الرئيس للمواد العضوية في بيئات البحار والمياه العذبة، فيما عدا الأعشاب البحرية وبعض النباتات الزهرية والطحالب الخيطية في شواطئ البحيرات والأنهار (Boney 1989)، ولطالما تقاس الإنتاجية بكمية الكربون المثبّتة فإن الدور الأساسي للعوالق النباتية في الشبكات الغذائية هو تزويد المستهلِكات بالبروتين والسكريات والدهون والفيتامينات والأملاح المعدنية.

تقدر الإنتاجية الأولية العالمية بنحو (144 – 180) × 10^9 طن/السنة مادة جافة، تساهم المحيطات عن طريق العوالق النباتية في الدرجة الأولى بنحو 35% من هذا المجموع، والأكسجين الذي يحرره التركيب الضوئي في المحيط العالمي جزء مهم في ترسيخ الحياة على الأرض، وتُقسم الإنتاجية الأولية Primary productivity عموماً إلى أنماط مختلفة (خاتوغ–بوران وآخرون 1996، Boney 1989):

الإنتاجية productivity	الميزات
الإنتاجية الإجمالية Gross p.	هي الطاقة الأولية المختزنة، أو إجمالي كمية الكربون المثبّت بالنباتات والعوالق النباتية (والطحالب) الأكثر أهمية في المسطحات المائية.
الإنتاجية الصافية Net p.	هي الطاقة الأولية المتاحة، أو كمية الكربون المثبّت المتاح للنباتات والعوالق النباتية (والطحالب) لتركيب مادتها الحية، بعد تأمين متطلباتها التنفسية.
الإنتاجية الثانوية Secondary p.	هي الطاقة المختزنة في مستويات المستهلِكات والمفكِّكات، وهي أقل بكثير من الإنتاجية الأولية بسبب التبديد عند الانتقال من مستو غذائي إلى آخر؛ والاستهلاك الحاصل في المستوى الغذائي الأول.

تتميز قيم الكتلة الحيوية وزمن جيل الجراثيم generation time of bacteria (الزمن اللازم لتضاعف أعداد الجراثيم) بأهمية كبيرة في دالات الإنتاجية الحيوية والرصد الميكروبيولوجي Microbiological monitoring في النظم البيئية المائية، والكتلة الحيوية تتغير وفقاً للعوامل البيئية ذاتها التي تؤثر في العدد الإجمالي للجراثيم كخصائص المياه وزمن الرصد وكمية المادة العضوية المنحلة في الوسط.

ولما كانت الجراثيم تتميز بقدرة كبيرة على تفكيك المادة العضوية الأصيلة والدخيلة فإنه، عن طريق تحديد كتلتها الحيوية وزمن الجيل في الآفاق الموافقة، يمكن الحكم على شدة تفاعلات التنقية الذاتية وتأثير المخلفات السائلة في النظم البيئية المائية (Belyatskaya-Potaenko 1979, Novojilova and Popova 1984).

يتباين زمن جيل الجراثيم في نقطة رصد معينة على النهر نفسه وفقاً للشاطئ والعمق وزمن الرصد، يبلغ زمن الجيل 18 ساعة في الضفة اليسرى، 12 – 32 سا في الضفة اليمنى، 45 – 345 سا في المياه السطحية بوسط النهر و 28 – 228 سا في القاع، وربما تتراوح الكتلة الحيوية بين 0.37 غ/م^3 في الشتاء و 1.84 غ/م^3 في الصيف (Drukker & Petrova 1988)، ويبلغ زمن جيل الجراثيم 14 ساعة في الدنيبر، 18 ساعة في الفولغا، 32 ساعة في نهر دوين الغربي، 38 ساعة في نهر نيمان (Inkina 1981)، تزداد الكتلة الحيوية للعوالق الجرثومية في مياه الأنهار، بما يتفق مع أعدادها ابتداءً من المنبع إلى المصب في فترات الصيف والشتاء.

يتباين زمن جيل الجراثيم في البحيرات وفقاً لفصول السنة، بلغ في البيكال في الشتاء 80 – 170 ساعة وفي الصيف 13 – 27 ساعة، وتتفق تغيرات كتلتها الحيوية مع أعدادها والقيم العظمى 46.7 – 307 غ/ م^3 في الغشاء الطافي (Goman *et al.*, 1984)، زمن جيل الجراثيم 10 – 80 ساعة وسطياً، والقيم العظمى في البحيرات معتدلة الاغتذاء وجيدة الاغتذاء (Gak 1975, Belyatskaya-Potaenko 1979).

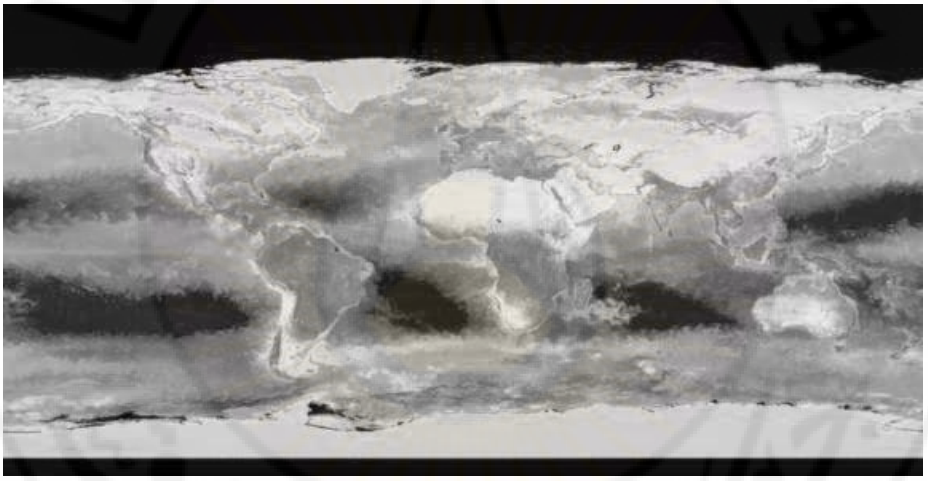
وتبلغ الكتلة الحيوية للجراثيم حدودها العظمى في الفترات الصيفية، ويرتبط ذلك مع ازدياد درجة حرارة المياه ووفرة المادة العضوية اليسرة، وتكون الكتلة الحيوية للجراثيم أكبر في المنطقة المضاءة حيث ينشط التركيب الضوئي، وينخفض متوسط قيمتها وأعداد الجراثيم نحو 1.5 – 2 مرة في الأعماق 600 – 800 متر مقارنة بما هي في السطح (Novojilova and Popova 1984).

تستأثر الإنتاجية الحيوية للجراثيم في المحيط العالمي بأهمية كبيرة نظراً إلى تنوّع جهازها الإنزيمي ونشاطه في المياه والقاع، ولكن المحيط يتميز باحتياطي أصغر من البروتين الجرثومي (الجدول 4-1) مقارنة بالبحيرات العذبة جيدة الاغتذاء.

الجدول 4-1 الإنتاجية اليومية للعوالق النباتية والعوالق الجرثومية في المنطقة جيدة الإضاءة، ميكروغرام / م^3 من المادة الحية (Sorokin 1967).

المسطح المائي	العوالق النباتية	العوالق الجرثومية
البحر الأسود (في الصيف)	40 – 20	30 – 10
بحر اليابان (في الصيف)	1500 – 100	100 – 40
المياه الضحلة المرجانية المدارية	1000 – 100	300 – 100
المنفرج الاستوائي في المحيط الهادي	1000 – 200	300 – 100
المنطقة ثابتة الرياح في المحيط الهادي	50 – 20	50 – 20

يبين الشكل 4-5 التوزع العالمي للإنتاجية الحيوية.



الشكل 4-5 الإنتاجية الأولية في المحيط العالمي واليابسة.

تسود النباتات في المنطقة الشاطئية الضحلة وفي بعض الخلجان، وتسود الطحالب والجراثيم الزرقاء في المنطقة المضاءة في المياه المفتوحة على طول الشاطئ، أما في المياه الأعمق تحت الطبقة السطحية أي في المنطقة السفلى فتسود الجراثيم ضوئية الاغتذاء اللاهوائية الأرجوانية purple والخضراء green في المناطق الغنية بمركبات الكبريت المرجعة، وفي الرواسب توجد أنواع من الجراثيم ضوئية الاغتذاء غير الأكسجينية لاهوائية إجبارياً على حدود مناطق الأكسجين وكبريت الأكسجين في المياه البحرية (Mishustina *et al.*, 1985).

3. قياس الإنتاجية الحيوية

Measurements of Biological productivity

الاعتيان sampling

تُجمع عينات المياه بعبوات زجاجية معقّمة، أو بالمعماق bathometer الذي يسمح بجمع العينات الميكروبيولوجية من أعماق مختلفة في زجاجات معقمة ومرقمة وفق نقاط الرصد، تُجمع العيّنات الشبكية بسحب شبكة الجمع collecting net على عمق محدّد في المياه بسرعة معيّنة، وهي ذات أبعاد الفتحات 0.168، 0.094 مم لأخذ العيّنات الكبيرة، أو 0.079 مم للعيّنات الصغيرة، 0.054 مم للعينات الدقيقة، وفقاً لغرض الدراسة، التدفق البطيء للمياه مناسب لجمع العوالق النباتية باستعمال الشبكة ذات الثقوب الضيّقة، والتدفق السريع للمياه غير مناسب لاستعمال الشبكة ذات الفتحات الواسعة (جمع العوالق الحيوانيّة الكبيرة).

يؤدي السحب السريع للشبكة ذات الثقوب الضيّقة إلى اضطراب المياه وتغيير مسار العوالق النباتيّة، ويمكن زيادة معدّل الترشيح الفعّال باستعمال الكُمّ الذي يقلّل كمية المياه المرشّحة، ويمكن الحصول على عيّنة كاملة باستعمال ثقل معيّن مربوط بحبل ذي طول محدّد باستعمال زجاجات أو قوارير بلاستيكيّة يمكن التحكم في فتحها على العمق المناسب، ثمّ تُسحب إلى السطح وتفرّغ في وعاء نظيف، أو باستعمال أنابيب أو أسطوانات مغلقة يمكن ملؤها بمضخّة pump على العمق المناسب، وهي طريقة فاعلة لسحب الأنواع المختلفة من العوالق النباتيّة ودراستها بدقّة.

تُستعمل أجهزة قياس pH ودرجة الحرارة والناقلية الكهربائية وقياس إجمالي الكربون العضوي من أجل التحاليل الفيزيائية والكيميائية، وتنقل في حافظات حقلية مبرّدة.

تُحفظ عيّنات العوالق النباتيّة بإحدى طريقتين: باستعمال الفورمالين المتعادل 10% (2 : 100 حجم/حجم): يعادل بإضافة هكسامتلين تترامين). أو باستعمال **محلول اللوغول اليودي** (1 : 100 حجم/حجم): 10 غ يود + 20 غ يود البوتاسيوم مذابة في 200 مل ماء مقطر، ويُضاف إليها 20 غ من حمض الخل الثلجي قبل الاستعمال بيومين أو ثلاثة أيام.

عزل الطحالب الدقيقة isolation of microalgae

تُستعمل الأوساط الصلبة والسائلة لعزل الطحالب الدقيقة باتباع الخطوات الآتية (Alanis 2013, www.marine.csiro.au):

الأوساط الصلبة: يُزرع 1 مل من العينة على طبق بطريقة الفرش، وتُوضع الأطباق في درجة حرارة الغرفة 25 °س تحت الإشعاع الشمسي مدة 15 يوماً، ويُقسم الطبق إلى مربعات طول ضلعها 1 سم، يُفحص كل منها بعد نمو المستعمرات بالمجهر الضوئي والمربع الحاوي نموات الطحالب ينقل إلى طبق آخر مع 1 مل ماء معقم، وتكرر العملية حتى الحصول على مزرعة نقية.

الأوساط السائلة: تنقل المزرعة النقية من الأوساط الصلبة إلى أنابيب سعتها 15 مل تحتوي الوسط المناسب المعقم وتحضن في حاضنة هزّازة في درجة حرارة 25 °س و100 دورة /د وتحت إضاءة مدة أسبوع، ثم تُنقل إلى حوجلات حاوية الوسط ذاته سعتها 500 مل أو 1000 مل وتحضن في درجة حرارة 25 °س وتحت إضاءة 1200 لوكس بوجود مضخة هواء مدة 15 يوماً أو حتى الوصول إلى الكثافة المطلوبة، وهي 4 ×10^6 خلية / مل.

الكتلة الحيوية وضبط التركيز biomass and concentration control

طريقة العدّ المجهري: خلال عملية إنتاج الكتلة الحيوية وضبط تركيزها وعند دراسة التأثير ومراقبة النمو باستعمال صفيحة العدّ Buker blood-counting chamber يمكن حساب عدد الخلايا، إذ يجري التخفيف 10/1 عينة/ماء وتُملأ كل حجرة بمقدار 5 ميكرولترات وتُعدّ المربعات السوداء في الحجرتين بالصفيحة (الشكل 4-6)، ويُسجل الرقم ويؤخذ المتوسط الحسابي ثم يُحسب العدد في التخفيف للعينة الأساسية.

يُستخلص اليخضور a ويحسب تركيزه بالطريقة الآتية (Scscor-Unesco1966):

– ترشّح العينة على مرشحة من النوع GF/F، وتُضاف كمية قليلة من كربونات المغنزيوم، وتسجّل كمية الماء الراشح بدقة، وفي حال استعماله لاحقاً تُطوى المرشحة وتُوضع في ورقة ألمنيوم وتُحفظ في المجمدة بدرجة –20 °س.

– للمعايرة تُخرج المرشحة وتقص أطرافها التي لا تحتوي الخلايا (اليخضور)، ثم تُقص إلى أجزاء صغيرة جداً ويضاف إليها 5 مل أسيتون 90%، تطحن جيداً بالمطحنة، ثم تُفرغ في أنبوب شفاف مدرّج ومزوّد بغطاء، وتغسل المطحنة بمقدار 5 مل أسيتون وفي النهاية يمكن الحصول على 10 مل أسيتون، يوضع في البراد بالدرجة 4 °س في الظلام مدة 24 ساعة.

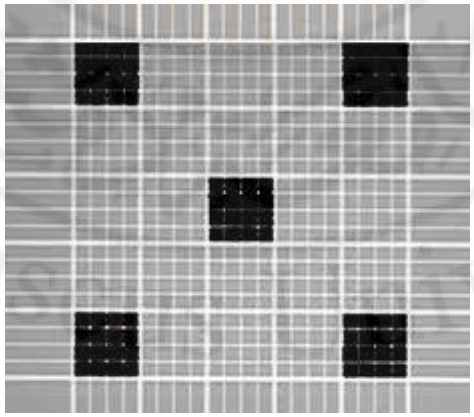
– يثفل بالمثفلة مدة 30 دقيقة بسرعة 3000 دورة في الدقيقة (يوضع بارافيلم تحت فوهة الأنبوب لمنع تطاير الأسيتون).

– يوضع 2 مل من الأسيتون (ذي اللون الأخضر) في عبوة المطياف الضوئي.

– يهيّأ الجهاز باستعمال 2 مل من الأسيتون النقي، وتقاس الامتصاصية DO لكل عينة بأطوال الأمواج: 480 – 630 – 645 – 663 – 665 – 750 نانومتراً، ويحسب تركيز اليخضور a بالميكروغرام في اللتر µg/l، وفقاً للآتي:

تركيز اليخضور a [{ 11.64 × (امتصاصية 663 – امتصاصية 750) – 2.16 × (امتصاصية 645 – امتصاصية 750) + 0.1 × (امتصاصية 630 – امتصاصية 750) }× حجم الأسيتون (مل)] / حجم الماء المرشح (ل).

تُستعمل هذه الطريقة لضبط تركيز الكتلة الحيوية للطحالب الدقيقة على كثافة خلايا 4 ×610 خلية / مل، ولمعرفة تغيّرات النمو خلال فترة التجارب.



الشكل 4–6 المربّعات المظللة لعدّ الطحالب الدقيقة باستعمال المجهر الضوئي.

طريقة تقدير العدد الإجمالي للجراثيم total counts of bacteria: باستعمال الآغار المغذي والأوساط الاصطفائية والتفريقية، أو باستعمال المرشحة الغشائية، وتُحسب الكتلة الحيوية، وتُجرى الاختبارات الحيوية الكيميائية والمورفولوجية وصبغة الغِرَام والحركة لتحديد الأجناس، وتُحضن العينات في درجة حرارة 25 أو30 أو37 ° سلسيوس، وفقاً لغرض الدراسة.

تؤخذ عينات المياه بعبوات نظيفة بولي إتلينية ذات سعة 1000 مل لتحليل الطلب الحيوي الكيميائي للأكسجين biochemical oxygen demand BOD باستعمال الجهاز الموافق، ويُسجل تاريخ أخذ العينات ومصدرها وتوصف حالة المياه والموقع عند الاعتيان، وتُجرى الاختبارات الجرثومية خلال مدة لا تتجاوز 30 دقيقة، وعموماً تنقل العينات في حافظة مبردة، وتُجرى عمليات الزرع من التخفيفات المناسبة بواقع 4 مكررات بطريقة الفرش على السطح (APHA 1995)، وتقدر أعداد الخلايا خ/سم^3.

تُحضن الجراثيم مدة 24 (48) ساعة: غيرية الاغتذاء بالدرجة 20 – 22 °س على الآغار المغذي، والأمعائيات بالدرجة 37 ° س على وسط EMB.

القياس الحقلي للإنتاجية field measurements of productivity: يقدّر الكربون المثبّت بقياس كميّة الأكسجين المتكوّن أو باستعمال ثنائي أُكسيد الكربون المشع ^{14}C، نظراً إلى تساوي أحجامهما تقريباً في التركيب الضوئي؛ ولذلك تُجمع عينات المياه من العمق المطلوب بزجاجات مناسبة، وتوضع في مجموعتين تُعتَّم إحدى الزجاجتين في كل شفع بغلاف وتُترك الأخرى شفافة، وتُحضن الزجاجات على العمق المطلوب في مياه البحر أو البحيرة أو على ظهر السفينة؛ أو في المختبر في درجة حرارة وإضاءة مماثلة لما هي عليه في العمق الذي جُمعت منه.

□ قياس الأكسجين oxygen measurement: يقاس تركيز الأكسجين في عينات المياه، وتُعلَّق الزجاجات في المياه مدة محددة ثم يقاس التركيز ثانية، يكون تركيز الأكسجين عادة أقل في الزجاجات المعتمة؛ بسبب التنفس الذي يُفترض أن تتساوى معدلاته في الزجاجات، ولذلك فالفرق بين تركيز الأكسجين في الزجاجات الشفافة والمعتمة ناتج عن حدوث التركيب الضوئي.

□ استعمال ثنائي أُكسيد الكربون المحتوي الكربون المشع ^{14}C: يقاس تركيز CO_2 في عينات المياه الخام في البداية، ويضاف إليها الكربون المشع (بيكربونات الصوديوم $NaH\ ^{14}CO3$ أو كربونات الصوديوم $Na_2\ ^{14}CO3$)، وتعلّق الزجاجات مدّة محدّدة في المياه وتفصل العوالق المائية عند نهاية فترة الحضن باستعمال مرشحة غشائية، ثم توضع على لوحة العدّ وتخزن وتجفّف، ويقدّر النشاط الإشعاعي للعينة المرشّحة باستعمال جهاز عدّ مناسب، وتستعمل الزجاجات المعتمة للتأكد من عدم حدوث تثبيت معنوي للكربون المشعّ في الظلام. تعد طريقة استعمال CO_2 المحتوي الكربون المشع ^{14}C أكثر حساسية من قياس الأكسجين في المياه ذات الإنتاجية المنخفضة.

عند قياس الكتلة الحيوية من الأفضل تجنب استعمال الشباك التي تعد وسيلة سريعة للحصول على عينات مركّزة، وتستعمل طريقة الزجاجات أو المضخّات التي تفيد في جمع كمية محددة من المياه على العمق المطلوب، أو تقاس باستخلاص اليخضور بالمذيبات العضوية كالأسيتون أو قياس كميته بالمطيافية الضوئية. يُعبر عن الكتلة الحيوية في المكان والزمان: غ/ م^2 /يوم، كغ/ م^2 / يوم، أطنان/ هكتار/سنة.

تواجه عملية قياس الكتلة الحيوية للعوالق النباتية صعوبات كبيرة، إذ يجب أولاً فصل العوالق الحيوانية، يؤدي تقدير الوزن الجاف في الدرجة 105 س إلى فقدان المكوّنات الطيارة إضافة إلى الماء، ويفضّل إجراء القياس عند الدرجة 60 ° س، وعند قياس الوزن الجاف الخالي من الرماد في الدرجة 550 ° س، يمكن تقدير المادة العضوية القابلة للتأكسد، ويؤدي تحلل كربونات الكلسيوم الموجودة في بعض الأنواع إلى قراءات شاذة. إن الوزن الجاف الخالي من الرماد لمعظم العوالق النباتية يعادل نسبة أقل من 5%، وقد يبلغ وزن السليكون SiO_2 نحو 50% في المشطورات، ويجب تأمين كميات هائلة للأفراد كما في حالة الإثراء الغذائي.

تعادل الإنتاجية الأولية للمحيط العالمي (أقل من 1 غ C/م^2 /يوم) ضعف إنتاجية الصحارى تقريباً، وتتساوى إنتاجية البحار الضحلة والبحيرات العميقة (0.5 – 3 غ C /م^2 /يوم) وإنتاجية البحيرات جيدة الاغتذاء (3 – 10 غ C/ م^2 /يوم) والغابات والأراضي المعشبة وبعض المزروعات، وتُكسب مساحة المحيط الهائل الإنتاجية أهميتها.

4. العوامل المؤثرة في الإنتاجية الأولية

Factors effect on primary productivity

تقدّر الإنتاجيّة الأوليّة الإجماليّة في عمود من المياه سطحه متر مربع واحد بالغرام (ملغ) من الكربون يوميّاً، وتتراوح بين 0.5 – 20 غ / م^2 / يوم (Odum 1971)، وتبلغ الإنتاجيّة حدّاً أعلى قرب الشواطئ وفي مناطق التيّارات البحريّة ولاسيّما الصاعدة منها، ربّما حتى 3.8 غ/ م^2 /يوم في المدّ الأحمر red tides الذي تبلغ فيه أعداد خلايا الطحالب الناريّة نحو 60 مليون خ/ل، وتنخفض الإنتاجيّة كثيراً في عرض البحر بسبب قلّة الغُذيّات.

تؤثر عوامل بيئية مختلفة في إنتاجية الأحياء الدقيقة وتوزّعها في البيئات المائية، كالإضاءة ودرجة الحرارة وتركيز الأملاح المعدنية المغذية ولاسيما النترات والفُسفات، ودرجة الملوحة، والعوامل الحيوية، يؤدي الإثراء الغذائيّ eutrophication إلى زيادة الإنتاجيّة، وإن كانت تجلب الضرر بسبب استنفاد الأكسجين المنحل.

تبدو تراكيز العناصر الصغْرية الأساسية في البيئة البحرية (الحديد والنيكل والمنغنيز والكادميوم والكوبلت والزنك والنحاس) منخفضة جداً في الطبقة السطحية للمياه مقارنة بالمناطق الأعمق إذ توجد بتراكيز أكبر عادة، ويكون ما يزيد على 97% من إجمالي العناصر في المحلول مُحتجزاً في المعقّدات العضوية الضخمة وغير متاح للعوالق النباتية (Valming 2003)، ولكنّ العوالق النباتية تخضع لتأثير تراكيز العناصر الصغرية التي تبدو قابلية امتصاصها عاملاً ذا أهمية في تنظيم الإنتاجية الأولية.

يكون تأثير النفط ومشتقاته محدوداً في العوالق النباتية، ويتحمّل بعض العوالق النباتية كميات كبيرة من المستحلبات السامة والضارة للأحياء الأخرى، ويكون تركيز أقل من 1 ppm من الزئبق كافياً لتثبيط نمو الطحالب واستقلابها، وتكون مركبات الزئبق العضوية سامة جداً في التراكيز المنخفضة جداً، والأخطر قدرة الزئبق على التراكم في مراحل السلسلة الغذائية، ويؤدي الاستعمال المفرط للمبيدات pesticides إلى أضرار بيئية بسبب دخولها في السلاسل الغذائية؛ ما يسبّب تغيرات نوعية وكمية عند مستوى المنتِجات الأولية.

ويحتوي عديد من المنظفات detergents مركّبات نشطة سطحياً لا يمكن تفكيكها، وإن احتوت الفسفور تؤدي إلى تكوين الرغوة والإثراء الغذائي، وتؤدّي المنظّفات الشرسبية بتركيز 10 – 100 ppm إلى تثبيط ملموس لنمو الطحالب الخضراء مفردة الخلية، وتضرّ المنظفات الشرجبية بتركيز 0.1 ppm بالطحالب السوطية الخضراء عديمة الجدار، وتتميّز المنظفات اللاشاردية بنتائج مختلفة.

تتراكم المواد المشعة radioactive substances في العوالق النباتية وتنتقل في السلسلة الغذائية، وتصبح عند ترسُّبها مصدراً لإعادة الضرر، والتلوث الحراري عامل اصطفائي يسمح بظهور أحياء من المياه الأدفأ، وقد تكدّس العوالق النباتية الفسفور المشع نحو 200 ألف مرة، وتكدّسه *Spirogyra* نحو 850 ألف مرة أكثر مما في بيئتها المائية.

يؤدي المطر الحمضي acid rain بسبب تلوث الهواء بالانبعاثات الصناعية، ولاسيما ثنائي أكسيد الكبريت الذي يتحوّل إلى حمض H_2SO_3 و H_2SO_4، إلى خفض الرقم الهدروجيني pH في المسطحات المائية، وإلى تغيّرات كبيرة في خواصها الهدرولوجية والحيوية.

يعد انخفاض أعداد العوالق النباتية، مثل: أنواع *Cyclotella* من الدالات الأولية على زيادة الحموضة، ويمكن من خلال دراسة الرواسب وتعيين المجموعات تحديد التغيّرات التي حدثت للبحيرات مع الزمن.

وتُستعمل المشطورات دالات على التغيرات الطويلة في قيم pH إذ تقسم إلى خمس مجموعات، وفق الآتي:

المجموعة	pH الوسط المناسب	النمو الأفضل
القلويـة Alkalibiontic	7 <	
ألِيفة القلوية Alkaliphilous	7 ≈	7 <
غير المميزة Indifferent	pH 7	
ألِيفة الحموضة Acidophilous	7 ≈	7 >
الحمضيـة Acidobiontic	7 >	5.5 ≥

رابعاً. المظاهر الحيوية لنموات الأحياء الدقيقة
Biological features of Microorganisms Growths

1. التغيرات الدورية Periodic changes

التعاقب succession هو تغيُّر متزايد لتركيب الأنواع في منطقة معينة من تنامي أولي للجماعة حتى بلوغ الأوج (ويحدث في الربيع أو الصيف أو الخريف أو الشتاء، تكون التغيرات نهارية تحت التأثير الدوري للضوء ودرجة الحرارة، وقد تكون دورية فصلية، أما التواترات السنوية فهي ظهور جماعات معينة من الأحياء الدقيقة يتكرر كل عام في الوقت نفسه تقريباً وفقاً لظروف النمو، مثل: تكرارية الطحالب الدينوية، وكثيراً ما تسمى ظاهرة المد في البحار. تنشأ ظاهرة الازدهار عن تنامي أنواع معينة من العوالق النباتية بأعداد كبيرة في الطبقة السطحية للبحيرات جيدة الإنتاجية في فترة محدودة كل عام، ويمكن أن تزدهر أنواع الطحالب الملتصقة على القاع أو على النباتات؛ ما يكسِب القاع اللون الأخضر عادة أو لونها المميّز.

تنمو العوالق النباتية في حال الازدهار blooms على هيئة نمو الجراثيم في المختبر على الأوساط الغذائية الصنعية في الأطباق، وتزداد أعداد الأفراد على نحو متعاقب نسبيّاً بضعة أسابيع، وإن كان عدد بعض الأفراد أو كثير منها يمكن أن يزداد أو يقلّ، ويتوقّف النموّ العاصف ويتبعه نمو بطيء جداً، وهذا احتمال طبيعي بسبب العوامل المحدِّدة، وقد يعود ذلك في البحار المعتدلة الشمالية لرعي العوالق الحيوانيّة العاشبة التي تتأخّر قِمّة إنتاجيتها بضعة أسابيع عن قمة إنتاجية العوالق النباتية، وقلّة الغُذيّات في البحيرات فالسيليكا المذابة أكثر أهمية للمشطورات، ويؤدي التطبُّق في البحيرات إلى حصر الغُذيات ونواتج التفكيك الجرثومي وبراز العوالق الحيوانية في المنطقة العميقة، وقد تتعرّض المشطورات لموت جماعي في المنطقة العليا المستنفدة للعناصر الغذائية بسبب التطبُّق الحراريّ الصيفيّ في البحيرات وإن كان بعض الخلايا قابلاً للاستمرار، إضافة إلى قِصَر الفترة التي يمكن أن تبقى المياه فيها هادئة ومناسبة للازدهار فتتحرك المياه عادة حركات متباينة بتأثيرات خارجية أو داخلية.

2. **النموات السطحية والقاعية** Surface and Benthic Growths

تبدي العوالق النباتية تكيّفات حياتية ملائمة للبيئة المائية، وتتميز بقدرة على الغوص sinking والطفو buoyancy، فتتحكّم الخليّة في الكثافة وتعمل على تنظيم الهجرة migration، بزيادة نسبة الماء في المادة الحية، وزيادة القُطيرات الدهنية والزيتية على هيئة مدّخرات خفيفة الوزن، والتركيب الشارديّ للعصارة الخلويّة بالاستعاضة بالشوارد خفيفة الوزن، مثل: الكلور عن الشوارد الثقيلة – الكبريتات، وتكديس المواد الهلامية خفيفة الوزن فيزداد حجم خلايا الجراثيم الزرقاء في الوقت نفسه، وتكوين الفجوات الغازية Gas vacuoles التي تعدّ صفة مميّزة للجراثيم الزرقاء في المياه العذبة إلى حد كبير كالنوع *Oscillatoria erythraea*.

تكدّس خلايا طحالب النوع *Botryococcus braunii* الخضراء الدّهون في غلاف مخاطي مع السكريات الأليفاتية بمعدّل 30 – 40% من وزنها الجافّ، وتطفو على سطح المياه العذبة جيداً وتكوّن كتلاً واضحة، وتكدّس الخلايا الهرمة لمشطورات النوع *Nitzschia palea* الدّهون ولكنّها تغوص بمعدل أبطأ بوضوح مقارنة بالخلايا التي تعوزها المواد الدهنية، وإن كانت الخلايا الهرمة أسرع في الغوص.

تبدي الجراثيم الزرقاء كالنوع *Aphanizomenon flos-aquae* المحاطة بغمد هلامي (تكتّلات خلوية) قدرة على الحركة الشاقولية أسرع مقارنة بحركة الخيط الوحيد في نهارات الصيف في عمود المياه الهادئة.

تطفو خلايا مشطورات النوع *Ditylum brightwellii* تماماً في المياه البحريّة، نظراً إلى اصطفاء الشوارد أحادية التكافؤ (مثل الصوديوم والبوتاسيوم) وامتصاصها، وللحفاظ على تراكيز منخفضة من الشوارد ثنائيّة التكافؤ بالنقل الفعّال، وتدعى هذه الظاهرة الطفو المتعادل (تعادل الثقل النوعيّ لما هو عليه في مياه البحر)، وتختلف هذه الآليّة عما في المياه العذبة بسبب الملوحة المنخفضة، أما الأبواغ الساكنة للنوع ذاته فتغوص بسرعة نتيجة تركّز محتويات الخليّة.

تغوص مشطورات الجنس *Rhizosolenia* عديمة الأشواك أسرع مقارنة بالنماذج ذات الأشواك، وتغوص الخلايا وحيدة الشوكة أسرع مقارنة بالخلايا ذات الشوكتين، وتساعد الزوائد الشوكية لخلايا الجنس *Chaetoceros* على نشوء حركات دورانية بطيئة لمجمل السلسلة فتجعلها عالقة وقريبة من السطح. يدفع اضطراب الماء الخلايا للصعود rising والدوران rotating، فعند بداية التطبّق تكاد تختفي خلايا *Melosira* والمشطورات عموماً من العوالق، وتوجد بأعداد كبيرة بين الخريف وآخر الربيع، وتنمو خلايا *Asterionella* أفضل في الدوامات.

تتميّز البحيرات والبرك في الطقس الهادئ بوجود ازدهارات المستعمرات والأنواع الخيطية ذات الفجوات أساساً، وتصبح الخيوط أكثر قابليّة للطفو في الضوء الخافت؛ بسبب ازدياد تكوين الحويصلات الغازية، ويؤدي التركيب الضوئي المتزايد في الضوء الشديد إلى زيادة ضغط الامتلاء في السيتوبلاسما، أما تخريب الحويصلات الغازية فيؤدي إلى غوص الخيوط فوراً، وبذلك تعمل كمنظِّمات للطفو.

تتكوّن الحصيرة الميكروبيولوجية microbial mat من عدد هائل من الأحياء الدقيقة على السطح البيني في البيئة المائية على هيئة طبقة رقيقة ثخانتها بين بضعة مليمترات إلى سنتيمتر، وهي مطبّقة شاقولياً، وتفصلها عن القاع طبقة لاهوائية بطبقة من الحديد المؤكسد.

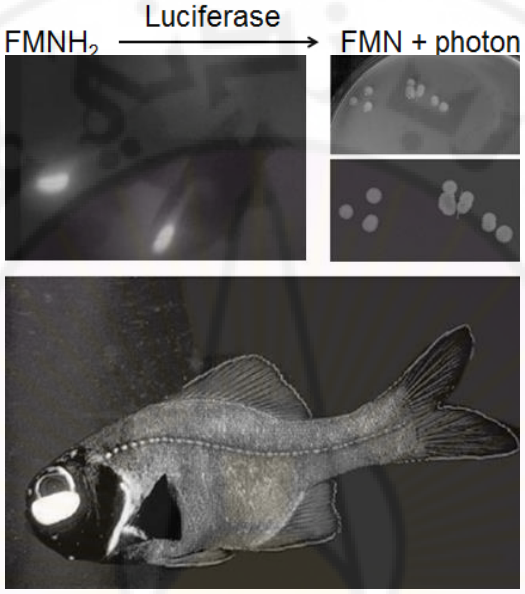
3. الوَمضان الحيوي Bioluminescence

تمتلك الأسماك (مثل: النوع *Photoblepharon palpebratus*، الشكل 4-7) ذات الومضان flashlight fish، عضواً تحت عينها يتحرك نحو الخارج والداخل فيظهر الضوء ثم يختفي، وهو أداة تواصل مع الجماعة، ولكن الضوء يصدر فعلاً عن جراثيم متعايشة تعتمد في غذائها على الأسماك عند بلوغ كثافة معينة، وتسمى الجراثيم الوامضة luminous bacteria؛ تمتلك إنزيم اللوسيفِراز luciferase الذي يلتقط الإلكترونات من سلسلة النقل الإلكتروني، ويصدر بعض طاقتها كفوتون ضوئي، مثال: *Photobacterium, Vibrio*.

وهناك أجناس من الطحالب الوامضة تصدر الضوء كوسيلة دفاعية ضد المفترسات، وإن وجدت سلالات غير قادرة على ذلك، مثل:

Protoperidinium (غيرية الاغتذاء)

Gonyaulax, Pyrodinium, Ceratium, Dinophysis, Alexandrium



الشكل 4-7 الوَمضان في أسماك أعماق البحر.

4. تكوين الحجر الجيري وأرض المشطورات

Concrete and Diatomaceous earth formation

تكيّفت نسبة كبيرة من أنواع الطحالب مع القدرة على امتصاص الكلسيوم من المياه واستعماله وترسيبه على هيئة كربونات الكلسيوم $CaCO_3$ في جُدُرها وفي المواد الهلامية المحيطة بها؛ الأمر الذي يكوّن نواة تكوين الحجر الجيري، مثل: الطحالب الحمراء وبعض الطحالب الخضراء والجراثيم الزرقاء (السرائي وآخرون 2000: 9).

وعندما تترسب المشطورات البحرية في قاع البحر بكميات كبيرة تؤدي إلى تكوين رواسب تسمى أرض المشطورات diatomaceous earth، وهي تربة خاملة كيميائياً لأنها تتكون من السيليكا المكون الأساسي للجدر الخلوية لمجموعة المشطورات وتتميّز هذه الجدر القاسية جداً بمقاومتها للتحلل.

أسئلة للمناقشة



- عرّف الإنتاجية الأولية، وكيف تقيسها؟.
- قارن بين أهمية الإنتاجية الأولية والمعدنة؟.
- تتميز نموات الأحياء الدقيقة في المياه بمظاهر كالآتي: ...
- لماذا تستأثر الجراثيم غيرية الاغتذاء بأهمية كبيرة في البيئة المائية؟.
- عدد أساليب التآثرات بين الأحياء المائية.
- أوضح تأثير التضاد والتنشيط عند بعض الطحالب الدقيقة، بمثال واحد.
- ارسم مخططاً توضيحياً لارتباط التركيب الضوئي مع التنفس.

المراجع References

خاتوغ–بوران، علياء – أبو دية، محمد حمدان (1996). علم البيئة، الطبعة العربية، الإصدار الثاني، دار الشروق، عمان– الأردن.

علي نظام، عدنان – سعود، ريم. مساهمة في دراسة الجراثيم غيرية التغذي في نهر بردى (منطقة الربوة). مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الأساسية، العدد 35، 2001، 69–80.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة. تركيب مجتمع البكتريا غيرية الاغتذاء وفعاليتها في بحيرة سد الروم بالسويداء بسورية. مجلة جامعة أسيوط في النبات، المجلد (38) العدد 1، 263–280، عدد خاص بالمؤتمر الدولي الأول للعلوم البيولوجية رقم 1، 4 – 5 آذار/مارس 2009، أسيوط – مصر.

Ali Nizam A. A. (1992). Microbiological characteristics of natural and purified, which filtered by ziolite filter, water of Jeiranbatan lake. Ph. D. Thesis. Baku Univ. (USSR).

Anderson J. M. (1989). Ecology for Environment of Biological Sciences, University of Exeter. Edward Arnold, Great Britain.

APHA, AWWA,WPCE(1995).Standard methods for examination of water and waste water, Washington, American public health association, 18th ed. USA.

Boney A. D. (1989). Phytoplankton, second edition, Edward Arnold, London, England.

Chrust R. J. Environmental control of the synthesis and activity of aquatic microbial ectoenzymes. In: Chrust R. J. [Ed.] Microbial Enzymes in Aquatic Environments. Springer- Verlag, New York Berlin Heidelberg, pp. 29-54, 1991.

Chrust R. J. Microbial ectoenzymes in aquatic environments. In: J. Overbeck & R. J. Chrust [Eds.] Aquatic Microbial Ecology: Biochemical and Molecular Approaches. Springer Verlag, New York. pp. 47 - 78, 1990.

Chrust R. J. Microbial enzymatic degradation and utilization of organic matter. In: J. Overbeck & R. J. Chrust [Eds.] Microbial Ecology of Lake Plussee. Ecol. Stud 105, Springer Verlag, New York, pp. 118-174, 1994.

Cole, J. J., Caraco N. F. 1993. The pelagic microbial food web of oligotrophic lakes, p. 101-l11. Zn T. E. Ford [cd.], Aquatic microbiology. Blackwell.

Drukker V. V., Petrova V. I. (1988). Bacterioplankton of Enisei river USR, Novosibirsk, Science.

Fuhrman, J . A., T. D. Sleeterc, A. Carlson, and L. M. Proctor. 1989. Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications. Mar. Ecol. Prog. Ser. 57: 207-2 17.

Gak D. Z. (1975). Bacterioplankton and it's Role in Biological Productivity of Reservoirs. M. Science. 240 p.

Goman G., Verchozina, V., Nechesov, I., Nikitin, V., et al., (1984) , Ecology of Baikal microorganisms (some results and perspectives) microorganisms , in book : Ecological aspects aquatic microbiology, Novosibirsk, Science .

Madigan M. T., Martinko J. M., Stahl D. A., David P., Clark D C. (2012). Lectures by Lecture Presentations For Brock Biology of Microorganisms, 13th. Ed., John Zamora, Middle Tennessee State University, Chapter 24: Nutrient Cycles, Biodegradation, and Bioremediation.

Mishustina I., E., Sheglova I., k., Mitskevich I. N. (1985). Marine microbiology. USR, Vladivostok, Dalnevostok University.

Munster U., Chrust R. J. Origin, composition and microbial utilization of dissolved organic matter. In: J. Overbeck R. J. Chrust [Eds] Aquatic Microbial Ecology: Biochemical and Molecular Approaches. Springer Verlag, New York, pp. 8-46, 1990.

Nanna Buesing, Mark O. Gessner. (2002). Comparison of detachment procedures for direct counts of bacteria associated with sediment particles, plant litter and epiphytic biofilms. Aquatic Microbial Ecology Aqua. Microb. Ecol., Vol. 27: 29–36, 2002.

Novojilova M. I., Popova L. E., (1984). Bacterioplankton of middle and south Caspian sea . in book : Ecological aspects aquatic microbiology, Novosibirsk, Science . pp. 27 – 37.

Schauer P., Sarvala J., K. Salonen M. Jarvinen E. Aro, T. Huttula P. Kotilainen H. Kurki V. Langenberg M., R. Massana, C. Pedros-Alio (2000). Spatial differences in bacterioplankton composition along the Catalan coast (NW Mediterranean) assessed by molecular fingerprinting. FEMS Microbiol. Ecol. 33:51-59.

Sigee David C. 2005. Freshwater Microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern, Gate, Chichester, West Sussex, England.

Siuda W., R. J. Chrust (2002). Decomposition and Utilization of Particulate Organic Matter by Bacteria in Lakes of Different Trophic Status. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 11, No. 1 (2002), 53-65.

Sorokin Yu. I. (1967). Some Results of the Study of Trophy Role of bacteria in Reservoirs.- Hydrobiol. J., vol. 3, T. 5, p; 32 – 43.

Stetter K. O. (1999). Extremophiles and their adaptation to hot environments. Federation of European Biology Society–Letters 452, 22–25.

Tan TL, Ruger HJ (1989) Benthic studies of the Northwest African upwelling region: bacteria standing stock and ETS-activity, ATP-biomass and adenylate energy charge. Mar Ecol. Prog. Ser. 51:167–176

Thurman E. M. Organic Carbon in Natural Waters: Amount, Origin and Classification. In: E. M. Thurman [Ed] Organic Geochemistry of Natural Waters. Martinus Nijhoff/ Dr W. Junk Publishers, Dordrecht, pp. 687-823, 1985.

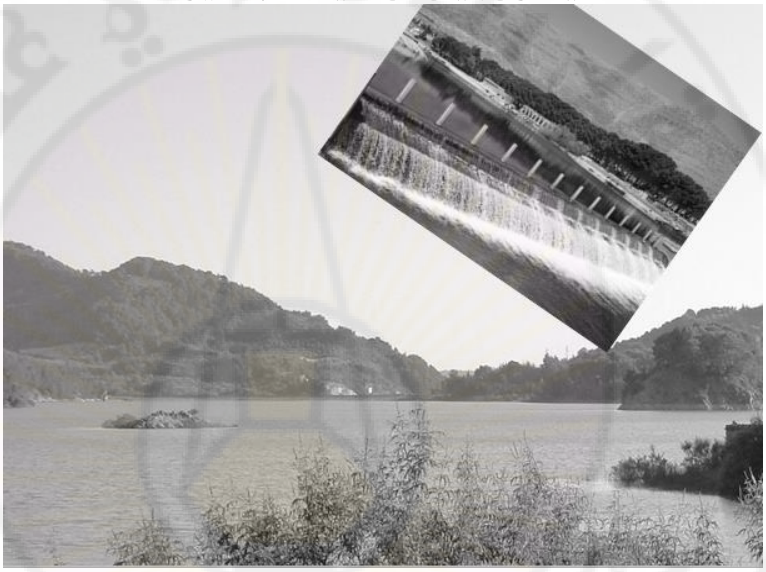
Tranvik L. 1984. The Role of Heterotrophic Bacterioplankton in Carbon and Energy Flow of Pelagic Ecosystems. A Review of Some Ecological and Methodological Problems. Lund Universitet- Limnologiska Institutionen, Lund.

Vetter Y. A., Deming J. W. (1994). Extracellular enzyme activity in the Arctic Northeast Water Polynya. Mar Ecol. Prog. Ser. 114:23–34.

Wintzingerode F. V., U. B. Goebel, E. Stackebrandt (1997). Determination of microbial diversity in environmental samples: Pitfalls of PCR-based rRNA analysis. FEMS Microbiol. Rev. 21: 213–229.

الفصل الخامس

ميكروبيولوجيا البحيرات



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُحدد خصائص البحيرات.
- يذكر أمثلة عن الأحياء الدقيقة في مياه البحيرات ورسوباتها.
- يقارن بين البحيرات الطبيعية والمستحدثة.
- يربط بين خصائص البحيرات وأنماط توزع الأحياء الدقيقة.
- يفهم ميزات البحيرات المعتدلة.
- يصف أنماط البحيرات وفقاً للحالة الغذائية.
- يقدّر أهمية تنوّع الأحياء الدقيقة في البحيرات.

مفاهيم مفتاحية

□ **الاغتذاء** Trophy

اصطلاح استُعمل في البداية لتوصيف البحيرات في منطقة جغرافية محددة، ثم توسّع لوصف حالة الاغتذاء ونمط الجسم المائي وغزارة الأحياء فيه.

□ **البحيرات جيدة الاغتذاء** Eutrophic Lakes

بحيرات غنية بالغُذيّات والمادّة العضوية، وبالجراثيم، وبأعداد الأحياء المائية ولاسيما النباتات الراقية والأسماك، الكتلة الحيوية عالية، ويتباين فيها O_2.

□ **الطافيات الجرثومية** Bacterial Neuston

تكوِّن الطافيات الجرثومية موطئاً بيئياً فريداً في المياه قليلة الاغتذاء إذ تغزر الجراثيم غيرية الاغتذاء وتبلغ قيماً هائلة.

□ **التطبُّق** Stratification

يعني وجود عدد من الطبقات المائية المتباينة بخصائصها ضمن الجسم المائي في المنطقة الجغرافية المعتدلة دورياً خلال الفصول؛ ما يجعلها منفصلة تماماً.

□ **البحيرات المعتدلة** Temperate Lakes

تقع في المنطقة الجغرافية المعتدلة وتحدث فيها تغيّرات فصلية بأعداد الطحالب وكتلتها الحيوية ووجود ذروتين (ربيعية وخريفية)، مثل بحيرة السن والبيكال، وهي حالة نموذجية لمياه المناطق المعتدلة عموماً.

□ **مصير البحيرات** Fate of Lakes

تنشأ البحيرات بتأثير عدد من العوامل، ويستحدثها الإنسان، ولكنّ الإطماء يغلبها تدريجياً بالرَّسُوبات العضوية واللاعضوية، وتقلّ أعماقها وتزداد نموات النباتات المائية وتنحسر المياه، فتتحول البحيرة إلى مستنقع، وقد تختفي تماماً.

□ **الغنى النوعي** Specific Richness

يمثّل الغنى النوعي عددَ الأنواع الموجودة في الموقع البيئي شهرياً في العام، وكذلك مجال مساهمتها في التنوع الحيوي.

أولاً. ميزات البحيرات ومشكلات تصنيفها
Features and Problems of Lakes Classification

1. **الميزات العامة للبحيرات** General Features of Lakes

تتميّز البحيرات بخصائص فريدة تجعلها مسطحات مائية مختلفة عن غيرها من البيئات المائية، وإن كانت غالبيتها عذبة، وتتباين فيما بينها بالموقع الجغرافي ووفرة المادة الغذائية والشفافية ودرجة الحرارة والتبخّر ودرجة الإشباع بالأكسجين والتهوية والملوحة والاتساع والعمق ووجود الجليد والارتفاع عن سطح البحر وعدد الطبقات المائية وتأثير القاع ومصادر تغذيتها بالمياه وتصريفها والجدوى الاقتصادية؛ ما يؤدي إلى تغيرات كبيرة في التوزع الكمي والنوعي للأحياء الدقيقة فيها، وقد أخذ الإنسان منذ خمسينات القرن العشرين يبني بحيرات على نطاق واسع لاستعمالها في الري وتأمين مياه الشرب وفي تربية الأسماك أو غير ذلك مع ازدياد الحاجة للمياه.

2. **مصير البحيرات** Fate of Lakes

للبحيرات استعمالات مختلفة، كمصادر لمياه الشرب والاستجمام والري والزراعة المائية والاستشفاء والسباحة والرياضة وغيرها، وهي من أقصر أشكال الأرض عمراً ومصيرها جميعاً الزوال إن عاجلاً أو آجلاً، وقد كتب عالم المناخ فويكوف Voikov:

"الأنهار – نتاج المناخ، والبحيرات – مرآة تغيرات المناخ".

عند نشوء البحيرات تكون المياه قليلة الغُذيَّات والأحياء غالباً، وتتجمّع الغُذيات مع الزمن تدريجياً نتيجة الهطل وجرف الطمي والمواد العضوية من المجاري والضفاف، تنشط المنتِجات وتزداد الإنتاجية، ويؤدي الترسيب وموت الأحياء باستمرار إلى تجمّع كميات كبيرة من الرَّسُوبات في القاع، ما يسبّب موت أسماك الطبقة السفلى الباردة وسيادة أنواع المياه الدافئة، وتتضاءل الأعماق وتزداد نموات النباتات المائية المتجذرة بكثافة في المناطق الضحلة وتغزو المياه الآخذة بالانحسار، وتموت الأسماك وتتحول البحيرة مع الوقت إلى مستنقع، تموت البحيرات وقد تختفي تماماً.

3. **الأراضي الرطبة** Wetland

تتميز النباتات المائية بدور أساسي في الإنتاجية الحيوية للمسطحات المائية فهي تزوّد الأحياء المائية بموئل وتساعد على التصاق الأحياء الدقيقة، وتفيد غزارة النباتات المائية أيضاً كدالة مهمة على حالة الاغتذاء في البيئة المائية، وهكذا، قد يحدث تصنيف خاطئ لبعض الأجسام المائية في حالة إهمال غزارة النباتات المائية، فإذا كان الغطاء النباتي المائي المغمور يغطي أكثر من 50% من القاع، تكون الطحالب الطافية أقل في المياه، وتعطي نتائج قياسات اليخضور قراءة تسمح بوضع الجسم المائي في قائمة البحيرات منخفضة الإنتاجية الحيوية، فقد تكون ذات إنتاجية عالية حتى بوجود أعداد ضخمة من النباتات المائية المغمورة، من سوء الحظ، يبدو إجراء مسح للنباتات المائية مسألة مكلفة ومضيعة للوقت.

4. **مشكلات تصنيف البحيرات** Problems of Lakes Classification

لما كان وضع مخطط لوظيفة النظام البيئي وتصنيفه اعتماداً على المعايير الموجودة مسألة ضرورية، فقد جرى تقييم مستويات الاغتذاء في مياه البحيرات اعتماداً على: التركيب النوعي للأحياء المائية وكتلتها الحيوية وخصائص دورات المواد. في الواقع تعكس هذه الخصائص جوهر طبيعة الحوض المائي ومجمل تأثيرات العوامل البيئية التي تكيَّفت الأحياء معها، والسيرورات التاريخية التي أتاحت لها العيش في مناطق مختلفة على الأرض، إضافة إلى تأثير الإنسان الذي لا يقف عند حد.

اقترح تينِمان Thienemann (1925) ونَومان Nauman (1927) تصنيف البحيرات اعتماداً على درجة الاغتذاء، وقد أمكن تطبيقها بنجاح في العالم، ويتضمن ذلك المقاييس الآتية:

تركيز الأكسجين المنحل في الطبقة السفلى من المياه	وجود الدالات الحيوية bioindicators	العدد الإجمالي للعوالق النباتية

حدَّد كوزنيتسوف (Kuznetsov 1970) أنماطاً للبحيرات وفقاً لخصائصها كالآتي:

نمط البحيرة	الخصائص
قليلة الاغتذاء	المياه ذات شفافية عالية وتركيز عال للأكسجين المنحل. انخفاض مستويات الغُذيَّات والمواد الدبالية نادرة أو معدومة. انخفاض الإنتاجية الأولية وضعف نمو العوالق النباتية. ضعف تطور مجتمع النباتات الشاطئية. العمق واضح، والحدّ بين المنطقة الشاطئية والعميقة واضح جداً.
جيدة الاغتذاء	المياه ذات شفافية منخفضة، واللون أخضر إلى أخضر داكن، وينعدم الأكسجين المنحل في الطبقة السفلى. ارتفاع مستويات الغُذيَّات. ازدياد الإنتاجية الأولية للعوالق النباتية والنباتات الراقية الشاطئية. شدة نمو العوالق النباتية في الصيف. أحواض أكثر ضحالة عادة، وفيها طبقة سفلى قليلة العمق مقارنة بالطبقة السطحية.
معتدلة الاغتذاء	تتميز بقيم متوسطة لخصائص مياهها.

تمتلك البحيرات المختلفة بتركيز المادة العضوية أعداداً متباينة من العوالق الجرثومية ولها دالات ميكروبيولوجية مختلفة، ويؤدي ازدياد تركيز المادة العضوية حتماً إلى ازدياد العدد الإجمالي للعوالق النباتية (Rodina 1951, Daukshta 1967, Kuznetsov 1970)؛ ما دفع إلى اعتماد البيانات الميكروبيولوجية منذ خمسينات القرن العشرين؛ فأُدخل في أساس التصنيف كل ما يُحدِّد الإنتاجية كالعدد الإجمالي للجراثيم والكتلة الحيوية وزمن الجيل وأحجام الخلايا.

وهكذا أخذ مصطلح الاغتذاء يصف حالة الاغتذاء trophy status للمياه ونمطها وغزارة الأحياء فيها من البركة حتى البحر، إذ تتباين أعداد العوالق الجرثومية في البحيرات المتباينة باختلاف نمط الاغتذاء (الجدولان 5-1 و 5-2).

الجدول 5-1 عدد العوالق الجرثومية في أنماط الاغتذاء المختلفة للبحيرات.

(Kuznetsov 1950, Dymchishina-Kriventsova 1964, Romanenko 1965, Akimov 1967)

البحيرات الطبقة المائية السطحية في البحيرات		عدد الجراثيم ألف خلية /مل
قليلة الاغتذاء	Ladojsk	300 – 100
معتدلة الاغتذاء	Glubokoe	1400 – 1000
	Kolomensk	1100
جيدة الاغتذاء	Baturin	8000 – 3500
البحيرات المستحدثة ذات الإثراء الغذائي	Dubasarsk	57900 – 7800
سيئة الاغتذاء	Chornoe	430

الجدول 5-2 العوالق الجرثومية في البحيرات ذات الأنماط المختلفة.

نمط البحيرة	عدد الرميات في الصيف	عدد العوالق الجرثومية مليون خ/مل	زمن التضاعف، سا	المرجع
جيدة الاغتذاء	–	8.2 – 2.3	21.5 – 2.1	Rodina 1951
	1000 – 5000	5-3	–	Romanenko 1964
	2000 – 500	–	–	Daukshta 1967
	–	4 – 2 (أحياناً > 10)	–	Kuznetsov 1970
	–	10 – 1.5	–	Romanenko 1979
	–	6 – 3	–	Gak and Kudrina 1979
معتدلة الاغتذاء	60 – 50	–	–	Daukshta 1967
		1.5 – 0.5	–	Kuznetsov 1970
		1.5 – 0.5	–	Romanenko 1979
	5500-300	2.7 – 0.5	–	Gak and Kudrina 1979
قليلة الاغتذاء	–	1.5 – 0.06	72 – 5.2	Rodina 1951
	100-10	0.5 – 0.2	–	Romanenko 1964
	110 – 1	–	–	Daukshta 1967
	–	حتى 0.150	–	Kuznetsov 1970
	–	0.5 – 0.1	–	Romanenko 1979
	750-300	0.8 – 0.4	–	Gak and Kudrina 1979

لم يشر المؤلفون إلى الوسط الغذائي المستعمل لتنمية العوالق الجرثومية، مع أن عدد الجراثيم النامية على الأوساط الفقيرة يزيد على عدد الجراثيم النامية على الأوساط غير المخففة بمقدار 10 – 20 مرة (Gorbenko 1961, Margolina 1969).

ويمكن الإشارة إلى مسألتين للنظر في هذا الموضوع، ترتبط الأولى بدراسة أعداد الجراثيم وأحجام الخلايا وسرعة التكاثر وغير ذلك في البحيرات التي أمكن تحديد نمط الاغتذاء فيها بالدالات الأخرى، مثل: الكتلة الحيوية والتركيب النوعي للعوالق النباتية، وترتبط المسألة الثانية بأنماط البحيرات المستحدثة التي كان من الضروري تصنيفها اعتماداً على الدالات الميكروبيولوجية، مثل: تكوين العوالق الجرثومية وإنتاجيتها التي لم يسبق أن دُرست، فعند تحديد زمن الجيل للجراثيم في البحيرات المختلفة، تبين أنه يتراوح بين 2.1 – 21.5 ساعة في البحيرات جيدة الاغتذاء وبين 5.2 – 72 ساعة في البحيرات قليلة الاغتذاء (Rodina 1951)، ولذلك فإن الحدود بين أنماط الاغتذاء غير دقيقة في البحيرات المدروسة اعتماداً على زمن الجيل للجراثيم، وإن أمكن تصنيف البحيرات ذاتها اعتماداً على دالات أخرى؛ كالعدد الإجمالي للجراثيم وأحجام الخلايا والكتلة الحيوية، فمثلاً:

بلغ عدد الجراثيم غيرية الاغتذاء 1 – 10 خلايا في المليلتر من البحيرات قليلة الاغتذاء، 50 – 200 خ/مل من البحيرات معتدلة الاغتذاء، 500 – 2000 خ/مل من البحيرات جيدة الاغتذاء (Daukshta 1967)، ولكن المشكلة هنا هي، إلى أي نمط تنتمي البحيرات ذات العدد الإجمالي بين 20 – 40 أو 200 – 400 خلية/مل؛ ولهذا لا يمكن اعتماد تصنيف البحيرات على دالة عدد الجراثيم غيرية الاغتذاء.

وفيما بعد، اعتمد الباحثون على العدد الإجمالي للعوالق الجرثومية فقط لتصنيف البحيرات إلى أنماط مختلفة الاغتذاء؛ ما يعطي حدوداً أكثر وضوحاً لعملية الاغتذاء (Sorokin 1967, Gak 1975, Romanenko 1979). وهكذا، استعمل الباحثون اصطلاح "قليل" "Oligo-" و "جيد أو وافر" "Eu-" لوصف قلّة العوالق الجرثومية أو وفرتها، واعتمدوا على الدالات الميكروبيولوجية أيضاً لتصنيف البحيرات إلى: قليلة الاغتذاء ومعتدلة الاغتذاء وجيدة الاغتذاء (الجدول 5-3).

الجدول 5-3 خصائص الأنماط الأساسية للبحيرات.

نمط البحيرة	عدد العوالق الجرثومية، بما فيها غيريات الاغتذاء	الكتلة الحيوية	أحجام الخلايا	وتيرة الانقسام
جيدة الاغتذاء	قيم عالية	قيم عالية	ضخمة	شديدة
قليلة الاغتذاء	قيم منخفضة	قيم منخفضة	صغيرة	ضعيفة

ولكنّ ازدياد الكتلة الحيوية للجراثيم يؤدي إلى نقصان وتيرة التكاثر وازدياد زمن الجيل (Chepurnova 1977)، وتبيّن التجارب وجود خصائص أكثر ضماناً لتصنيف البحيرات المستحدثة، مثل: العدد الإجمالي للجراثيم، والكتلة الحيوية وتباين أحجام الخلايا ومعامل جفافها وتنوع أشكالها وزمن الجيل (Lokk 1971, Romanenko *et al.*, 1974, Gak 1975, Kojova & Mamontova 1980).

ويخفي استعمال دالة واحدة في ذاته خطراً؛ فقد لا تكون جميع خصائص الاغتذاء ظاهرة، فقد تنشأ حالة شبيهة باستعمال مجموعة واحدة من الأحياء فقط لتقسيم الجسم المائي إلى مناطق حيوية جغرافية؛ ولذلك لا يجدر الاعتماد على بيانات عدد العوالق الجرثومية غير متكافئة القيمة وغير المتجانسة، فمثلاً:

تتباين حدود التغيرات والقيم المتوسطة لأعداد العوالق الجرثومية في سنوات مختلفة، وربما تتباين القيم العظمى للعدد عن الدنيا 2 – 4 مرات خلال عام واحد وأكثر من 50 مرة خلال خمس سنوات (Mamontova *et al.*, 1984)، وقد تنخفض القيم المتوسطة لأعداد العوالق الجرثومية إلى النصف ثم إلى الربع في سنوات متتالية (Kojova and Mamontova 1975). وقد يتعذّر تحديد الوقت المميّز لرصد تغيّرات العوالق الجرثومية إذ تختلف القيم العظمى للجراثيم غيرية الاغتذاء كل عشرة أيام أو يومياً (Mamontova 1981).

تفيد خصائص العوالق الجرثومية في التصنيف الدقيق للبحيرات عند إجراء دراسة وافية لأجزاء الجسم المائي؛ بتحديد العوامل البيئية المحدّدة للتغيرات الفصلية في الشدة الضوئية؛ وعدد الجراثيم والأعوام المتباينة بالإنتاجية الحيوية، بما في ذلك فترة

الامتلاء والاستقرار (Kojova & Mamontova 1980)، إذ يكتفي الباحثون أحياناً بذكر قيم متوسطة خلال فصل واحد لوصف عمود المياه وأحياناً لوصف أفق واحد، أو يكتفون بذكر حدود التغيّرات فقط، وهذا ما دفع إلى وضع معايير لطرائق الدراسة وأساليب معالجة البيانات لحلّ مشكلات تصنيف البحيرات.

ويبين الجدول 5-4 تصنيف رومانينكو (Romanenko 1964, 1979) المستعمل اليوم، وفي الدرجة الثانية تصنيف غاك وكودرينا (Gak and Kudrina 1979) اعتماداً على الدالات الميكروبيولوجية لتقييم حالة الاغتذاء في البحيرات المستحدثة.

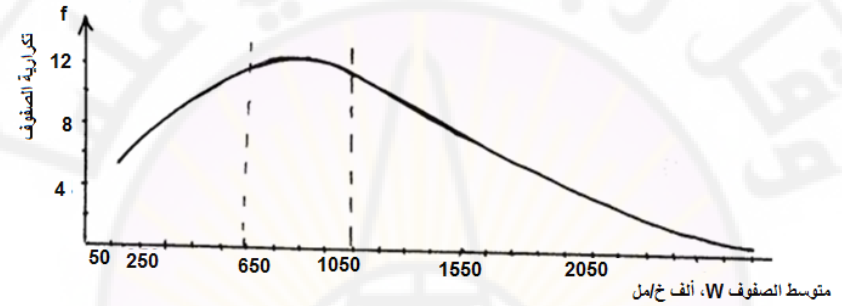
الجدول 5-4 تحديد حالة تغذية البحيرات اعتماداً على العدد الإجمالي للجراثيم، مليون خ/مل.

نمط البحيرة	Romanenko, 1964	Romanenko, 1979	Gak & Kudrina, 1979
جيدة الاغتذاء	5 – 3	10 – 1.5	6 – 3
معتدلة الاغتذاء	2 – 1	1.5 – 0.5	2.7 – 0.5
قليلة الاغتذاء	0.5 – 0.2	0.5 – 0.1	0.8 – 0.4

ولما كان التصنيف المقترح تعوزه الدقة؛ فلكل بحيرة إمكانات تلبّي متطلبات الجراثيم للنمو والتكاثر التي تُحدّد وتيرة تغيرات الأعداد وقيمها المتوسطة، ولا يُظهر التنوّع ولا الاختلاف مع خصائص الأنهار، ولا يفرّق بين البحيرات الطبيعية والمستحدثة، وقد اعتمد تصنيف تينِمان ونَومان على مستويات نسبة المادة العضوية "الطبيعية" فقط، ولا تسمح الطرائق بتقسيم المادة العضوية في البحيرات إلى أصيلة ودخيلة، إذ تسبب المخلفات المنزلية وأحياناً الصناعية وفرة بالمادة العضوية وازدهار الأحياء الدقيقة، فإنه يمكن تقسيم الجراثيم إلى أصيلة ودخيلة وفقاً لارتباطها بالنظام الحراري والمادة العضوية، وهذه مسألة تستحق العناية (Mamontova *et al.*, 1984).

يجب الانتباه إلى خصائص البحيرات المستحدثة كنظم بيئية جديدة، تمتلك تاريخاً قصيراً جداً؛ ولذلك فإن تصنيفها يتأثر بعوامل مختلفة كثيرة، كالموقع الجغرافي والخواص المناخية وحركية المياه والخواص الهدرولوجية، وميزات التبادل الشاقولي، وغزارة التنوع الحيوي وكتلته الحيوية وتركيبه النوعي التي ترتبط بشفافية المياه واللون والرقم الهدروجيني والغُذيَّات والخواص الهدرولوجية وحركية المياه.

ربما يوجد نمطان للتغذية أو أكثر في الجسم المائي في وقت واحد أو خلال العام، استناداً إلى مجموع تكرارية البيانات التي تعود لكل نمط للاغتذاء، ففي إحدى البحيرات تتوزع مستويات الاغتذاء وفقَ العدد الإجمالي للجراثيم بالنسب 1: 6: 3 المعبرة عن "قليل ومعتدل وجيد"؛ ما يعكس بوضوح خصائص البحيرة، ولتحديد العلاقة بين الكتل المائية المختلفة للبحيرة نفسها يُستعمل المنحنى "النظري" لتوزّع العدد (الشكل 5-1) بتقسيمه إلى "مستويات الاغتذاء" وفقاً لمسار المنحنى.



الشكل 5-1 المنحنى النظري لتوزع العدد الإجمالي للجراثيم في بحيرة براتسك، W- متوسط الصفوف، f- تكرارية المصادفة (Mamontova *et al.*, 1984).

ولما كان توزّع عدد الجراثيم في الأجسام المائية يخضع لقانون التوزع الطبيعي فإنه يرتبط بعوامل غير مترابطة، مثل: نوعية المادة العضوية سهلة الأكسدة وتركيز الأكسجين ودرجة الحرارة، فالعوامل المختلفة تكوِّن وحدة معقدة ونظماً مفتوحة، ومن أجل وضع حدود لأعداد العوالق الجرثومية في البحيرات المستحدثة، يمكن فرض أنه إذا كانت النسبة المئوية ممثلة لتكرارية مصادفة أعداد الجراثيم في كل درجة؛ يمكن تقسيم العوالق الجرثومية إلى "مستويات تنامي" محددة.

ومثل هذا التحليل لا يستثني تأثير فاصل الصنف، ففي تحليل منحنى توزع عدد الجراثيم، إذ كان الفاصل يعادل 100 ألف خ/مل أو 400 ألف خ/مل فإنّ توزّع الجراثيم يبقى غير متماثل (Mamontova *et al.*, 1984)، ويمكن تقسيم أعداد العوالق الجرثومية إلى "مستويات": غني الاغتذاء، أعظمي، معتدل، وأدنى، مع ذكر الفواصل الموافقة؛ ما يُظهر حدود تنامي الجراثيم المميزة لكل موقع مائي، ويسهّل عملية المقارنة، الأفضل إجراء التحليل الإحصائي.

ثانياً. تصنيف البحيرات وفقاً لحالة الاغتذاء

Lake Classification According to Trophic Status

تصنّف البحيرات اعتماداً على الدوران، إلى:

بحيرة عديمة المزج	لا تحدث فيها عملية انقلاب للمياه إطلاقاً وتسمى البحيرة الراكدة عديمة الطبقات amictic lake.
بحيرة كاملة المزج	تحدث فيها عملية انقلاب للمياه.
بحيرة تكرارية المزج	يرتبط انقلاب مياهها أو تحريكها مع التغيرات الفصلية خلال الحول.
بحيرة ثنائية الطبقات Dimictic	تحدث فيها عملية انقلاب المياه في الربيع والخريف تحت تأثير تغيرات درجة الحرارة.
بحيرة قليلة الطبقات	يحدث دوران مياهها كل بضع سنوات.
بحيرة وحيدة الطبقة Monomictic lake	يحدث الدوران مرة واحدة فيها (احذر هنا).

واستناداً إلى وفرة الغّذيّات وإنتاجية المياه، تقسم البحيرات إلى أربعة أنماط اغتذاء متباينة، وفق الآتي:

1. **البحيرات قليلة الاغتذاء** oligotrophic lakes

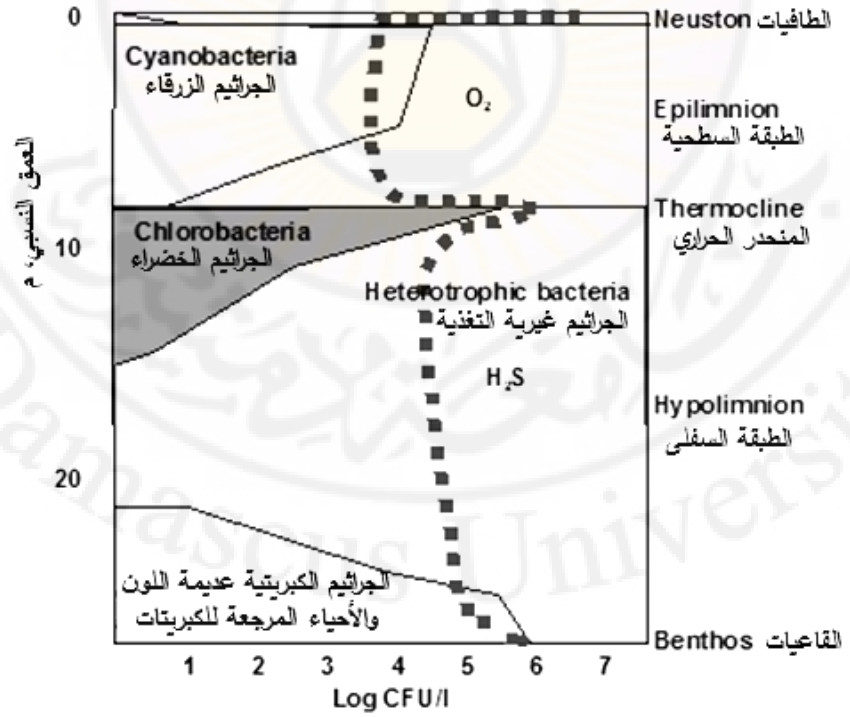
أحواض منحدرة الجانب نادراً ما توجد في المناطق المأهولة، نظيفة ومبهجة جداً، المياه صافية وعميقة وباردة، القاع رملي أو صخري، يتكدس قليل على القاع وفيها قليل من الرسوبات العضوية، يزيد عمقها على 30 متراً، لا توجد فيها مشكلات طعم أو رائحة، لا توجد فيها كميات كبيرة من التنوع الحيوي، وهناك بحيرات فائقة قلة الاغتذاء Ultraoligotrophy.

الخصوبة منخفضة، والمادة العضوية والغُذيّات (N, P or Si) منخفضة، الفُسفور الإجمالي أقل من 15 مكغ/ل، والنتروجين الإجمالي أقل من 400 مكغ/ل.

تبدو الإنتاجية الأولية والثانوية في البحيرة قليلة الاغتذاء منخفضة، الفُسفور منخفض 8.0 ملغ/م$^{-3}$، اليخضور الإجمالي أقل من 3 مكغ/ل، يبدو اختراق الضوء عالياً، والشفافية Transparency عالية (> 6 م وسطياً)، ويظهر قرص سيكي Secchi disk على عمق 8 – 40 م.

أعداد الأحياء المائية في البحيرة قليلة الاغتذاء غير مقبولية، والتنوُّع عالٍ والشبكة الغذائية معقدة، توجد جماعات صغيرة من أسماك الماء البارد وعدد محدود من الأسماك الكبيرة، وجماعات صغيرة من العوالق النباتية والطحالب الفَوْنباتية والجراثيم والعوالق الحيوانية، وغزارة منخفضة للعوالق النباتية غالباً من الدِسميدات والذهبية، ودرجة التشبع بالأكسجين المنحل تزيد على 70%، ولاسيما في المياه العميقة.

توجد جماعات صغيرة من النباتات الراقية والأعشاب المائية، الغطاء النباتي قليل أو لا توجد نباتات جذرية، توجد عوالق نباتية عالقة في المنطقة الشاطئية، ولذلك تمتلك المستوى الأخفض للإنتاجية الحيوية، وفيها مسامك رديئة (الشكل 5–2).



الشكل 5–2 البحيرة قليلة الاغتذاء.

2. **البحيرات معتدلة الاغتذاء** Mesotropic Lakes

ذات مستوى معتدل من الإنتاجية الحيوية عمقها حتى 25 متراً، معتدلة بالمادة العضوية والغُذيّات والصفاء، فيها بعض الرَّسوبات، اليخضور 3 – 7 مكغ/ل، تراكيز اليخضور والفُسفور معتدلة، نظيفة ودرجة التشبع بالأكسجين المنحل 30 – 70%، استهلاك قليل للأكسجين عادة في الأعماق. جماعات النباتات المائية مبعثرة بين النمطين السابق واللاحق، العوالق معتدلة، وعدد العوالق والأحياء الدقيقة قليل، الصيد خفيف يمكن أن يكون جيداً بالتدابير المدروسة، وإن كانت البحيرة لا تفي بالغرض.

3. **البحيرات جيدة الاغتذاء** Eutrophic lakes

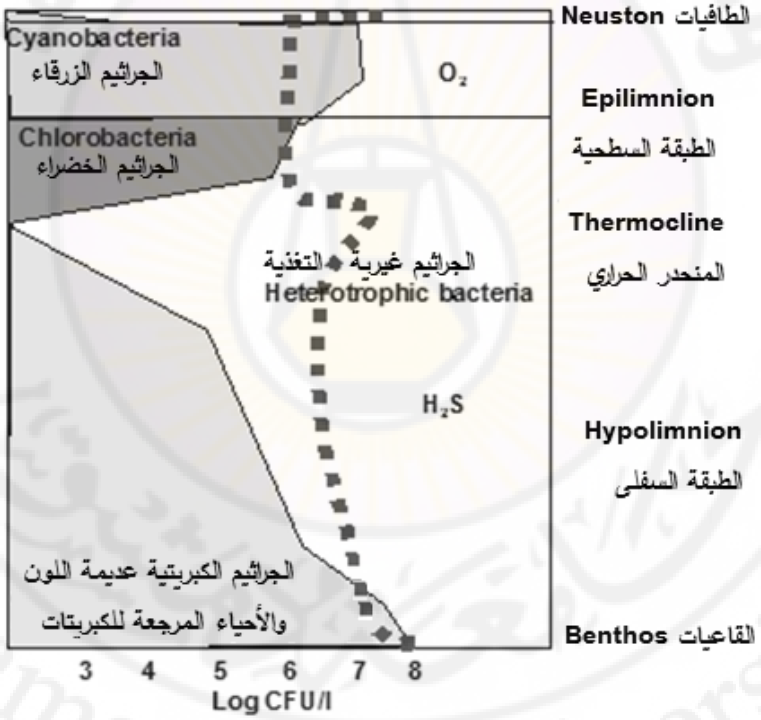
أجسام مائية ضحلة منحدرة غالباً عمقها 10 – 15 م، ذات جمالية منخفضة، القاع طيني وتعاني مشكلات طعم ورائحة، غنية بالأسماك والأحياء، الخصوبة عالية، غنية بالغُذيّات والمادة العضوية، الفسفور نحو 80 ملغ/م$^{-3}$، ذات معدلات تزويد عالية بالغذيات؛ ومستويات الغُذيات عالية في الشتاء، يتكدس الكثير من المادة العضوية في القاع فتتكوّن تربة كافية لنمو الجذور النباتية.

الإنتاجية الحيوية عالية، اليخضور الإجمالي للعوالق والقاعيات 7 – 40 مكغ/ل وسطياً، الفسفور الإجمالي 25 – 100 مكغ/ل، النتروجين الإجمالي 600 – 1500 مكغ/ل، الشفافية منخفضة يظهر قرص سيكي على عمق حتى 2.5 م، اختراق الضوء منخفض في مياه غير صافية.

أعداد الأحياء المائية بما فيها الأسماك كبيرة (أعداد كبيرة من الأسماك الصغيرة وتنامي الأسماك الضخمة)، تربّى الأسماك والأحياء المائية الأخرى في بعضها؛ ما يزيد بشدة أعداد الأحياء الدقيقة الرمية، الكتلة الحيوية عالية والتنوع منخفض والسلسلة الغذائية بسيطة، تغيب أسماك المياه الباردة، وتغزر الأسماك الهائجة، أعداد عالية من العوالق النباتية والحيوانية، تغزر العوالق النباتية ولاسيما الأنواع الفَوْنَباتية، أنواع العوالق النباتية مشطورات مركزية وجراثيم زرقاء ذات مستعمرات، وتوجد الطحالب السامة، أعداد عالية من الجراثيم.

تتراوح درجة التشبع بالأكسجين المنحل في المياه بين 0 – 30%، وتتباين في الطبقات، في المياه المشبعة 100 – 250% في الطبقة السطحية، تعاني المياه تحت المنحدر الحراري thermocline نفادَ الأكسجين في الصيف؛ أي دون 5.5 م، ويكون الأكسجين المنحل منخفضاً في الطبقة السفلى (0 – 100%)، والمياه القاعية غير أكسجينية (الشكل 5-3).

تمتلك البحيرة كثيراً من النباتات المائية والمياه صافية، أو فيها القليل من النباتات المائية والمياه أقل صفاء، تنمو النباتات المائية ذات الجذور والبارزة فوق المياه، وتكون متطورة في المنطقة الشاطئية.



الشكل 5-3 البحيرة جيدة الاغتذاء.

تتميز البحيرة مفرطة الاغتذاء hypereutrophic lake بالمستوى الأعلى من الإنتاجية الحيوية، اليخضور الإجمالي أكبر من 40 مكغ/ل والفسفور الإجمالي أكبر من 100 مكغ/ل والنتروجين الإجمالي أكبر من 1500 مكغ/ل، صفاء الماء زهيد، تتميز بغزارة النباتات المائية ولها قدرة عالية على دعم الأسماك والحياة البرية.

4. **البحيرات الهرمة** Senescent Lakes

تتميز البحيرات في آخر عمرها بطبقة سميكة من رَسوبات المادة العضوية، وتغزر فيها النباتات المائية شبه المغمورة، تتحول تدريجياً إلى مستنقعات إن عاجلاً أو آجلاً.

□ المستنقعات **Swamp**: مياهها غير عميقة تغطيها تجمعات النباتات الراقية شبه الهوائية جزئياً أو كلياً، قيم pH منخفضة عادة؛ قليلة الأحياء، توجد فيها الجراثيم المُمَيْتنة المستعملة للسليلوز، ينطلق غاز الميتان على هيئة فقاعات من القاع.

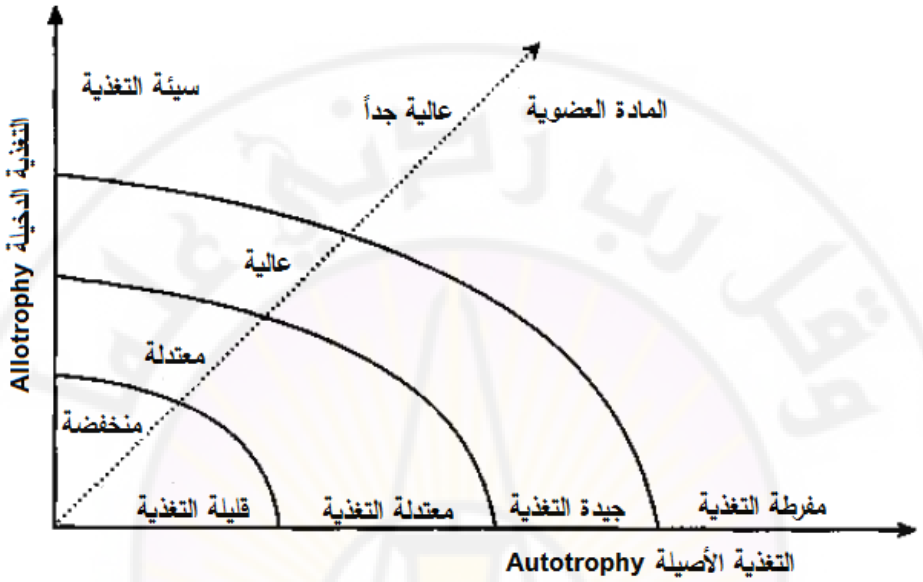
□ السَبْخَات **Moor (Marsh)**: توجد مجموعات فريدة من الأحياء الدقيقة في المياه مفرطة الملوحة والمعرَّضة للإشعاع الشمسي الشديد، مثل: البحيرات المالحة والسبخات والأهوار والبرك في البيئات الجافة (والمواد الغذائية والأسماك المملحة)، ولكن الدراسات قليلة عليها، فالبحر الميت أكثر بقاع الأرض انخفاضاً إذ ينخفض سطحه نحو 400 م تحت مستوى سطح البحر، ومتوسط ملوحته 280 غ/كغ، ومياهه شديدة الملوحة حتى 340 غ/ل في أعماقه؛ أي عشرة أضعاف ملوحة البحار (الدباغ 2002، 87)، يقع في منطقة جافة لا تسقط فوقه الأمطار إلا نادراً، ولكنّ المياه تتبخر منه ببطء لأن ضغط البخار فوق السطح ينخفض بسبب الأملاح المذابة، تستوطن فيه أنواع فريدة للأحياء الدقيقة (الشكل 5-4). بلغت مساحته قبل عام 1960 نحو 1000 كم^2، وطوله 80 كم، ولكن سطحه انخفض حتى صار -395 م نتيجة الجفاف واستجرار المياه في المنطقة المغذية (عبد القادر عابد، 1985، ص34)





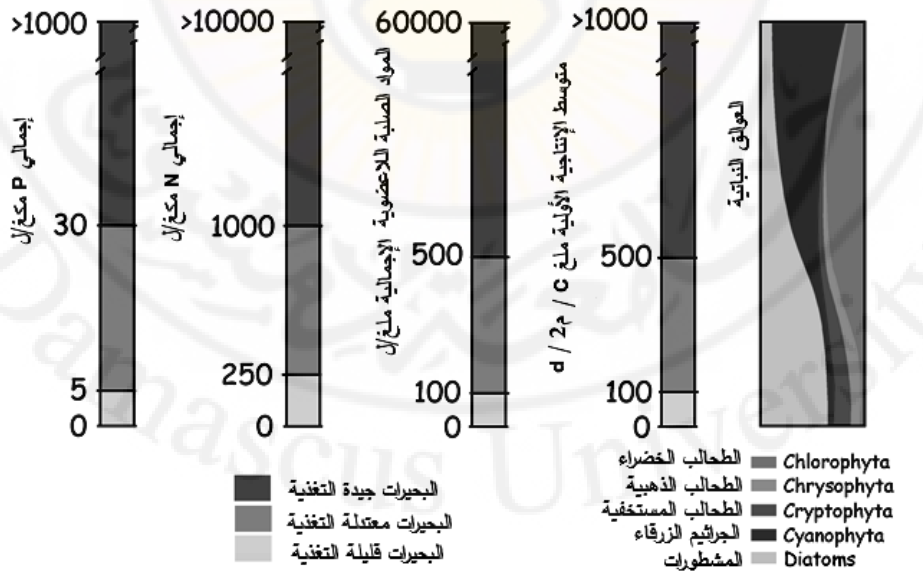
الشكل 5-4 صورة لبحيرة البحر الميت.

يبيّن الشكل 5-5 تقسيم البحيرات اعتماداً على المصادر الأولية للكربون، أما الشكل 5-6 فيوضح الحالة الغذائية في البحيرات.



الشكل 5-5 التصنيف الغذائي للبحيرات اعتماداً على المصادر الأولية للكربون

(معدلة من Häkanson and Jansson, 1983).



الشكل 5-8 الحالة الغذائية في البحيرات.

ثالثاً. توزُّع الأحياء الدقيقة في البحيرات
Distribution of Microorganisms in Lakes

1. أسلوب انتشار الأحياء الدقيقة في البحيرات
Rule of Microorganisms Prevalence in Lakes

يرتبط عدد الجراثيم بكمية المادة العضوية في مياه البحيرات على نحو وثيق، ويتباين العدد بين 2 و 4 ملايين خلية في المليلتر في الأنماط جيدة الاغتذاء، وقد يصل إلى عشر ملايين حتى مليار خ/مل في مياه البحيرات التي تُربَّى الأسماك فيها، ويتراوح بين 500 ألف و 1.5 مليون خ/مل في الأنماط معتدلة الاغتذاء، ويبلغ نحو 150 ألف خ/مل في مياه البحيرات قليلة الاغتذاء.

أما في البحيرات المستحدثة فتتعلق أعداد الجراثيم بالعوامل ذاتها المؤثرة في البحيرات وكذلك بنوعية المياه الواردة إليها، ولا توجد علاقة مباشرة بين أعداد الجراثيم ووفرة الغُذيَّات التي توجد بكميات احتياطية تزيد على احتياج الرميات، وتبلغ أعداد الجراثيم بضعة ملايين خ/مل من المياه عند إضافة الأعلاف لتغذية الأسماك.

2. توزُّع الأحياء الدقيقة في البحيرات
Distribution of Microorganisms in Lakes

يتباين التوزع الأفقي لأعداد الجراثيم في البحيرات، ويتركز في المنطقة المضاءة عادة حيث يحدث تكوين الإنتاجية الأولية ونمو شديد للعوالق النباتية؛ ما ينشّط تكاثر الجراثيم، ويكون عددها الأكبر على عمق 10 – 100 سم، وينخفض بوضوح على عمق عشر أمتار مقارنة به على السطح، وبالعكس يكون العدد أكثر بمئات المرات في الطافيات neuston film (الزبد المائي) مما هو عليه في الطبقات السفلى.

تكوِّن الطافيات الجرثومية bacterial neuston (الشكل 5-7) موطئاً بيئياً Ecological Niche فريداً في الأجسام المائية قليلة الاغتذاء تصل أعداد الجراثيم فيه إلى 1.8 مليار خلية في المليلتر؛ وتزيد على ما هي عليه في الآفاق المائية للبحيرة بنحو 2 – 4 مرات (Ali Nizam 1992).



الشكل 5-7 الغشاء الطافي وتأثير الرياح في تجمع للمياه السطحية غربي حمص (تصوير د عدنان).

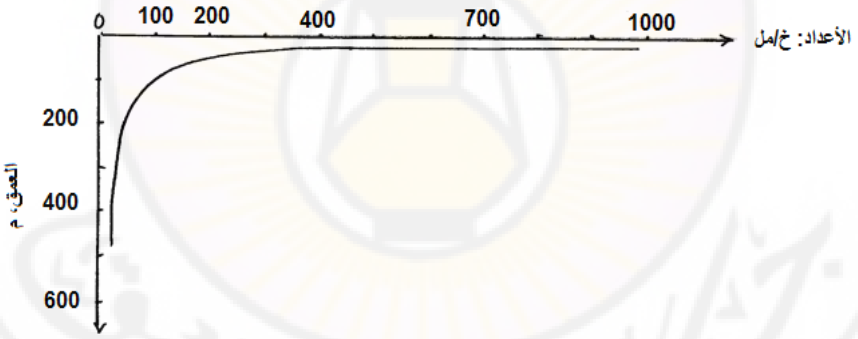
تساهم الأحياء الدقيقة الهوائية في تكوين الطافيات الجرثومية بنشاط، وهي أساساً من الجراثيم غيرية الاغتذاء ذات النشاط الكبير في المعدنة، أما المنطقة السفلى الباردة في البحيرات فغير ملائمة لنمو الجراثيم، إذ تنخفض أعدادها بشدة فيها؛ وتتصف التغيرات الفصلية بقلّة التباين، وعموماً، يرتبط التوزع الشاقولي لأعداد الجراثيم في البحيرات بنوعية المياه والعمق والتيارات، فمثلاً: ينخفض العدد إلى النصف على عمق نحو عشرين متراً مقارنة به عند السطح، ويرتبط ذلك بالحرارة والعمق في الصيف، ويكون متجانساً تقريباً في السطح والقاع في البحيرات معتدلة وجيدة الاغتذاء.

تبدو غزارة الجراثيم في المياه الشاطئية للبحيرات أكبر مقارنة بالأماكن المفتوحة، ويتعلق ذلك بالتماس المباشر مع الأرض ووصول المخلفات السائلة، فمثلاً: يزيد عدد الجراثيم في مياه البحيرة نحو عشرة مرات على بعد 150 متراً من الشاطئ مقارنة به على بعد ثلاثة آلاف متر.

تؤثر العوامل الجوية تأثيراً ملموساً في تغيرات أعداد الجراثيم، إذ تزداد الأعداد في المياه الشاطئية للبحيرات مئات المرات بعد الهطل المطري، كما يزداد العدد في الجو الغائم عشرات المرات مقارنة به في الجو المشمس.

توجد جماعات صغيرة للجراثيم bacterial microcolonies في مياه البحيرات بين 10 – 50% من الكتلة الحيوية الإجمالية للجراثيم، وتمثل هذه الجماعات كُداسات Aggregates جرثومية تتراوح أحجامها بين بضع خلايا وبضع آلاف خلية، وتتراوح أعدادها بين 20 – 6000 جماعة في المليلتر الواحد من الطبقة العليا لبحيرة البيكال (Goman *et al.*, 1984) وفقاً للظروف البيئية، وتنتشر هذه الجماعات المتكتلة في معظم دقائق الفُتات Detritus بأعداد بين بضع خلايا و 2 – 5 آلاف خلية.

يكون العدد الأكبر لهذه الجماعات في المنطقة الشاطئية عادة، والحجم الخلوي الأكبر على دقائق الفُتات، ويؤكد انتشارها في الآفاق الدور المهم الذي تقوم به في السلاسل الغذائية للأحياء المائية (الشكل 5–8)، ويجب ألا تُغفل حقيقة وجودها عند إجراء تقدير العدد الإجمالي للجراثيم في المياه؛ الأمر الذي لا يقوم به الباحثون في الدراسات المائية عادة.



الشكل 5–8 التوزع الشاقولي لعدد الجراثيم في بحيرة البيكال (Goman *et al.*, 1984).

تتباين أعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء وفقاً للآفاق المائية في البحيرات، إذ تبلغ عشرات إلى مئات الخلايا في الطافيات، ومئات الخلايا في المنطقة السطحية، وتصل إلى بضع خلايا في المليلتر الواحد من المياه العميقة، وعموماً، تزداد أعدادها بوضوح مع وصول المواد العضوية، وتزداد في بعض الآفاق العميقة بسبب حمل الكتل المائية من السطح في فترة التطبق stratification عن طريق الحركات الشاقولية والتيارات العميقة؛ ولذلك تتميز الشواطئ بغزارة كبيرة للجراثيم غيرية الاغتذاء بسبب تأثير الضفاف.

ويتباين العدد الإجمالي لجماعات الجراثيم الزرقاء في البحيرات بوضوح وفقاً لطبيعة المياه والأعماق، وتفيد كدالة حيوية bioindicator على نوعية المياه، ففي أغلب الحالات تؤكد سيادتها وجود المادة العضوية بوفرة في الوسط، إضافة إلى أنها تسود عقب النمو الغزير للمشطورات.

تعد الطحالب الفَوْنباتية Epiphyton مكوّناً مهماً في البحيرات، وعموماً، تسود مجموعة المشطورات وإن كانت أعدادها قد تتراجع في بعض الأحواض حيث تسود الطحالب الخضراء، وقد تسود الجراثيم الزرقاء، ثم تأتي أهمية المجموعات الأخرى كاليوغلينات، وتوجد الطحالب الذهبية والدينوية والكِرِبْتية على نحو عَرَضي دون أن تقوم بدور ملموس في العلاقات الكمية، وتوجد الطحالب الحمراء في المواقع شديدة الحركة كالجداول والشلالات، وإن توزع الطحالب الفونباتية فسيفسائي مع تقلبات كبيرة، ويرتبط ذلك بجملة من العوامل، ولاسيما شدة الأمواج والرياح في المناطق الضحلة التي تتميز بعدد قليل، كما تعمل الرغوة على تشتيت كبير لهذه الأحياء في أماكن صرف المخلفات الصناعية (Rossolimo 1977).

ولا ريب في أن تحديد الاختلافات بين المشطورات القاعية والعوالقية عملية صعبة، فكثيراً ما تبدو الأشكال القاعية والفَونباتية في عينات العوالق وتقع في الطبقة المائية مع التيارات والدوامات، ويستمر جزء منها ويتكاثر إلى درجة يكوّن فيها نسبة ملموسة في العينة؛ ما يجعل وضع المشطورات في المجموعات البيئية الموافقة عملية صعبة.

تنتشر أنواع الفطريات الخيطية المائية aquatic hyphomycetes وتتماثل غالباً على المواد النباتية نفسها في شواطئ البحيرات والأنهار، وتؤثر فيها العوامل البيئية نفسها، وعندما يكون الأكسجين المنحل في المياه قليلاً عند ترسّب المادة العضوية على القاع، فإن الفطريات على الركائز المماثلة تختلف عما في المياه المهواة جيداً.

وتنتشر الخمائر yeasts دائماً في جميع أنماط البحيرات، وهي جزء مهم في مجتمعات الأحياء الدقيقة، ويكون العدد الأكبر في البحيرات جيدة الاغتذاء ويبلغ حده الأعظم في فترة الأمطار الأولى وموت النباتات المائية الراقية والحد الأدنى في الشتاء (Zemskaya 1980, Nechesov & Bulgadaeva 1984, Ali Nizam 1992).

3. توزُّع الأحياء الدقيقة في رسوبات البحيرات

Distribution of Microorganisms in Lakes Sediments

تمثّل الرَّسُوبات القاعية في البحيرات منطقة بيئية فريدة، إذ يبلغ العدد الإجمالي للجراثيم بضعة مليارات خلية في الغرام الواحد من الطمي، وإن كان العدد أقل بكثير في رسوبات الأجزاء العميقة، وتتميز الطبقة السطحية من الرسوبات بغزارة كبيرة، وتبلغ أعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء عشرات ومئات آلاف خلية في الغرام الواحد من الطمي، وتتضمن الجراثيم الكبريتية والجراثيم المفككة للسليلوز والجراثيم المؤكسدة للنفط والجراثيم المؤكسدة للفينول (Goman *et al.*, 1984).

قد تصل أعداد الخمائر حتى 500 ألف خلية في الغرام الواحد من الرسوبات في البحيرات جيدة الاغتذاء، وبالمقابل لا تزيد أعدادها على 72 ألف خلية في الأنماط قليلة الاغتذاء، ويقتصر انتشارها على الأفق العلوي من الرسوبات (حتى 10 سم)، ويقل العدد في الآفاق الأعمق وكثيراً ما يقع في حدود 10 – 500 خلية في الغرام الواحد من الرسوبات (Ingold 1942).

4. ميزات البحيرات المعتدلة

Features of Microorganisms in Temperate Lakes

تتركّز غزارة الطحالب عادة في الطبقة الغذائية بين 5 – 20 متراً، حيث يحدث نمو شديد للعوالق النباتية التي يحدّد الضوء انتشارها، فمثلاً: تتميز التغيّرات الفصلية في الطبقة الغذائية لبحيرة البيكال (0 – 50 م) بوجود ذروتين الأولى ربيعية والأخرى خريفية، وهي حالة نموذجية لمياه المناطق الجغرافية المعتدلة عموماً.

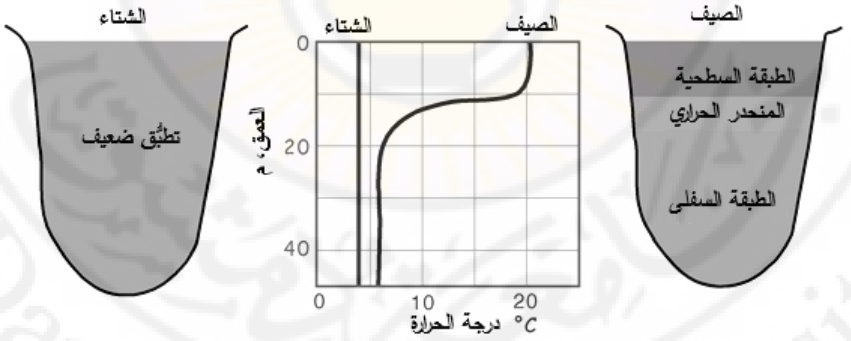
كذلك تبدي غزارة الطحالب في بحيرة السن ذروتين في السنة: الأولى ربيعية وهي الأهم والأخرى خريفية، وتكون الغزارة في حدودها الدنيا في فصل الشتاء ومنخفضة نسبياً في الصيف (أزهري 1995)، ترتبط الذروة الربيعية بارتفاع تركيز شوارد النترات والفُسفات، وتكون غزارة المشطورات أساسية بين 27% في الصيف و 90% في الشتاء، وهي في الربيع 79 – 87%، وتسود المشطورات في النبع على نحو مطلق.

وتتميز غزارة الطحالب الخضراء بذروة وحيدة في الصيف، بنسبة 35%، وتبلغ حداً أعظمياً 322 ألف خلية في اللتر الواحد من المياه، وتؤثر فيها درجة الحرارة والضوء ووفرة المادة العضوية، ولكنها تقلّ في الشتاء جداً إلى 0 – 6%.

تتعرّض مياه البحيرات في المنطقة الجغرافية المعتدلة دورياً خلال الفصول لعمليات المزج mixing (الشكل 5–9) والتطبُّق التي تؤثر فيها جداً (الشكل 5–10).



الشكل 5–9 أنماط المزج في البحيرات المعتدلة.



الشكل 5–10 التطبُّق الحراري Thermal stratification في البحيرات المعتدلة.

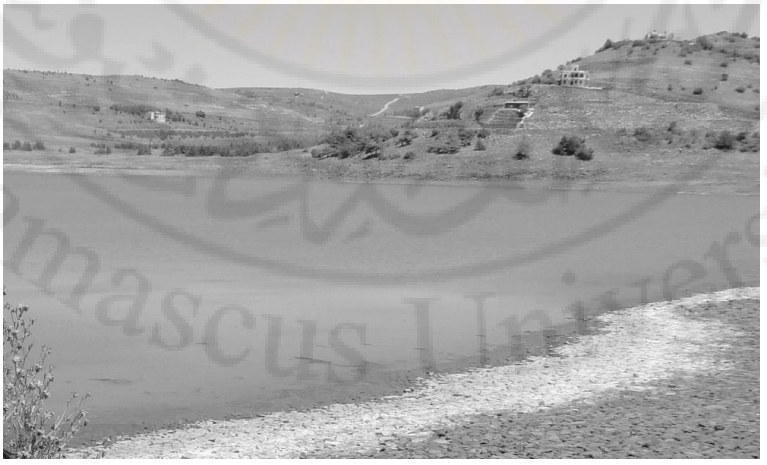
إن معدلات فقدان الجراثيم الزرقاء لجماعاتها منخفضة عموماً نظراً إلى قلة أعدائها الطبيعية وإلى قدرتها على الغوص والهجرة بعيداً عن الإضاءة الشديدة والافتراس وإلى الطفو المنتظم ولاسيما في المياه العذبة (Walsby 1994, Oliver & Ganf 2000)، ويزدهر معظمها في المناطق الجغرافية المعتدلة والشمالية خلال فصل الصيف في

درجة حرارة 25ْ م أعلى من الدرجة الفضلى لنمو الطحالب الخضراء والمشطورات (Roberts and Zohary 1987).

لم تُلاحظ تغيرات في سيادة أجناس الجراثيم الزرقاء في مياه بحيرة سد الروم بسبب المزج الجيد للمياه نتيجة تعرّضها للرياح باستمرار، وكانت القيمة الأقل للكتلة الحيوية في وسط البحيرة؛ بسبب العمق الأكبر، إضافة إلى تأثير الرياح التي تعمل تركّز الجراثيم الزرقاء على الأطراف عند الازدهار على هيئة طبقة ثخينة جداً (محمد وآخرون 2008)، ويوضح الشكلان 5-11 و 5-12 تأثير الرياح في التوزّع.

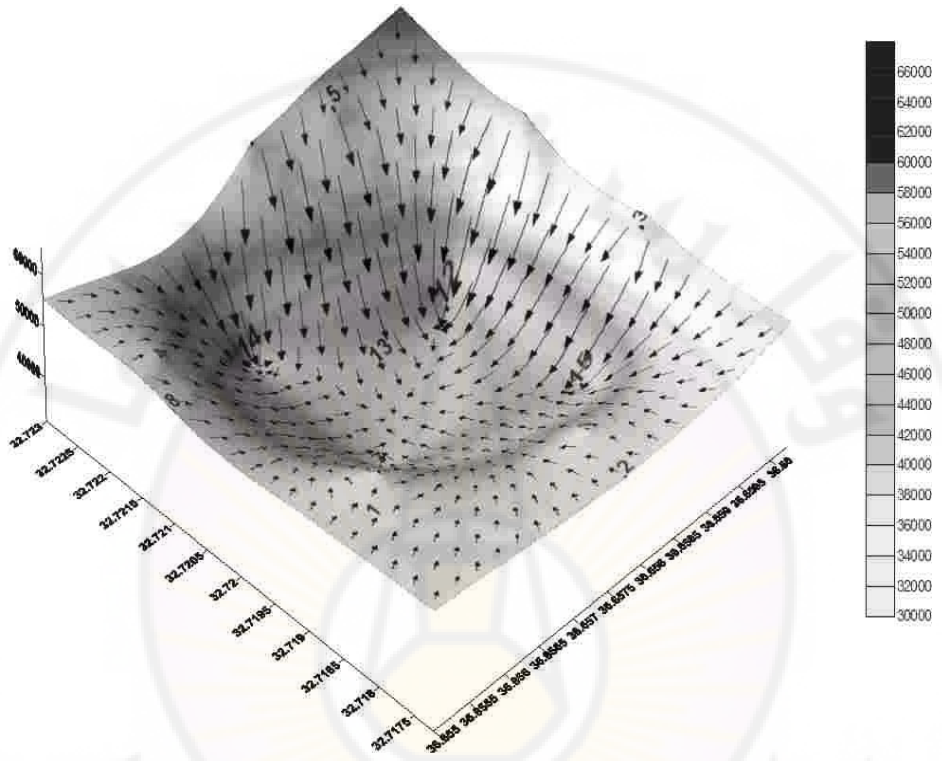


الشكل 5-11 أنماط تجمُّع الطحالب والجراثيم الزرقاء في فترة الازدهار بتأثير الرياح.



الشكل 5-12 منظر لعين الطائر في بحيرة سد الروم بالسويداء بتأثير الرياح أي تجمُّع الطحالب والجراثيم الزرقاء في فترة الازدهار– تصوير د عدنان.

ويبيّن الشكل 5-13 حركية جماعات الجراثيم الزرقاء في بحيرة سد الروم في فترة الازدهار.



الشكل 5-13 تمثيل لحركية جماعات الجراثيم الزرقاء في فترة الازدهار، إذ تتجه الأسهم من المواقع ذات العدد الأكبر باتجاه المواقع ذات العدد الأقل وفق المقياس اللوني المرافق.

يبلغ الغنى النوعي specific richness الذروة في مياه بحيرة سد الروم في تموز إذ أمكن تسجيل عشرة أجناس، أما الازدهار في تشرين الأول وتشرين الثاني فتسود فيه ثلاثة أنواع فقط (محمد وآخرون 2008):

- ◊ نوع من الجنس *Microcystis* sp.، بالدرجة الأولى
- ◊ ونوع من الجنس *Anabaena* sp. بالدرجة الثانية
- ◊ ثم نوع من الجنس *Aphanizomenon* sp. الذي يأتي على نحو أقل بكثير.

رابعاً. تنوّع الأحياء الدقيقة في البحيرات

Diversity of Microorganisms in Lakes

1. أنواع الأحياء الدقيقة في مياه البحيرات

Microorganisms species in Lakes Water

يبدو تنوع الجراثيم متماثلاً جداً في بحيرة البيكال (Goman *et al.*, 1984)، وينتمي عموماً إلى مجموعات: Pseudomonades، Bacteria، Mycobacteria، وتنتشر أنواع الجراثيم الزرقاء باستمرار، فمن الفَونباتية يوجد *Lyngbya kuetzingii*، ويشغل بعضها مثل *Oscillatoria* رقعة واسعة في منطقة نموات النباتات الكبيرة، أما أنواع *Microcystis*, *Anabaena* فتتكدس بكميات ملموسة في المناطق الضحلة.

يوجد 21 جنساً من الجراثيم الزرقاء في بحيرة الأسد (العلي وآخرون 1999)، وتنتشر أفرادها غالباً في المنطقة الشاطئية على النباتات أو الطحالب الكبيرة، وعلى الصخور ولاسيما في المواضع الهادئة (نحو 80%)، وأهمها:

Oscillatoria, Nostoc, Gloeocapsa, Rivularia, Calothrix, Gloeotrichia, Microcystis, Phormidium, Lyngbya, Chroococcus.

وأهم الجراثيم الزرقاء الملتصقة بالأحجار:

Gloeocapsa, Lyngbya, Gloeothrichia, Calothrix, Oscillatoria,..

وينتشر في بحيرة السن 8 أنواع من الجراثيم الزرقاء (أزهري 1995)، أهمها:

Microcystis, Oscillatoria, Phormidium, Lyngbya, Nostoc, Anabaena.

ويشغل بعض أنواع الطحالب الفونباتية رقعة واسعة في منطقة النموات، مثل:

Navicula , Nitzschia , Amphora , Scenedesmus , Pediastrum, Cosmarium.

وتتكدس أنواع من المشطورات بكميات ملموسة في المناطق الضحلة، مثل:

Stephanodiscus, Cyclotella.

ويوجد في البحيرات الكبيرة بأفريقية الشرقية أجناس المشطورات الفونباتية الآتية:

Achnanthes, Cocconeis, Cymbella, Diatoma, Epithemia, Fragilaria, Gomphonema, Mastogloia, Synedra, Tabellaria.

يوجد 31 جنساً من الطحالب الدقيقة في بحيرة الأسد (العلي ودباس 1999)، فمن الطحالب النارية *Ceratium furca*، ومن أهم أجناس المشطورات (21 جنساً):

Tabellaria, Synedra, Surirella, Cymbella, Fragilaria, Denticula, Amphora, Nitzschia, Pinularia, Cocconeis…

ويوجد من الطحالب الخضراء الأجناس (9 أجناس):

Chlorella, Mesotaenium, Pandorina, Scenedesmus,…

وتنتشر أفرادها غالباً في المنطقة الشاطئية على النباتات أو الطحالب الكبيرة، وعلى الصخور ولاسيما في المواضع الهادئة (نحو 80%)، وتوجد بغزارة مميزة بعض الطحالب الخضراء ربما يرتبط ذلك بالعمر القصير للبحيرة، مثل:

Chlorella, Lyngbya, Scenedesmus, Cosmarium

يوجد 83 نوعاً من أجناس العوالق النباتية والطحالب القاعية في بحيرة السن (أزهري 1995)، كالآتي:

أهم المشطورات الأجناس (57 نوعاً):

Cyclotella, Melosira, Rhizosolenia, Diatoma, Fragilaria, Tabellaria, Synedra (9 species), Achnanthes, Cocconeis, Rhoicosphenia, Navicula (9 specieses), Pinularia, Amphora, Cymbella (4 specieses), Gomphonema, Nitzschia, Surirella, …

وأهم الطحالب الخضراء والازدواجيات (22 نوعاً):

Haematococcus, Chlorococcum, Oocystis, Scenedesmus, Chlorella, Pediastrum, Cladophora, Cosmarium, Closterium, Zygnema, Spirogyra, ….

ويوجد من الطحالب النارية الجنس *Peridinium*.

ومن اليوغلينات نوع واحد من الجنس *Euglena*.

ونوع واحد من الطحالب الذهبية *Synura*.

ومن الطحالب الصفراء المخضرة *Tribonema* يوجد نوع واحد أيضاً.

إضافة إلى نوع واحد من الطحالب الكارية *Chara*.

يوجد في البحيرات الكبيرة بأفريقية الشرقية أنواع أجناس العوالق النباتية الآتية:

Asterionella, Cyclotella, Melosira, Meridion, Nitzschia, Odontella, Rhizosolenia, Stephanodiscus, Thalassiosira, ...

كثيراً ما تتداخل العوالق النباتية والقاعيات، ومن النماذج القاعية في البحيرات الكبيرة بأفريقية الشرقية أجناس المشطورات الآتية:

Amphora, Anomooeoneis, Brachysira, Capartogramma, Caloneis, Denticula, Diploneis, Frustulia, Gyrosigma, Hantzschia, Navicula, Neidium, Nitzschia, Pinularia, Stauroneis,...

وينتمي معظم الطحالب الدقيقة القاعية في بحيرة السن إلى المشطورات، إذ تمثل الطحالب الخضراء (إضافة إلى الجراثيم الزرقاء) نسبة قليلة تزداد فقط في الربيع والخريف (أزهري 1995).

من أهم أجناس الطحالب في بحيرة المزيريب (علي نظام ومحمد 2014): *Pandorina*، *Pediastrum*، *Synechococcus*، وهناك علاقة ارتباط سلبية بين عدد الأنواع وإجمالي الكربون العضوي.

وينتشر 17 جنساً من الجراثيم الزرقاء في مياه بحيرة سد الروم في السويداء جنوبي سورية (محمد وآخرون 2008)، وفق الآتي:

Anabaenopsis, Aphanizomenon, Anabaena, Gloeotrichia, Calothrix, Rivularia, Microcystis, Woronichinia, Snowella, Komvophoron, Borzia, Oscillatoria, Planktothrix, Phormidium, Glaucospira, Spirulina, Romeria, ...

تؤكد سيادة جراثيم جنس الزائفة *Pseudomonas* (80% من تركيب المجتمع المستزرع) في الطبقة المائية في البحيرات (Parfenova *et al.*, 2005) في بحيرة البيكال أهمية هذه المجموعة، من الأنواع:

Pseudomonas aeruginosa, P. alcaligenes, P. mendocina, P. putida, P. fluorescens, P. stutzeri, P. fragi, ...

ومن الشعيات الشائعة هناك النوعان:

Micromonospora echinospora

Streptomyces globisporus

تعد أنواع الفطريات الخيطية Hyphomycetes أقل شأناً في البحيرات مما هي عليه في الأنهار بسبب ركود المياه، وقد تكون أكثر أنواع الخمائر دخيلة من النباتات الضفافية وصلت مع التدفقات الصغيرة والمسيلات المائية، وهي لا تصمد جميعها في البحيرات إذ تنشط الأنواع القادرة على التلاؤم في الظروف الجديدة، ويؤكد ذلك قلة أعداد الخمائر، يتمثل تنوع الخمائر في البحيرات بالأنماط عديمة اللون، وتسود الخمائر الملونة من حيث الكمية، ويؤكد ذلك اختلاف التركيب النوعي للخمائر في البحيرات المستحدثة والطبيعية.

ففي بحيرة البيكال (Nechesov *et al.*, 1984) توجد أنواع الخمائر الآتية:

Cryptococcus:
Cr. hungaricus, Cr. albicus var. albidus,
Cr. infirmo-miniatus, Cr. laurentti, Cr. flavus, …
Rhodotorula:
Rh. rubra, Rh. glutinis, var. glutinis
Rh. Glutinis, var. dairenesis
Torulopsis:
T. ingeniosa, T. candida, T. haemulonii
Candida:
C. humicola, C. scotti, C. aquatica
Kloecker, Rhaffia,
Trigonopsis, Exophiala, ….

أما في البحيرات الطبيعية، مثل: Irkutsk (Zemskaya 1980) فتوجد أنواع الخمائر الآتية:

Cryptococcus:
Cr. gastricus, Cr. luteolus, Cr. bidusal
Rhodotorula:
Rh. pallida, Rh. rubra, Rh. glutinis
Torulopsis:
T. stellate, T. inconspicua, T. ingeniosa
Trichosporon:
Tr. cutanium, Tr. capitatum
Sporobolomyces
Sp. salmonicolor, Sp. Gracilis, Sp. roseus
Aureobasidium:

2. تنوُّع الأحياء الدقيقة في رَسوبات البحيرات

Microorganisms Diversity in Lakes Sediments

تسود في الرَّسُوبات القاعية أنواع كثيرة من الأحياء الدقيقة، فمن أهم الشعيات:

Micromonospora echinospora, Streptomyces globisporus, …

يوجد 11 نوعاً من *Streptomyces* فقط في الرسوبات القاعية من بحيرة البيكال، وتنتشر أبواغ أجناس *Streptomyces* و *Micromonospora* على عمق 3 أمتار، وهناك عدد كبير من جراثيم العصوية *Bacillus* حتى عمق 300 سم، والعدد الأكبر على عمق 150 سم (Parfenova *et al.*, 2005)، مثل:

Bacillus mesentericus, B. cereus, B. mycoides, B. subtilis, B. mycoides B. esterificans, B. polymyxa, B. mesentericus niger, B. mesentericus rubber, B. pumilis, B. brevis, B. coccoides.

وتتميز العوالق النباتيّة بقدرتها على التعمير perennation وتحمّل قسوة الشتاء، نتيجة نقص الغُذيّات وانخفاض شدّة الضوء وانخفاض درجة الحرارة؛ ما يسمح لها باستمرار تتابعها في المنطقة المظلمة من المياه أو في الرسوبات، ويساعدها في التدبير وسائل مقاومة رائعة؛ فهي تتميز بامتلاك طور مقاوم أكثر كثافة يتحمّل الضغط الشديد (Boney 1989)، على هيئة الأبوغ الساكنة hypnospores أو طور شبه متحوصل cyst – like يتميز عموماً من الشكل العادي للخلية، وقد يكون جزءاً لا يتجزأ من دورة الحياة في الوقت نفسه، وتتصف الأبواغ الساكنة بقدرتها على الحياة ثانية عند عودتها إلى المناطق المضاءة المناسبة.

يعد تكوين الأبواغ الساكنة في Dinobryon أساسياً لاستمرار حياتها، أو الحويصلات (الأبواغ الستاتية) ذات الجدر السيليكية التي تُغلق بغطاء قِمّيّ في الطحالب الداينوية والجنس Ureglena، وتظهر الطحالب المنتِجة للأبواغ الساكنة في وقت متأخر من السنة؛ مقارنة بنماذج الازدهار الربيعي من المشطورات.

تتحمّل خلايا مستعمرات بعض الأنواع، قسوة الشتاء حتى التجمّد وتعود للنشاط دون تكوين الأبواغ مثل:

Asterionella formosa

3. تنوّع الأحياء الدقيقة في البحيرات المالحة

Microorganisms Diversity in Saline Lakes

تقسم الجراثيم القادرة على تحمُّل الملوحة إلى ثلاثة أصناف:

◊ الجراثيم أليفة الملوحة المفرطة extremely halophilic bacteria: تمثل أنماطاً بدائية فريدة في البيئات المائية المالحة، هوائية حتمياً وبعضها من الهوائية الاختيارية، من الفصيلة halobacteriaceae، ذات إنزيمات تكيفية نوعية، وتحتفظ بتراكيز عالية لشوارد المغنزيوم والمنغنيز (Zvyagintseva 1989).

◊ الجراثيم المتحملة للملوحة halotolerant bacteria: يوجد بعضها في مياه معتدلة الملوحة، كما في الشواطئ الشمالية للبحر الميت؛ حيث تمتزج مياه نهر الأردن العذبة بمياه البحيرة المالحة.

◊ الجراثيم المقاومة للملوحة haloresistant bacteria: يقتصر وجودها على البيئة المالحة فقط halo-obligate، ويلزم لاستزراعها 150 غراماً من كلور الصوديوم لكل كيلوغرام من الماء على الأقل، كما في البحر الميت، أغلبها أنواع هوائية، يتميز الغشاء الخلوي فيها بألفة كبيرة للبوتاسيوم وليس للصوديوم، يرتبط عدد الأحياء الدقيقة وأنواعها في البحر الميت ارتباطاً وثيقاً بصفاته الفيزيائية والكيميائية، فعندما كانت البحيرة متطبقة انخفض عدد الجراثيم 100 مرة على عمق 50 متراً، وتسود الجراثيم اللاهوائية في الأعماق دون 50 متراً.

ينتشر بعض أنواع الجنس *Dunaliella* من الطحالب الخضراء في المياه القارية (والبحار)، ويبلغ عددها نحو 4000 خ/مل من المياه السطحية في البحر الميت، وقد تأقلمت مع المياه مفرطة الملوحة بتركيب كميات كبيرة من الغليسرول لزيادة الضغط الحلولي داخل الخلية، فيمنع الملح من دخولها.

تنمو الخمائر متحمّلة تركيزاً للملح فوق 10 – 15% من NaCl (Lages *et al.*, 1999, Samson *et al.*, 2000):

Torulopsis famata, Rhodotorula rubra, Pichia etchelsii, Candida parapsilosis, Debaryomyces hansenii

4. المظاهر النوعية في البحيرات

Specific features in Lakes

أمكن عزل جماعات الشعيات أليفة الحر thermophilic actinomycetes من رسوبات البحيرات، الجنس *Streptomyces* (وهو السائد)، ثم *Micromonospora*، وكان الجنس Thermoactinomyces نحو 6%، أما الأجناس الأخرى فكانت نادرة (Cheng-Lin and Li-Hua 1996).

ومن أهم الشعيات أليفة الاعتدال الحراري في رسوبات البحيرات (في الصين): *Streptomyces, Micromonospora, Nocardia, Saccharopolyspora, Actinomadura, ...*

أما سلالات الجنسين *Nocardia* و *Microbispora* فتغيب في بحيرات معينة، وكانت سلالات الجنسين *Micromonospora* و *Streptomycetes* الأكثر غزارة، ونحو نصف البحيرات كانت غنية بالمواد العضوية والنباتات المائية، وقد تكون ضحلة وتتعرض للجفاف نحو ثلاثة أسابيع، وأعداد الشعيات في هذه البحيرات تفوق 3 إلى 10 أضعاف ما هي عليه في البحيرات من المجموعة نفسها، بسبب الجفاف والتهوية والحرارة وتكشُّف الحمأة في القاع، حيث يزداد نشاط الشعيات.

والشعيات *Thermomonospora*، *Microtetraspora*، *Thermopolyspora*، *Saccharomonospora* تنتشر في البحيرات الأكثر عمقاً والأقل بالمادة العضوية والأقل بالنباتات المائية، والأقل بالشعيات بوضوح، حتى أنه لم تعزل شعيات في بعض البقع العميقة، وينتشر الجنس *Actinoplanes* في مجموعة أخرى من البحيرات الأكثر ضخامة مع تدخُّل شديد للإنسان، وكان عدد الشعيات قليلاً جداً في البحيرات ذات المياه القلوية (9.0 pH)، ويسود الجنس *Micromonospora* وتتباين سلالات actinomycete في المواضع الضحلة، فقد أمكن عزل ثمانية أنواع، ويقع التنوع وحيد النمط في البقع المائية العميقة.

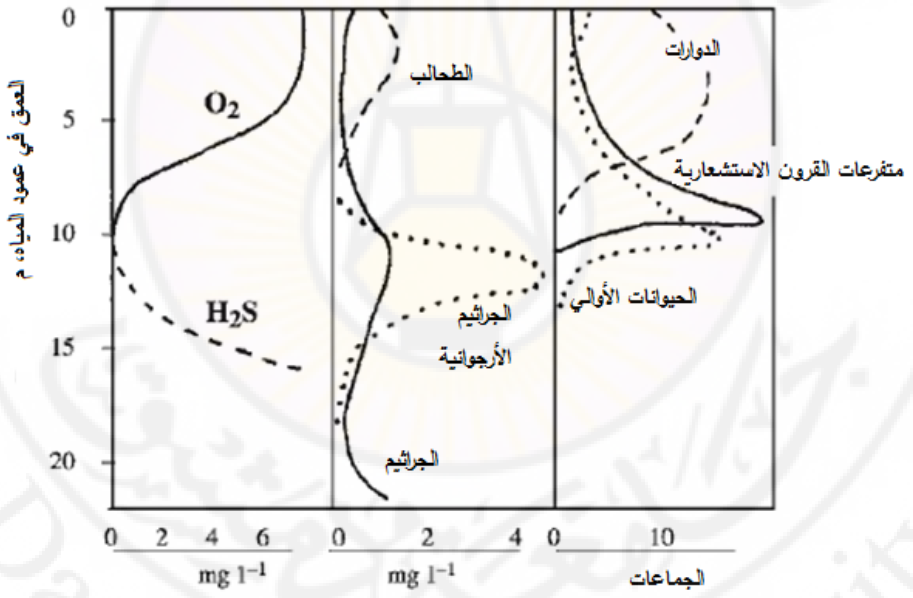
ولم يكن في الإمكان عزل الشعيات من مياه كثير من البحيرات (Cheng-Lin and Li-Hua 1996).

أمكن عزل التنوع الواسع للخمائر من البحيرات ذات الحمولة العضوية المختلفة كالمياه قليلة الاغتذاء (Brandão *et al.*, 2011)، أو معتدلة الاغتذاء (van Uden and Ahearn 1963)، وفي البحيرات التي تصرف إليها المخلفات السائلة المنزلية (Meyers *et al.*, 1970)، ومن أغزر أجناس الخمائر:

Rhodotorula, *Candida*, *Cryptococcus*

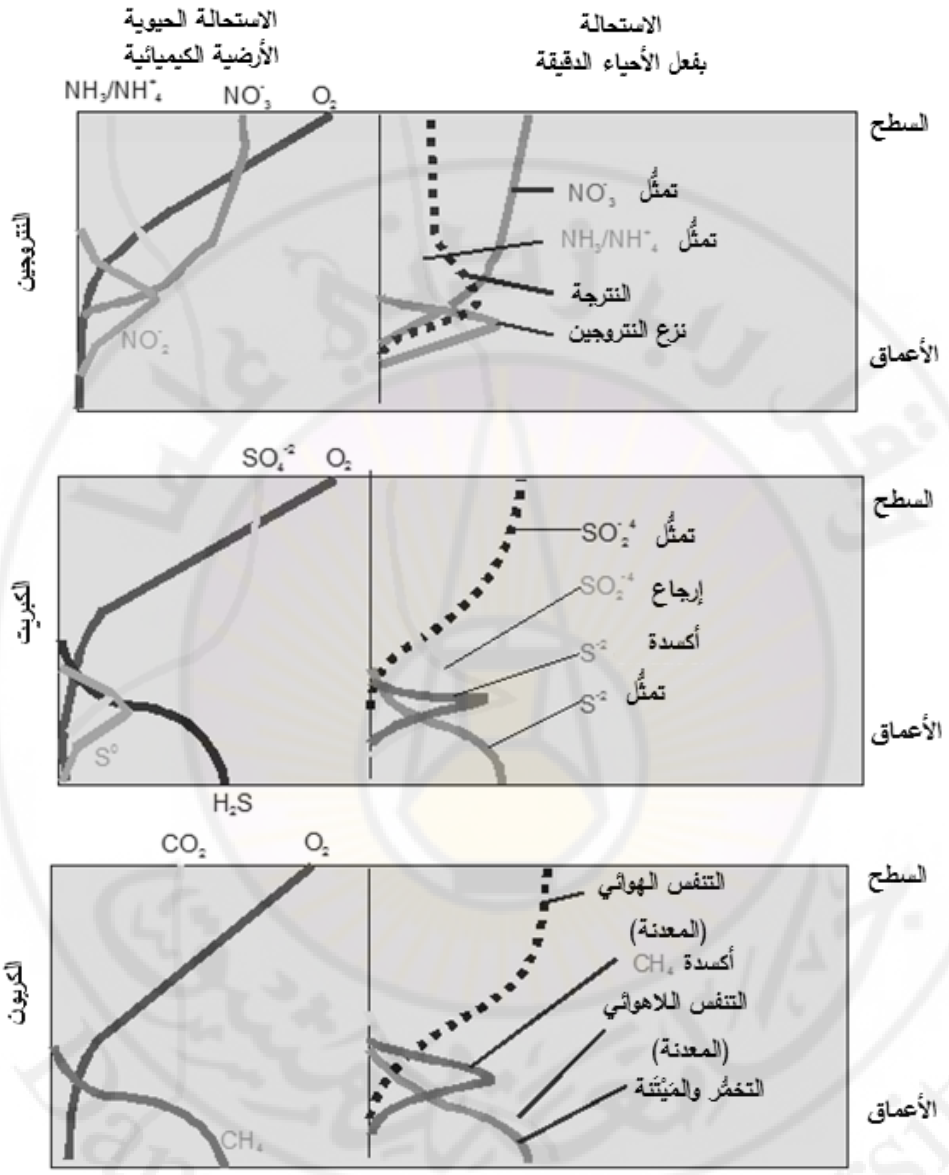
وقد وجدت الأنواع الممرضة في البحيرات الملوثة بالنشاطات البشرية، ويمكن استعمالها كدالات حيوية لتعيين مستويات التلوث فيها (Hagler 2006).

يبين الشكل 5-14 الارتباط بين التوزع الشاقولي للأحياء الدقيقة مع الأحياء الأخرى والأكسجين وغاز ثنائي أكسيد الكربون.



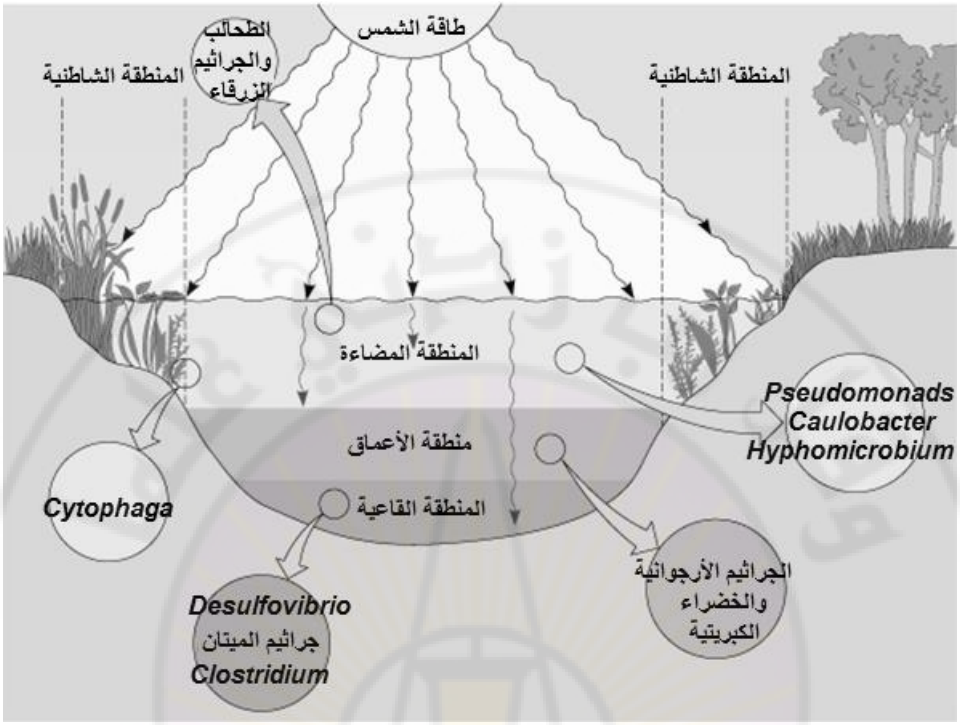
الشكل 5-14 التوزع الشاقولي للأكسجين وكبريت الهدروجين والأحياء الدقيقة في بحيرة Beloved، روسيا (Sorokin 1967). مقاييس الجماعة (أقصى اليمين) – (×10^{2} L^{-1}) متفرعات القرون الاستشعارية (×10^{4} L^{-1})، الحيوانات الأوالي (×10 L^{-1}).

ويبين الشكل 5-15 الارتباط بين التوزع الشاقولي للأحياء الدقيقة ونشاطها مع عمليات الاستحالة الحيوية الأرضية الكيميائية.



الشكل 5-15 التوزع الشاقولي للأحياء الدقيقة ودورها في التركيب والتفكيك من جهة وبين عمليات الاستحالة الحيوية الأرضية الكيميائية في البحيرات.

ويوضح الشكل 5-16 انتشار الأحياء الدقيقة المختلفة في المناطق المتباينة في البحيرات.



الشكل 5-16 انتشار الأحياء الدقيقة في المناطق المتباينة للبحيرات

(2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.).

أسئلة للمناقشة



- ما أهمية الأحياء الفَوْنباتية في البحيرات؟.
- أوضح أهمية الطافيات الجرثومية.
- يرتبط وجود بعض الأحياء بالفُتات كالآتي: ...
- قارن بين البحيرات وفقاً لعدد الطبقات فيها؟.
- بما تنصح عند تصنيف البحيرات وفقاً لحالتها الغذائية؟.
- قارن بين البحيرات جيدة الاغتذاء وقليلة الاغتذاء.
- ناقش مسألة اختلاف مياه بحيرة قطينة مثلاً بنمط الاغتذاء.

المراجع References

أزهري، رولا (1995)، دراسة بيئية تصنيفية للطحالب في بحيرة السن. رسالة ماجستير في البيئة المائية، أحياء دقيقة، كلية العلوم، جامعة تشرين، سورية.

الدباغ، مصطفى مراد (2002). بلادنا فلسطين، ج1، ق1، دار الهدى للطباعة ولنشر، فلسطين المحتلة.

عابد، عبد القادر (1985). جيولوجية البحر الميت، دار الأرقم، عمان، الأردن.

علي نظام، عدنان – محمد، سيراؤوس. تقييم نوعية المياه في بحيرة المزيريب. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (30) – العدد الأول 1، 2014، 187-214.

العلي، خليل – دباس، ريحاب – مسلاتي، عبد الخالق – طرقجي، جيداء (1999)، دراسة تصنيفية وبيئية للعوالق النباتية Phytoplankton في بحيرة الأسد المقامة على نهر الفرات. مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الأساسية، العدد 30 لعام 1999، ص 15 – 32.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة. تغيرات التعاقب الطحلبي في الأحواض الآخذة بالجفاف، المؤتمر الدولي الثاني لعلم الطحالب وعلم البحيرات والعلوم المائية، جامعة قناة السويس، بورسعيد، مصر، 14 – 15 شباط/ فبراير 2010 (بالإنكليزية). الموافقة على النشر في مجلة الجمعية المصرية للطحالب.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة. حركية جماعات الجراثيم الزرقاء في بحيرة سد الروم بالسويداء. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (24) – العدد الثاني، 2008، 89-107.

Akimov V. (1967). The Study of Processes of Dissociation Organic matter in the Fish Ponds. Abstract of kand. dis., M.

Ali Nizam A. A., (1992). Microbiological characteristics of natural and purified, which filtered by zeolite filter, water of Jeiranbatan lake. PH. D. Thesis. Baku Univ. (USSR).

Brandão L. R., Libkind D., Vaz A. B. M., Espírito Santo L. C., Moliné M., de García V., van Broock M., Rosa C. A. (2011). Yeasts from an oligotrophic lake in Patagonia (Argentina): diversity, distribution and synthesis of photoprotective compounds and extracellular enzymes. FEMS Microbiol Ecol 76:1-13.

Cheng-Lin J., Li-Hua X. U. (1996). Diversity of Aquatic Actinomycetes in Lakes of the Middle Plateau, Yunnan, China. Applied and Environmental Microbiology. 249–253 Vol. 62, No.1.

Chepurnova E. A. (1977). Intensity of growth and Metabloism of Marine Bacterioplankton. Abstract kand. dis. Sevastopol, 24p.

Cummings B. (2001). an imprint of Addison Wesley Longman, Inc
Daukshta A. S. (1967). The Present Microbiological Researches some Lakes of Latwi.- Infor.biol. Institute of biol. Internal Waters AN USSR. № 1, p; 20 -22.
Dymchishina-Kriventseva T. D. (1964). Bacterioplankton of Small reservoirs of Moldavy.- in bok: Biological Resources of Moldavy. Volume 2 Kishinv: Kartl.Mold., p.68- 81.
Gak D. Z. (1975). Bacterioplankton and it's Role in Biological Productivity of Reservoirs. M. Science. 240 p.
Gak D. Z., Kudrina E. S. (1979). Bacterial Processes. in book: Reservoirs of the Wolrd . M. Science. P; 135 – 145.
Goman G., Verchozina, V., Nechesov, I., Nikitin, V., et al., (1984) , Ecology of Baikal microorganisms (some results and perspectives) microorganisms , in book : Ecological aspects aquatic microbiology, Novosibirsk, Science .
Gorbenko U. S. (1961). For most favuorable quantity of dried nutritious agar in media for cultivating sea microorganisms. Microbiology, P.30. № 1, pp. 168, 172.
Hagler A. (2006). Yeasts as indicators of environmental quality. In: Gabor P, Carlos R (eds) Biodiversity and ecophysiology of yeasts. Springer, Berlin, 515-532.
Häkanson L., Jansson M. (1983). Principles of Lake Sedimentology. Springer Verlag, New York, 316 pp.
Ingold C. T. (1942). Aquatic Hyphomycetes of decaying alder leaves.- Trans. Brit. Mycol. Soc., vol. 25, p.: 339 – 417.
Kojova O. M., Mamontova L. M. (1975). Dynamics of Quantity of bacterioplankton of Bratsk Reservoir. At the Period of it's balance. in book: Matter Cycle and Energy in Reservoirs. Novosibirsk. Science. P; 76 -80.
Kojova O. M., Mamontova L. M. (1980). Methods of bacterioplankton and it's Prognosis in Resrervoirs. in book: Methdical Aspects of Prognosis for Natural appearance of Sibiria Novosibirsk. Science. p. 5 – 13.
Kuznetsov S. I. (1950). Microbiological Studies on lakes, Works of llab. Sapropel, Vol. 4, p.5- 14.
Kuznetsov S. I. (1970). Microflora of lakes and its geochemical activities. Leningrad, Science, 340p.
Lages F., Silva-Graca M., Lucas A. (1999). Active glycerol uptake is a mechanism underlying halotolerance in yeasts: a study of 42 species. Microbiology 145, 2577-2585.
Lokk S. I. (1971). Quantity and Biomass of Bacteria in the Open Space and Brushwood Zones of Lakes Vyrtsya. Abstract kand. dis. Tortu, 24 p.
Mamontova L. M. (1981). Methodical Aspects Study of Bacterioplankton of Rservoirs, in book: Matter Cycle and Energy in Reservoirs, Volume 11 Irkutsk, p; 28 – 30.

Mamontova L., M.; Kojova O. (1984). The Problem of Classification of Reservoirs and some waies for answer in Aquatic Microbiology; in book: Ecological Aspects in Aquatic Microbiology. P: 103 – 122.
Margolina S. A. (1969). Intensity of Processes of bacterial Destruction Organic matter in Reservoirs, Abstract kand.dis. M., 18p.
Meyers SP, Ahearn DG, Cook WL (1970) Mycological studies of lake Champlain. Mycologia 62:504-515.
Mishustina I. B. (1981). Heterotrophic Microorganisms in Association of Open Regions Oceon. Lithoraal and Land. Abstract doc. Dis. 34p.
Muchkina E. Ya. (1982). Bacterioplankton of Krasnoyarsk reservoir and its role in biological productivity, Abstract dis. sci. kand. Irkutsk, 25 p.
Nauman E. (1927). Liel und Hauptprobleme der Reginalen Limnologie.- Bot, Bd2.
Nechesov I. A., Bulgadaeva R. V. (1984). Imperfecti yeasts of reservoirs Pribaikal area zone BAM. P.: 52 – 65. In book : Ecological Aspects aquatic microbiolgy, 1984.
Odum Eugene P. (1971). Fundamentals of Ecology, Third edition, W. B. Saunders Company Philadelphi – London – Toronto, University of Georgia, Athens, Georgia.
Oliver R. L., Ganf G. (2000) Freshwater blooms. In The ecology of cyanobacteria: Their diversity in time and space. B. A. Whitton, & M. Potts (eds). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 149-194.
Parfenova V.V., Terkina I., Suslova M., Pavlova O., Ahn T. (2005). Structure and enzyme activity of microbial community in water and sediments of Lake Baikal. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 06360, 2005.
Reynolds C. S. (1987). Cyanobacterial waterblooms. In: P. Callow [Ed.] Advances in Botanical Research, 13, Academic Press, London, 17-143.
Roberts R. D., Zohary T. (1987). Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. N.Z. J. Mar. Freshwater Res., 21, 391-399.
Rodina A. G. (1951). About the Role of Separate Bacteria Groups in Productivity of Reservoirs. Worka of Probl. And Temat. Conference ZIN USSR, vol. 1, p; 23 – 33.
Romanenko V. I. (1964). Microbiological processes in Deffernt Types of reservoirs. Abstract kand. dis. M., 20p.
Romanenko V. I. (1965. Correlation between oxygen consumption and carbon dioxide in heterotrophic bacteria by growth on peptone. Microbiology , T.34, V.3, pp. 397 – 402.
Romanenko V. I. (1979). Microbiological Index of Waer Quality and it's Definition Methds. Resources of water, № 6, p; 139 – 153.
Romanenko V. I., Kuznetsov S., (1974). Ecology of Microorganisms of Freshwater reservoirs. Lab.Manual Leningrad, science. 194 p.

Ross R. (1983). Endemism and cosmopolitanism in the diatom flora of the East African Great lakes. [Department of botany, UK.] British museum (National history), gromwell Road. London.

Rossolimo, L. L., (1977). Change of limnetic ecosystems under effect of anthropogenic factor. M. Nauka, 144 p.

Samson R. A., Hoekstra E. S., Frisvad J. C., Filtenborg O. (2000). Introduction to Food- and Airborne Fungi. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, p. 389.

Sorokin Yu. I. (1967). Some Results of the Study of Trophy Role of bacteria in Reservoirs.- Hydrobiol. J., vol. 3, T. 5, p; 32 – 43.

Thienemann A. (1925). Die Binnergewässer Mitteleuropas. Eine Limnologische Einführung. Die Binnengewässer. Bd1.

van Uden N., Ahearn D. C. (1963). Occurrence and population densities of yeast species in a fresh-water lake. Ant. van Leeuwen., 29: 308 – 312.

Wacklin P. (2006). Biodiversity and Phylogeny of planktonic Cyanobacteria in Temperate Freshwater Lakes, Department of Applied Chemistry and Microbiology University of Helsinki, Finland, Academic Dissertation in Microbiology, Helsinki 2006.

Walsby A. E., (1994) Gas Vesicles. Microbiol Rev. 58: 94-144.

Zemskaya T. I. (1980). Bacterioplankton and Yeasts of Irkut reservoir in 1980. In book: Ecological Aspects aquatic microbiolgy, 1984. p.: 43 – 52.

Zvyagintseva I. S. (1989). Halobacteria, Microbiology successes № 23, Nauka, Moscow, p: 112- 137.

Damascus University

الفصل السادس

ميكروبيولوجيا الجداول والأنهار



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يحدّد خواص المجتمعات القاعية في الأنهار.
- يستنتج تأثير الرقم الهدروجيني في الأحياء الدقيقة النهرية.
- يقارن بين النظم الجارية والراكدة للمياه العذبة.
- يذكر عدداً من أنواع الأحياء الدقيقة المنتشرة في الأنهار.
- يربط بين الظروف غير الملائمة ووجود الأحياء الدقيقة.
- يصف البيئات المفرطة في الأنهار.
- يقدّر أهمية الأحياء الدقيقة في مياه الأنهار ورسوباتها.

مفاهيم مفتاحية

□ **الظروف غير الملائمة** Adverse Conditions

ظروف تعوق النمو الاعتيادي للأحياء الدقيقة في الموقع البيئي، مثل: تباين كمية الأكسجين المنحل، وشدة الإشعاع الشمسي، ارتفاع درجة الحرارة فوق 45 سيلسيوس أو انخفاضها حتى الصفر، انخفاض أو ارتفاع قيم pH.

□ **الظروف المفرطة** Extreme Conditions

بيئات قاسية لا تتمكن الأشكال العادية للأحياء من البقاء فيها، كالموائل المالحة وموائل الثلج والجليد أو المواقع الملوثة جداً بالمركبات العضوية أو اللاعضوية، ويقتصر وجود أنواع من الأحياء متكيفة لهذه البيئات الفريدة.

□ **الفطريات المائية** Aquatic Fungi

هي الفطريات المائية والبرية الرمية التي توجد في العوالق والرسوبات وعلى النباتات ونثار الأوراق، أو الطفيلية، ولها أهمية كبيرة في البيئة الموافقة.

□ **المنطقة الميتة** Dead Zone

وسط بيئي تنخفض فيه تنقية المياه الملوثة جداً بالمواد العضوية فتموت الأحياء الهوائية، وتظهر عمليات إرجاع وتخمر لاهوائي؛ ما يؤدي إلى فقر بالأكسجين.

□ **نثار الأوراق** leaf litter

يجرى التفكيك الميكروبيولوجي للأوراق والبقايا النباتية مبدئياً بفعل الفطريات والجراثيم في المياه، ومعدل التفكيك أعلى في الجداول مقارنة بالبيئات البرية.

□ **الفَوْصخرية** Epilithon

طبقة من الطحالب والجراثيم واللثأ تغطي الركيزة (سطح الصخر).

□ **نقل المواد** Transportation of Materials

تنتقل المواد المنحلة والعالقة والطمي والرمل والحصى مع تدفق المياه في الأنهار، وكذلك تنتقل المواد بفعل الأحياء ضمن الشبكة الغذائية، وضمن الدورة الجيولوجية الكيميائية.

أولاً. طبيعة توزّع الأحياء الدقيقة في الأنهار
Distribution Status of Microorganisms in Rivers

تتباين النباتات والحيوانات ومجموعات الأحياء الدقيقة في المياه العذبة من الناحية التصنيفية والوظيفية إلى حد كبير، وتختلف أعداد الأحياء الدقيقة وأنواعها باختلاف نوعية المياه حتى في المسطح المائي الواحد، فلئن كانت مياه الهطل قليلة الأحياء الدقيقة، والمياه الجوفية ليست ذات عدد كبير منها، فإن أعداد الأحياء الدقيقة تزداد جداً في المسطحات المائية بسبب وجود نسبة أكبر من الغُذيَّات وملاءمة درجات الحرارة للنمو عموماً، والمياه السطحية أكثر غزارة مقارنة بمياه البحار أيضاً، وتزيد نشاطات الإنسان أعدادها أيضاً، وتعد الأحياء الدقيقة عاملاً مؤثراً جداً في البيئة المائية، ويرتبط نشاط الجراثيم غيرية الاغتذاء مع تحوُّل المادة العضوية.

1. **النظم الجارية** lotic systems

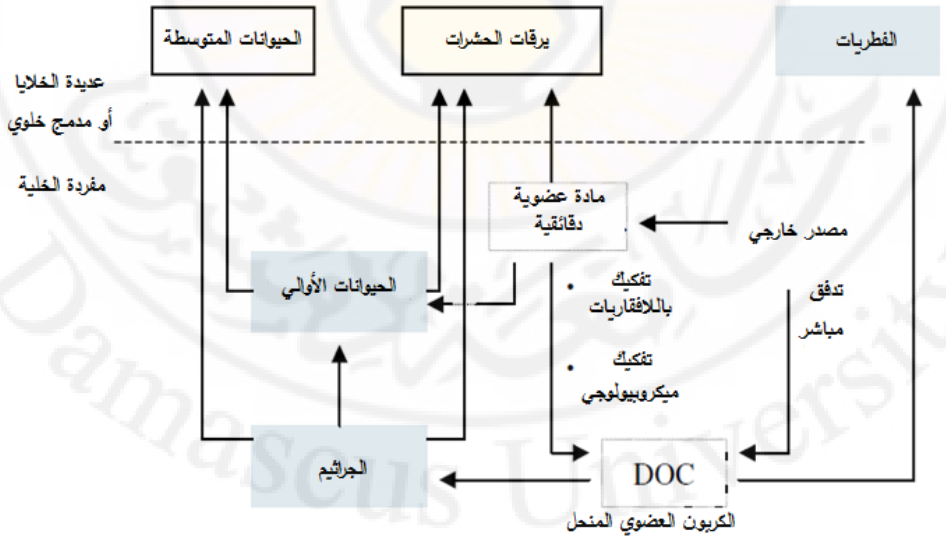
هنالك مجموعات متكيفة من الأحياء للعيش في الأنهار، رغم اختلاف خصائصها من مكان لآخر، ومن وقت لآخر، ومن ضفة لأخرى (الشكل 6-1).



الشكل 6-1 تدفق نهر بردى في قاسيون، تصوير د عدنان.

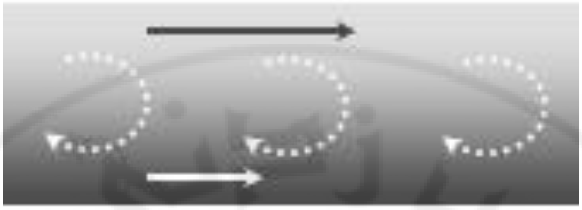
تنتشر الجراثيم القاعية على السطوح، وفي المناطق تحت السطحية من الرَّسُوبات النهرية، ويرتبط وجودها بعدد من العمليات الأساسية في النظام البيئي؛ بما في ذلك تفكيك المادة العضوية، وامتصاص الغُذيّات اللاعضوية، وتأثير هذه الجراثيم كمصدر غذائي للأحياء المستهلكة، وكذلك فإن كميات المادة العضوية تؤثر بوضوح في غزارة الجراثيم القاعية وإنتاجيتها (Findlay *et al.*, 2003)، إلى جانب تيسر الدقائق وتوزعها وفقاً لأحجامها، وكذلك تركيبها الكيميائي، فهذه العوامل تؤثر معاً في تركيب المجتمعات الجرثومية في المكان والزمان، وللتركيب الكيميائي أهمية كبيرة فهناك فرق بين مصادر الكربون سهلة الأكسدة وصعبة الأكسدة في تحفيز تنامي مجتمع الجراثيم وتركيبه (Findlay 2003)، واستهلاك الأكسجين، والإنتاجية، ونشاط الإنزيمات خارج الخلوية (الشكل 6-2).

يتعلق نمو جماعات الجراثيم غيرية الاغتذاء في البيئات القاعية بالإنتاجية؛ أي إتاحية الكربون العضوي، والغُذيات اللاعضوية، والمستقبِلات النهائية، وكذلك بغياب العمليات، مثل: الرعي والإصابة الفيروسية.

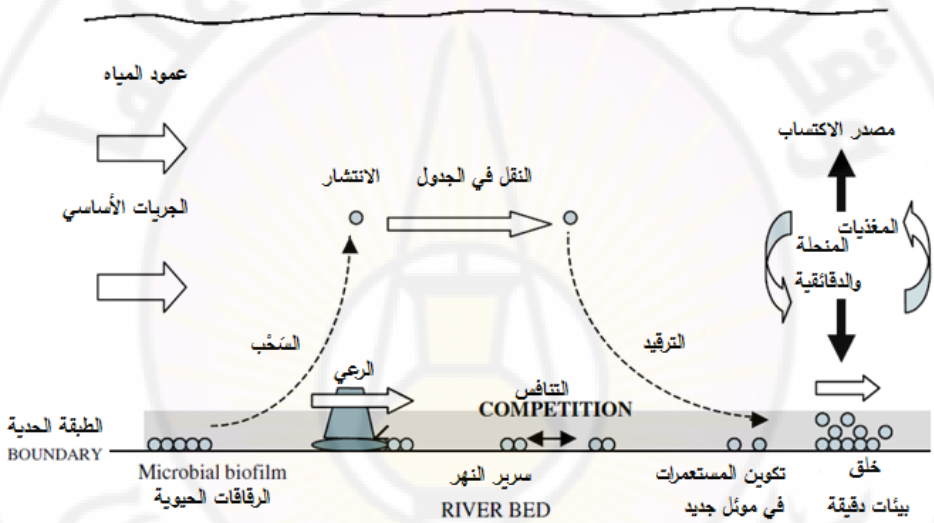


الشكل 6-2 الحلقة الجرثومية القاعية في المياه الجارية، النشاطات الأساسية للأحياء الدقيقة القاعية (الصندوق العاتم) في استرداد الكربون المنحل في الجداول والأنهار، وسياق الحلقة الميكروبية ضمن الشبكة الغذائية.

يبين الشكل 6-3 حركة الجراثيم مع تدفق المياه النهرية على القاع، أما تأثير تدفق مياه الأنهار في الأحياء القاعية فيوضحه الشكل 6-4.



الشكل 6-3 الحركة الدورانية للجراثيم في مجرى النهر.



الشكل 6-4 تأثير جريان النهر في الأحياء القاعية، يظهر أساس الأحياء الدقيقة القاعية في منطقة انخفاض الجريان، الطبقة الحدية (العاتمة) وفيها يظهر معظم التآثرات الميكروبية، ثخانة هذه الطبقة نحو 5 مم، اعتماداً على معدل التدفق الأساسي وخشونة السطح، يأخذ انتشار الأحياء الدقيقة طريقه ضمن التيار الأساسي (⇨) فترعاها اللافقاريات وتحدث عمليات التنافس.

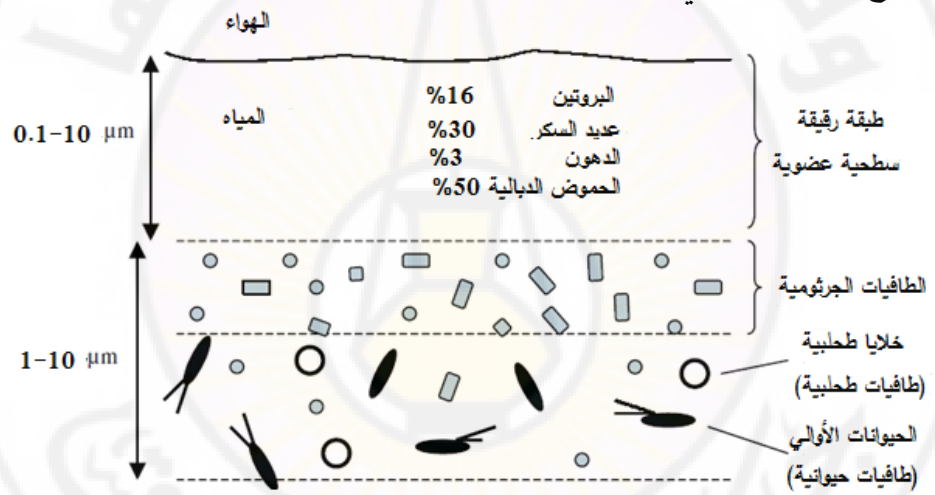
الرقاقات الحيوية biofilms هي في الأساس مجتمع من الطحالب الدقيقة والجراثيم يلتصق على سطح مكشوف، فالخلايا الجرثومية الفردية غير المتحركة ترتبط بقوة مع المادة الأساسية الخارج خلوية، وتصبح التآثرات المباشرة بين الأحياء مهمةً: بين تماس بسيط نسبياً إلى التصاق وثيق يتيح استبدال المعلومات الوراثية؛ فتظهر الرقاقات الحيوية في ارتباط مع مجال واسع من السطوح البينية الفيزيائية في بيئة المياه العذبة بما فيها الآتي:

Δ سطوح الهواء والماء الموجودة في قمة عمود المياه، وفي السطح البيني للجيوب المغمورة من الهواء والفقاعات.

Δ سطوح الماء والكتلة الحيوية الموجودة على سطح الطحالب، والعوالق الحيوانية، والنباتات الراقية البارزة فوق الماء.

Δ سطوح الماء والمركبات اللاعضوية الصلبة، مثل: المواد الدقائقية العالقة، والرسوبات الدقائقية، والصخور الضخمة والأحجار.

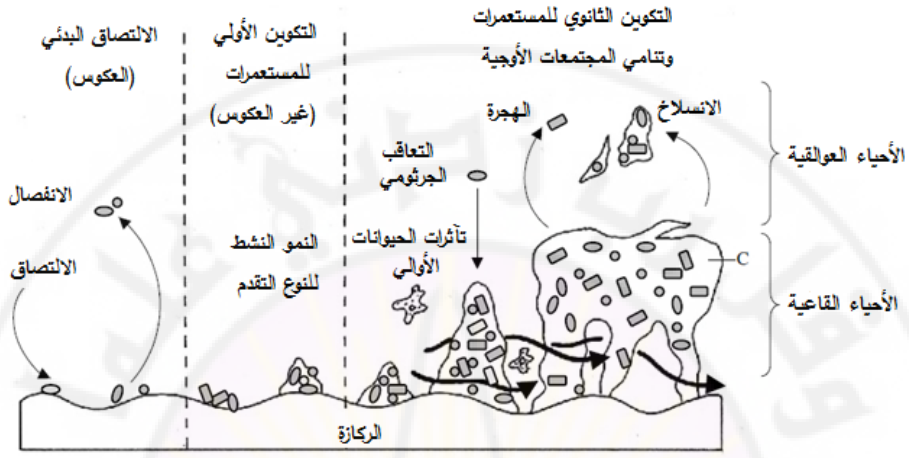
يوضح الشكل 6-5 ارتباط جماعات الأحياء الدقيقة في الرقاقات الحيوية مع سطوح الهواء والماء في قِمَّة عمود المياه.



الشكل 6-5 الجماعات الميكروبيولوجية المرتبطة مع سطوح الهواء والماء بالرقاقات الحيوية، تتباين ثخانة الطافيات الجرثومية من خلية مفردة (طبقة وحيدة) إلى خلايا كثيرة (طبقات عديدة)، الخلايا المفردة طافية - حرة، أو مرتبطة بالجزيئات الكبيرة على حافة الطبقة الرقيقة السطحية.

تستأثر الرقاقات الحيوية في الأنهار بأهمية كبيرة ولاسيما في ارتباطها مع الأحجار والرَّسوبات، فهي تسود بفعل الأحياء القاعية، وقد تكيّفت جيداً مع البيئات المائية الجارية، إذ يتنامى مجتمع غزير من الأحياء الدقيقة على السطح الصلب، ويكون قادراً على مقاومة الانفصال وتحمُّل قوى شديدة تنشأ بفعل جريان المياه، ويمكن توصيف التنامي النموذجي للرقاقة الحيوية بتتابع يظهر على سطوح الصخور المكشوفة في قاع الجدول الجاري بسرعة (الشكل 6-6)، ويبدو التوزع الشاقولي للعوالق النباتية حركياً

جداً في الأنهار، ويرتبط بشدة مع المعالم البيئية وتغيراتها الفصلية واليومية ضمن عمود المياه، ولاسيما سرعة الجريان.



الشكل 6-6 تنامي الرقاقة الحيوية الجرثومية: جريان المياه مع الغُذيات ضمن المجتمع الناضج – الأسهم الثخينة، C مجموعة الخلايا الجرثومية.

2. **النظم الراكدة** lentic systems

يمكن أن تتحول مياه الأنهار في أماكن قليلة وفي أوقات محدودة من العام إلى نظم بيئية راكدة، كما في حال انقطاع منطقة نهرية أو جفاف النهر وبقاء بعض الحفر في المجرى، تتعرّض الأحياء المتكيفة مع المياه الجارية للضرر وتتراجع أعدادها، وفي الوقت نفسه تنشط الأنواع التي تتحمّل ظروف الركود (الشكل 6-7).



الشكل 6-7 ركود مياه نهر الكبير الشمالي في الصيف، قبل المصب على المتوسط، تصوير د عدنان.

يوضح الجدول 6-1 الفروق بين الحلقات الميكروبيولوجية التي تحدث في المياه.

الجدول 6-1 الفروق الأساسية بين الحلقات الميكروبيولوجية للمياه الراكدة والجارية.

الخصائص	المياه الراكدة Lentic	المياه الجارية Lotic
المصدر الأساسي للكربون العضوي المنحل	الأصيل – العوالق النباتية	الدخيل – منطقة مستجمع الأمطار
الموضع الأساسي للجراثيم في عمود المياه	العوالق	القاعيات
استيعاب الجراثيم	كأحياء منتشرة مفردة	غالباً مع حطام أو رقاقات حيوية
الارتباط بين مجموعات القاعيات والعوالق	ضعيف	جيد
عدد الناقلات بين الجراثيم والمستهلك النهائي	عديدة	بضع منها

يبين الجدول 6-2 تأثير العوامل الفيزيائية والحيوية في جماعات الأحياء الدقيقة في الأنهار مقارنة بما هي عليه في بيئات المياه العذبة المختلفة.

الجدول 6-2 العوامل الفيزيائية والحيوية المؤثرة في الجماعات الميكروبيولوجية في بيئات المياه العذبة المختلفة.

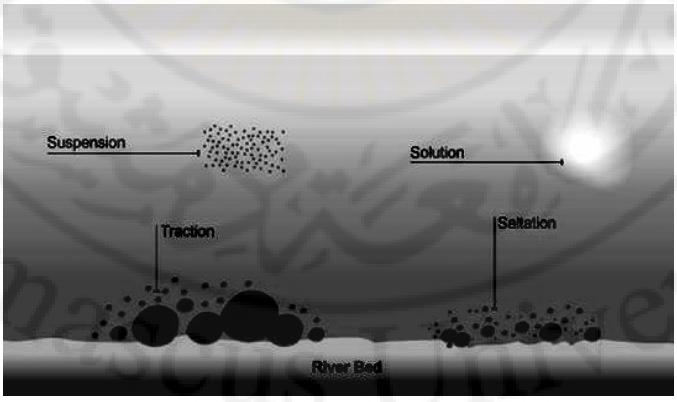
البيئة	المجتمع الميكروبيولوجي	الخصائص الفيزيائية الأساسية	التقييدات الحيوية الأساسية
النهر	القاعيات	تدفق طولي/خيطي اضطراب بسبب الجريان	تنافس مستعمرات رعي الرقاقات الحيوية
البحيرة	العوالق	تطبُّق الاضطراب بسبب الرياح	التنافس الغذائي التطفل بالرعي
الأراضي الرطبة [1] منبسط الفيضان	العوالق التجمع الحيوي فونباتي	تجفيف دوري	تنافس بين الطحالب والنباتات الراقية الكبيرة
[2] الدائمة	القاعيات	فيضان دوري	

3. **نقل المواد** Transportation of Materials

يحمل النهر المواد الصلبة التي تلتقطها المياه من المجرى مباشرة، أو تلك التي تجلبها إليه روافده من منطقة الاغتذاء، وكذلك المواد التي تغسلها مياه الأمطار والتدفقات من جوانب المنحدرات، وتدفع مياه النهر هذه الحمولة، وتظل تنقلها معها نحو المصب ما أمكن ذلك، وإلا تتعرّض للترسيب.

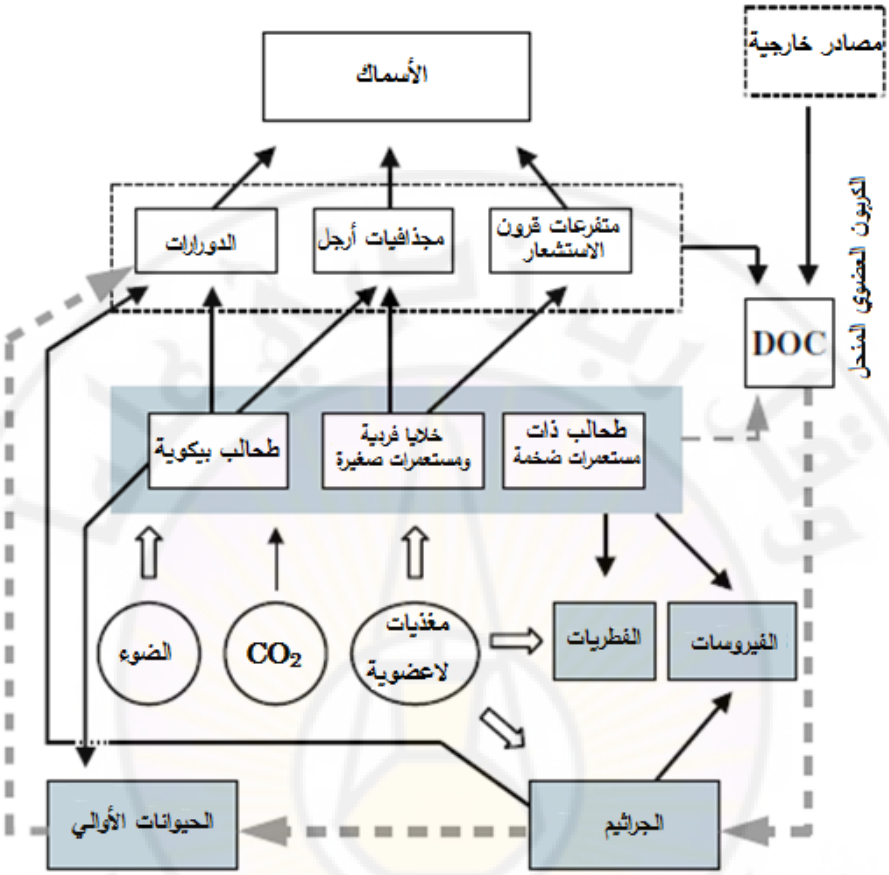
تسحب قوة النهر الكتل الكبيرة من الصخور والأحجار على القاع، أما القطع الصغيرة من الصخور المفتتة التي ينقلها الماء في المجرى فتبقى عالقة فترات ثم ترتطم بالقاع، وتندفع إلى أعلى مرة أخرى وتسير مع التيار مسافة تعود بعدها للارتطام بالقاع (الشكل 6-8)، فعند ارتطامها بإحدى الحصى الصغيرة تزيحها قليلاً أو ترفعها إلى أعلى فتتخذ هذه مساراً مشابهاً لمسار تلك التي تدفعها، وهكذا، ينتقل بعض القطع الصغيرة والحصى في قفزات متتابعة، ويزحف بعضها على القاع.

وتتكوّن المواد العالقة بمياه النهر غالباً من الجزيئات الدقيقة من الطمي والطين والرمل الناعم، وتظل عالقة مسافة طويلة حتى تصل إلى المصب على هيئة عكر ومواد منحلة، كالحموض والمواد الكلسية أو الكلوريدات والنترات والكبريتات والسيليكات وتقدر أجزاؤها بأجزاء في المليون.



الشكل 6-8 عمليات الانحلال والتعلق وتفتيت الحصى وصقلها في مجرى النهر.

وكذلك، تنقل الأحياء المواد ضمن الشبكة الغذائية، وضمن الدورة الجيولوجية الكيميائية (الشكل 6-9).

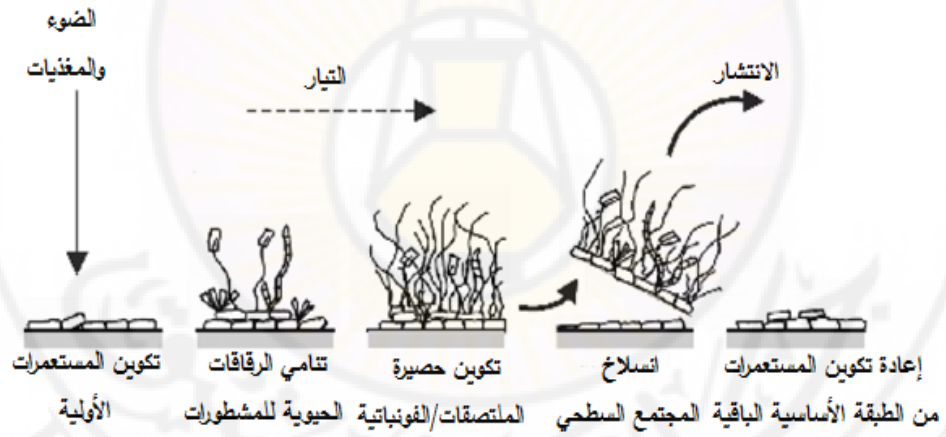


الشكل 6-9 مخطط مبسط (الشبكة الغذائية المعممة).

من أجل التأثرات الغذائية في بيئة المياه العذبة، يُشار إلى الأحياء الدقيقة بالإطارات المظللة، وتدل الإشارة بالسهم المستمر على اتجاه تدفق الكربون، بما فيه تعاقب الاغتذاء الأساسي (⟶) والحلقة الجرثومية (⇢) تدفق الكربون من الحيوانات الأوالي جزء من التسلسل الأساسي (استيعاب الطحالب البيكية)، وإن تسلسل الأحياء (الفردية أو في مجموعات) من قمة اللواحم (الأسماك) إلى المنتِجات الأولية (الطحالب) يعود للتدفق الغذائي، العوالق الحيوانية ثلاث مجموعات أساسية (الدوارات Rotifers والمجذافيات الأرجل Copepoda ومتفرعات القرون Cladocera)، والعوالق النباتية هي الطحالب البيكية والطحالب الدقيقة ذات المستعمرات الصغيرة ومفردة الخلية، والأشكال ذات المستعمرات الضخمة، DOC الكربون العضوي المنحل.

4. المجتمعات القاعية في الأنهار Benthic Community in Rivers

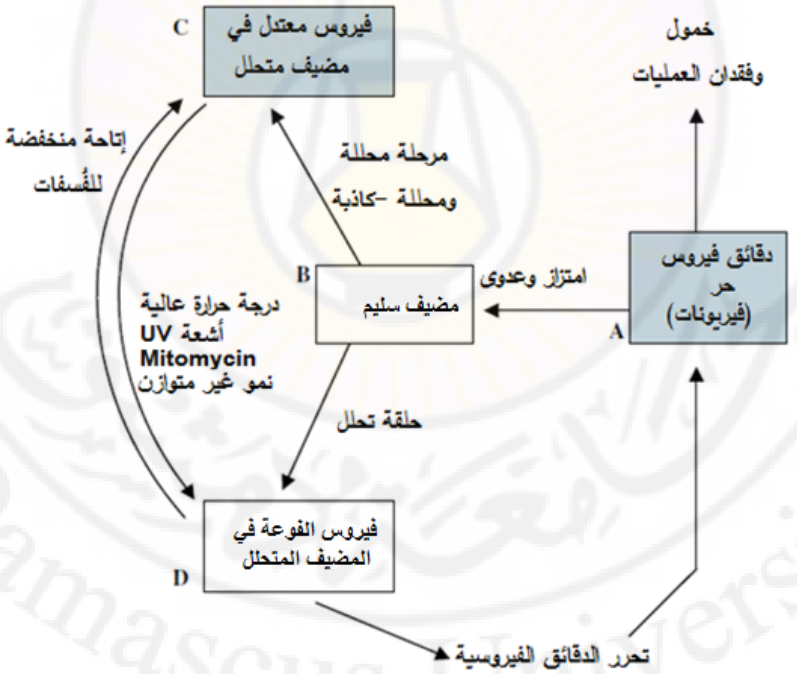
تصبح الطحالب القاعية المكون الطحلبي الأساسي في النظام البيئي الذي يزيح العوالق النباتية بتيار المياه، وكثيراً ما تلتصق تلك الطحالب بالطبقة السفلية، وتتضمن الأشكال الخيطية الضخمة: *Cladophora*, *Spirogyra*, *Chara*, *Vaucheria*، والأشكال المجهرية (المشطورات على نحو مستقل) جزء من تجمّع الطحالب الفَوْنباتية epiphytes، يوجد بعضها على النباتات الراقية وسطوح الطحالب الضخمة، ويرتبط بعضها الآخر مع الركائز اللاعضوية كالصخور وتسمى الطحالب الفَوصخرية epilithic algae، والطحالب الفَورَمْلية epipsammic algae، والأشكال الفَوطمية epipelic forms، وفي كثير من الأحيان تنسج الطحالب الرقاقات الحيوية في قاع النهر وتكوّن الحصائرَ الميكروبيولوجية (الشكل 6-10).



الشكل 6-10 تكديس الطحالب القاعية على قاع النهر وتنامي الحصيرة (Tuchman 1996).

تنتشر الطحالب في نظم المياه العذبة مع حركة المياه أولاً: خلايا مفردة مستقلة، وأجزاء خيوط، ويدخل بعضها الجو مع الضبوبيات aerosols، ويذهب بعيداً في الهواء، ولاسيما الطحالب الخضراء، مثل: *Chlorella, Chlamydomonas, Chlorococcum*، وهناك أنواع من الطحالب الذهبية والجراثيم الزرقاء على نطاق ضيق في العينات الهوائية (Brown *et al.*, 1964).

تتميز الفيروسات بأهمية في النظم البيئية للمياه العذبة ولاسيما لحياة العوالق والقاعيات، فلها تأثير معنوي في نمو الطحالب والإنتاجية الأولية، وفي الجماعات الأساسية من الجراثيم، وتسبب موت الأحياء الدقيقة وتحللها (الشكل 6-11)، وتحرير الكربون العضوي المنحل والنتروجين والفُسفور إلى المياه، ونشوء الغُذيات في الحلقة الميكروبيولوجية، وكذلك، تظهر الفيروسات على هيئة دقائق منفصلة ضمن الوسط المائي، ويجعلها حجمها الصغير ضمن حدود المادة العضوية (المنحلة) عادة أي ذات القطر < 0.2 مم، فهي تساهم مباشرة في الكربون العضوي المنحل كمعقد جزيئات ضخمة تتضمن البروتينات والحمض النووي والمكونات الدهنية، وتتقايض مضيفات الفيروسات المورثات، وتعزّز التدفّق المورثي ضمن جماعات الجراثيم الزرقاء، والطحالب، والجراثيم غيرية الاغتذاء على الترتيب.



الشكل 6-11 الارتباط بين الفيروسات الحرة والداخل خلوية في بيئة المياه العذبة:

حلقة إنتاج فيروسات الفوعة virulent viruses (A-B-D)،

تتبع مسلك مختلف من الفيروسات المعتدلة temperate viruses (A-B-C-D)،

بقاء طويل الأمد للفيروسات تظهر كمرحلة A و C (الصندوق العاتم).

ثانياً. تنوع الأحياء الدقيقة في الأنهار

Diversity of Microorganisms in Rivers

1. أنواع الجراثيم في الينابيع والأنهار

Species of Bacteria in Streams and Rivers

تنتشر مجموعات متباينة من الجراثيم في مياه الأنهار، ومن أكثرها انتشاراً:

Pseudomonas, Chromobacterium , Aquaspirillum , Vibrio, …

ثم في المقام الثاني أجناس الجراثيم:

Micrococcus, Methanobacterium, Hyphomicrobium,Caulobacter, Azotobacter, Azomonas, …

والجراثيم الأرجوانية الجنس *Chromatium* وجراثيم الحديد *Galionella, Siderocapsa*، والجنس *Cytophaga* والجنس *Streptomyces*، وقد تصل من التربة *Aerobacter*، ومع المخلفات المنزلية جراثيم الأشكال المعوية Coliform والمكورات العقدية البرازية *Streptococcus fecalis* وأحياناً الجراثيم الممرضة.

تتميز الشعيات في الرسوبات النهرية بدور مهمّ في التفكيك، وعلى الرغم من وجود *Micromonospora* بكميات كبيرة في التربة عادة فإنه يمكن عزله بسهولة من رسوبات الأنهار (Cross 1981).

تتميز الجراثيم الزرقاء بتركيب نوعي غني بوضوح، ومن الأنواع السائدة في العوالق (Roll 1985):

Microcystis aeruginosa, M. pulverea,
Aphanizomenon flos-aquae,
Anabaena affinis, A. flos-aquae, A. scheremetievi,
Oscillatoria planctonica, O. geminate.

من جماعات الجراثيم الزرقاء الفَونباتية:

Lyngbya kuetzingii,
Calothrix elenkinii

وهناك أنواع متكتلة ملتصقة بالصخور، مثل:

Lyngbya,
Calothrix,
Schizothrix

يؤكد تحري الجراثيم غيرية الاغتذاء في نهر بردى أنها ممثلة بالأشكال عديمة الأبواغ، ويرتبط وجودها بوجود الأشكال اليسرة (سهلة الأكسدة) من المادة العضوية، وتتكون أساساً من المُكيّرات *Micrococci* (علي نظام وسعود 2001). المُكيّرة *Micrococcus* هوائية تعمل على التفكيك والمعالجة الحيوية (Santhini *et al.*, 2009, Rafael *et al.*, 2013). يوجد في نهر بردى أربعة أنواع منها: المُكيرة الصفراء المخضرة *M. luteus* في المقام الأول، وبنسبة ضعيفة النوعان *M. lylae* و*M. flavus*، أما النوع *M. antarcticus* فيوجد بنسبة زهيدة من مجموع العزلات (السليمان وعلي نظام 2015)، يدل وجود النوع *M. flavus* على تلوث النهر بمياه الصرف الصحي والمخلفات الصناعية.

2. أنواع الطحالب في الينابيع والأنهار

Species of Algae in Streams and Rivers

تتميز الطحالب الفَوْنباتية بتوزع فسيفسائي وتقلبات كبيرة في أعدادها، ويتوقف التغيّر الكبير وعدم التجانس في توزعها على عوامل مختلفة، فالمناطق الضحلة تتعرض لتأثير شدة الأمواج والرياح؛ ما يجعلها قليلة أنواع الطحالب الفونباتية، وتتميز بعدد غير كبير، ولهذه البيئات تأثير واضح بسبب تشتيت الطحالب وتكوّن الرغوة، غير أن الجماعات الفونباتية تتميز بتركيب نوعي متجانس وبأعداد غير كبيرة في المناطق الضحلة المعرضة لتأثير المخلفات الصناعية (Rossolimo 1977)، وتسود في الأنهار نماذج مختلفة من الطحالب الفَونباتية من المجموعات الآتية: من الطحالب الخضراء: *Stigeoclonium farctum, Aphanochaete repensii*

ومن المشطورات: *Cocconeis placentula, C. pediculus*

Cymbella, Gomphonema, Synedra, …

تغطي الطحالب جذوعَ الأشجار والأغصان النباتية المغمورة في المياه، مثل: طحالب *Cladophora glomerata*، وخيوط *Spirogyra, Oedogonium*، وكذلك مستعمرات *Gloeotrichia natans* و *Chaetophora incrassate*، وتنتشر على الصخور وعلى الجدران الإسمنتية جدائل النوع *Cladophora glomerata*.

يتميز التركيب النوعي للعوالق النباتية في الأنهار بوفرة كبيرة للأنواع، ولاسيما من الطحالب الخضراء والمشطورات، فمن الأنواع السائدة:

Cyclotella kuetzingiana, C. meneghininiana, Stephanodiscus hantzschii, S. bideranus, Asterionella formosa, Chlamydomonas globosa, Scenedesmus quadricauda, Pediastrum duplex, P. boryanum, Coelastrum microporum, Dictyosphaerium pulchellum, Micractinium pusillum, Ankistrodesmus pseudomirabilis, A. angustus, Tetrastrum staurogeniaeforme, …

في جبل الحرمون، تنتشر أنواع الطحالب في الينابيع الصافية الباردة المتدفقة على الصخور الكلسية وفقاً لغزارتها واستعمالاتها، ووفقاً للوقت من العام، فعلى السفح الشرقي، حيث تكون قيمة الرقم الهدروجيني 8، ويكون تركيب النترات والفُسفات بين 0.9 – 1.7 ملغ/ل والفسفات بين 0.10 – 0.38 ملغ/مل، في ينابيع بيت جن ونبع عيسى ونبع العسكر (إدريس 2011) تبين وجود 35 نوعاً من المشطورات، مثل:

Coconeis placentula, Surirella caproni, Nitzschia recta, Navicula elegans, Gomphonitzchia angustrum, …

وينتشر من الطحالب الخضراء الأنواع: *Chlorella vulgaris, Chlorococcum wimmeri, Closteriuum calosporum, …*

ومن اليوغلينات الأنواع الآتية: *Euglena texta, Hetronema acus, Kolbeana ovoidea, Scytomonas pusillus, …*

يبين الجدول 6-3 مقارنة انتشار الطحالب والجراثيم الزرقاء وارتباطها بمصادر الكربون العضوي.

الجدول 6-3 مقارنة ارتباط الطحالب بالمصادر الأولية للكربون العضوي بين الجداول والبحيرات.

الطحالب – المصادر الأولية المهمة للكربون العضوي		
الجداول	البحيرات	
●	●	المشطورات
●	●	الطحالب الخضراء
●	●	(الجراثيم الزرقاء)
	●	الطحالب ثنائية السياط
	●	الطحالب الذهبية
	●	الطحالب المستخفية

3. أنواع الفطريات في الأنهار

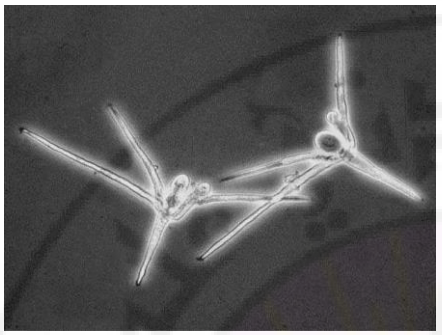
Fungi Species in Rivers

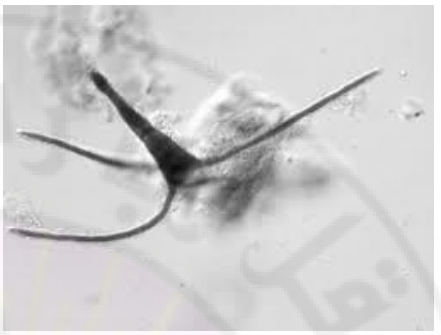
توجد الفطريات في جميع أنماط المياه العذبة بما فيها الأنهار والجداول والقنوات والمستنقعات والبحيرات والبرك المؤقتة والبرك والأراضي الرطبة (Bandh 2013)، والفطريات في هذه الموائل، إما أنواع عابرة، أو أنواع برية تنتشر أبواغها بالماء وتسمى الفطريات البرمائية amphibious fungi، أو هي الأنواع المائية الأصيلة التي تكيفت للحياة المائية، وتتطلّب الفطريات الخيطية المائية والأشكال الخيطية البرية عموماً وجود ركيزة صلبة أو عمود المياه فقط لانتشار الأعضاء البرعمية propagules، حيث توجد الخمائر كامنة في كل مكان بما فيها المناطق المائية، فمثلاً: تنتشر أنواع من *Aspergillus* و *Penicillium* ضمن العزلات الفطرية الشائعة من البيئات البرية والمياه العذبة، بعضها نشيط ومتكيف جزئياً للموائل المائية، وبالعكس، هناك فطريات مائية حقيقية نشيطة في العديد من الموائل البرية (Park 1972).

تحمل المادة النباتية الأساسية الواصلة إلى الجداول فطريات برية، ومع ذلك، تتعرّض الأوراق النباتية للتفكك بسرعة بفعل مجموعة مميزة من الفطريات الخيطية المائية aquatic hyphomycetes، وتشغل نثار الأوراق وتزيل الفطريات البرية، ولكنها ليست الوحيدة، فالفطريات الخيطية المائية–الهوائية aero-aquatic موجودة أيضاً، إذ تنغمس أبواغها في الوحل ولاسيما عند الجفاف (Suberkropp 1992)، ولكنها تنشط في المياه وتكوّن المستعمرات على الأوراق النباتية بسرعة، يستغرق تبوغها 7 أيام، وتتكوّن الكونيدات الكارهة للماء على حوامل هوائية تتحرر وتطفو على سطح الماء. هناك نحو 800 نوع من الفطريات الزقية (Shearer *et al.*, 2007) في المياه العذبة تنتشر في الموائل الجارية والراكدة، كطفيليات وضمن النباتات المائية والطحالب، أو رمَّامة على المادة النباتية الميتة، وتحديدها موضوع إشكالي!.

كان إنغولد (Ingold 1942, 1943, 1975) أول من بحث عن الفطريات الخيطية المائية في المجاري المائية، في المياه وعلى الأوراق النباتية ونثارها (الشكل 6–12)، إذ توجد على الأوراق النباتية أنواع الفطريات الآتية (Valichanov 1984):

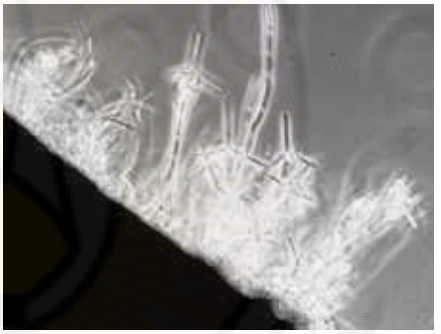
Tetracladium marchalianum, T. setigerum.
Lemonniera terrestris, L. aquatica.
Clavariopsis aquatica, Anguillospora longissima.





الكونيدات رباعية الأشعة للفطريات البرمائية ***Tetracladium marchalianum*** من الجداول.

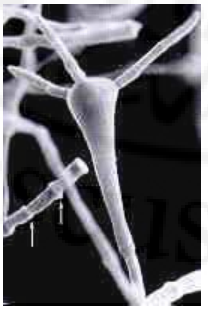




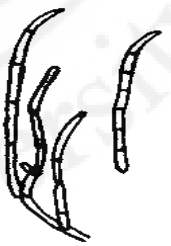
حوامل الكونيدات على سطح الورقة الميتة

الكونيدات رباعية الأشعة للفطريات البرمائية ***Lemonniera terrestris*** من الجداول.









Fontanospora ecentrica | *Clavariopsis aquatica* | *Flagellospora curvula* | *Pseudoanguillospora stricta*

الشكل 6-12الفطريات المائية من مياه الجداول والأنهار.

هناك أنواع من الفطريات تنمو بغزارة على الأوراق الإبرية لنباتات الصنوبريات (Valichanov 1984)، مثل:

Heliscus lugdunensis, Bacillospora, Fusarium.

ولكن كمية حوامل الأبواغ الأخرى على الأوراق الإبرية أقل بكثير منها على الأوراق العريضة حتى في أفضل الشروط، بسبب وجود قُشيرة ثخينة في الصنوبريات ووفرة المواد المثبطة للفطريات المائية (Bärlocher *et al.*, 1992)، والأبواغ الكونيدية للفطريات الخيطية المائية التي تقع في "مصيدة" من فقاعة هواء air-bubble صغيرة جداً، إذ تلتقط المواد الفاعلة سطحياً في الرغوة والغشاء الطافي هذه الأبواغ وتبقى مصدراً جيداً لها (Valichanov 1984).

من أكثر الفطريات الخيطية المائية قدرة على نثر الأبواغ في المياه الجارية لنهر بردى ويبدأ ظهورها مبكراً الأنواع الآتية (بغدادي 1997، II):

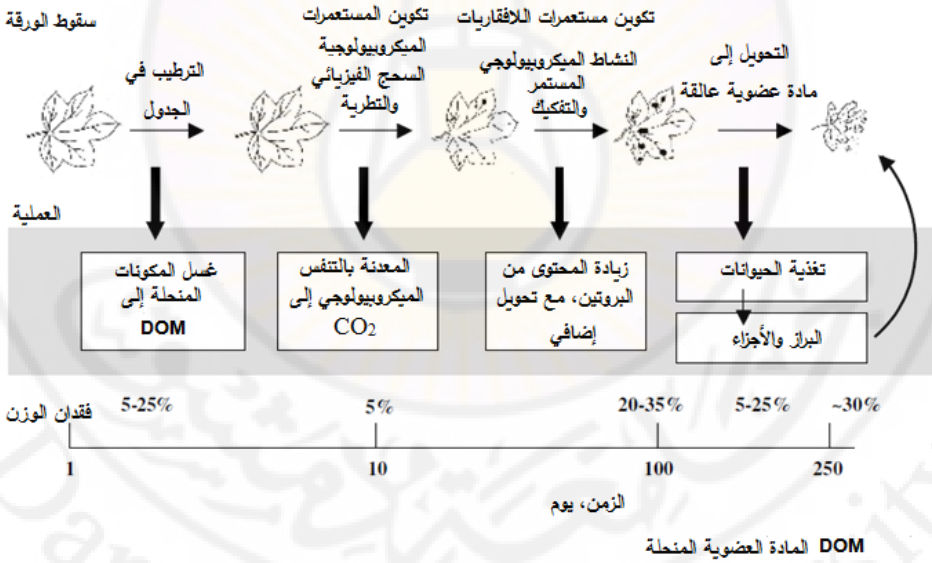
Lunulospora curvula,
Tetracladium marchalianum,
Mycocentrospora acerina

يخضع تكديس نثار الأوراق leaf litter في الجداول والمياه الجارية لدورية فصلية واضحة ويتعرّض للتفكيك أساساً بفعل الفطريات (الشكل 6-13) وإن اختلفت العملية بين النظم البرية والمائية في عدد من النقاط المفتاحية (Suberkropp 1992)، إذ تكون الأوراق الفردية المعرّضة للتفكيك في الأنهار مصدراً متميزاً للوحدات التي تعيد توزع الفطريات باستمرار، أما الأوراق في البيئة البرية فتكون مطبَّقة وتقع في مراحل متباينة من التفكيك، وتعكس الإدخال المؤقت للأوراق في النظام البيئي البري.



الشكل 6-13 تفكك نثار الأوراق في المياه الجارية.

يظهر نثار الأوراق في رُقَع منفصلة في الجداول المائية، وتنتشر المستعمرات أولاً بالكونيدات أكثر منه بنمو الخيوط الفطرية من ورقة إلى أخرى، ويكون معدل تفكيك الأوراق أعلى عادةً في الجداول مما في البيئات البرية، ويعود ذلك لوجود الماء وإتاحية الغُذيات اللاعضوية باستمرار من التيار المتدفق فوق سطح الأوراق، والتجزؤ الآلي بقوة التيار والتغيير في درجة الحرارة الفصلية واليومية في المياه (الشكل 6-14)، وهكذا ينتشر نثار الأوراق في الجداول على نطاق أوسع مقارنة بالموائل البرية، وقد توجد أوراق فردية في أوحال لاهوائية عند انتقالها إلى خارج الجريان أو عندما تستعملها اللافقاريات، وتتميز مستعمرات الفطريات على الأوراق في المياه باستراتيجية للنمو السريع والتكاثر في ظروف سريعة الزوال، وتكوين الأبواغ والانتشار والتجدد خلال 15 يوماً.



الشكل 6-14 تسلسل تفكك وتفسخ أوراق الأشجار النفضية في الجدول المعتدل.

تتميز الفطريات بجهاز إنزيمي قوي يعمل على تفكيك النثار، وهي معروفة أكثر على الأوراق النباتية من الجراثيم، في المراحل الأولى من التفكيك على الأقل، وتكوّن الفطريات الكونيدات ما دام ذلك متاحاً على نثار الأوراق.

تنتشر الفطريات الخيطية المائية على سطوح النباتات المتفسخة كأوراق الأشجار ولاسيما النفضية منها في الجداول والبرك والمسيلات وضفاف الأنهار، كالحور *Populus* والصفصاف *Salix* والشوح *Abies* والأرز *Cedrus* والصنوبر *Pinus* والجوز *Juglans* والدردار *Fraxinus* والبلوط *Quercus* والعذر *Quercus cerris* وغيرها، إذ تتكاثر هذه الفطريات وتكوِّن المستعمرات، كما توجد على الجثث الحيوانية وبقاياها، بعضها طفيلي يهاجم الطحالب والحيوانات الأوالي أو الأسماك.

كان أكثر أنواع الفطريات الخيطية المائية في مياه نهر بردى (في فرعي يزيد وبانياس بمدينة دمشق) على أوراق الدلب *Platanus* والأوكاليبتوس *Eucalyptus* والأقل على أوراق التوت *Morus* والتين *Ficus* (بغدادي 1997، I).

ومع أن الفطريات الخيطية المائية يمكن جمعها وملاحظتها في المياه على مدار السنة إلا أن غزارتها ترتبط بوجود البقايا النباتية، ويتطابق التركيز الأعلى للكونيدات مع ذروة تساقط الأوراق، فمثلاً: يتراوح بين 7 – 8.3 ألف بوغ في اللتر من مياه النهر و 20 – 30 ألف بوغ في اللتر في تشرين الثاني، وتصل أعدادها من بضعة أبواغ حتى 70 ألف بوغ لكل قطعة من أغصان البلوط بعد حضانة يومين لهذه القطع المتروكة فترات زمنية محددة في مياه النهر، وقد بلغت أعداد الأبواغ لكل قطعة نحو 700 ألف بوغ بعد حضانة يومين، فتحافظ قطع الأغصان والأخشاب على جماعات الفطريات المائية فترات طويلة، ويعود ذلك لبطء عمليات تفكيكها مقارنة بتفكيك الأوراق؛ ما يجعلها مصدراً مستمراً لانتشار الفطريات المائية، وكذلك فإن لدرجات الحرارة وسرعة الجريان تأثيراً كبيراً في تكوين الأبواغ وازدياد أعدادها؛ نتيجة لتحسين التهوية وازدياد فرص الاغتذاء عند الفطريات (بغدادي 1997، I).

يرتبط وجود الفطريات الخيطية المائية في المياه الجارية بوفرة الأوراق والبقايا النباتية، وتكون الأعداد أعلى عند ملاءمة درجات الحرارة وهطل الأمطار الذي يزيد الجريان والتهوية والفرص الغذائية، وهو ما يتفق مع ذروة تساقط الأوراق في نهاية الخريف والشهر الأول من الشتاء (بغدادي 1997، II).

ترتبط وفرة أنواع الفطريات بالسطوح الكبيرة للأوراق المنتشرة مقارنة بغيرها من البقايا النباتية ودرجة تفضيلها للأوراق من جهة أخرى، وتسود الأنواع الآتية:

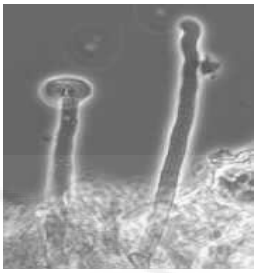
Heliscus lugdunensis
Tetracladium marchalianum
Pseudoanguillospora stricta.

ثم يليها في الدرجة الثانية أنواع الفطريات الآتية:

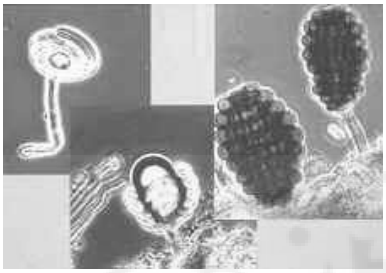
Monotosporella tuberculata, Flagellospora curvula
Pyricularia aquatica, Laridospora appendiculata
Actinospora megalospora, Fontanospora ecentrica
Sympodiocladium frondosum,
Tricelophorus monotosporus
Mycocentrospora acerina.

ويتنامى عديد من الفطريات على جذور الأشجار النامية على حواف الجداول (Suberkropp 1992)، وتكوّن الفطريات الأبواغ الجنسية التي ينقصها أي مظهر من مظاهر الانتشار الممكنة في المياه، وكذلك تضبط اللافقاريات العاشبة حجمَ جماعة الفطريات الإنغولدية، والفطريات تزيد القيمة الغذائية للأوراق بما تمتلكه من غُذيات أساسية غير متاحة في النباتات.

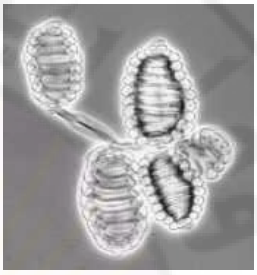
تغزو الفطريات الخيطية الركائز المغمورة في مياه الجداول، كالسوق والأوراق والنباتات العشبية والخشبية، وتفرز الفطريات الزقية المائية الإنزيمات وتعمل على تفكيك الليغنوسليلوز والبكتين والنشاء، وتساهم في تفكيك المواد النباتية الميتة وتفيد كغذاء للافقاريات، وقد تكيّفت الأطوار اللاجنسية غالباً مع الحياة المائية بإنتاج الكونيدات conidia في المياه العذبة (الشكل 6-15)، وتساعدها تزييناتها على الالتصاق بالركائز ضمن المياه المتحركة، ويمتلك بعض الأنواع بنية أنبوبية ضيقة لاصطياد الهواء أو بنية مُسْتَرْطِبة hygroscopic وجوفاء hollow؛ ما يجعلها تطفو على سطح الماء حتى تلتصق بركيزة جديدة، لها أبواغ زقية ذات زوائد لزجة، أو أغماد هلامية دبقة، أو زوائد هلامية قِمّية، أو لها أبواغ على هيئة الحرف C (Shearer *et al.*, 2007).



انبثاق حاملات الكونيدات من المياه

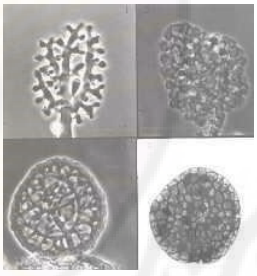


الكونيدات الأنبوبية والتجاويف والثقوب



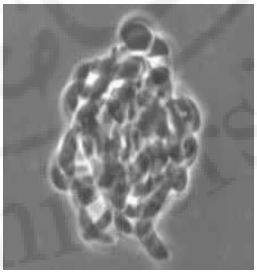


الكونيدات البارزة من الورقة الملقحة، والتجاويف في المصيدة الهوائية (فيها فقاعات) لفطر *Helicoon ellipticum*.





تنامي التجاويف، والأعضاء البرعمية الطافية، والأعضاء البرعمية الناشئة من الورقة الملقحة في فطر *Beverwykella*.



بوغ معقد لفطر *Spirosphaera*



ورقة هيكلية من البركة، الورقة والفطريات تأكلها القواقع وشراغيف ضفدع الأشجار.

الشكل 6-15 الكونيدات وحواملها في الفطريات المائية (Baerlocher & Michaelides 2001).

توجد الخمائر في الأنهار باستمرار، وهي جزء مهم من مجتمعات الأحياء الدقيقة فيها، وتزداد أعدادها في فترة موت النباتات المائية، ويترافق ذلك مع الهطل الأول، وتكون أعدادها أقل في الشتاء (Nechesov *et al*., 1984)، ويرتبط تنوّع الخمائر وغزارتها بطبيعة المياه وشفافيتها (Hagler and Ahearn 1987, Hagler 2006)، ويكون تركيبها النوعي غير كبير في الأنهار، ويتكوَّن من أنواع الأجناس الآتية (Nechesov *et al*., 1984, Zemskaya 1980):

Rhodotorula, Torulopsis, Cryptococcus, Sporobolomyces, Trichosporon, Candida, Aureobasidium, Kloeckera, Rhaffia, Trigonopsis, Exophiala

تسود الكيتريدات ذات الأبواغ المتحركة zoosporic chytrids في الفطريات العوالقية (Ibelings *et al*., 2004, Sigee 2005, Kagami *et al*., 2007)، ولا توجد الفطريات الخيطية في المياه المفتوحة بل تنتشر الخمائر (Hagler 2006)، وتمثل الرَّسُوبات موضعاً لتخزين الأبواغ الهاجعة للأنواع الفطرية المائية والبرية (Scupham *et al*., 2006)، وتتطفل الفطريات على الطحالب والنباتات الراقية والأسماك والبرمائيات واللافقاريات، ويرتبط انتشار الأعفان المعنوي في النظم البيئية المائية مع المواد العضوية المعقدة (Mueller *et al*., 2004, Kiziewicz 2005)، ويتطفل بعض الأنواع على النباتات المائية والبرية، وعلى الحيوانات المائية، فمثلاً: تتطفل أفراد الجنس *Saprolegnia* (الشكل 6-16) والجنس *Achlya* على الأسماك وبيوضها، وقد تتطفل الفطريات الزقية المائية، على سوق النباتات المائية في المياه العذبة (Rossetti 2005, Kiziewicz and Nalepa 2008).



الشكل 6-16 الفطريات الطفيلية *Saprolegnia*.

4. طبيعة توزّع الأحياء الدقيقة في الأنهار

Distribution feature of Microorganisms in Rivers

تسود الطحالب والعوالق النباتية في الجداول ومنابع الأنهار ومجاريها العليا، ولكن الجراثيم هي التي تسود في بقية أجزاء المجاري والمصبات بتأثير العوامل الطبيعية وأنشطة الإنسان، ويكون التأثير الأكبر للمدن والمنشآت الاقتصادية والأعمال الزراعية الواسعة، فما إن تقلّ سرعة تدفّق المياه حتى تسود عمليات ترسيب الطمي الناعم، وتزداد تراكيز المادة العضوية الناتجة عن موت العوالق النباتية والعوالق الحيوانية ووصول المخلفات السائلة؛ ما يساعد على ازدياد الجراثيم ونشاطها، وفي المقام الأول الجراثيم غيرية الاغتذاء، وعموماً، تزداد أعداد العوالق الجرثومية في مياه الأنهار ابتداءً من المنبع إلى المصب في فترات الصيف والشتاء، وتزداد غزارة الجراثيم 4 – 6 مرات عند حدوث الفيضان، بسبب ازدياد العمق وسرعة الجريان وتوسع المجرى وحدوث غسل شديد للترب والضفاف، وتكون النسبة العظمى لأعداد الجراثيم الدخيلة.

ويتباين العدد الإجمالي للجراثيم total number of bacteria بوضوح في مياه الأنهار على طول المجرى من وقت لآخر ومن شاطئ لآخر ومن عمق لآخر، وتتراوح الأعداد عادة بين بضع مئات الألوف حتى بضعة ملايين خلية في كل مليلتر من المياه، ويتعلق ذلك بغزارة المياه والفصل من السنة وسرعة الجريان وغسل الضفاف وطبيعة الترب الشاطئية ودرجة الحرارة وغير ذلك، كما تعود تغيرات أعداد الجراثيم في مياه الأنهار خلال الفصول لتأثير الموقع الجغرافي على سطح الكرة الأرضية.

تتباين أحجام الأشكال الجرثومية ونسبتها في مياه الأنهار من وقت لآخر ومن سنة لأخرى، فمثلاً: بلغت أحجام المكورات في مياه النهر 0.21، 0.40، 0.38، 0.26 ميكرون مكعب، وبلغت أحجام العصيات 0.66، 1.40، 0.77، 0.65 ميكرون مكعب، وكانت نسبة المكورات إلى العصيات (C/B) في سنوات متتالية 4:6، 1:9، 3:7، 2:8 (Drukker & Petrova 1988)، وقد تكون أحجام المكورات والعصيات في مياه النهر أكبر أو أصغر مما هي عليه في الأنهار الأخرى (Gak 1969, 1975).

يكون عدد الجراثيم كبيراً في رَّسُوبات الأنهار التي تتميز بظروف جيدة لتنامي مجموعات متباينة من الأحياء الدقيقة ويعود ذلك لوفرة الغُذيات العضوية واللاعضوية، إذ تتراوح أعداد الجراثيم بين مئات الآلاف ومئات الملايين في المليلتر من رسوبات المناطق العليا التي تتجمع فيها طبقة جرثومية نشطة جداً في المعدنة وتحقيق دورات العناصر، وتكون الأعداد أكبر مما في المياه، وتكون زيادة العدد في منطقة الجريان الضعيف حدية (حتى بضعة ملايين مرة) مقارنة بها في منطقة الجريان السريع للنهر.

يتباين العدد الإجمالي للطحالب بوضوح على طول المجرى في الأنهار من وقت لآخر ومن عمق لآخر، ويتوقف ذلك على الفصل من السنة وسرعة الجريان وغزارة المياه ودرجة الحرارة والضوء والشفافية، ويعدّ العكر عاملاً مهماً في توزع الطحالب في مياه الأنهار، ففي المنابع وأعالي الأنهار تتوافر العناصر الأولية الأساسية، وتكون المياه أكثر نظافة وغنى بالأكسجين، ويخلو القاع النهري نسبياً من الرسوبات، وتسود في هذه المواقع مجموعات طحالب المياه النظيفة – الطحالب الخضراء الكبيرة والطحالب الخضراء والطحالب الصباغية والمشطورات الفَوْنَباتية والملتصقة، أما الأعفان والجراثيم فأعدادها قليلة (ذرب 1992).

تتغيّر أعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء في مياه نهر بردى، فهي وافرة في أواخر الشتاء، وتزداد بوضوح خلال أشهر الربيع (الجدول 6-4)، وقد تضاعفت نحو أربع مرات خلال هذا الفصل، ولكن العدد تراجع تدريجياً مع تقدم أشهر الصيف وانخفض في أواخر آب إلى ثلث ما كان في بداية الصيف (علي نظام وسعود 2001).

الجدول 6-4 التغيرات العشارية بأعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء في نهر بردى (منطقة الربوة) خ/ سم^3.

عدد الجراثيم غيرية الاغتذاء × 10^5

الزمن	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب
الأعشور الأول	0.04	1.59	2.52	2.62	2.95	2.97
الأعشور الثاني	0.80	1.62	3.66	7.43	4.80	2.49
الأعشور الثالث	1.89	1.68	2.16	4.86	3.50	1.65
المتوسط لشهري	0.91	1.63	2.78	4.97	3.75	2.37

يبيّن الفحص المجهري لأشكال الجراثيم الأساسية المنتشرة في مياه نهر بردى سيادة الأشكال المكورة، وتتكون أساساً من المُكيّرات Micrococci (الجدول 6-5)، وتمثل الجراثيم عديمة الصباغ نسبة عالية لا تقل عن النصف إطلاقاً، وقد انخفضت مع ازدياد التباين الشكلي للجراثيم الذي كان على أشده في الفترة الأكثر ملاءمة للنمو الجرثومي (أيار-حزيران) على عكس الشتاء (الجدول 6-6).

الجدول 6-5 تغيرات النسبة المئوية للأشكال الجرثومية في نهر بردى (منطقة الربوة) (علي نظام وسعود 2001).

أشكال الجراثيم	المكورات%		العصويات%		الملويات%
الزمن	الدقيقة والثنائية	العقدية	العصويات القصيرة	الضمات	اللولبيات
آذار	96.8	1.0	1.7	0.5	0.0
نيسان	97.6	0.2	1.7	0.5	0.0
أيار	93.8	0.1	3.6	2.1	0.4
حزيران	95.1	0.4	3.3	0.9	0.3
تموز	95.1	0.5	3.0	1.4	0.0
آب	94.1	0.4	3.9	1.6	0.0
المتوسط	95.42	0.43	2.87	1.17	0.12

الجدول 6-6 النسبة المئوية للجراثيم الصباغية Chromogenic bacteria وعديمة الصباغ Unchromogenic bacteria في مياه نهر بردى (منطقة الربوة) (علي نظام وسعود 2001).

الزمن		آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب
الجراثيم	الصباغية %	0	5	30	47	34	25
	عديمة الصباغ%	100	95	70	53	66	75

تتنوع جماعات الفطريات في مياه الأنهار وفقاً لفصول السنة، وتبلغ أعدادها حد أعظمياً في الشتاء وحداً أدنى في الصيف، ويرتبط ذلك بدرجة الحرارة ووفرة المادة العضوية القابلة للأكسدة والغُذيات الأخرى، وبالمقابل فإن الحرارة المنخفضة ووصول الدقائق من التربة والقطع الصغيرة مع الجريان تكون مسؤولة عن غزارة الفطريات المائية في الشتاء.

وردت معلومات عن الفطريات المائية منذ الستينات (Sparrow 1960) ثم عن الفطريات المائية الراقية (Goh 1997, Shearer *et al.*, 2007)، والفطريات الدنيا (Gleason *et al.*, 2008)، والفطريات الشاطئية (Gulis *et al.*, 2009).

ينتشر بعض أنواع الفطريات الخيطية المائية في بيئة محدودة (Shearer *et al.*, 2007)، وهناك أنواع تظهر في مجال واسع من خطوط العرض، وقد كان العديد من هذه الأنواع ضمن الأنواع الأولى التي وصفت من موائل المياه العذبة، مثل:

Aniptodera chesapeakensis, *Pseudoproboscispora caudae-suis*, *Halosarpheia retorquens*, *Kirschsteiniothelia elaterascus*, *Lutrellia estuarina*, *Massarina ingoldiana*, *Nais inornata*, *Pseudohalonectria lignicola*; *Savoryella lignicola*.

وهناك أنواع ينحصر وجودها في مناطق خطوط العرض 45 ° وما فوق، مثل: معظم الفطريات الطبقية Discomycetes و *Macrospora scirpicola*.

وتوجد أنواع محصورة نحو خطوط العرض 45 ° وما دون، مثل:

Cleistothecial sp. A-99, Boerlagiomyces websteri,
Zopfiella lundqvistii

ويظهر في المدارين فقط الأنواع:

Halosarpheia heteroguttulata, Phaeonectriella lignicola, Aniptodera lignatilis, …

وتظهر أنواع محدودة بنماذج توزع المضيف، مثل:

Massariosphaeria scirpina, Ascovaginospora stellipala, Phaeosphaeria typhae, …

كذلك تظهر أنواع على النباتات الراقية (Webster and Lucas 1961).

وهناك المزيد في القواعد الدولية للمعلومات (the World Database) في هذا الشأن، من أجل التصنيف يمكن العودة إلى الموقع:

http://www.umu.se/myconet/Myconet.html

هناك أكثر من 90 نوعاً من الفطريات الخيطية المائية الهوائية، للمزيد يمكن العودة إلى الموقع:

http://www.botanik.univie.ac.at/mycology

ثالثاً. الظروف غير الملائمة في الأنهار

Adverse Conditions in Rivers

قد توجد طبقة عميقة في مياه الأنهار يقل فيها الضوء أو ينعدم، وفقاً للنباتات النامية ودرجة العكر ووجود نموات الطحالب وازدهارها؛ ما يترك تأثيراً كبيراً في وجود الأحياء الدقيقة في المياه. تتحمّل الفطريات الأرضية غياب الأكسجين، وتسود الفطريات الناقصة فيها أيضاً، وتفيد الرسوبات كمخزن للأبواغ الهاجعة من أنواع الفطريات المائية والبرية، وهناك أنواع تعيش في ظروف لاأكسجينية.

تنمو أليفات البرودة Psychrophiles في الدرجة 0 Cº ودرجة الحرارة الفضلى لها 15 Cº أو أدنى، ويمكن عزلها من الموائل القطبية، مثل: النوع الطحلبي *Chlamydomonas nivalis*، وعدد كبير من أنواع الجراثيم، والبدئيات، مثل: *Methanogenium*، وقد تكيفت إنزيماتها للعمل جيداً في درجات حرارة منخفضة، إذ تبقى الأغشية الخلوية شبه سائلة تحت تأثير البرد، أما أليفة الاعتدال Mesophiles فتنمو في درجة حرارة فضلى نحو 20 – 45 Cº مع مجال للنمو نحو 15 – 45 Cº وضمن هذه المجموعة يقع معظم الأحياء الدقيقة في المياه العذبة.

تنمو أليفات الحر Thermophiles في درجة حرارة تزيد على 55 Cº مع درجة حرارة فضلى لها بين 55 – 65 Cº معظمها بدائية النواة وإن وجدت نماذج من الطحالب والفطريات (الجدول 6-7)، وتمتلك إنزيمات مستقرة بالحرارة وبروتينات تؤدي وظائفها جيداً، وتبقى الأغشية الخلوية سليمة ووظيفية في درجات الحرارة العالية، وتنمو أليفات الحرارة المفرطة Hyperthermophiles في درجة حرارة 90 Cº أو أكثر وعديد منها يتحمل درجة الحرارة 100 Cº والدرجة الفضلى 80 – 113 Cº.

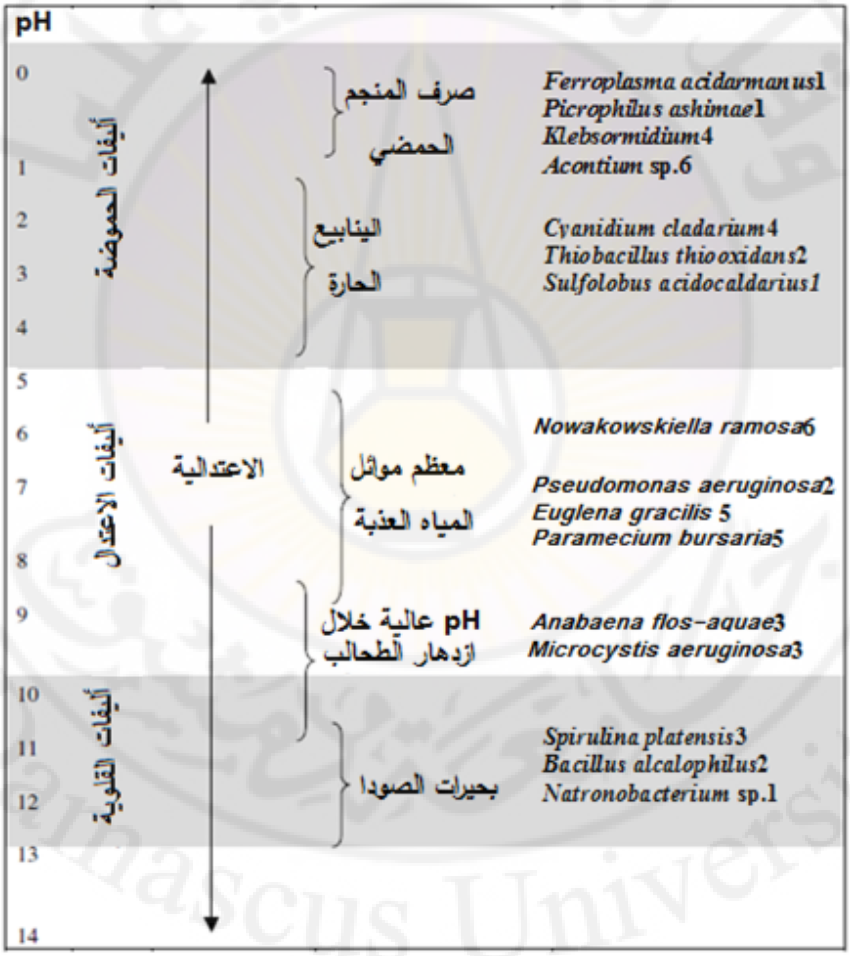
وتنمو أليفات القلوية alkalophiles في رقم هدروجيني فوق 8.5 في البحيرات الصودية والينابيع الحارة، وفي البيئات تحت الأرضية، يمكن أن تبلغ القلوانية حتى pH = 12، وتتضمن هذه الأحياء الجراثيم والبدئيات والجراثيم الزرقاء.

الجدول 6-7 مجال درجات الحرارة لتنامي الأحياء الدقيقة (Prescott *et al.*, 2002).

أليفة البرودة	أليفة الاعتدال	أليفة الحر	أليفة الحراة المفرطة
	درجة الحرارة C^o		
الأحياء الدقيقة	الدنيا	الفضلى	العليا
بدائيات النواة غير الضوئية			
Bacillus psychrophilus	10-	24-23	30-28
Micrococcus cryophilus	4-	10	24
Pseudomonas fluorescens	4	30-25	40
Thermoplasma acidophilum	45	59	62
Thermus aquaticus	40	72-70	79
Sulfolobus acidocaldarius	60	80	85
Pyrodictium occultum	82	105	110
بدائيات النواة ذات التركيب الضوئي			
Rhodospirillum rubrum	غير محدد	35-30	غير محدد
Synechococcus eximius	70	79	84
الطحالب حقيقية النواة			
Chlamydomonas nivalis	36-	0	4
Fragilaria sublinearis	2-	6-5	9-8
Chlorella pyrenoidosa	غير محدد	26-25	29
Skeletonema costatum	6	26-16	28<
Cyanidium caldarium	34-30	50-45	56
الفطريات			
Mucor pusillus	23-21	50-45	58-50
الحيوانات الأوالي			
Amoeba proteus	6-4	22	35
Paramecium caudatum	غير محدد	25	30-28
Tetrahymena pyriformis	7-6	25-20	33

تبدو غالبية الأحياء الدقيقة في المياه العذبة أليفات الاعتدال neutrophiles، تنتشر الجراثيم في الوسط المعتدل وتفضّل الفطريات الوسط الحمضي pH = 4 – 6، أما الطحالب فتبدي تنوعاً واسعاً مع أنواع مختلفة من العوالق النباتية التي تكيّفت مع الوسط الحمضي أو القلوي (الشكل 6-17).

يجعل الازدهار المياه قلوية جداً (pH = 11)؛ ما يسمح باصطفاء أنواع متحملة من الجراثيم الزرقاء فقط.



الشكل 6-17 مجال pH والأحياء الدقيقة في البيئات المائية القارية، يتضمن مجال الأحياء الدقيقة.

البدئيات1 الجراثيم2 الجراثيم الزرقاء3 الطحالب4 الحيوانات الأوالي5 الفطريات6

رابعاً. البيئات المفرطة في الأنهار

Extreme Conditions in Rivers

1. البيئات المالحة Saline Environments

تظهر أليفات الملوحة halophiles المفرطة في الملاحات من 20% من كلور الصوديوم حتى تمام التشبع، منها البدئيات والجراثيم والطحالب، وهي غيريات الاغتذاء الهوائية واللاهوائية، ومُرجعات الكبريتات، والمُميثِنات، وضوئية الاغتذاء، ويعتمد تكيفها على كميات كبيرة من شوارد البوتاسيوم؛ ما يعزّز التوازن الحلولي مع الوسط واستقرار الإنزيمات والريبوزومات والبروتينات الناقلة وصون نشاطها، وقد جعل التكيف لبيئة مفرطة على هذا النحو انتشار هذه الأحياء محدوداً وفقدت مرونتها البيئية.

2. البيئات الجليدية والثجلية Ice and Snow Environments

هناك أحياء تعيش في ظروف شديدة، في درجات حرارة منخفضة على الثلج أو في الثلج، أو في الجليد، يبين الجدول 6-8 أهم الأمثلة التي تعيش في الثلج والجليد.

الجدول 6-8 تنوع الطحالب والجراثيم الزرقاء في موائل الثلج والجليد.

المجموعة	الأنواع	موائل الثلج والجليد النموذجية
الجراثيم الزرقاء	*Phormidium frigidum* *Lyngbya martensiana*	حصيرة هوائية أو لاهوائية تحت الثلج
	Anabaena cylindrica *Nostoc commune*	البرك وسطوح الثلج
الطحالب الخضراء	*Clamydomonas nivalis* *Chloromonas brevispina* *Chloromonas nivalis*	مستجمعات وبرك الثلج المنحل
اليوغلينات	*Notosolenus sp.* *Euglena sp.*	مستجمعات وبرك الثلج المنحل
ثنائية السياط	*Gyrodinium sp.* *Gymnodinium pascheri*	سطوح الثلج الحمراء لازدهار بالطحالب
المستخفيات	*Cryptomonas frigoris*	مستجمعات وبرك الثلج المنحل
الطحالب الذهبية	*Chromulina chionophila* *Ochromonas sp.*	مستجمعات وبرك الثلج المنحل
المشطورات	*Navicula sp.* *Nitzschia sp.* *Pinnularia sp.*	واسعة الانتشار في ظروف هوائية في مستجمعات القطب، ولاسيما في الحصائر.

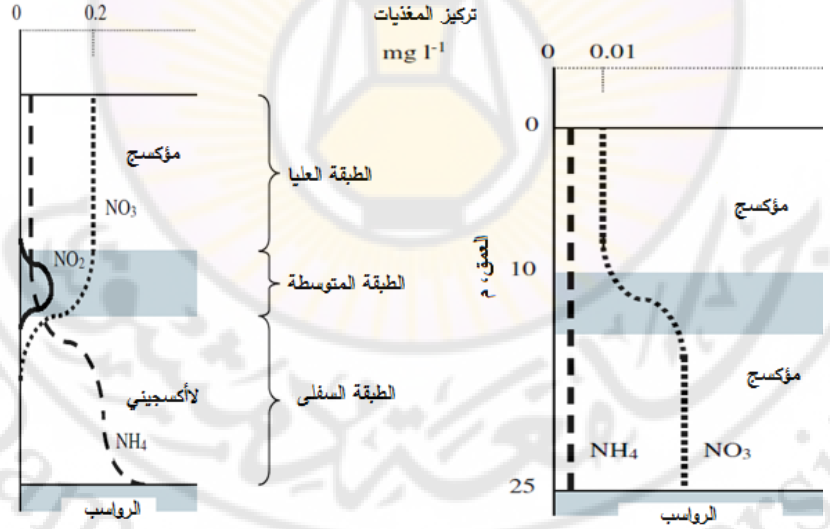
3. **التلوث العضوي واللاعضوي** Organic and Inorganic Pollution

قد يكون النتروجين في المياه منحلاً أو غير منحل، كالآتي:

الشكل المنحل: العضوي: نتروجين عضوي منحل، أصيل: بولة، وبروتين، وحموض نووية، ودخيل: حموض دبالية وفولفية fulvic، الشكل اللاعضوي: نتروجين لاعضوي منحل، شوارد: نترات ونتريت، وشوارد موجبة: أمونيا، غاز N_2 منحل.

الشكل غير المنحل: العضوي: كتلة حيوية معقدة – تجمُّع حي ومواد ميتة، الشكل اللاعضوي: مواد دقائقية ضخمة ناجمة عن الصخور والرسوبات.

يتباين توزع النترات والنتريت والأمونيا في عمود المياه المطبَّقة في منتصف الصيف (Horne and Goldman 1994)، لا يتكوّن النتريت غالباً في المياه قليلة الاغتذاء (الشكل 6–18)، وترتبط مستويات النترات المنخفضة مع محدودية الفُسفات في المياه قليلة الاغتذاء، وقد تكون الفُسفات محدودة أحياناً مع قيم نترات عالية.



جيدة الاغتذاء **قليلة الاغتذاء**

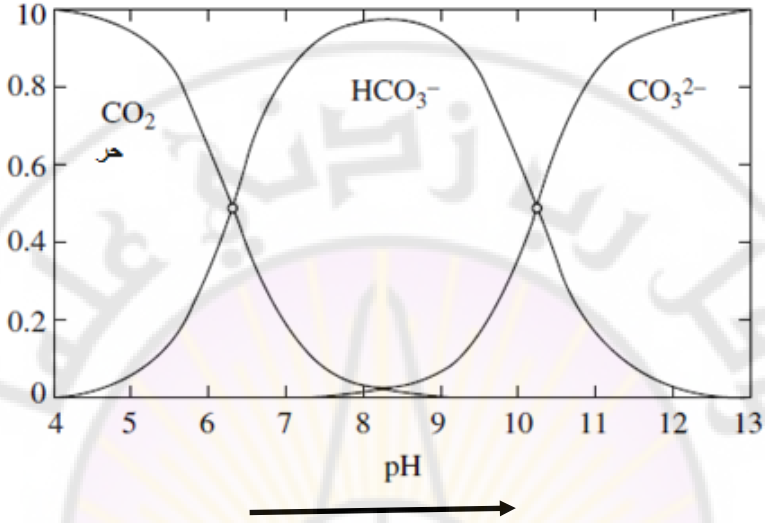
الشكل 6–18 تركيز الغُذيات في المياه المطبَّقة في الصيف في وسطين مختلفين بدرجة الاغتذاء.

لاحظ تكوّن النتريت في المياه جيدة الاغتذاء، وغياب النتريت في المياه قليلة الاغتذاء،

لاحظ تأثير العمق، واختلاف تكون النترات مع حدود التهوية.

لاحظ التركيز الكبير للأمونيا في الطبقة السفلى في المياه جيدة الاغتذاء ومحدودية الانتشار في المياه قليلة الاغتذاء.

ويتميز الرقم الهدروجيني pH بتأثير مهم في توزع أنواع الكربون اللاعضوي (Shapiro 1990 الشكل 6-19).



إزالة بعملية التركيب الضوئي

الشكل 6-19 تأثير الرقم الهدروجيني في توزع أنواع الكربون اللاعضوي.

واستناداً إلى تراكيز الفُسفات والنترات والأكسجين المنحل وBOD ووجود الأمونيا، تقسم المياه في النظم المائية النهرية إلى ست فئات (الجدول 6-9).

الجدول 6-9 تصنيف الإثراء الغذائي في النظم النهرية

(UK Environment Agency Publication 1998).

فئات الاغتذاء						
	منخفض جداً (1)	**منخفض (2)**	**معتدل (3)**	**عال (4)**	**عال جداً (5)**	**عال بإفراط (6)**
الفُسفات ($\mu g\ l^{-1}$)	20>	60-20	100-60	200-100	1000-200	1000<
النترات (mg l-1)	5>	10-5	20-10	30-20	40-30	40<
O_2 المنحل(% إشباع)	80	70	60	50	20	20>
BOD (mg l-1)*	2.5	4	6	8	15	غير محدد
الأمونيا	0.25	0.6	1.3	2.5	9	غير محدد

يبين الجدول 6-10 انتقال المشطورات مع ازدياد درجة التلوث بالغُذيات في مياه النهر على طول المجرى، ويمكن تقسيمه عندئذ إلى خمس مناطق.

الجدول 6-10 انتقال المشطورات على طول مجرى النهر مع ازدياد التلوث بالغذيات، وفق المناطق النهرية (Round 1993).

المنطقة	المعايير الفيزيائية ونوعية المياه	أنواع المشطورات السائدة	المجالات العامة للرقاقات الحيوية
المنطقة1			
مياه نظيفة في المواقع العليا	تدفق عال للمياه 4.1 – 3.6 pH مياه صافية، مهواة جيداً	*Eunotia exigua* *Achnanthes microcephala* أنواع صغيرة الخلايا ملتصقة بسطوح الصخور	تنامي ضعيف للمجتمع الهلامي المرتبط
المنطقة2			
أغنى بالغذيات، pH أعلى	7.1- 5.6 pH مياه نظيفة، مهواة جيداً	*Hannaea aecus* *Fragilaria capucina* *Achnanthes minutissima*	تنامي الرقاقة الحيوية الهلامية مع مجتمع معقد
المنطقة3			
غنية بالغذيات	7.3 – 6.5 pH	*Achnanthes minutissima* *Cymbella minuta* *Amphora pedunculus* *Cocconeis placentula*	مجال واسع من أنواع المشطورات مجتمع معقد، مركب جيداً
المنطقة4			
جيدة الاغتذاء مع مجموع محدود من المشطورات	تلوث عضوي معتدل انحدار في نوعية المياه- مستويات عالية للنتروجين	*Amphonema parvulum*	انحدار نوعية المياه مما يدل على فقدان معقد *Cymbella* *Amphora* *Cocconeis*
المنطقة5			
مجموعة مشطورات محدودة جداً بتدفق الملوث العضوي	جودة غذائية عالية، مياه ملوثة عضوياً نوعية مياه منخفضة جداً	*Navicula atomus* *Nitzschia palea* مشطورات صغيرة الخلية	مجتمع مشطورات محدود

4. **المنطقة الميتة** Dead Zone

يمثّل الطلب الحيوي على الأكسجين biochemical oxygen demand BOD تركيز المادة العضوية على نحو غير مباشر، وتدل قيمه العالية على التلوث الشديد، ففي أغلب الحالات، لا تؤدي إضافة كميات من المواد العضوية إلى زيادة الإنتاجية والقدرة التأكسدية؛ لأن قدرة الجداول والأنهار على معالجة مثل هذه المواد محدودة، كما هي الحال في المناطق المدنية والزراعية المجاورة للأنهار، إذ تصلها كميات كبيرة من المخلفات والملوثات تعجز المياه عن تنقيتها بسبب الاستنزاف السريع للأكسجين المنحل في المياه (Klien 1996).

يؤدي التلوث المفرط للمياه بالمواد العضوية إلى تراجع واضح في أعداد الجراثيم وظهور عمليات إرجاع للكبريتات والنترات، وبدء عمليات التخمر اللاهوائي وانتشار روائح كريهة؛ ما يؤدي إلى بقاء المياه في حالة من تحت الإشباع الدائم بالأكسجين، ويؤكد الموت الأحيائي للبيئة المائية.

تباينت قيم BOD في مياه نهر بردى بشدة وكانت عالية جداً عموماً، ولاسيما في مياه الغوطة، إذ تراوحت بين 1.2 – 110 بمتوسط قدره 38 ملغ/ل في الربيع وبين 3.6 – 331.6 بمتوسط قدره 82.5 ملغ/ل في الصيف، وبين 18 – 431 بمتوسط قدره نحو 151 ملغ/ل في الخريف (الحدود المسموح بها 4 – 8 ملغ/ل)؛ ولذلك تعد وفقاً للمعايير العالمية سيئة جداً، وهكذا تتعرض مياه النهر للموت، وقد تحسن ضع قليلاً بعد رفع مياه الصرف المنزلي عن النهر في مدينة دمشق وريفها الواقع على مجرى النهر (الجدول 6-11).

الجدول 6-11 تأثير الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين في الجراثيم غيرية الاغتذاء بنهر بردى (علي نظام وسعود 2001).

العامل	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب
درجة حرارة الماء	16.0	15.5	20.0	22.5	24.5	28.5
قيم BOD mg/l	10	25	50	30	45	130
عدد الجراثيم $10x^5$ خ/$سم^3$	0.91	1.63	2.78	4.97	3.75	2.37

الجراثيم المرجعة للكبريتات لاهوائية تتميز بدور مهم في عديد من العمليات الحيوية الكيميائية كالمعدنة ودورة الكبريت في المياه العذبة والتربة (Sitte *et al.*, 2010)، والمطثيات المرجعة للكبريتيت كالنوع *Clostridium perfringens* تفيد في تقييم التلوث البرازي في الرسوبات (Marcheggiani *et al.*, 2004, Mancini *et al.*, 2008, 2010)، ويمكن استعمالها كدالة بديلة للتلوث البرازي في النظم البيئية المائية بسبب تكيفها مع الموائل المختلفة كالتربة والرسوبات، ووجود *C. perfringens* قد يرتبط بوجود الحيوانات الأوالي الطفيلية والفيروسات المعوية في المياه، مثل: *Cryptosporidium, Aeromonas, Giardia*، إضافة إلى أن أبواغه مقاومة للتطهير إلى حد كبير، تدل أعداد الأحياء الدقيقة في البيئة المائية العذبة على شدة العمليات الحيوية الجارية فيها (Kuznetsov 1970)، وتتعلق الأعداد بالجريان الذي يقلل التطبق الحراري، وترتبط غالبية الكتلة الحيوية للجراثيم بالسطح (Klein 1996).

توجد فطريات النوع *Leptomitus lacteus* في المياه غزيرة المادة العضوية، وتنتشر في المياه الملوثة بالمخلفات السائلة العضوية المنزلية والصناعية، ويمكن أن تسبب مشكلات آلية في القنوات، إضافة إلى أنها تستنزف مخزون الأكسجين المتاح، وتتباين أعداد الخمائر في الرسوبات بالمنطقة السهلية للأنهار، ويقتصر وجودها أساساً على الأفق العلوي من الرسوبات القاعية (حتى 10 سم)، وكثيراً ما توجد في الرسوبات بمعدل 10 – 50 خ/غ (Ingold 1942).

يمكن استعمال بعض أنواع الخمائر كدالات على وفرة الغُذيات في البيئات المائية (Brandao *et al.*, 2010)، وترتبط الأنواع الشائعة للخمائر في المياه العذبة مع أنشطة الإنسان (Nagahama 2006)، وبعضها ممرض انتهازياً، مثل:

Candida: C. albicams, C. parapsilosis, C. krusei, C. guilliermondii, C. glabrata, C. tropicalis, …

كثيراً ما تتكوّن المنطقة الميتة Dead Zone في النهر عند المصبات، وتتميز بخلوها من الأحياء بسبب التلوث، بسبب نضوب الأكسجين.

أسئلة للمناقشة



- أوضح أهمية الأكسجين المنحل في توزع الأحياء الدقيقة في الأنهار.
- ما أهمية وجود الأحياء الدقيقة في الثلج؟.
- تتميز الطحالب الفَوْنباتية في الأنهار بالآتي: ...
- لماذا تحدث المنطقة الميتة في النهر؟.
- قارن بين توزع الجراثيم غيرية الاغتذاء والفطريات في الأنهار.
- اذكر ثلاثة أمثلة عن أنواع الأحياء الدقيقة المنتشرة في الأنهار.
- ارسم مخططاً مبسطاً لتوضيح مراحل تفكيك نثار الأوراق في الجداول.

Damascus University

المراجع References

إدريس، لؤي (2011). تقييم نوعيّة المياه في جداول السّفوح الشّرقيّة لجبل الشّيخ باستعمال الدّالات الميكروبيولوجيّة، رسالة ماجستير أعدت في كلية العلوم بإشراف د عدنان علي نظام.

بغدادي، وفاء، (1997، I) التوزيع التصنيفي والبيئي للمجتمعات الفطرية الخيطية المائية في مياه نهرين من حوض بردى: بانياس ويزيد 1. استيطان الأوراق. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد 13- العدد الأول – 1997. ص 13 – 36.

بغدادي، وفاء، (1997، II) التوزيع التصنيفي والبيئي للمجتمعات الفطرية الخيطية المائية في مياه من حوض بردى: نهر بانياس II. الانتشار في المياه. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد 13- العدد الثاني – 1997. ص 13 – 32.

ذرب، حمودي حيدر، (1992). الطحالب وتلوث المياه، الطبعة الأولى، منشورات جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.

السليمان، أمل – علي نظام، عدنان (2015). التنوع الحيوي لجراثيم جنس المُكَيَّرة *Micrococcus* المعزولة من نهر بردى، مجلة جامعة دمشق.

علي نظام، عدنان – سعود، ريم (2001). مساهمة في دراسة الجراثيم غيرية التغذي في نهر بردى (منطقة الربوة). مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الأساسية، العدد 35، 69-80.

Baerlocher F., Michaelides J., Mycologue, Publications 2001.

Bandh S. A., (2013). Study of fungal diversity of Dal Lake, Kashmir with particular reference to pathogenic species. PhD. thesis, NAAC Accredited Grade, Srinagar-190006, J&K.

Bärlocher F. (1992). Research on aquatic Hyphomycetes: historical background and overview. In: Bärlocher, F. (ed.). The ecology of aquatic Hyphomycetes. Springer Verlag, Berlin, p.1-15.

Bergey's manual of Systematic Bacteriology 2ed. ed. The Actinobacteria, Part A . Michael Goodfellow, Peter Kämpfer, Hans-Jürgen Busse, Martha E. Trujillo, Ken-ichiro Suzuki, Wolfgang Ludwig and William B. Whitman. Editors, Vol. 5, 2012, 1984–1989 Bergey's Manual Trust.

Brandao L. R., Medeiros A. O., Durte M. C., Babosa A. C., Rosa C. A. (2010). Diversity and antifungal susceptibility of yeasts isolated by multiple-tube fermentation from three freshwater lakes in Brazil. J. Water Health. 8 (2), 279-289.

Brown R. M. et al. (1964). Airborne algae: their abundance and heterogeneity. Science 143: 583–585.

Chittpurna S. P., Verma D., Pinnaka A., Mayilraj S., Korpole S. (2011). *Micrococcus lactis* sp. nov., isolated from dairy industry waste. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 61, 2832–2836.

Cross, T. 1981. Aquatic actinomycetes: a critical survey of the occurrence, growth and role of actinomycetes in aquatic habitats. J. Appl. Bacteriol. 50: 397–423.

Czeczuga B., Mazalska, B., Godlewska, A. and Muszynska, E. 2005. Aquatic fungi growing on dead fragments of submerged plants. Limnolog., 35: 283 – 297.

Drukker V. V., Petrova V. I. (1988). Bacterioplankton of Enisei river USR, Novosibirsk, Science.

Findlay S. *et al.*, (2003). Metabolic and structural response of hypopheic microbial communities to variations in supply of dissolved organic matter. Limnology and Oceanography 48: 1608–1617.

Gak D. Z., (1969). The change of Bacterioplankton river under regulation of flow (for example Dnepr) // Limnological research Dunai : Kiev, Nauka dunka. – p.: 68 – 76.

Gak D. Z., (1975). Bacterioplankton and it's Role in Biological Productivity of flats.- M. Nauka.

Gleason F.H., Kagami M., Lefevre E., Sime-Ngando T. (2008). The ecology of chytrids in aquatic ecosystems: roles in food web dynamics. Fung. Biol. Rev., 22: 17–25.

Glen E., Peter B., Ipek K. (2008). The Occurrence of Bioactive Micromonosporae in Aquatic Habitats of the Sunshine Coast in Australia. Mar Drugs. 2008 March; 6(2): 243–261. Published online 2008 June 5. doi: 10.3390/md20080012.

Goh T. K. (1997). Tropical Freshwater Hyphomycetes. In: Hyde K. D. (ed). Biodiversity of Tropical Microfungi. Hong Kong University Press, p.189-227.

Gulis V., Kuehn K. A., Suberkropp K. (2009) Fungi. In: Likens EG (ed) Encyclopedia of inland waters. Academic Press, Oxford, p 233–243

Hagler A. (2006). Yeasts as indicators of environmental quality. In: Gabor P, Carlos R (eds) Biodiversity and ecophysiology of yeasts. Springer, Berlin, 515-532.

Hagler A. N., Ahearn, D. G., (1987). Ecology of aquatic yeasts. In: Rose, A. H., Harison, J. S., (2ed). The yeasts: Biology of yeasts, London: Academic Press. p.181-205.

Horne A., Goldman C. R. (1994). Limnology. McGraw-Hill, New York, USA.

http://www.botanik.univie.ac.at/mycology

http://www.unitedstreaming.org

Hullar, M. A. J., L. A. Kaplan, and D. A. Stahl. 2006. Recurring seasonal dynamics of microbial communities in stream habitats. Appl. Environ. Microb. 72: 713–722.

Ibelings B.W., Bruin A.D., Kagami M., Rijkeboer M., Brehm M., Donk E.V. (2004). Host parasite interactions between freshwater phytoplankton and chytrid fungi (Chytridiomycota). J. Phycol., 40: 437 – 453.
Ingold C. T., (1942). Aquatic Hyphomycetes of decaying alder leaves.- Trans. Brit. Mycol. Soc., vol. 25, p.: 339 – 417.
Ingold C. T., (1943). On the Distribution of Aquatic Hyphomycetes saprophytic on submerged decaying leaves.- New thyotologist, vol. 43, p.: 139 – 143.
Ingold C.T. (1975). An Illustrated Guide to Aquatic and Water-borne Hyphomycetes (Fungi Imperfecti) with notes on their Biology. Freshwater Biological Association, Ambleside, 1975. 96p
Inkina, G. A., (1981). Compirative characteristic bacterioplankton of Rivers. //Water resoueces. – M.: Nauka. P.: 168- 172.
Kagami M., de Bruin A., Ibelings B., van Donk E. (2007). Parasitic chytrids: their effects on phytoplankton communities and food-web dynamics. Hydrobiol., 578: 113 – 129.
Kiziewicz B. (2005). Aquatic fungi growing on seeds of plants in various types of water bodies of Podlasie Province. Pol. J. Environ. Stud., 14(1): 49 – 55.
Kiziewicz B., Nalepa T. F. (2008). Some fungi and water molds in waters of Lake Michigan with emphasis on those associated with the benthic amphipod Diporeia spp. J. Gr. Lakes Res., 34: 774 – 780.
Klein H. (1996). Microbiology, third edition, Prescott. WCB WM.C. Brown publisher.
Kuznetsov S. I.(1970).Microflora of lakes and its geochemical activities. Leningrad, Science, 340p
Loudon J. (1972). Value of Fungi as Indicators of Pollution (Conference notes), Int. Environmental Studies , 3: 69 – 72.
Luo J., Yin J., Cai L., Zhang K., Hyde K. (2004). Freshwater fungi in Lake Dianchi, a heavily polluted lake in Yunnan, China. Fung. Divers., 16: 93 – 112.
Mancini L.; Marcheggiani, S.; Puccinelli, C., Iaconelli, M.; et al., (2010). "A molecular approach for the impact assessment of fecal pollution in river ecosystems." Toxicological and Environmental Chemistry, 92(3):581-591.
Mancini L.; Rosemann, S.; Puccinelli, C. ; Ciadamidaro, S. ; Marcheggiani, S. & Aulicino, F. A., (2008). Microbiological indicators and sediment management. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità; 44(3):268-72.
Marcheggiani S.; Iaconelli, M.; D'Angelo, A. & Mancini, L. (2004). Health of river ecosystems: sulphite reducing clostridia as indicators of the state of sediments. Edited by ISS, 38 p. Rapporti ISTISAN 04/37.
Metz, K., Hanselmann, K. and Preisig, H.R. 1998 Environmental conditions in high mountain lakes containing toxic benthic cyanobacteria. Hydrobiologia.
Mueller G. M., Bills G., Foster M. (2004). Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods. Elsevier Academic Press, Burlington, UK.

Nagahama T. (2006). Yeasts biodiversity in freshwater, marine and deep-sea environmets. In: Rosa C. A., Gabor P. (eds.), Biodiversity and ecophysiology of yeasts. Berlin: Springer, p. 241-262.
Nechesov I. A., Bulgadaeva R. V., (1984). Imperfecti yeasts of reservoirs Pribaikal area zone BAM. P.: 52 – 65. In book : Ecological Aspects aquatic microbiolgy, 1984.
Nechwatal J., Wielgoss A., Mendgen K. (2008). Diversity, host and habitat specificity of oomycete communities in declining reed stands (Phragmites australis) of a large freshwater lake. Mycol. Res., 112: 689 – 696.
Nechwatal J., Wielgoss A., Mendgen K. (2008). Diversity, host and habitat specificity of oomycete communities in declining reed stands (Phragmites australis) of a large freshwater lake. Mycol. Res., 112: 689 – 696.
Orlowska M., Lengiewicz I., Suszycka M. (2004). Hyphomycetes developing on water plants and bulrushes in fish ponds. Pol. J. Environ. Stud., 13: 703 – 707.
Park D. (1972). On the ecology of heterotrophic microorganisms in freshwater. Trans. Br. Mycol. Soc., 58: 291 – 299.
Prescott, L., et al., (2002). Microbiology. McGraw Hill, Boston, USA.
Rafael Dib Julián, Liebl Wolfgang, Wagenknecht Martin, Eugenia Farías María, Meinhardt Friedhelm. (2013). Extrachromosomal genetic elements in Micrococcus. Appl Microbiol Biotechnol , 97:63–75 DOI 10.1007/s00253-012-4539-5.
Rieser G., Scherer S., and Wenning M. (2013). *Micrococcus cohnii* sp. nov., isolated from the air in a medical practice. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 63, 80–85.
Roll Ya. V., (1985). Phytoplankton of Dnepr. Kiev. P.: 61- 111.
Rossetti G. (2005). Fungal parasitism in freshwater calanoid population: ecological consequences and possible mechanisms involved in infection process. Hydrobiol., 548: 167 – 176.
Rossolimo L. L., (1977). Change of limnetic ecosystems under effect of anthropogenic factor. M. Nauka, 144 p.
Round F. E. (1993). A Review and Methods for the Use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Changes in River Quality. HMSO, London, UK.
Sanders RW, Porter KG, Bennett SJ, DeBiase AE (1989). Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers, and cladocerans in a freshwater planktonic community. Limnol Oceanogr 34: 673-687.
Santhini K., Myla J., Sajani S., Usharani G. (2009). Screening of *Micrococcus* sp. from oil contaminated soil with. Botany Research International 2 (4): 248-252.
Scupham A. J., Presley L., Wei B., Bent E. (2006). Abundant and diverse fungal microbiota in the murine intestine. Appl. Environ. Microbiol., 72: 793 – 801.
Shapiro J. (1990). Current beliefs regarding dominance by blue-greens: the case for the importance of CO2 and pH. Verh. Int. Verein. Limnol 24: 38–54.

Shearer C. A., Descals E., Kohlmeyer B., Kohlmeyer J., Marvanova L., Padgett D., Porter D., Raja H. *et al.*, (2007). Fungal biodiversity in aquatic habitats. Biodivers. Conserv., 16: 49 – 67.

Sigee D. C. (2005). Freshwater microbiology: biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment. John Wiley and Sons, Chichester, West Sussex, England.

Sitte J., Akob D.M., Kaufmann C., Finster K., Banerjee D., Burkhardt E. M., Kostka J. E, Scheinost A. C., Büchel G., Küsel K. (2010). Microbial links between sulfate reduction and metal retention in uranium- and heavy metal-contaminated soil. Appl. Environ. Microbiol. 76(10):3143-52.

Slim, K., 1984. II. Epiphytic Algae Study from Pool of Ammiq (Bekaa, Lebanon). Buletin Soc. Sc. Bretagne 56, 1 ā 4, p. 125 – 135.

Slim, K., 1984.I. Diatom Flora of Some Springs in the South Eastern Lebanese Area. 8th. Diatom Symposium.

Somashekar R. K., Ramaswamy S.N., Arekal G. D., 1982. On the Extra-Aquatic Fungi from Polluted and Unpolluted Water of River Kapila, Karnataka. Proc. India notn. Sci. Acad. B48, № 5 , pp. 635 – 641.

Sparrow F. (1960). Aquatic phycomycetes, 2nd edn. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Stetter K.O. 1999. Extremophiles and their adaptation to hot environments. Federation of European Biology Society–Letters 452, 22–25.

Suberkropp K. (1992). Aquatic hyphomycete communities. In: Carroll G.C.; Wicklow D.T., the fungal community - its organization and role in the ecosystem. Marcel Dekker, New York, Mycology Series n.9, 729-747.

The World Database: http://www.umu.se/myconet/Myconet.html

Tuchman N. (1996). The role of heterotrophy in algae. In Algal Ecology, (Stevenson R. J., Eds), pp. 299–318. Academic Press, New York, USA.

UK Environment Agency Publication 1998

Valivchanov B. G., (1984). Aquatic Hyphomycetes as part of biocenos river Malaya Alma – Atinka. In book : Ecological Aspects aquatic microbiolgy, 1984. P.: 99 – 102.

Zemskaya T. I. (1980). Bacterioplankton and Yeasts of Irkut reservoir in 1980. In book: Ecological Aspects aquatic microbiolgy, 1984. p.: 43 – 52.

Zhang J. Y., Liu X., Liu S. (2010). Agrococcus terreus sp. nov. and *Micrococcus terreus* sp. nov., isolated from forest soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 60, 1897–1903.

الفصل السابع

ميكروبيولوجيا البحار



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُحدد طبيعة التوزع الجغرافي للأحياء الدقيقة في البحار.
- يستنتج أسلوب تكيف الأحياء للحياة في المنافس الحارة والتحتأرضية.
- يقارن بين المصب والمياه النهرية والبحار.
- يربط بين الإنتاجية والتفكيك والثلج البحري.
- يذكر أنواعاً من الأحياء الدقيقة وموقعها في البحار.
- يصف حالة البحر الأسود كموقع بيئي فريد.
- يقدّر أهمية وجود الأحياء الدقيقة في المحيط العالمي.

مفاهيم مفتاحية

□ **الثلج البحري** Marine snow

هو الفُتات العضوي على هيئة دقائق ليست حيّة تتساقط باستمرار من الطبقات الأعلى في عمود المياه، يتكوّن بفعل مجتمعات الأحياء الدقيقة.

□ **الجراثيم القزمة** Dwarf

ذاتيات تغذية لاعضوية تعيش في رُقَع ضمن الرَّسُوبات التحتأرضية، وتستغل مخزونها فيتضاءل حجمها وتصبح فائقة الدقة ultramicro-bacteria.

□ **المصبّ** Estuary

وسط انتقالي بين المياه العذبة النهرية والمالحة، يتميز بتغيرات بيئية سريعة نتيجة الحركية وعدم الاستقرار، منطقة ترسيب ولا تمتزج مياهه بسرعة.

□ **النظم البيئية** SLiMEs

subsurface lithoautotrophic microbial ecosystems (SLiMEs) تستمد فيها الجراثيم الطاقة اللازمة بطريقة الاغتذاء الكيميائي اللاعضوي.

□ **المياه الحارة الأرضية** Geothermal water

هي مياه مسّخنة طبيعياً إلى درجة حرارة 30 C^{o} على الأقل، وتتضمن المعادن المنحلة والعالقة في تركيب فريد، مثل: الينابيع الحارة، ومنافذ الغازات والأبخرة البركانية، وأحواض الوحل المغلي، والأرض المسخنة.

□ **الحقل الأكسجيني** Oxygen field

هو الطبقة السفلى من المنطقة الهوائية، بقعة منعزلة من البحر الأسود يجري فيها التركيب الكيميائي لمركبات الكبريت المرجعة، وتغزر فيها الجراثيم التيونية.

□ **المنطقة تحت اللاهوائية في عمود المياه** under the Anaerobic zone

طبقة تقسم الآفاق السفلى من المنحدر الأكسجيني والمياه، تحت الحدود العليا لكبريت الهدروجين في البحر الأسود، تركيز O2 في المياه 0.20 – 0.45 ملغ.$ل^{-1}$، ثخانتها 20 – 50 م (أحياناً لوقت قصير 60 – 70 م أو 15 – 10 م أو أقل)، ما يجعلها موقعاً حيوياً biotope فريداً.

أولاً. التوزع الجغرافي للأحياء الدقيقة في البحار
Geographic Distribution of Microorganisms in Marines

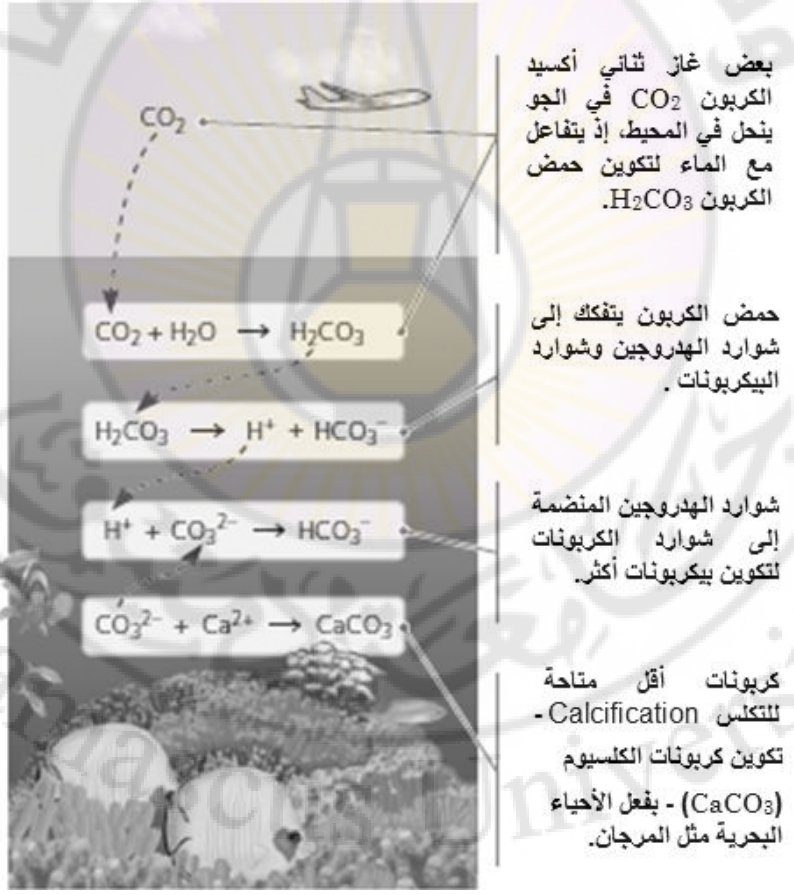
نظراً إلى ملوحة المياه ودرجة الحرارة المنخفضة والضغط المرتفع، والتركيز المنخفض للمادة العضوية، وسيادة الظلام التام على أعماق أكبر بكثير جداً مما هي عليه في المياه العذبة، فإن البحار أوساط نوعية، وتختلف جداً من موقع لآخر، وإن كانت البحار تتصل معاً لتكوين المحيط العالمي على سطح الكرة الأرضية، ويبدو توزع الأحياء الدقيقة فيها متبايناً على المستويين الأفقي والشاقولي، وفقاً لتباين الظروف البيئية.

والمحيط موئل لتنوع واسع من الأحياء، بدءاً من الأحياء المجهرية كالجراثيم والطحالب إلى الحوت الأزرق الحيوان الأضخم في العالم، ويعيش 250 ألف نوع معروف في البحار، والمنتِجات في أعالي البحار هي القاعدة الأساسية التي تدعم وجود الحياة في هذه المسطحات الواسعة.

كانت جميع المعلومات عن الأحياء الدقيقة البحرية وعن نشاطاتها مكرّسة للأجزاء الشاطئية، ولقد بدت المراقبة في أعالي البحار عرَضيّة حتى خمسينات القرن العشرين، ومع ذلك تكدست معلومات مهمة حول الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للبيئة البحرية، كأعمال إساتشنكو Isachenko (1937) وزوبل Zobell (1946)، ثم انطلقت الدراسات الميكروبيولوجية على المحيطات والبحار بقوة وتوسّعت.

تنتشر الأحياء الدقيقة في البحار التي تعدّ أوساطاً غير ملائمة لانتشار الأنواع البرية بأعداد أقل مما في البيئات البرية كالتربة مثلاً، أو لوجود المجموعات التصنيفية الكبرى، مثل: الأعفان والشعيات، فالأدلة القاطعة على وجود أنواع مميزة غير مؤكدة كما البيئات البرية؛ والأفراد المصادفة في العينات البحرية والقادرة على النمو في الأوساط العضوية واللاعضوية في المختبر تعدُّ أشكالاً عَرَضيّة، ولا يمكن تجاهل أن غيريات الاغتذاء البحرية القادرة على النمو في الأوساط الغنية في المختبر ما هي إلا نويعات Varities تنتمي إلى الأنواع المنتشرة في المحيط وعلى اليابسة.

يُقدَّر عدد الجراثيم في البحار بين 10^5 – 10^7 في المليلتر الواحد من المياه، ولكن ذلك يعطي فكرة محدودة عن مجموعاتها، ففي معظم الحالات تكون القيم، المقدرة باستعمال أوساط الاستزراع، أقل بسبب التنافس أو نمو خليتين معاً أو تأثير التضاد بين الأنواع، وتنمو مجموعات محدودة فقط على الأوساط الغذائية الغنية، وكان اللجوء إلى العد المباشر للجراثيم باستعمال المجهر أمراً مهماً، فهذه الطريقة تتميز بتحديد الغزارة الكبيرة وتنوع الأشكال المتوطنة في البحار، وإن كانت القيم المسجلة تبدو أكبر عادة بسبب وجود خلايا ميتة لم تتعرض للتحلل الذاتي في المستحضرات (Kriss 1971)، يبين الشكل 7–1 غاز CO_2 الجوي ومصيره في المحيط.

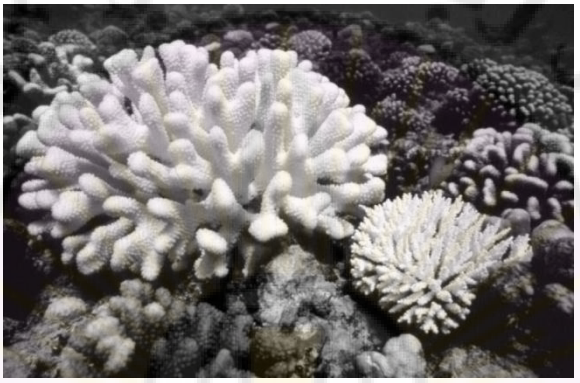


الشكل 7–1 غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 الجوي من الأنشطة البشرية ومصيره في المحيط (Reece *et al.*, 2011).

1. التوزع الأفقي للأحياء الدقيقة في البحار

Horizontal Distribution of Microorganisms in the Marines

تتميز المنطقة الشاطئية بغزارة أكبر للأحياء البحرية إلى حد كبير، كما تنتشر مجموعات متكيفة للتغيرات في منطقة المد والجزر، وتكون منطقة الشِعاب المَرجانية Coral Reefs فريدة (الشكل 7-2)، وهذه المناطق تخضع عموماً لتغيرات بيئية، مثل درجة الحرارة، ووفرة المادة العضوية، وتركيز الأكسجين، وتأثير الأنشطة البشرية.



الشكل 7-2 جماعات المرجان- متكلسة وتبدو بيئة فريدة في البحر.

ترتبط غزارة الجراثيم في البحار ارتباطاً وثيقاً بوجود المادة العضوية سهلة التفكك التي تنتجها العوالق النباتية في المسطح المائي والمنقولة مع حمولات مياه التدفقات النهرية، وتتباين الأجزاء المختلفة من المياه البحرية في تأمين ظروف النمو الملائمة لمجموعات الجراثيم المختلفة، وتميل غزارة الجراثيم للانخفاض بوضوح مع الابتعاد عن الشواطئ في البحر المفتوح، ويميل العدد للازدياد في البحار عموماً مع الاقتراب من المناطق الاستوائية الأدفأ، ويرتبط ذلك بالنمو الشديد للعوالق النباتية، إذ تكون درجة حرارة المياه عالية ولاسيما في الآفاق السطحية ذات التأثير البشري.

يتميز التوزع الجغرافي للجراثيم غيرية الاغتذاء في البحار بالتباين، إذ إن المناطق القطبية وتحت القطبية قليلة الجراثيم، وإن وجدت الحياة النباتية والطحالب فيها، فبقايا الأحياء والمُسْتَقْلَبات metabolites في هذه المياه لا تؤدي إلى نشوء تركيز كاف من الغُذيات لتنامي أعداد كبيرة من الجراثيم، كما في المناطق الاستوائية أو على شواطئ البحار المعتدلة من المحيط الهادي والهندي والأطلسي.

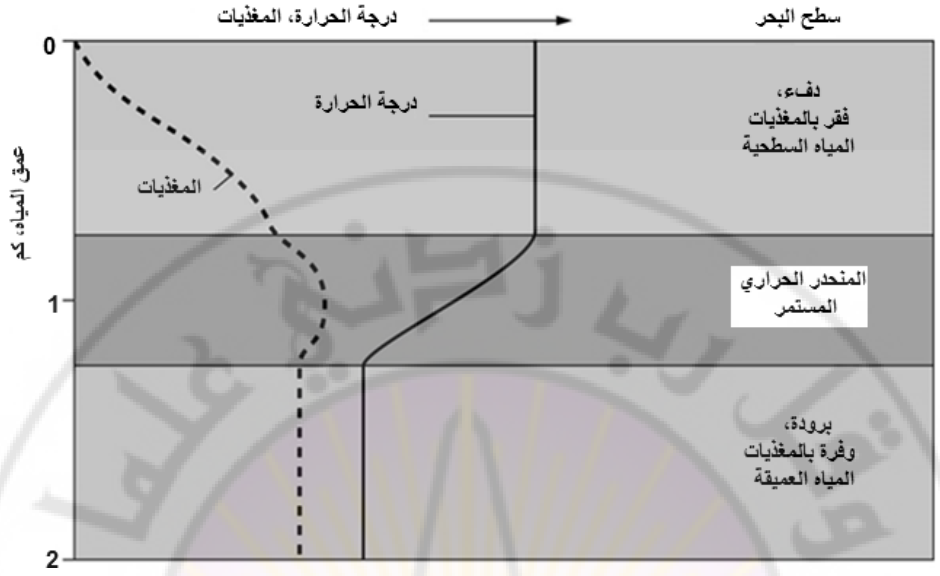
تقسم المناطق الجغرافية العالمية بوضوح إلى مناطق أصغر استناداً إلى غزارة الجراثيم، وتبدو الغزارة الكبيرة للجراثيم غيرية الاغتذاء التي تفكك المادة العضوية سهلة الأكسدة في المناطق الأكثر غنى بالنباتات والحيوانات مقارنة بالمناطق العالية من المحيط العالمي، إذ تكون أعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء قليلة في المناطق البعيدة عن الشواطئ إلى درجة قد لا تبدو فيها هذه الأشكال الجرثومية في كل مليلتر من المياه، وغالباً ما تحتوي عينات المياه المأخوذة من العُرُوض العالية؛ حتى في المناطق شبه المعتدلة، عشرات ومئات من خلايا الجراثيم غيرية الاغتذاء في اللتر الواحد من المياه، باستثناء المناطق الاستوائية من المحيط العالمي والآفاق المائية التي تمرّ خلالها التيارات المتدفّقة نحو الشمال والجنوب؛ فأعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء النامية على الأوساط الصنعية تزداد حتى آلاف الخلايا في المليلتر من المياه.

تتميز مياه المحيط العالمي بالاحتياطي الأصغر من البروتين الجرثومي، على عكس البحيرات العذبة جيدة الاغتذاء ذات الاحتياطي الأكبر من البروتين الجرثومي (Gambarian 1965, Ziban 1970, Romanenko *et al.*, 1971, Lebedeva and Markianovich 1972, Sorokin and Paveleva 1972, Kriss 1976, Kojova and Mamontova 1979).

2. التوزع الشاقولي للأحياء الدقيقة في البحار

Vertical Distribution of Microorganisms in the Marines

تتباين أعداد الأحياء الدقيقة في الأعماق المختلفة من البحار، وتبلغ الحد الأعظم في الصيف بسبب التأثير الإيجابي لدرجة الحرارة الملائمة والمادة العضوية، إذ تكون العوالق النباتية غزيرة في الطبقة الغذائية بين 0 – 50 م، فتنشط الجراثيم وتزداد أعدادها، وينخفض العدد في الآفاق على المستويات الأدنى، ويصبح العدد أقل بمقدار 1.5 – 2 مرة على عمق 600 – 800 متر (Novojilova and Popova 1984)، ويتميز بعض الجراثيم بتوزع واسع في عمود المياه في الأعماق المختلفة من مياه المحيط الأطلسي والهادي والهندي، مثل: العصية الرشيقة *Bacterium agile* (Kriss 1971). يوضح الشكل 7–3 المظاهر الجانبية الشاقولية للمياه في البحار.



الشكل 7-3 المظاهر الجانبية الشاقولية لخصائص المياه في البحار.

تنتشر الجراثيم غيرية الاغتذاء في مناطق أكبر للتوزع الشاقولي في مياه المحيط، إذ تنخفض غزارتها في المناطق العليا مع الابتعاد عن السطح، وإن وُجدت شذوذات نتيجة تبرُّد مياه خطوط العرض في بعض الطبقات أو تبرد المياه الاستوائية المعتدلة، في جميع الأعماق، توجد جراثيم قادرة على التنامي في الأوساط الغنية في المختبر، ويكون التوزع الشاقولي للجراثيم غيرية الاغتذاء متبايناً؛ إذ توجد في رُقَع وتتباين غزارتها بوضوح تدريجياً زيادة أو نقصاناً من أفق لآخر حتى في الطبقات السطحية؛ إذ إن عوامل انتقال الطاقة تعمل على نشوء ظروف مناسبة للتوزع المتجانس في المياه (Kriss 1971).

ويمكن تقسيم المناطق الكبرى للمحيط بوضوح إلى مناطق أصغر وفقاً لتوزع الجراثيم غيرية الاغتذاء في العينات من الأفق نفسه في محطات مختلفة وعلى أعماق مختلفة في المحطة ذاتها، وكذلك في العينة نفسها عند دراسة كل مليلتر من الماء تباعاً، ففي كل منها تكون الغزارة متباينة جداً.

يعد تحديد أعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء في المحيط العالمي مسألة مهمة، ويمكن تقديرها أيضاً بقياس قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين BOD، لأن

توزعها الكمي المميز في البحار والمحيطات يعطي فكرة عن تحول أشكال المادة العضوية اليسرة نسبياً في هذه الأوساط.

يتكون الفُتات العضوي نموذجياً بفعل مجتمعات الأحياء الدقيقة، ويتضمن البقايا النباتية والحيوانية والمادة البرازية والعوالق النباتية والرمل والغبار..، ويتساقط باستمرار من الطبقات الأعلى في عمود المياه، على هيئة دقائق للمادة العضوية ليست حية تسمى الثلج البحري marine snow (الشكل 7-4)، إذ يتمعدن أكثر من 80% من المادة العضوية قبل هبوطها إلى الطبقة الأدنى، وهو مرآة الإنتاجية على السطح (الشكل 7-5).

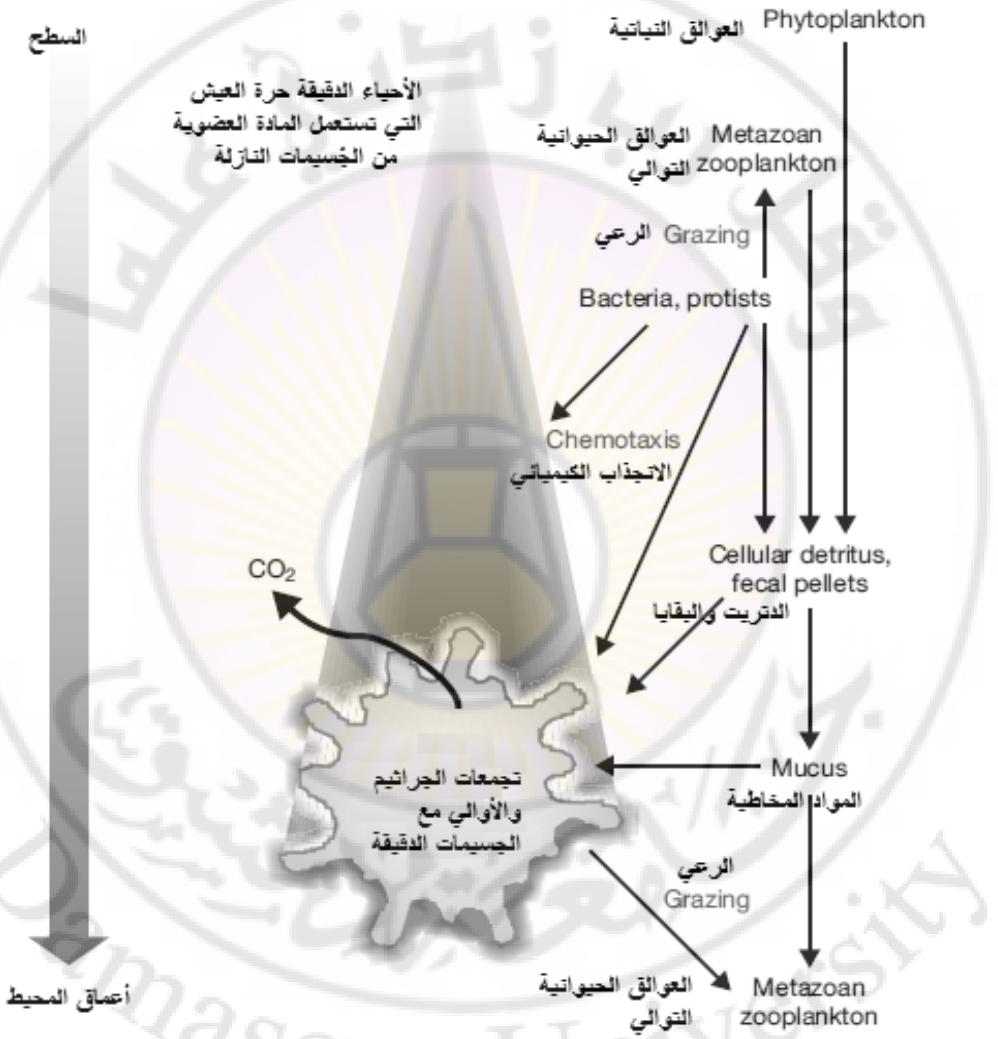
ويعكس التنوع العالي للجراثيم غيرية الاغتذاء في البيئات المائية التنوع العالي للمواطئ البيئية والطيف الواسع للركائز التي تستعملها هذه الجراثيم.



الشكل 7-4 الثلج البحري.

يتميز التوزع الشاقولي للعوالق النباتية في عرض البحر الأسود بوجود بعض الذرا في فترة الصيف والخريف، وفي نهاية الربيع وبداية الصيف تظهر الذرا في الطبقات العليا المتحركة أو في المنحدر الحراري على نحو أضعف مما في الطبقة الانتقالية الباردة حيث تتجمع المشطورات *Nitzschia*، وتختفي هذه الذرا في الخريف، وتسود العوالق النانوية *Nanoplankton* فيها فقط، ثم تسود المشطورات النانوية في تشرين الثاني، إلى ذلك الوقت تكون المشطورات النامية في الصيف على أعماق 25 – 30 م

بأعداد منخفضة نسبياً؛ ويبدو توزع المشطورات متجانساً جداً في المنطقة وافرة الإضاءة، وربما يتعلق ذلك بازدياد حركة الطبقة السطحية من المياه في آخر الربيع (Vinogradov and Flint 1989).



الشكل 7-5 العمليات الميكروبيولوجية الظاهرة في تكوين ومصير دقائق الثلج البحري الذي يتساقط خلال عمود المياه، فعل الإنزيمات الإضافية/خارج الخلوية والتحلل الفيروسي المؤدي إلى تحرر المادة العضوية المنحلة DOM.

إن التوزع الشاقولي لأشكال العوالق في الطبقات السفلى من المنطقة الهوائية في البحر الأسود يكشف عن مساهمة الجراثيم في التركيب الكيميائي لمركبات الكبريت المرجعة (thio-chemosynthesis) وانضمام مجتمعاتها إلى الشبكة الغذائية، لم يلاحظ هذا التركيب الكيميائي فوق الحدود العليا لكبريت الهدروجين أحياناً؛ ما يؤكد توقّف الاستهلاك الكبير للجراثيم الكبريتية مباشرة بفعل أشكال العوالق المنتشرة في الجزء السفلي من المنحدر الأكسجيني oxycline والمياه الواقعة فوقه، ولكن تكيفات العوالق غير موجودة في البحر الأسود؛ ما يسمح بمساهمة كبيرة للجراثيم التيونية في الدورات الغذائية، ويرتبط ذلك مع (Vinogradov and Flint 1989) وجود منطقة أكسجينية مع كبريت الهدروجين؛ ما يؤكد الفتوة الجيولوجية النسبية للبحر الأسود الذي وجد في شكله الحالي منذ ثمانية آلاف سنة، وثباتية مجتمعات العوالق الحيوانية من الناحية التطورية، الموجهة لاستعمال منتجات التركيب الضوئي فهي ممثلة فقط بأنواع قليلة من الأوالي السوطية والنقاعيات مقارنة بما هي في المواقع الحيوية المماثلة، وحداثة تركيب مصادر الطاقة والمادة العضوية التي تنتجها المجتمعات الموجودة في الطبقة السطحية، وإمكان ازدياد الإنتاج الإجمالي للجراثيم المنترجة واسعة الانتشار في المنطقة الهوائية على إنتاج الجراثيم التيونية.

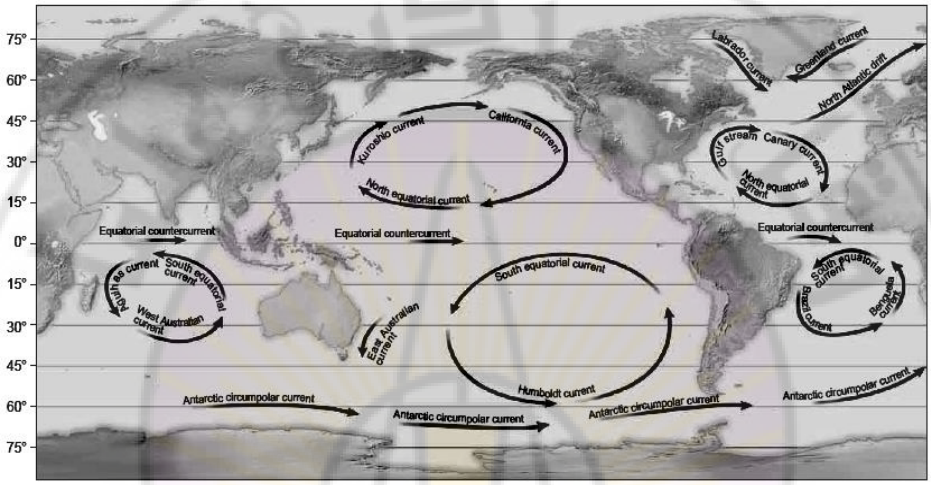
توجد الجراثيم الكبريتية الخضراء والأرجوانية في المنطقة السفلية المضاءة من المياه التي تتضمن كبريت الهدروجين H_2S وليس الأكسجين، وفي وحل القاع ترجع جراثيم *Desulfovibrio reduces* الكبريت S_0 إلى كبريت الهدروجين H_2S.

3. التغيرات الدورية للأحياء الدقيقة في المياه البحرية

Periodically Change of Microorganisms in Marines

تؤدي الرياح إلى نشوء الأمواج السطحية (الأفقية) ودوامات ضاربة تحتسطحية تساعد على الخلط الشاقولي في البحار، وتتحرك حركات داخلية نتيجة تغيرات الكثافة المتعلقة بالتبخر في الخطوط الدافئة وامتزاج مياه الجليد، وتنشأ تيارات حمل في الكتلة المائية عند تسخين الطبقات السطحية وتبريدها، وتسبب القوى الرحوية الناتجة عن

دوران الأرض تيارات في المنطقة المختلطة يمينية الاتجاه (مع اتجاه عقارب الساعة) في نصف الكرة الشمالي، وبالعكس في نصف الكرة الجنوبي، والأمواج السطحية الملاحظة (عادة في البحيرات) دليل على الدوران الشاقولي التحتسطحي لكتل المياه الأسطوانية (الشكل 7-6)؛ ما يساعد على انتقال الأحياء الدقيقة مع الكتلة المائية.



الشكل 7-6 التيارات البحرية الأساسية في العالم، تمثل الأسهم الفاتحة/الحمراء المياه الدافئة، والأسهم القاتمة/ الزرقاء تمثل المياه الباردة (على اليسار- خط العرض، درجات).

تميل غالبية العوالق النباتية للغوص عند هدوء المياه المصحوبة بقليل من الدوامات، ما عدا بعض الأحياء الأخرى والجراثيم الزرقاء ذات الفجوات الغازية، فأفراد المشطورات *Melosira* أسرع من *Asterionella* 3 – 5 مرات وتكاد تختفي من العوالق عند بدء التطبُّق، ووجودها الأقصى بين الخريف والربيع.

تبقى العوالق النباتية عالقة في الطبقة المضاءة التي تنخفض فيها تراكيز الغذيات المنحلة؛ ولكن حركة الخلايا وانتقالها مع تيارات الحمل تتيح للعوالق النباتية فرصة اكتساب الغذيات وتجديد نقاط التماس، إلا أن الجراثيم الزرقاء تتمكن من الهجرة الشاقولية بسهولة، والطحالب السوطية تستهلك طاقة عند انتقالها لتحقيق الإنتاج الصافي في المنطقة المضاءة.

ويتمكّن بعض المشطورات من تنظيم الاستقلاب لملاءمة التغيرات المباشرة في

الضوء، وتوجد العوالق النباتية باستمرار في المنطقة المضاءة، وتبدو غزيرة وكافية لترك بصمتها على الجسم المائي في الظروف الملائمة (Boney 1989).

ويعود نشوء ظاهرة الازدهار blooms في البحار لوجود أنماط سنوية مختلفة من غزارة العوالق النباتية على خطوط العرض، ولاسيما في الربيع؛ ويؤدي وجود أعداد هائلة من الطحالب الداينوية إلى نشوء ظاهرة التألق التي تحدث في ليالي الصيف، وكثيراً ما يصفها الصيادون (Boney 1989).

تكون ظاهرة الازدهار في بعض الأماكن منتظمة إلى حد كبير في توقيت حدوثها وشدتها، وإن كان في الغالب لا يمكن الاعتماد على توقع حدوث الأشياء التي تتحكم فيها التقلبات المناخية، ويكون تركيز الغُذيات في بحار المناطق المعتدلة الشمالية مرتفعاً في الشتاء، ولكن العوالق النباتية نادرة، أما العوامل الرئيسة المحددة للإنتاج الصافي ونمو الطحالب عند خطوط العرض المتوسطة والعالية فهي عدم كفاية الإشعاع الشمسي وقصر النهار.

4. المعدنة والشبكة الغذائية في المياه البحرية

Mineralization and Nutrition Net in Marine Water

تكون مياه البحار عسرة حتى إن كانت غير ملوثة؛ مقارنة بغالبية المياه التي تنتشر على اليابسة، ويقاس إجمالي المواد الصلبة المنحلة في المصبات بأجزاء في الألف وليس بأجزاء في المليون، بسبب وفرة الدقائق والعكارة، وتتراوح الملوحة الكلية للمياه في البحار بين 33 – 35 جزءاً في كل ألف جزء.

تستعمل الجراثيم الزرقاء المركبات العضوية النتروجينية بمعدلات عالية، يميز الجنس *Prochlorococcus* الأجزاء قليلة الاغتذاء، ويميز *Synechococcus* الأجزاء معتدلة الاغتذاء في بحر العرب (Zubkov *et al.*, 2004)، إذ تبين الاختبارات أنه معدل الامتصاص الخلوي عند الجنس *Prochlorococcus* أعلى منه عند الجراثيم غيرية الاغتذاء؛ ما يسمح لأفراد هذا الجنس بالتنافس والسيادة على الطحالب ذاتية الاغتذاء تماماً والجراثيم الأخرى في المناطق قليلة الاغتذاء.

ثانياً. تنوّع الأحياء الدقيقة في البحار

Diversity of Microorganisms in Marines

1. **الجراثيم** Bacteria

تنتمي الجراثيم المعزولة من البحار إلى الأقسام الأساسية الأربعة لبدائيات النواة الواردة في دليل برجي (Bergy`s Manual 1984):

(1) Gracilicutes; (2) Firmicutes; (3) Tenericutes; (4) Mendosicutes

ويُكرس العدد الأكبر من المراجع لدراسة الجراثيم سلبية الغِرام التي اقترح Shewan (1960) مخططاً لتحديدها انتشر استعماله على نطاق واسع (Mishustina *et al.*, 1985) وأجرى J.M. Sieburth, 1979 تعديلاً عليه، كالآتي:

أ. عديمة السياط:

1. منتجة للصباغ

1.1 غير متحركة ..... *Flavobacterium*

2.1 الحركة انزلاقية ..... *Cytophaga* *Flexibacter*

2. غير منتجة للصباغ

1.2 تخمر الغلوكوز ..... *Vibrio* *Aeromonas*

2.2 لا تخمر الغلوكوز ..... *Acinetobacter* *Moraxella*

ب. متحركة بالسياط:

1. السياط محيطية

1.1 ذات أصبغة صفراء وبرتقالية ..... *Flavobacterium*

2.1 عديمة الأصبغة

1.2.1 لا تخمر الغلوكوز، إيجابية الأكسيداز ..... *Alcaligenes*

2.2.1 تخمر الغلوكوز، إيجابية الأكسيداز ..... *Enterobacteriaceae*

2. السياط قطبية

1.2 لا تخمر الغلوكوز، إيجابية الأكسيداز

1.1.2 لا تكوّن السويقات (زوائد) ..... *Pseudomonas*

2.1.2 جراثيم ذات سويقات (زوائد) ..... *Caulobacter*

2.2 تخمر الغلوكوز، إيجابية الأكسيداز

1.2.2 لا تنتج الغاز من الغلوكوز ..... *Vibrio*

2.2.2 تنتج الغاز ..... *Aeromonas*

تتميز أجناس الجراثيم المذكورة في المخطط بقدرتها على النمو في أوساط الاستزراع وتكوين المستعمرات وعددها غير كبير نسبياً، ويرى Sieburth (1979) أنها دخيلة وغير مميزة للمياه البحرية، بل هي جراثيم ملتصقة على دقائق الفُتات والحيوانات والنباتات، وقد تمتلك غالبيتها أيضاً دورة حياة معقدة يحدث جزء منها في المياه والجزء الآخر على سطوح الدقائق أو العوالق (Mishustina *et al.*, 1985)، وتتكون غالبية الأنواع المعزولة من المياه ومن سطوح العوالق من عصيات لاهوائية اختيارياً، سلبية الغِرام، من الأجناس:

Vibrio, *Aeromonas*, *Photobacterium*.

توجد الضماتُ *Vibrio* بعدد كبير في الحيوانات عادة وفي مسالكها الهضمية ومخلفاتها، ويبلغ العدد الحد الأعظمي عند النمو الشديد للعوالق الحيوانية في المياه، وتوجد العصية الرشيقة *Bacterium agile* على نطاق واسع جداً في مناطق جغرافية مختلفة من المحيط الأطلسي والهادي والهندي (Kriss 1971).

تنتمي الجراثيم الوَامضة luminous bacteria (المنتجة للضوء photogenic) إلى عدة أجناس تنتشر في البحار، أليفة للبرودة والملوحة، غير أن أغلبها لا ينتج الضوء إلا في مياه تعادل ملوحتها ملوحة مياه البحر (3%) بوجود الأكسجين، وغالبيتها سلبية الغِرام، ومن أنواعها التي عزلت من الأسماك البحرية (متعايشة) *Photobacterium phosphoreum* و *Vibrio pierantonii*.

هناك أنواع تنتمي إلى الأمعائيات Enterobacteriaceae وفصيلة الآزوتوباكترات Azotobacteriaceae والجنس *Alcaligenes* توجد في البحار، وهي جراثيم هوائية متحركة وسلبية الغِرام، كيميائية الاغتذاء العضوي، وتوجد جراثيم *Flavobacterium* ذات الأصبغة الصفراء في ازدهارات العوالق النباتية والطحالب الكبيرة عادة، وهناك أفراد من الجراثيم الصغيرة الطفيلية من الجنسين *Bdellovibrio* و *Microvibrio*، وقد عزلت جراثيم شبه حلقية من الأجناس *Microcyclus* و*Flectobacillus* وغيرها من سطوح الطحالب والرَّسُوبات، وتمتلك العوالق الجرثومية ذات الشكل شبه الحلقي أحجاماً أقل في الأوساط الفقيرة كمياه المحيط.

توجد في المياه البحرية جراثيم يفيد شكلها الفريد في التصنيف باستعمال المجهر، تتشابه الخلايا في المزارع النقية وتختلف في دورة الحياة، وهي تنتمي إلى الجنسين *Caulobacter* و *Hyphomicrobium*، ومن الحلزونيّات الهوائية يوجد الجنسان *Oceanospirillum* و *Marinospirillum*، وتوجد الملويّات، مثل: *Cristispira* على الرخويات.

ويتميز *Clostridium oceanicum* بقدرته على تكوين بوغين في طرفي الخلية، وهي جراثيم متبوغة.

وتوجد أنواع من الجنس *Tribonema* المثبتة للنتروجين.

وتنتشر الجراثيم الأرجوانية والخضراء في المناطق الغنية بمركبات الكبريت المرجعة على حدود مناطق الأكسجين وكبريت الأكسجين، وتنتشر في المياه البحرية وفي الرسوبات (Mishustina *et al.*, 1985)، مثل:

Chromatium, Thiocapsa, Chlorobium, Prosthecochloris, …

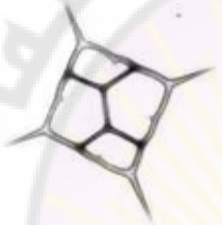
تصادف الجراثيم الزرقاء ضوئية الاغتذاء الهوائية من المجموعات الحُبيبية في المياه البحرية وفي رسوبات المصبات، ومن المجموعات الخيطية في المُنبسط البحري وعلى طول الشواطئ على هيئة الحصائر، وتنتمي الأنواع الخيطية ذات الحويصلات المغايرة إلى الفصائل: Nostocaceae و Rivulariaceae و Scytonemataceae وهي واسعة الانتشار على الشواطئ ولها تجمُّعات ملموسة، وقد اكتسبت أفراد الجراثيم الخيطية *Trichodesmium* أهمية بسبب دورها الكبير في تثبيت النتروجين أيضاً (Mishustina *et al.*, 1985).

تنتشر أنواع الشعيات في الرسوبات والمياه البحرية، وعلى النباتات والحيوانات (You *et al.*, 2005)، وتتميز بالعديد من النشاطات الحيوية وإنتاج المواد الصادة (Barcina *et al.*, 1987; Zheng *et al.*, 2000)؛ وهكذا، فالشعّيات جراثيم متبوغة تتميز بدور مهم في الشبكات الغذائية البحرية.

تسكن أنواع من الجراثيم الممرضة المسالك الهضمية للأسماك والأصداف وغيرها، أو توجد طافية حرة، والتماس مع مياه البحر أو تناول الغذاء ليس ممرضاً بالضرورة.

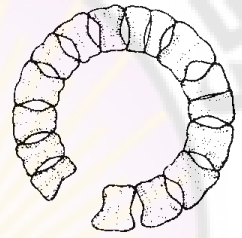
2. **الطحالب** Algae

تزود العوالق النباتية البحرية المحيط بنحو 90% من الإنتاج الأولي و 50% من الأكسجين الجوي، فهي ذات قدرة فريدة لتحويل الإشعاع الشمسي، واقتناص المعادن اللاعضوية الخام، وثنائي أكسيد الكربون: فمن الطحالب الذهبيّة واسعة الانتشار في عوالق البحار: السيليسيّة: *Mallomonas*، والكلسيّة: *Coccolithus* وهذه ذات صبغ أحمر إضافيّ تتمكّن من القيام بتغذية مختلطة على أعماق البحر تزيد على 400 م (الشكل 7-7)، ومن المشطورات ذات السلاسل الحلقية الطويلة: *Eucampia*.

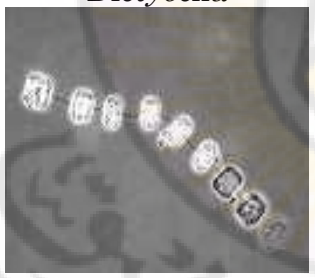


هيكل سيليسي داخل خلوي

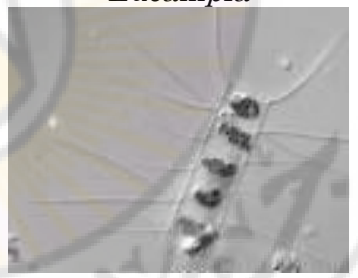
Dictyocha



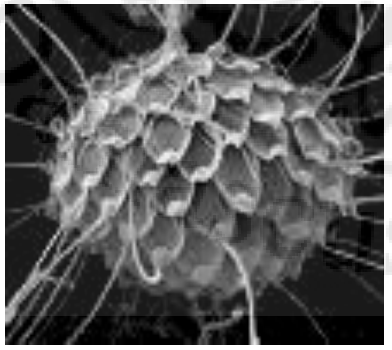
Eucampia



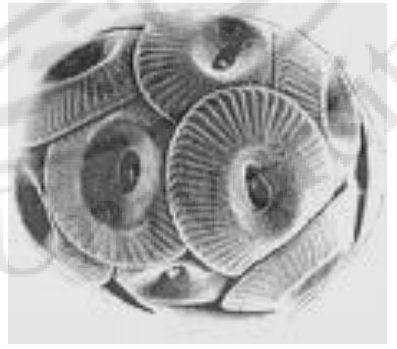
Thalassiosira



Chaetoceros



Mallomonas



Coccolithus

الشكل 7-7 نماذج من الطحالب البحرية.

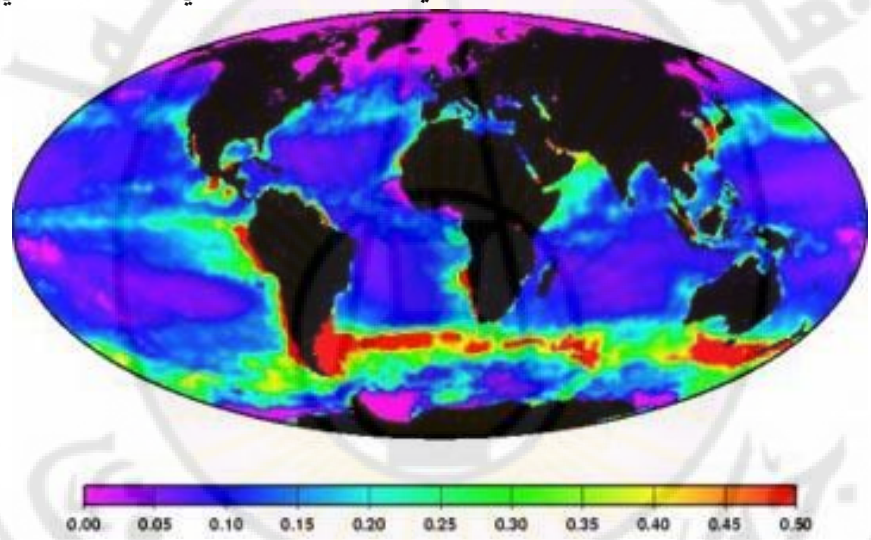
تنتشر في المحيط الأطلسي والمحيط الهادي أنواع المشطورات المكونة للازدهارات الآتية: (Boney 1989, Konovalova *et al.*, 1989)

Chaetoceros decipiens, Ch. laciniosus, Thalassiothrix (أنواع منها), *Nitzschia seriata, …*

وفي البحار المعتدلة الشمالية تنتشر أنواع من العوالق النباتية، مثل:

Ceratium fusus, C. hirundinella, C. lineatum, C. furca
Protoperidinium pellucidum, P. depressum
Rhizosolenia alata, Rh. hebetata, Rh. setigera

يمثل الشكل 7-8 انتشار الطحالب البحرية ومجال إنتاجيتها في المحيط العالمي.



الشكل 7-8 إنتاجية العوالق النباتية في البحار ومنتجات الشبكة الغذائية (الإنتاج الأولي الصافي).
http//:Marine Phytoplankton Works 2005.

3. **الفيروسات** Viruses

تتجاوز غزارة الفيروسات بنحو 15 ضعفاً ما هي للجراثيم والبدئيات في المحيط العالمي، وإن كانت تمثل نحو 5% فقط من الكتلة الحيوية لبدائيات النواة، بسبب حجمها الصغير جداً، فالفيروسات تفتك بنحو 20% من الكتلة الحيوية للجراثيم كل يوم، ومعظم مجموعاتها الغزيرة توجد في البيئات المائية، وهي: عاثيات الجراثيم الزرقاء وعاثيات الجراثيم، ويُعتقد أنها المنظم الأساسي للتنوع الجزيئي الهائل من المجتمعات بدائية النواة.

4. **الفطريات** Fungi

توجد أنواع الجنس *Labyrinthula* متطفلة على النباتات في مياه البحار، مثل: النوع *L. macrocystis*، وتتطفل أنواع *Mycosphaerella* على بعض الطحالب السمراء، وبعض الزقيات الدورقية الأخرى وبعض الفطريات الناقصة، وتتلف الزقيات الدورقية الأخشاب المغمورة في البحار، مثل: *Ceriosporopsis*، وتنتشر أنواع من الأسبرجلّس *Aspergillus* والبنسليوم *Penicillium* ضمن العزلات الفطرية الشائعة من البيئات البحرية (والبرية والمياه العذبة)، حتى من رسوبات قاع البحر العميق.

وكثيراً ما توجد الفطريات على نطاق واسع في مناطق ملوثة بالمخلفات العضوية المنزلية والحضرية والصناعية ومحطات معالجة الحمأة (Weber *et al.*, 1996)، ويتمكّن عديد من أنواع الفطريات من البقاء في البيئات قليلة الاغتذاء، ويمكن أن تظهر في جهاز تقطير المياه في ظروف قاسية.

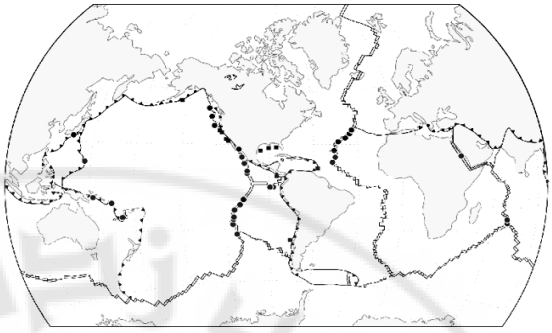
ولكن هذه البيئات المائية المالحة الهائلة تحتاج إلى دراسات واسعة ودائمة وعميقة، فلا تزال الموضوعات والمسائل المرتبطة مع ميكروبيولوجيا البحار بحاجة إلى تكريس مزيد من المال والبحث والاستكشاف.

ثالثاً. ميكروبيولوجيا البيئات غير الملائمة والمفرطة

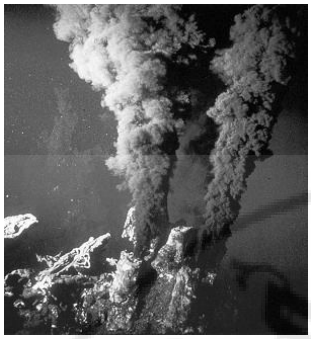
Microbiology of Adverse and Extreme environments

1. **المنافس الحارّة في أعماق البحر** Deep Sea Hydrothermal Vents

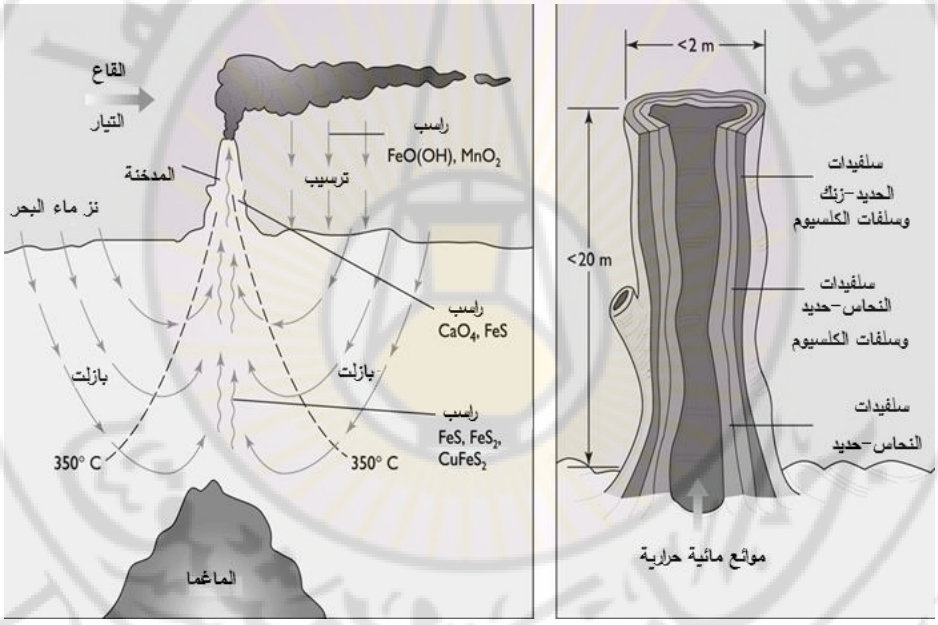
لا تزال المعلومات قليلة عن نشاط الأحياء الدقيقة المُعدنة في أعماق البحار، تمثل المنافس بيئة فريدة تعيش فيها أنواع محدّدة منها فقط (الشكل 7–9)، وتتكوّن من مدخنة ومكونات كيميائية مميزة (الشكلان 7–10 و 7–11). والمنافس تكون إما دافئة (6 – 23 C^o) وإما حارّة (270 – 380 C^o) مع غيوم من الانبعاثات، تحمل كميات ضخمة من المواد اللاعضوية المرجعة: H_2S, NH_4, Mn^{2+}, H_2 و CO، وإن كانت درجة حرارة المياه على أرضية البحر 2 C^o.



الشكل 7–9 مواقع المنافس في المحيط العالمي.



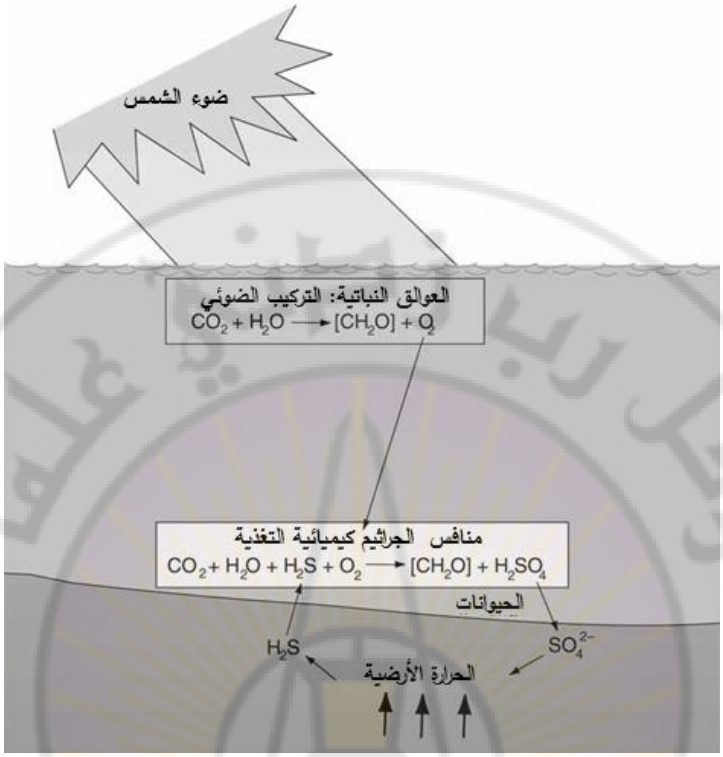
الشكل 7–10 المدخِّن الأسود في المنافس.



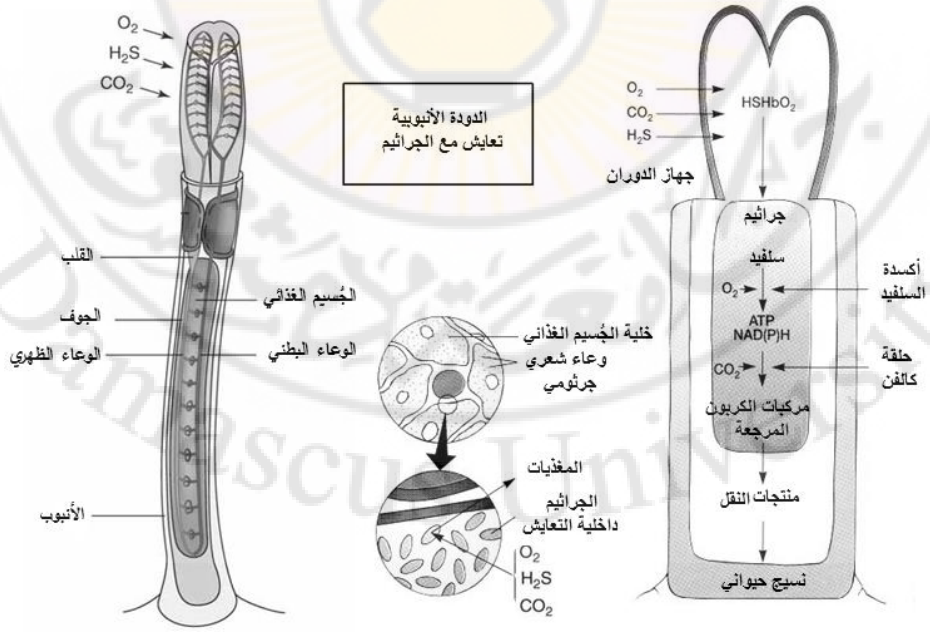
أ. داخل المدخنة. ب. المركبات الكيميائية في المدخّن الأسود.

الشكل 7–11 المدخّن الأسود وبنية المدخنة في المنافس الحارة.

مجتمعات المنافس الحارة: من اللافت وجود الجراثيم كيميائية الاغتذاء chemosynthetic bacteria (الشكل 7–12) في المنافس إذ يتحرّر غاز H_2S المنحل من شقوق أرضية البحر، وتستعمله الجراثيم التي تدخل بدورها مع الديدان الأنبوبية (الرفتية) بعلاقة تعايش (الشكل 7–13)، وتصبح مصدر الاغتذاء من أجل كثافة الجماعات للحيوانات الفريدة المتجمّعة حول هذه الينابيع الحارة البحرية.



الشكل 7–12 التركيب الضوئي والتركيب الكيميائي في النظم البيئية البحرية.



الشكل 7–13 تعايش الجراثيم والديدان الأنبوبية (الرفتية) Riftia.

ويمكن مقارنة الإنتاج الأولي في النظم البحرية ذات التركيب الضوئي وذات التركيب الكيميائي، وتجتمع الحيوانات بغزارة اعتماداً على الجراثيم كيميائية الاغتذاء، مع تسربات ملحية في مياه باردة، وتسربات للميتان، ورسوبات تبعثرها الزلازل من مرواح البحر العميقة. ويبين الشكل 7–14 الديدان الأنبوبية.



الشكل 7–14 مظهر الديدان الأنبوبية، الرفتية Riftia.

(المصدر: The McGraw-Hill Companies).

اكتُشفت الجراثيم ضوئية الاغتذاء (لاأكسجينية anoxygenic) في البحار منذ منتصف ثمانينات القرن العشرين، وهي جراثيم هوائية صارمة سلبية الغِرام وشكلها بين المكوَّراني والعصوي البيضوي، وعزلت من المنافس الحارة، مثل: *Erythrobacter* و*Roseobacter*، كالنوع *Erythrobacter longus* (Yurkov *et al.*, 1998)، أما *Citromicrobium bathyomarinum* فهو نوع جديد من جراثيم أعماق الأرض (Yurkov *et al.*, 1999)، يتنامى مع محتوى ملحي عال 7 – 10% من NaCl.

المياه الحارّة الأرضية geothermal water هي مياه تتعرض للتسخين الطبيعي إلى درجة حرارة 30 Cº على الأقل، لها تركيب فريد للمعادن المنحلة والعالقة، وقد تكون المياه أقل من 30 Cº ولها نشاط حار، والبيئات الحارّة الأرضية موائل مائية معقّدة لانتشار الأحياء، ويُختزل فيها التنوّع إلى درجة كبيرة مقارنة بما هي في المياه العذبة والمفرطة من درجات الحرارة والرقم الهدروجيني، وقد تطوّر مجموع فريد للأحياء فيها، مثل بضعة أنواع أو نويعات من الأحياء الدقيقة.

تتمكّن الجراثيم أليفة الحرارة المفرطة hyperthermophiles من النمو في درجة حرارة 90 Cº أو أكثر، والعديد منها يتحمل درجة الحرارة 100 Cº وتبدو الدرجة الفضلى بحدود 80 – 113 Cº، وتتضمن الأنواع التي تنمو في منافس أعماق البحر، مثل: *Pyrococcus abysii* و *Pyrodictium occultum*.

2. **البيئات الباردة والمتجمّدة** Cold and Freezing Environments

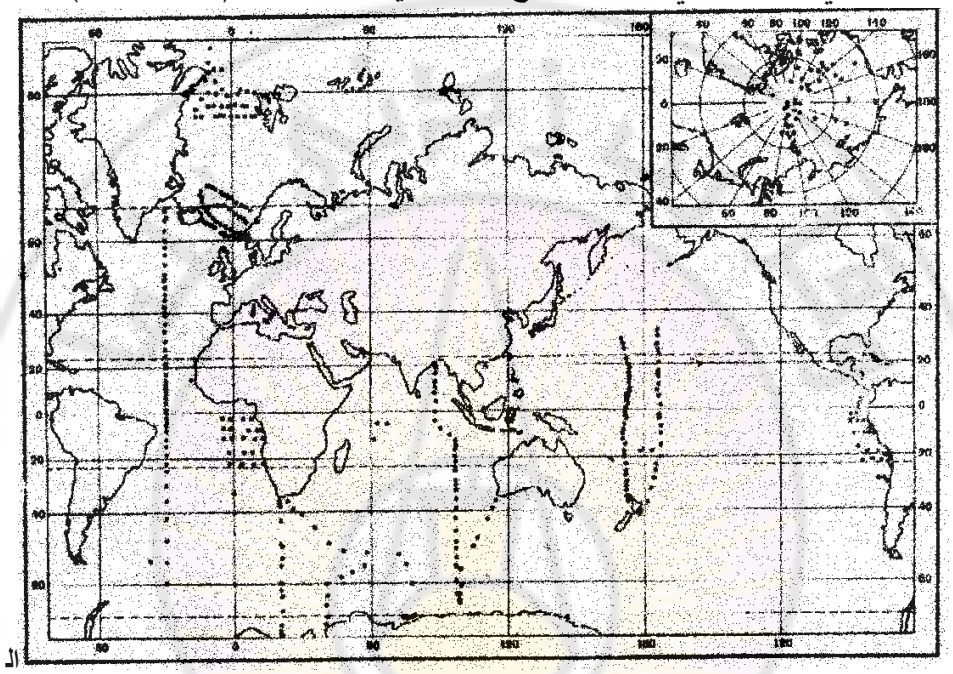
ينتشر بعض أنواع الأحياء الدقيقة في ظروف البرودة الشديدة أو المتجمدة، وكثيراً ما يقتصر وجود الجراثيم أليفة الضغط barophilic (piezophiles) في أعماق البحار، وعندئذ لا تتمكّن من تحمّل الضغط المنخفض (يزداد الضغط 1 جو/ 10 م)، يزداد معدل التفاعلات الحيوية مع الضغط فوق 100~ جو ولكنه ينخفض فوق ذلك، إن أليفات الضغط المفرط extreme barophiles هي أليفة القرّ psychrophiles غالباً، ولما كانت درجة حرارة البيئات البحرية عموماً 2 – 4 oC فغالبية الجراثيم تمتلك درجة حرارة فضلى للنمو 18~ oC.

تقسم أليفات الضغط إلى: متحمّلة الضغط barotolerant التي توجد على عمق 4 كم (تتحمل فوق 400 جو)، وأليفة الضغط barophile على عمق 5 – 6 كم (تتحمل 500 – 600 جو)، أما أليفة الضغط المفرط extreme barophile فتوجد غالباً على عمق حتى 11 كم..! (مجال النمو فوق 700 جو فقط ونموها المثالي في 700 – 800 جو).

3. **جراثيم الرَّسُوبات القاعية** The Benthic Sediments Bacteria

تستوطن الأحياء الدقيقة الطبقات السطحية من الرسوبات القاعية، وتكون غزارة الجراثيم أقل بوضوح في رسوبات تحت مناطق أعالي البحار مقارنة بها في التربة والمسطحات القارية (الشكل 7-15)، يتراوح عدد الجراثيم غيرية الاغتذاء بين عشرات حتى آلاف؛ وفي حالات نادرة عشرات الآلاف في الغرام الواحد من الطبقة السطحية للرسوبات، وقد توجد عينات عقيمة عند الاستزراع من التخفيف 1: 10.

تقلّ تراكيز الجراثيم غيرية الاغتذاء جداً على عمق بضعة سنتيمترات في الرسوبات، وتغيب تماماً في عينات الطبقات على عمق يزيد على متر ونصف، ويعود الفقر النسبي لأعدادها في بعض المواقع لوفرة كبريت الهدروجين (البحر الأسود).



شكل 7-15 مواقع محطات الرصد الميكروبيولوجي للمياه والرسوبات في المحيط العالمي.

4. **الجراثيم التحتأرضيّة العميقة** The Deep Subterranean Bacteria

في العشرينات من القرن العشرين ظهرت أولى الأدلة على وجود أحياء دقيقة تعيش تحت سطح أرضية المحيط على عمق آلاف الأمتار، وكان في الإمكان استزراع الجراثيم المرجعة للكبريتات الموجودة في عينات المياه الجوفية من رسوبات على أعماق مئات الأمتار من سطح الأرض بحلول عام 1926، وهي تستعمل الكبريتات في التنفس في أماكن لا يوجد فيها أكسجين، وتنتج كبريت الهدروجين والبيكربونات عند تفكك المركبات النفطية، ويُعتقد أنها أنسال أحياء مطمورة منذ أكثر من 300 مليون سنة عند تراكم الرسوبات التي كوَّنت الطبقات المختزنة للنفط، ولكن ذلك لم يجد قبولاً (فريدريكسون وآخرون 1997)، وفي نهاية الأربعينات من القرن العشرين نشط

الاهتمام، لوقت قصير، إذ اهتم Zobell وآخرون في معهد سكريبس لعلم المحيطات بدراسة الأحياء الدقيقة في الرسوبات العميقة الواقعة تحت قعر البحر، ثم تعرّض البحث في الستينات والسبعينات للركود مرة أخرى.

كان يعتقد أغلب الباحثين أنه يطرأ على المياه غالباً تغيرات كيميائية لاعضوية عند مرورها خلال صخور الأرض، وأن التأثيرات الأحيائية محصورة في طبقات التربة القريبة من السطح فقط، وافترضوا أن وجود أي أحياء دقيقة في عينات المياه الجوفية المأخوذة من الأعماق البعيدة ما هي إلا ملوّثات سطحية، ولكن الاهتمام بنوعية المياه الجوفية في السبعينات وأوائل الثمانينات شجّع بعض الباحثين على إعادة تقييم جودتها؛ وأُعيد النظر من جديد في إمكان وجود الجراثيم ضمن التكوينات الصخرية الحاملة للمياه، وفعلاً نجحت الدراسات...

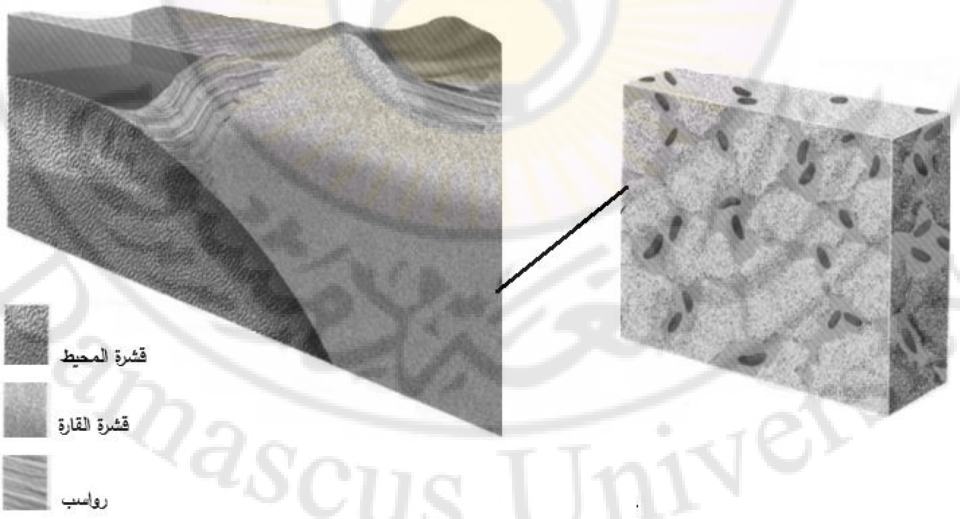
تبين وجود أنواع مختلفة من الأحياء الدقيقة تحت سطح الأرض في مواقع مختلفة، وإن اختلفت غزارة الجراثيم اختلافاً كبيراً من مكان لآخر، وأكدت النتائج بوضوح أن الجراثيم موجودة فعلاً على أعماق حتى عمق 4000 م؛ وقد استُخرجَتْ من تكوينات حرارتها 75 °C، وإن كانت قادرة على التنامي في درجة حرارة 110 °C في المنافس البحرية، ويمكنها تحمّل الحرارة العالية حتى 140 °C فترات قصيرة على الأقل.

تتنامى المجموعات الجرثومية في معظم الصخور الرسوبية الغنية عادة بالمركبات العضوية اللازمة للتغذية (من إنتاج النباتات التي عاشت على الأرض قبل أن تنطمر حبّات الرمل والطمي والطين المكوِّنة لمعظم تشكيلات الصخور الرسوبية)، كما تزود الصخور الرسوبية الأحياء الدقيقة بالطاقة التي تحتاج إليها عن طريق تفاعلات الإرجاع بأشكال مؤكسدة من الكبريت والحديد والمنغنيز.

في الواقع، تقلّ فُرَص الحصول على المواد اللازمة للحياة في الصخور بازدياد العمق والضغط؛ ولذلك تنخفض معدلات الاستقلاب باستثناء تلك البقع المحاطة مباشرة بتراكيز غنية بالغُذيات، وفي نهاية الأمر تتوزع الجراثيم في رُقَع متباعدة ضمن الرسوبات، فتعيش في مستعمرات صغيرة أو خلايا فردية منفصلة تماماً الواحدة عن الأخرى، وتوجد أنواع في الصخور النارية قليلة المواد العضوية، وفي المياه المتسرِّبة

خلال الشقوق، وهي جراثيم ذاتية الاغتذاء اللاعضوي قادرة على اقتناص الطاقة اللازمة من التفاعلات الكيميائية اللاعضوية التي يدخل فيها الحديد والكبريت، إذ تستعمل الجراثيم غاز الهدروجين وثنائي أكسيد الكربون، وتفرز في الوقت نفسه مركبات عضوية بسيطة تفيد كمادة غذائية لجراثيم غيرية الاغتذاء (الشكل 7-16)، وينتج الهدروجين عندئذ من تفاعل المياه قليلة الأكسجين مع الفلزات الحاملة للحديد في بيئة تسمى النظم البيئية للأحياء الدقيقة ذاتية الاغتذاء اللاعضوي تحت السطحية subsurface lithoautotrophic microbial ecosystems (SLiMEs) ومن المدهش أن تظل هذه الأحياء الدقيقة باقية على قيد الحياة على نحو غير محدود من دون أي إمداد بالكربون من السطح.

ومن الواضح أن بقاء مستعمرات الجراثيم تحت السطحية حية مدة تطول بقدر عمر الصخور التي تستضيفها، ليس ممكناً باستمرار؛ فالطبقات القديمة تتعرض لدرجات حرارة تقضي على الجراثيم وقد تحدث عملية تعقيم محلي عند ارتطام المُهل الناري Magma الحارق بالطبقات الرسوبية.

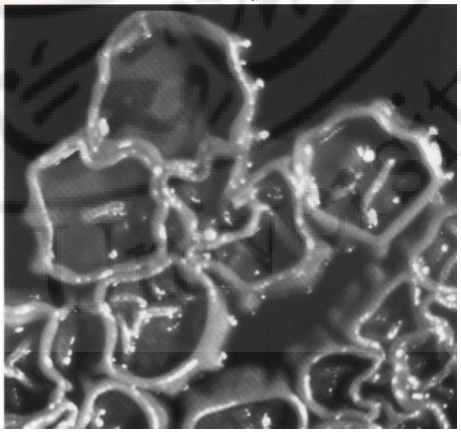


الشكل 7-16 النظم البيئية تحت السطحية للجراثيم الصخرية ذاتية الاغتذاء SliMEs في المسام بين حبيبات المعادن المتشابكة في الصخور النارية، ذاتيات الاغتذاء باللون القاتم الأخضر والأنواع الأخرى باللون الفاتح الأحمر.

يمكن أن تبقى الجراثيم في هذه النظم حية نتيجة التجدُّد المستمر للغُذيات الأساسية اللازمة لها، وإن كانت مصادر الطاقة والغذاء نادرة نسبياً في معظم أنواع التكوينات الأخرى، مع ذلك يبدو تكيُّف الجراثيم المقيمة مع الظروف الصارمة، فقد تحتَّم عليها الاعتماد على مدَّخراتها خلال المجاعات الآجلة؛ ما أدى إلى تضاؤل أحجامها، ويمكن وصفها بأنها جراثيم فائقة الدقة ultramicro-bacteria أو قزمة dwarf، إذ تميل هذه الجراثيم المتضورة جوعاً إلى الحد من استقلابها؛ فتبقى حيّة بكلفة استقلابية قليلة أو منعدمة؛ ولهذا يمكن أن يزداد زمن الجيل حتى 100 سنة أو أقل من ذلك.

من الصعب تحديد العدد الحقيقي للأنواع المنطمرة في الصخور التي تبقى على قيد الحياة، ويجري الحديث هنا عن العزلات النامية على الأوساط في المختبر، ولكن هذه الأنواع تتميز بأهمية تطبيقية، كالقدرة على تفكيك المركبات العضوية السامة، وإنتاج الصادات الحيوية والإنزيمات المقاومة للحرارة، والقدرة على إنتاج الصباغ الجديدة (الشكل 7-17)، وتتسابق الشركات في الوصول إلى تطبيقات واسعة.

ومن جانب آخر، يمكن أن تزودنا دراسة الجماعات التحتسطحية بفهم أفضل للكيفية التي كانت تؤدي بها أسلافها الوظائف الحيوية على سطح الأرض في أزمنتها الغابرة قبل أن تتطور عملية التركيب الضوئي..!، وربما تهيئ الفرصة لإدراك ما إذا كانت الأحياء الدقيقة قد عاشت بل وربما تعيش الآن، تحت سطح كوكب المريخ أو تحت السطح الخارجي لبعض الأقمار الأكبر حجماً في المنظومة الشمسية.



يتدرج لون المستعمرات بين الأرجواني والأحمر وفقاً لدرجة الحموضة السائدة (فريدريكسون وآخرين 1997)

الشكل 7-17 الجراثيم الصباغية في مناطق تحت سطحية قرب شلالات إيداهو.

ويمكن عدم اللجوء إطلاقاً لاستزراع الجراثيم على الأوساط الغذائية لمعرفة تنوعها الحيوي في أعماق الأرض، بل استعمال الفحص المجهري فوق التألقي لمعرفة كيف تعيش الجراثيم داخل العينات الصخرية، وتعتمد هذه التقنية على التركيب الفريد للحمض النووي الريبي الريبوزومي rRNA الموجود في أنماط مختلفة من الجراثيم، إذ تحتوي مسابر الدنا هذه على صبغ متألق إذا عملت الجراثيم على جمعه فإنها تظهر متوهجة متألقة عند النظر إليها تحت المجهر فوق التألقي.

وهناك طريقة أخرى لتحديد الجراثيم، اعتماداً على تحري الحموض الدهنية الفُسفوليبيدية، فهذه السلاسل الطويلة من الكربون تقوم بتكوين الكتل التي تدخل في الأغشية الخلوية، إذ تزودنا بنيتها الجزيئية بالبصمة الوراثية، فإذا وُجدت أنواع مختلفة من سلاسل الحموض الدهنية في عينة ما فهذا يدل على وجود تجمُّع جرثومي عديد الأنواع، وبالمقابل، إذا لم يوجد إلا القليل من جزيئات الحموض الأمينية المميزة؛ فإن ذلك يدل على تجمع محدود الأنواع (فريدريكسون وآخرون 1997).

رابعاً. **المصبَّات** Estuaries

المصبات مسطحات مائية تتعرض المياه البحرية فيها للتخفيف ونقصان نسبة الملوحة بسبب امتزاج المياه النهرية القادمة من اليابسة؛ ولذلك فهي وسط انتقالي بين المياه العذبة والمياه المالحة، وتتميز بتغيرات بيئية سريعة نتيجة الحركية وعدم الاستقرار، ووفرة المواد العضوية واللاعضوية نتيجة الغسل من الأراضي الزراعية؛ ما يساعد على تنشيط النمو النباتي في مياه غير عميقة يخترقها الإشعاع الشمسي عادة (ذرب 1992 خاتوغ–بوران وآخرون 1996)، وتحدث دورة سريعة للعناصر بأشكالها العضوية واللاعضوية، وتؤثر فيها عوامل مختلفة، كالتيارات (المد والجزر) وحركة الأمواج وتباين درجة الحرارة بين نوعي المياه والفصل من السنة والخواص الفيزيائية ومحتويات النتروجين والفُسفور، وتتوسع قناة النهر (الشكل 7–18) في منطقة المصب مسافة كبيرة باتجاه البحر، ولا تمتزج مياهها بسرعة.



الشكل 7-18 مظهر نموذجي لتوسُّع المصب.

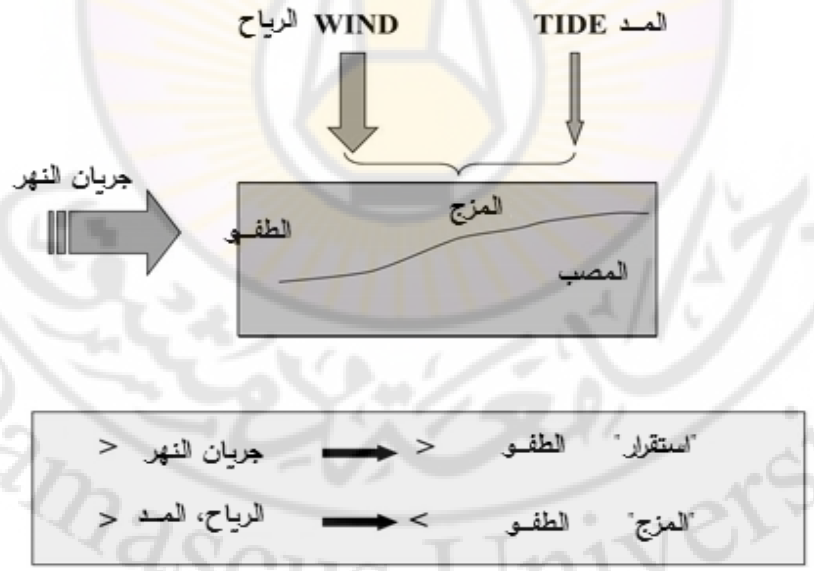
تعكس التغيرات السريعة والمتكررة في الصفات الفيزيائية والكيميائية للمصبات وجود أحياء دقيقة فريدة، فمجتمعات الأحياء الدقيقة الفَوْنباتية في المصبات ضخمة جداً إلى درجة قد تتجاوز الكتلة الحيوية للنباتات نفسها، وتتكوّن أساساً من العوالق النباتية، ثم الطحالب والمشطورات والجراثيم، وهي غالباً واسعة التحمل للملوحة وواسعة التحمل للحرارة، وتكون الإنتاجية عالية، وتوجد النباتات الوعائية والأعشاب البحرية، وتتصف هذه الأحياء بقدرتها على احتمال التغيرات الطارئة على درجة حرارة المياه وملوحتها وتركيز الرسوبات العالقة فيها.

من العوالق النباتية المنتشرة في المصبات: المشطورات النشطة وذات الغزارة الملموسة: *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*، والطحالب الداينوية، والأجناس السوطية: *Chroomonas*, *Chlamydomonas*, *Olithodiscus*، ومن الطحالب الفَونباتية الطحلب السوطي الأخضر *Dunaliella*، ومن الجراثيم الزرقاء الجنس *Microcoleus*.

1. تدفُّق النهر في المصب River inflow

يحمل النهر المواد العالقة والمنحلة والملوثات المختلفة من المنطقة العليا، وهي تميل إلى الترسيب، وتخضع لسلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية، إلى جانب تغير الخواص التي يتميز بها النهر بسبب العمليات الجارية في الظروف الجديدة، ووجود النباتات الكبيرة، وامتزاج المياه مع البحر، والتعرض لعملية المد والجزر وتأثير الرياح، والترسيب (الشكل 7-19)، وللعوامل الفيزيائية والحيوية تأثير في جماعات الأحياء الدقيقة في بيئات المياه العذبة المختلفة (الجدول 7-1).

تتعرّض المصبّات لتأثير الأنشطة البشرية، ولاسيما تأثير المدن الكبرى، وتستعمل لأغراض السياحة والتجارة والصناعة، كما استُعملت لطرح المخلفات السائلة الصناعية والمنزلية؛ ولتبريد محطات القوى الكهربائية ومناطق استجمام لعدد كبير من السكان، ومع ذلك لا يزال عدد قليل منها ينتج الأسماك والمحار.



الشكل 7-19 تأثير الرياح والمد في مزج الجريان النهري مع المياه البحرية في المصب.

للعوالق النباتية والمستهلكات وبقاياها أهمية كمصدر مهم للدقائق العالقة، ولعملية التندُّف أهمية في التحكم على سرعة الترقيد (Dyer 1986).

الجدول 7-1 العوامل الفيزيائية والحيوية المؤثرة في جماعات الأحياء الدقيقة في المصب.

المصب	(1) المنبسَط الموحل	(2) التدفق
مجتمع الأحياء الدقيقة	الرقاقات الحيوية الفَوْطمية	العوالق
الخصائص الفيزيائية الأساسية	تجفيف ضوء شديد تعرُّض للمياه المالحة	امتزاج مع المياه المالحة العكر
التقييدات الحيوية الأساسية	تنافس والرعي على السطح الموحل	رعي في عمود المياه

يتباين التنوع الحيوي في المصبات وفق الظروف الناشئة، بسبب تغيرات درجة الحرارة والملوحة والضوء والغازات المنحلة والكثافة واللزوجة، وتبدو الأحياء واسعة تحمُّل الملوحة euryhaline مقاومة لمجال واسع من الملوحة، أما الأحياء ضيقة تحمل الملوحة stenohalines فمجالها أضيق من الملوحة المنخفضة إلى المياه العذبة ذات الملوحة العالية حتى المياه البحرية، تسخن المياه الضحلة بسرعة بفعل الشمس وتبرد بسرعة بفعل مدخلات النهر أو البحر، وتقاوم الأحياء واسعة التحمل الحراري eurythermal التغيرات الفجائية والمتكررة لدرجة الحرارة، وتندحر الأحياء ضيقة التحمل الحراري stenothermal وتلجأ إلى رسوبات القاع.

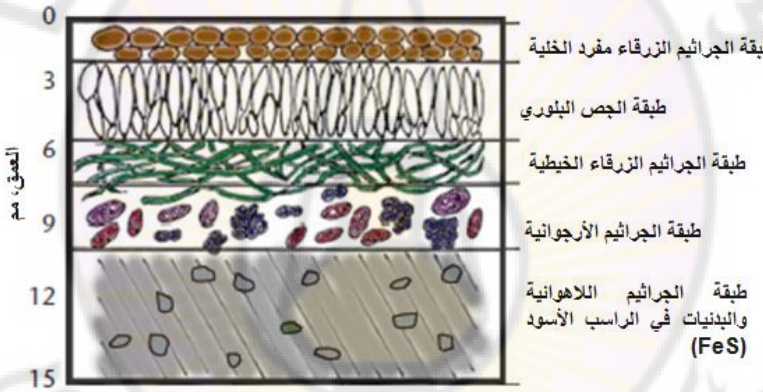
2. **المنطقة البحرية المفتوحة** Pelagic zone

تتباين البيئات في عرض البحر جداً عما هي في المناطق الشواطئية أو في المصبات (Getahun 1998)؛ ولذلك تختلف أنواع الأحياء الدقيقة فيها، إذ إن العوالق *Ceratium carriense, C. trichocerus, C. massiliense, Pyrocystis pseudonoctiluca*، وازدهارات النوع *Oscillatoria erythraeum* (Longhurst 1998) تسود في البحر الأحمر وخليج عدن؛ وتبدو العوالق النباتية والعوالق الحيوانية والأسماك أكثر شبهاً لما هي في المحيط الهندي من البحر المتوسط.

كما أن الحيد المعقّد مع المانغروف وأعشاب البحر والطحالب الضخمة تبدو موائل لتجمّع أنواع فريدة، ويبدو التوطن endemism عالياً جداً، ولاسيما ضمن الأسماك واللافقاريات (Roberts *et al.*1992, Getahun 1998).

3. **غربلة المجتمعات** Communities Screening

تتعرض العوالق الجرثومية في مصبات الأنهار لتقلُّبات واضحة، ويتعلق ذلك بالتغيرات السريعة والملموسة لملوحة المياه (Monankumar *et al.*, 1979)، وتغطي المياهَ طبقةٌ رقيقة من الدهون والحموض الدسمة، ومعقد البروتين وعديدات السكر، إضافة إلى الطافيات من الجراثيم والطحالب والحيوانات (الشكل 7–20)، وتستعمل الجراثيم البحرية مركّبات C1 كمصدر للكربون، مثل: الميتان والمِتانول، والأمينات المِتيلية، والهاليدات المِتيلية، والمركبات الكبريتية المِتيلية، وتعدّ الجراثيم مِتيلية الاغتذاء methylotrophs بؤرة كامنة لهذه المركبات.



الشكل 7–20 بنية الحصيرة: الأحياء الدقيقة مفرطة الملوحة، معدّلة من Caumette (1993).

ازدهارات الطحالب الضارة harmful algal blooms HAB هي ازدهارات الطحالب البحرية المجهرية والكبيرة التي تترك تأثيرات في نوعية البيئة على نحو غير مناسب (Boesch *et al.*, 1997)، كالتخريب الفيزيائي والسمية والأذى الجمالي، وهي غير حالات ظاهرة "الازدهار bloom" أو "المدّ الأحمر red tide"، فأي تراكيز لبضع خلايا من بعض الطحالب الدقيقة microalgae في اللتر يمكن أن تُنتِج تأثيرات سامة وضارة، وتكون ذات تأثير سيء في الوسط البيئي.

تنتج السوطيات الداينوية والمشطورات والجراثيم الزرقاء الذيفانات، ويمكن تقسيم ازدهارات الطحالب الضارة، وفقاً لتأثيرها (WFD Marine, Boesch *et al.*, 1997)، وفق الآتي:

(1) ازدهارت الطحالب السوطية السامة، مثل:

Dinophysis acute, D. acuminuta, D. fortii,
Prorocentrum lima, …

ترتبط هذه الطحالب مع أعشاب البحر والحيد، والظروف الفضلى لانتشارها هي: المياه الضحلة، ودرجة الحرارة 25 – 34 C^{o} ، وتعدّ السبب الأساسي للتسمم الغذائي.

(2) ازدهارت المشطورات السامة، مثل: *Pseudo-nitzschia australis*

(3) الازدهارت الضارّة، مثل: *Aureococcus, Aureoumbra*.

ويمكن لأنواع الجنس *Chaetoceros* أن تقتل من دون إنتاج للذيفانات، فهي تمتلك أشواكاً Spines لها حدّ كالمنشار يغرز في نسج غلاصم الأسماك، وتسبّب التهيّج وتؤدي في النهاية إلى الموت.

4. **الرسوبات والمسطحات الطينية** Sediments and mudflats

تؤثر المادة العضوية في العمليات الحيوية الكيميائية ودورة الغذيات وعمليات الانتقال والتفاعل الكيميائي والأحياء في البيئة البحرية، وتتجمع في الدلتا كميات هائلة من الرسوبات التي تتميز بخصائص مهمة (الشكل 7-21)، وفي حالات معينة تكوِّن مسطحات طينية، وكثيراً ما يرتبط ذلك بالملوثات.



الشكل 7-21 دلتا نهر الفولغا (روسيا) النظام النهري الأضخم في أوروبا، وصول الطمي والتلوث إلى بحر قزوين (المصدر: NASA Earth Observatory).

أسئلة للمناقشة



- عرّف الجراثيم كيميائية التغذية.
- قارن بين توزّع الأحياء في البحر والمصب.
- تتميز الجراثيم التحتأرضية العميقة بالآتي: ...
- لماذا توجد الأحياء المختلفة معاً في المنافس البحرية؟.
- عدد خصائص المصب المؤثرة في توزع الأحياء الدقيقة.
- ما الجراثيم الوامضة، وما المصطلح الموافق، اذكر نوعين مميزين.
- ارسم مخططاً يوضّح التوزع الشاقولي للأحياء الدقيقة في البحار.

المراجع References

خاتوغ–بوران، علياء – أبو دية، محمد حمدان (1996). علم البيئة، دار الشروق، عمان– الأردن.

ذرب، حمودي حيدر (1992). الطحالب وتلوث المياه، منشورات جامعة عمر المختار، ليبيا.

علي نظام، عدنان (2008). العوالق النباتية. منشورات جامعة دمشق كلية العلوم.

فريدريكسون، ك.، أونستوت، س. (1997). ميكروبات في أعماق الأرض، مجلة العلوم الأمريكية المجلد 13 العدد 4 / 1997.

Barcina I., Iriberri J., Egea L. (1987). Enumeration, isolation and some physiological properties of actinomycetes from sea water and sediment. Systematic and Applied Microbiology: 10, 85–91.

Bergy's Manual of Systemic Bacteriology (1984-1989). Vol. 1-4, 9th. ed., by Noel R. Krieg and John G. Holt. Williams and Wilkins Boltimore/London.

Caumette P., (1993). Ecology and physiology of phototrophic bacteria and sulphate-reducing bacteria in marine salterns. Experientia 49: 473–481.

Dyer K. R. (1986). Coastal and estuarine sediment dynamics. John Wiley and Sons Great Britain pp. 342.

Gambarian M. K., (1965). For method to definition of generation time of microorganisms in ground sediments, microbiology, T.36. V.6. 1070–1077.

Getahun A. (1998). The Red Sea as an Extension of the Indian Ocean, p 277-283 in: http//:Marine Phytoplankton Works 2005. Marine Phytoplankton Primary Food Web Producers –FrequenSeaTM.

Kojova O., Mamontova L., (1979). Bacterioplankton Angarian reservoir and statistic methods of its analyses . L. Hydrometeoizdat. 118.

Konovalova G. V., Orlova, T. Yu., Pautova L. A., (1989). Atlas Phytoplankton Japanese sea. L. Nauka-part.

Kriss A. E. (1971). Achievements and problems of ocean micribiology. Microbiology successes № 7, Nauka, Moscow. 208 - 222

Kriss A. E. (1976). Microbiological oceanography. M. Science. 267.

Lebedeva M. N., Markianovich E. M. (1972). Bacterial population Mediterranean and Red seas. kiev ; Science. 157.
Longhurst A. R. (1998). Ecological Geography of the Sea. Academic Press, California, U.S.
Mishustina I., E., Sheglova I., k., Mitskevich I. N. (1985). Marine microbiology. USR, Vladivostok, Dalnevostok University.
Monankumar K. C., Monahar L., Hariharan V., Reddy M., (1979). Effect of temperature and salinity on the microbial population in the Arabian Sea coastal waters et Mangalore. Mahasagar, India, V.12 , NO. 1,35 – 39 .
Novojilova M. I., Popova L., (1984). Bacterioplankton of middle and south Caspian sea. in book: Ecological aspects aquatic microbiology, Novosibirsk, Science. 27–37.
Reece J. B., Wasserman S., Urry L. et al., (2011). Campbell Biology. 10th. Ed. Library of congress, Student Edition, www.pearsonhighered.com
Roberts C. M., Shepherd A. R., Ormond R. (1992). Large-scale variation in assemblage structure of Red Sea butterfly fishes and angel fishes. Journal of Biogeography 19:239-250.
Romanenko V. I. (1971). Total count of bacteria in Rybin reservoir. Microbilogy, T. 40, vol. 4.707–713.
Sorokin U. I., Paveleva E. B., (1972). For quantitative characteristic ecosystem pelagial lake Dalnei on Kamchatok, Works: Inst-t Biol. Vnutr. Vod AN CCCP , V. 23 (26). 24–33.
Vinogradov M. E., Flint N. (1989). Structure and Functional Characters of the Plankton Communities of the Black Sea. Sci. Ac., Moscow, Science.
a. The phytoplankton. T.N. Rat`kova, p.38- 52
b. Primary Production and Chlorophyll. V.I. Vedernikov. P. 65- 83.
c. Vertical Distribution of Plankton M.V. Flint *et al*, 233- 246.
Weber B., Wessels D., Büdel B. (1996). Biology and ecology of cryptoendolithic cyanobacteria of a sandstone outcrop in the Northern Province, South Africa. Arch. Hydrobiol., Suppl. 117, 83, 565-579.
Yurkov V. V., Beatty J. T. (1998). Aerobic anoxygenic phototrophic bacteria. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 62:695-724.
Yurkov Vladimir V., Krieger S., Stackebrandt E., Beatty J. T., (1999). *Citromicrobium bathyomarinum*, a Novel Aerobic Bacterium Isolated from Deep-Sea Hydrothermal Vent Plume Waters. Journal of Bacteriology, 8: 1999, 4517-4525, Vol. 181, No.15.
Zheng Z. H., Zeng W., Huang Y. J., Yang Z. Y., Li J., Cai H., Su W. (2000). Detection of antitumor and antimicrobial activities in marine organism associated actinomycetes isolated from the Taiwan Straint, China. FEMS Microbiology Letters 188, 87–91.
Ziban A. V. (1970). Bacterioneuston and Bacterioplankton shelf part of Black sea. Kiev : Science , p.274.
Zubkov M. V., Burkill P., Mary I., (2004). Bacterioplankton Biodiversity: dominance, competitiveness and functionality within communities. Marine and Freshwater Microbial Biodiversity (M & FMB), Annual Science Meeting, 28 – 30 June, University of East Anglia, Norwich.

الفصل الثامن

ميكروبيولوجيا المياه الجوفية



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يعرّف المياه المعدنية.
- يستنتج دور البنية الصخرية في جودة المياه الجوفية.
- يقارن بين خواص المياه الجوفية والمياه السطحية.
- يربط بين الجريان السطحي والصخور الخازنة للمياه.
- يفهم اختلاف المواد بقدرتها على خزن المياه.
- يذكر العوامل المؤثرة في تكوين المياه الجوفية.
- يقدّر أهمية المياه الجوفية في الحياة والتنمية.

مفاهيم مفتاحية

□ **الارتشاح** Infiltration

اكتساب الطبقات السطحية من الأرض كمية من الهطل ونقلها نحو المستويات الحاملة للمياه لتكوين المياه الجوفية، وترتبط بطبيعة الصخور وبنيتها.

□ **المسامية** Porosity

مقدرة الطبقات السطحية (التربة والصخر) على استيعاب المياه الراشحة إليها واختزانها، نتيجة وجود المسام أو الشقوق، وتمثل النسبة المئوية لحجم الفراغات في الصخور إلى حجمها الإجمالي، وتفيد كمقياس لطاقة التشبُّع بالماء.

□ **الصخور الخازنة للمياه** Aquifers

صخور مختزنة للمياه وناقلة لها، تتباين مقدرتها على استيعاب المياه وإعطائها وفقاً للحجم وارتفاع مستوى المياه ووفقاً لوجود المياه الحرة أو المضغوطة.

□ **جريان المياه الجوفية** Groundwater flow

تتحرك المياه الجوفية من الارتفاعات العالية إلى المنخفضة، ومن المواقع ذات الضغط الأكبر نحو المواقع ذات الضغط الأدنى، عموماً هي حركة بطيئة جداً تتراوح بين أقل من متر واحد في اليوم حتى عشرات الأمتار.

□ **المياه المعدنية** Mineral Water

تتميز بوفرة العناصر المعدنية والأملاح المذابة نتيجة التفاعلات الكيميائية مع الصخور ووجود بعض الغازات المنحلة، وهي باردة أو حارة.

□ **جراثيم الحديد** Iron Bacteria IB

توجد في التربة والمياه، تستعمل الحديد المذاب فتساهم في تكوّن الهلام والصدأ من أكاسيد الحديد، وتسبّب مشكلات اللون والطعم والرائحة في الآبار.

□ **أعفان الآبار** Wells Molds

يصل عدد كبير من أبواغ الأعفان إلى المياه الجوفية من السطح، فتتنامى الأعفان في حصيرة، ولاسيما في الآبار الضحلة، وعلى الأنابيب.

أولاً. الترشيح والصخور الخازنة للمياه

Filtration and Aquifers

1. الارتشاح Infiltration

تهطل الأمطار والثلوج والبَرَد فتغذّي الجداول والينابيع والغدران التي تكوّن المياه الجارية؛ وهذه بدورها تمثل جزءاً يسيراً يجري فوق سطح الأرض، ويزداد عدد المجاري ورفدها لتكوين مجار أكبر وفروع الأنهار الرئيسة، وتتعلّق كمية هذه المياه بعوامل مختلفة، مثل:

- □ طبيعة الهطل: تتميز كمية الهطل وشدته وزمنه بأهمية كبيرة في تحديد الجريان.
- □ عامل الانحدار: تزداد سرعة تدفق المياه بازدياد مَيل السطح الأرضي.
- □ الارتشاح infiltration: تتوقف كمية المياه الراشحة إلى جوف الأرض على مجال مسامية السطح أو تغذية صخوره؛ فقد تكون كلسية أو رملية أو طينية ...
- □ التبخُّر evaporation: كمية المياه المتبخرة من السطح مباشرة، من التربة والنباتات والحيوانات والأجسام المائية، ولدرجة الحرارة أهمية كبيرة.
- □ كثافة الغطاء النباتي: تفقد الأوراق والنباتات عموماً جزءاً كبيراً من المياه بسبب عملية النَتْح transpiration، وترتبط الكمية بالحجم الإجمالي عموماً.
- □ الجملة الفارعية: تعمل أوراق النباتات وسوقها على إعاقة حركة الانسياب السطحي للمياه، وتفيد في تخفيف التأثير المباشر للهطل.
- □ الجملة الجذرية: تعمل جذور النباتات على تماسك قوام التربة؛ وتزيد طاقتها على امتصاص الماء فتخزنه لحين، وتقلّل عملية الحَتّ والانجراف.

يتباين معدّل التبخُّر بين منطقة وأخرى خلال الفصل من السنة، فهو عال من الغابات المختلطة والسهول والمنخفضات الصحراوية، وإن كانت قابلية التبخر بعكس ذلك، والتبخُّر القاري هو القيمة الوسطى للماء المتبخر من سطوح التُرَب الرطبة والنباتات في منطقة معينة، وتؤثر فيه العوامل الجوية، مثل: الإشعاع الشمسي وضغط البخار وسرعة الرياح والضغط الجوي، إضافة إلى تأثير نوعية المياه.

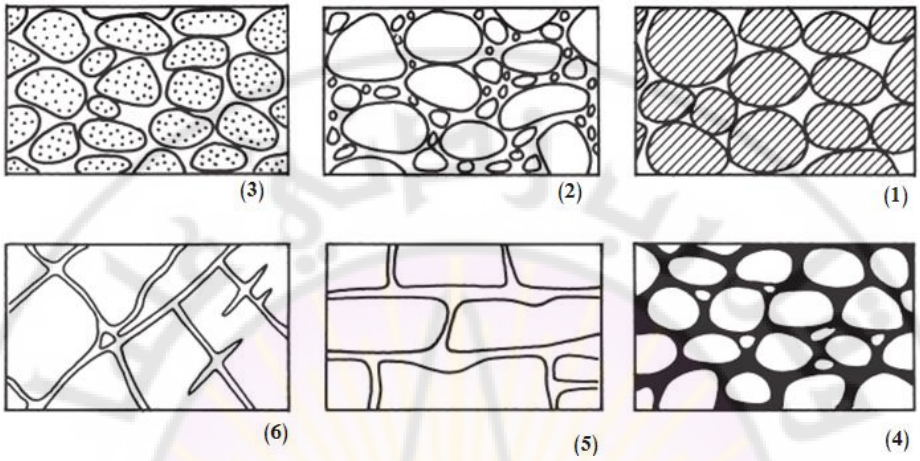
وقد تكون كمية الماء المتبخر بفعل النتح أكبر بكثير من تلك المتبخرة فيزيائياً بعملية التبخر من خلال أوراق النباتات، والتبخر الكلي Evapotranspiration يعادل التبخر القاري (السطوح المائية والثلوج والتربة والنباتات) وكمية الماء المتبخر بالنتح، ويرتبط التبخر بتغيرات درجة حرارة الهواء والتربة والرياح، والرطوبة الجوية، وتغيرات الضغط الجوي، وكمية الهطل، وكذلك درجة تشبع السطوح التي يتبخر منها الماء، كما يرتبط بالغطاء النباتي؛ أي بنوعه ونوع الجُمَل الجذرية وأحجامها، ويكون النتح أكبر في النباتات عميقة الجذور وكبيرة الأوراق، ويكون أقل في النباتات الجفافية ضحلة الجذور، والغطاء النباتي يحتجز جزءاً مهماً من الهطل قبل وصوله إلى سطح الأرض؛ ما يتيح تبخره بعد توقف الهطل بفعل الرياح والحرارة.

عموماً، يقلُّ معدّل التبخُّر من مياه البحر المالحة نحو 2% عنه في المياه العذبة في الظروف الجوية نفسها.

وعلى الرغم من تعدد أنماط المياه الجوفية Groundwater وتباين مصادرها، فإن المصدر الأكبر لها هو الهطل على اليابسة، إذ يرتشح جزء إلى الأعماق خلال الطبقات المسامية في القشرة الأرضية، ويملأ المسافات البينية والفراغات في الصخور، ولاسيما في المناطق الرطبة، ويتوقف مجال توافر هذه المياه في تلك المناطق على عدد من الخصائص الطبيعية للصخور، مثل: المسامية والنفاذية.

تحدد المسامية Porosity مقدرة التكوينات الباطنية على استيعاب المياه الراشحة إليها من السطح واختزانها، وهي النسبة المئوية بين مجموع حجم الفجوات البينية والفراغات والمسام الموجودة في تكوينات التربة والصخور إلى الحجم الكلي لهذا الصخر، وتنتج في الصخور الرخوة عن المسام وفي الصخور المتماسكة القاسية تنتج عن الشقوق، تمثّل السعة المائية مقدرة الصخر على استيعاب كمية محدّدة من الماء في فراغاته والاحتفاظ بها، وهي ترتبط بخصائص الصخور ودرجة تماسكها وتركيب مسامها؛ فتكون عالية السعة المائية أو ضعيفة أو عديمة السعة المائية، وترسم النفاذية Transmissivity مسالك المياه الراشحة خلال الفراغات بين الحُبيبات الصخرية وسطوح انفصال الطبقات الرسوبية والشقوق والصدوع وغيرها.

يمكن تحديد المسامية في المختبر من معرفة كثافة المادة الحجمية، ولها أنماط عديدة (الشكل 8-1).



الشكل 8-1 أنماط المسامية مع علاقتها بالنسيج الصخري.

(1) طبقة رسوبية (مخزن) deposit جيدة التخزين ذات مسامية عالية. (2) طبقة رسوبية قليلة التخزين تتميز بمسامية منخفضة. (3) طبقة رسوبية جيدة التخزين فيها حصى تكوِّن مسامية بنفسها؛ أي للطبقة الرسوبية كلها مسامية عالية. (4) طبقة رسوبية جيدة التخزين تختزل مساميتها بترسيب مادة معدنية (ملاطية) في الفراغات البينية. (5) صخر مذاب يصنع مسامه بالذوبان. (6) صخر بلوري مساماته هي الشقوق.

ولذلك، يمكننا استعمال درجة المسامية في طبقات التكوينات الباطنية كمقياس لطاقة الصخر على التشبّع بالماء، فمثلاً:

تبلغ طاقة استيعاب الحطام الصخري المفكّك والحصى ورواسب الرّكام الجليدي من المياه 50 – 60%، ويستوعب الحجر الرملي 20 – 40% من المياه، وتنخفض طاقة الاستيعاب في الحجر الجيري المتكتّل أو المتبلور إلى 10 – 5%، وتزيد على ذلك بقليل في الطبقات الطباشيرية.

وبالعكس، تستوعب الصخور النارية الكثيفة والمتحولة كمية ضئيلة من المياه، وقلّما تتعدّى طاقة الغرانيت الصّلد على التشبّع بالماء 1%، وتقلّ طاقة بعض أنواع الصخور المتبلورة الاستحالية عن 0.5%.

وتتباين المسامية وفق طبيعة المادة كالآتي (الجدول 8-1):

مسامية المادة، %		
الطينية، الغضارية	clay	55 – 45
الطميية	silt	50 – 40
رمل خليط خشن إلى متوسط	mixed sand	40 – 35
رمل خليط ناعم إلى متوسط	mixed sand	35 – 30
رمل منتظم	Uniform sand	40 – 30
حصى	gravel	40 – 30
خليط رمل وحصى	gravel and sand	35 – 20
حجر رملي	sandstone	20 – 10
صدفية	shale	10 – 1
حجر الجير	Limestone	10 – 1

ولا تتحدّد درجة النفوذية المائية للصخر بقيمة مساميته المطلقة بل ترتبط مع أبعاد الفراغات وأقطار المسام، فكلما ازدادت الأقطار والأبعاد كان دور الماء سهلاً؛ أي ازدادت النفوذية المائية، ويتباين التصريف النوعي للصخور كالآتي:

تصريف المادة، %			
رملية	25	حصوية	22
خليط من الرمل والحصى	16	حجر رملي	8
طينية كلي	3	حجر جيري مكثف أو صدفي	3
الكوارتز والغرانيت	2	Dense limestone and shales	

2. **الصخور الخازنة للمياه** Aquifer

هي الطبقة أو التشكيلة أو مجموعة التشكيلات من الصخور النفوذة المشبعة بالماء، وتكون قادرة على إعطاء كميات مفيدة منه، وتتحدّد الانتشارية Diffusivity بنسبة الناقلية إلى معامل الخزن.

3. **جريان المياه الجوفية** Groundwater flow

تتوقف سرعة المياه الجوفية في القشرة الأرضية على النفاذية وكمية المياه الراشحة أو المستجرَّة ومقدار التعويض الذي يتصف به المخزون الجوفي، فالنفاذية تحدّد شدة حركة المياه بين الخزان الجوفي والينابيع والآبار، والمياه الجوفية تتحرّك في الخزّان الجوفي حركة بطيئة بفعل الجاذبية الأرضية، إذ تقدّر السرعة بنحو متر ونصف في اليوم ضمن الطبقات الجيدة لحفر الآبار، وقد تبلغ بين 10 – 15 متراً في اليوم أحياناً ضمن الطبقات المكوّنة من الحصى أو الرمال الخشنة غير المتماسكة، ويرشح جزء من المياه إلى البحر أو المحيط في حركة أبطأ بلا ريب مقارنة بالجريان السطحي، ويظل التوازن قائماً بين ما يرد وما يُفقد.

4. **عمر المياه** Water age

تتجمّع المياه الجوفية في الصخور الخازنة للمياه وتجري في الوقت نفسه، أما تجدُّد مورد المياه الجوفية في الصخور الخازنة للمياه فتؤكِّده المقارنة بين الجريان الطبيعي والخزن، وتتفاوت فترات التجدّد في الطبيعة على نحو كبير جداً، إذ تقع عادة بين أقل من عشرة أعوام حتى أكثر من مئة ألف عام، وعندما يكون تزويد الصخور الخازنة للمياه في الوقت الحاضر محدوداً جداً ويكون المخزون كبيراً جداً تكون المياه الجوفية غير متجددة non-renewable Groundwater.

وعدم التجدّد لا يعني بالضرورة أن منظومة الصخور الخازنة للمياه لا تتزوّد إطلاقاً بالمياه، أو هي منقطعة كلياً عن العمليات السطحية، فالتغذية المعدومة نادرة جداً، فقد تكون فترات التجدّد بمعدل قريب جداً من معطائية الصخور الخازنة للمياه، وتكون حركة المياه الجوفية أكثر سرعة في الآفاق العليا من الصخور الخازنة للمياه ذات الارتفاع الكبير (Foster and Louks 2006)، وتكون المياه الجوفية "راكدة" على أعماق أكبر، ولكن تبدو مسألة إجراء تقويم دقيق للمخزون القابل للصرف في منظومة الصخور الخازنة للمياه ومعدّل تغذيتها طويل الأمد؛ ولذلك يصعب التمييز أحياناً في الواقع العملي بين موارد المياه الجوفية غير المتجدّدة ووضعيّة التزوّد.

ثانياً. خواص المياه الجوفية Properties of Groundwater

1. الانضغاط Compression

هو مقدار تغيّر حجم المياه تحت تأثير الضغط، وتتأثر درجة الانضغاط أساساً بكمية الغازات المنحلة في المياه ودرجة الحرارة والتركيب الكيميائي للمياه، وإن كنا نسمع أن الماء غير قابل للانضغاط عملياً، وهو مهم في الهدروجيولوجيا الدقيقة عندما يتعلّق الأمر بالطبقات العميقة الحاملة للمياه الواقعة تحت ضغط عال.

2. النشاط الإشعاعي Radioactivity

تكون المياه الجوفية نشطة إشعاعياً بدرجة أو بأخرى إلا نادراً، ويعتمد النشاط الإشعاعي للمياه فعلياً على وجود أملاح المواد المشعة، ويأتي في مقدمتها الراديوم واليورانيوم أو غاز الرادون.

3. التركيب الكيميائي للمياه الجوفية

Chemical Composition of Groundwater

تحتوي المياه الجوفية أكثر من 62 عنصراً كيميائياً، وتوجد فيها أملاح بعض العناصر الكيميائية أو شواردها والغروانيات والغازات والأحياء الدقيقة، والمقصود بالتركيب الكيميائي هو المواد المذابة عادة، ولذلك فخواصها المميّزة هي الملوحة والعناصر الكِبرية والصِغرية والمشعّة، والمواد العالقة والقساوة، والقلوية.

4. العوامل المكوّنة للتركيب الكيميائي

Factors that form Chemical Composition

يؤثر في تكوين التركيب الكيميائي للمياه الجوفية: القدرة الحالة للماء، وكمون الأكسدة والإرجاع، والرقم الهدروجيني، ومنشأ المياه الجوفية، وحركية العناصر في الغلاف المائي، وعمليات الغسل Leaching، وترسيب الأملاح، وزيادة التركيز، والانتشار، والتبادل الشاردي، ونشاط الأحياء الدقيقة.

ثالثاً. المياه المعدنية Mineral Waters

تتكوّن مياه الينابيع عندما تتدفّق المياه الجوفية من أعماق الأرض بتأثير ضغطها الطبيعي إلى السطح تدفُّقاً دائماً أو متقطّعاً مارّة في طبقات الأرض المختلفة، ويتفاوت تصريف الينابيع بين فصلي الأمطار والشحّ، وتقلّ كميّة بعضها في فصل الشحّ وقد تجفّ، ويمكن أن تكون الينابيع باردة أو حارّة، والينابيع الباردة Cold Springs هي الأكثر شيوعاً، مثل: ينابيع نهر اليرموك، ونبع عين الفيجة، ونبع السن على المتوسط في الساحل السوري، ونبع عين الزرقاء القريب من ينابيع رأس العين بالحسكة.

نبع عين الفيجة: الرافد الأساسي لنهر بردى، والمصدر الرئيس لتأمين دمشق بالمياه، إلا أن الطلب المتزايد على المياه في المدينة وضواحيها دفع إلى الاستعانة بالمياه الجوفية حتى أصبح رفده للنهر ضعيفاً جداً.

نبع بردى: يبلغ تصريفه المتوسط 3.12 م^3/ثا، وعند الفيضان 5 م^3/ثا، وينخفض عند الشح إلى 1.75 م^3/ثا، وهو المركز الثاني لتزويد مدينة دمشق بالمياه منذ عام 1995، بمقدار 1.1 م^3/ثا بطاقة سنوية تبلغ 43.5 مليون م^3 في أشهر الجفاف.

وتعدّ الآبار المحفورة dug wells أبسط أنواع الآبار، وهي حُفَر تصل إلى منسوب أخفض بقليل من سطح المياه الجوفية، وأعماقها متغيّرة، وتُحفر الآبار ذات الأقطار الصغيرة آلياً وتُغلّف بالأنابيب للوصول إلى منسوب المياه الجوفية، ويؤدي الضخ إلى انخفاض المستوى المجاور وتكوين مخروط الانخفاض (الجنايني والفتياني 1986)، أما مياه الآبار الارتوازية artesian wells فتنبثق تحت ضغط مائي من الأعماق، وتكون المياه في الطبقة الخازنة محصورة بين طبقتين كتيمتين، وهذه الآبار يمكن شقها في موقع أخفض من الطبقة المسامية أو في منخفض، وقد يصل العمق إلى 800– 1600 متر (بحيري 1979).

يمكن أن تتأثر المياه بحرارة الصخور الناريّة على أعماق سحيقة فتخرج على هيئة نافورات، والينابيع الحارّة hot springs مصدر للطاقة، ولها أهمية علاجية، وتفيد المياه الكبريتية في الاستشفاء من الأمراض الجلدية وأمراض المفاصل.

رابعاً. تنوّع الأحياء الدقيقة في المياه الجوفية
Diversity of Microorganisms in Groundwater

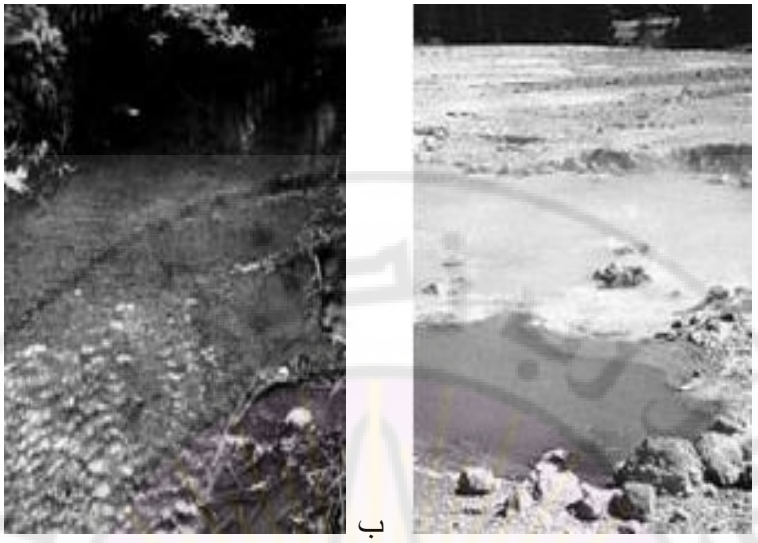
1. طبيعة توزّع الأحياء الدقيقة في المياه الجوفية
Features of Microorganisms Distribution in Ground Water

تخضع المياه لعملية تنقية عند ارتشاحها في الطبقات الأرضية السطحية وعبورها بين مسام التربة والصخور والشقوق، إذ تحدث عملية ترشيح طبيعي للمياه السطحية واحتجاز للأحياء الدقيقة والمواد العالقة؛ ولذلك تتميّز مياه الينابيع عادة بفقرها بالأحياء الدقيقة إذ تحتوي عدداً قليلاً من الأفراد في المليلتر من المياه، وإن كان عدد الجراثيم يبلغ عدة آلاف حتى بضع عشرات الآلاف في المليلتر، ولاسيما عند امتزاج المياه مع مياه المستنقعات في أوقات هطل الأمطار.

تساهم الجراثيم في تكوين تركيب المياه الجوفية، فتعمل المُنَتْرِجات في المناطق المهواة (*Nitrobacter, Nitrosomonas*) معاً، وتحوّل النشادر إلى نتريت ثم إلى نترات، وتتكوَّن الحموض الموافقة، وتتكوّن طبقة بيضاء من المواد الكبريتية المؤكسدَة عند مخارج المياه المعدنية الكبريتية؛ حيث تتجمّع الجراثيم الكبريتية عديمة اللون (*Thiobacillus, Thiothrix*) والأرجوانية والخضراء، وتؤكسد المركبات الكبريتية إلى حمض الكبريت؛ ما يؤدي إلى خفض قيمة الرقم الهدروجيني إلى 0.1 – 1.5، وهو ما يُلاحظ عند حفظ المياه المعدنية في الأواني الزجاجية مدة قبل استعمالها.

وتشارك جراثيم الحديد في تكوين المياه المعدنية، إذ تنتشر تجمّعاتها اللزجة بلون ذهبي بني في مخارج المياه الحديدية (الشكل 8-2)، وتنتشر الجراثيم المؤكسدة لكبريتات الزنك وكبريتات الكادميوم وكبريتات الزرنيخ، وكذلك توجد الجراثيم المفككة للسيليكات في هذه المواقع.

كما توجد الجراثيم في مياه الينابيع الحارّة ذات درجة الحرارة 98 – 100 Cº (الشكل 8-3)، ويمكن أن ينطلق الميتان والهدروجين في مثل هذه المياه نتيجة التفكك اللاهوائي للسليلوز.



أ ب

الشكل 8-2 جراثيم الحديد (Solomon *et al.*, 1999).

أ. نبع ساخن حمضي في Yellowstone غني بالحديد والكبريت.

ب. جدول مائي في جنوبي مدينة Wisconsin مصدر جيد لجراثيم الحديد.



الشكل 8-3 بدائيات النواة ضوئية الاغتذاء في قناة نبع حار (Balows *et al.*, 1992).

المنطقة البيضاء شديدة الحرارة لعملية التركيب الضوئي، ولكن تبريد المياه تدريجياً يفسح المجال للجراثيم ضوئية الاغتذاء الملونة بالنمو.

توجد الأحياء الدقيقة في المياه الجوفية بكميات ليست قليلة بالضرورة، كما قد يخطر في البال، تصل إليها عند ذوبان الثلوج وترشيح الأمطار التي تغسل الهواء؛ فتأخذ الغبار والأحياء الدقيقة، يتراوح عدد الأحياء الدقيقة بين 400 – 4000 خلية في المليلتر في الأماكن قليلة الكثافة السكانية، وتزيد على 20000 خلية في المليلتر في المناطق مرتفعة الكثافة السكانية.

تكون المياه الأرتوازية أكثر نظافة بسبب العمق الكبير، وهي خالية تقريباً من الجراثيم إذ لا يتعدّى عدد الجراثيم العشرات في المليلتر الواحد من المياه.

2. الجراثيم النوعية في المياه الجوفية

Specific Bacteria in Groundwater

◊ جراثيم الحديد Iron bacteria

في الحقيقة، إن الحديد هو أحد العناصر الشائعة الكثيرة التي يمكن مصادفتها في الطبيعة، ويشكّل نحو 5% من قشرة الأرض، وهكذا، وجدت جراثيم الحديد المثبّتة للحديد iron-fixing bacteria في مياهنا منذ أكثر من مليون عام، فعندما تتدفّق المياه الجوفية خلال الترب الحاملة للحديد، أو الصخور التي تزيد الحديد على طول الطريق، وحيث يوجد الأكسجين، يمكن أن توجد جراثيم "تتغذى" بهذا العنصر وتسمى جراثيم الحديد Iron bacteria.

تعدّ جراثيم الحديد مكوناً طبيعياً من الأوساط البيئية في معظم الأنحاء من العالم، لا تسبب الأمراض، وتستعمل الحديد المذاب في المياه وتتنامى في كتل لزجة (www.kitsapgov.com)، فهي مجموعة من الجراثيم الهوائية التي تستعمل شوارد الحديدي و/أو المنغنيز كمكون أساسي في وظائفها (Cullimore 1978)، إذ يتفاعل الحديد المذاب مع الأكسجين من الهواء في وسط حمضي pH<4 لتكوين أكاسيد الحديد الملوّنة غير الذائبة في المياه – الصدأ rust، وهي إما أن تترسب على القاع أو تخزن في هلام لزج شبيه بالمواد المحيطة بالخلايا الجرثومية (هدروكسيد الحديد)، ويبين الجدول 8-2 توزّع جراثيم الحديد في الموائل المختلفة.

الجدول 8-2 مجال الموائل التي تظهر فيها جراثيم الحديد وقابليتها لأكسدة أملاح الحديد والمنغنيز وإرجاعها.

الجنس	الموائل						المؤكسدات		
	التربة	المياه العذبة	المستنقعات	وحل البحيرات والأنهار	مياه الآبار وشبكات التوزيع		الحديد	المنغنيز	الحديد والمنغنيز
Toxothrix	−	+	+	±	−		+	−	−
Sphaerotilus	−	+	−	+	+		−	−	+
Leptothrix	−	+	−	+	+		−	−	+
Lieskeella	−	+	−	+	−		+	−	−
Crenothrix	−	+	−	−	+		−	−	+
Clonothrix	−	+	−	−	+		−	−	+
Pedomicrobium	+	+	−	−	−		−	−	+
Galionella	+	+	+	+	+		+	−	−
Metallogenium	+	+	−	+	−		−	−	+
Kusnezovia	−	−	−	+	−		−	+	±
Thiobacillus ferrooxidans	+	+	+	+	+		+	−	−
Siderocapsa	−	+	−	−	+		−	−	+
Naumanniella	+	+	−	−	+		−	−	+
Ochrobium	−	+	−	−	+		+	−	−
Siderococcus	−	−	−	+	−		+	−	−

تؤكد دراسة طبقة البيريت pyrite deposits وجود مجموعتين من جراثيم الحديد: *Galionella* و *Sphaerotilus* (Schopf *et al.*, 1965)، وتوجد نموات جراثيم الحديد هذه في الآبار والأنهار، والروافد الملطّخة بالأحمر الدموي أو البني، وتصبح غير قابلة للشرب.

يبين الشكل 8-4 بعض أشكال جراثيم الحديد المنتشرة في المياه الجوفية.



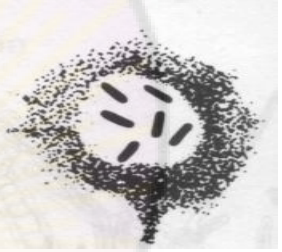
جراثيم متحركة، ذات ماسك، تتوضع خلاياها ضمن خيوط على هيئة غلاف، وهناك بعض الخلايا الحرة، التفرع كاذب، وتوجد مناطق خالية من الخلايا.

Sphaerotilus natans



جراثيم الحديد، تبدي مزرعة هذه الجراثيم خلاياها والسويقات تُبرز هذه الخلايا.

Galionella ferruginea



جراثيم الحديد، تبدو الخلايا في كتلة من ماءات الحديد.

Siderocapsa

الشكل 8-4 الجراثيم النوعية في المياه الجوفية – جراثيم الحديد.

(APHA 1995, Schlegel 1985)

ترسب الحديد والمنغنيز الجراثيم الآتية:

Galionella ferruginea,
Leptothrix cholodnii,
Thiobacillus,
Siderococcus, …

وتوجد الجراثيم الكبريتية المؤكسدة للحديد، كالعصيات التي تستعمل مركبات الكبريت اللاعضوي والحديد في الوقت نفسه للحصول على الطاقة، كما تستعمل الركيزة العضوية (Temple and Colmer 1951)، مثل:

Thiobacillus ferrooxidans

كانت التغييرات كبيرة في التصنيف:

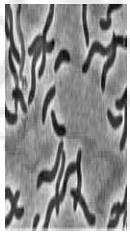
ففي دليل بيرجي الطبعة السابعة (Breed *et al.* 1957) كانت جراثيم الحديد في Caulobacteriaceae، Siderocapsaceae، Chlamydobacteriaceae، Crenotrichaceae.

وفي الطبعة الثامنة (Buchanan and Gibbons 1974) دُمجت في 15 جنساً في الأقسام الآتية:

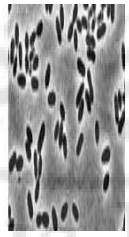
	القسم	الجنس
2	الجراثيم المنزلقة	*Toxothrix*
3	الجراثيم ذات الغمد	*Sphaerotilus, Lieskeella, Crenothrix, Clonothrix*
4	الجراثيم المتبرعمة و/أو ذات اللاحقات/الزوائد الثانوية	*Pedomicrobium, Metallogenium, Kusnezovia*
12	الجراثيم كيميائية الاغتذاء المعدنية السلبية الغِرام	*Thiobacillus* (نوع واحد فقط) *Th. ferrooxidans* *Siderocapsa, Naumanniella* *Ochrobium,* *Siderococcus*

◊ الجراثيم المرجعة للكبريتات Sulfate – Reducing Bacteria

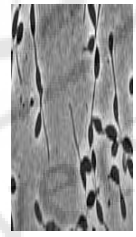
توجد مجموعة الجراثيم اللاكبريتية الأرجوانية أو الخضراء (الشكل 8-5).



Rhodospirillum rubrum



Rhodobacter phaeroides

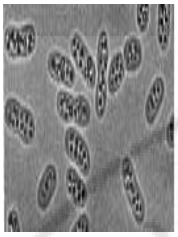


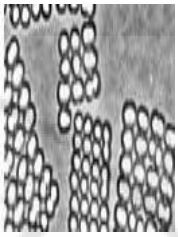
Rhodomicrobium vannielii

الشكل 8-5 الجراثيم اللاكبريتية الأرجوانية Purple nonsulfur bacteria

(Balows *et al.*, 1992).

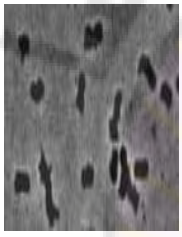
أما مجموعات الجراثيم الكبريتية (الشكل 8-6) فهي: الجراثيم الكبريتية الأرجوانية، الجراثيم الكبريتية الخضراء.





Thiospirillum jenense *Thipedia rosea* *Chromatium vinosum*

الجراثيم الكبريتية الأرجوانية Purple sulfur bacteria





Chlorobium limicola *Prosthecochloris aestuarii* *Pelodictyon clathratiforme*

الجراثيم الكبريتية الخضراء Green sulfur bacteria

الشكل 8-6 الجراثيم الكبريتية (Balows *et al.*, 1992).

3. **الأعفان في مياه الآبار** Molds in Water Wells

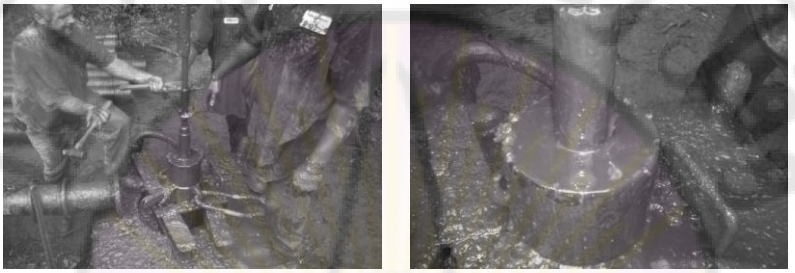
عندما تكون المياه الجوفية تحت تأثير مباشر للمياه السطحية، فإن عدداً كبيراً من أبواغ الأعفان ينتقل إلى الصخور الخازنة للمياه، فتنمو مكوِّنة حصائر جانبية ضخمة، ولكنّ الجريان الجوفي يحملها ثانية إلى مياه الآبار، وتأخذ الرقاقات بالنمو جيداً فيها ولاسيما في الآبار الضحلة، وعلى الأنابيب في مخروط الانخفاض الناجم عن الضخ، وإن كانت لا تساهم عملياً في إغلاق الأنابيب.

إضافة إلى الفطريات، يمكن وجود اثنين من أجناس الحيوانات الأولي الممرضة في مياه الآبار هما: الجيارديا Giardia، و Cryptosporidium، وقد أمكن تحري الفيروسات المعوية Enteroviruses في مياه الآبار أيضاً.

4. الأحياء الدقيقة المسببة للأوحال الحيوية والتآكل

Microorganisms that cause Biofouling and Decay

تكوّن جراثيم الحديد الهلام اللزج البرتقالي أو البني في المياه ويبدو مشكلة جمالية، نظراً إلى اندفاعه منفصلاً بكميات هائلة (الشكل 8-7)، ووجود الهلام ذي البريق الزيتي يكون غالباً أول دليل على وجود هذه الجراثيم، وهو غير بريق المشتقات النفطية، غير ضار بالصحة ولكنه يضر بالأسماك وبيوضها واللافقاريات والنباتات.



الشكل 8-7 نموات الجراثيم وتدفق الهلام البرتقالي عند إصلاح البئر (Norton *et al.*,).

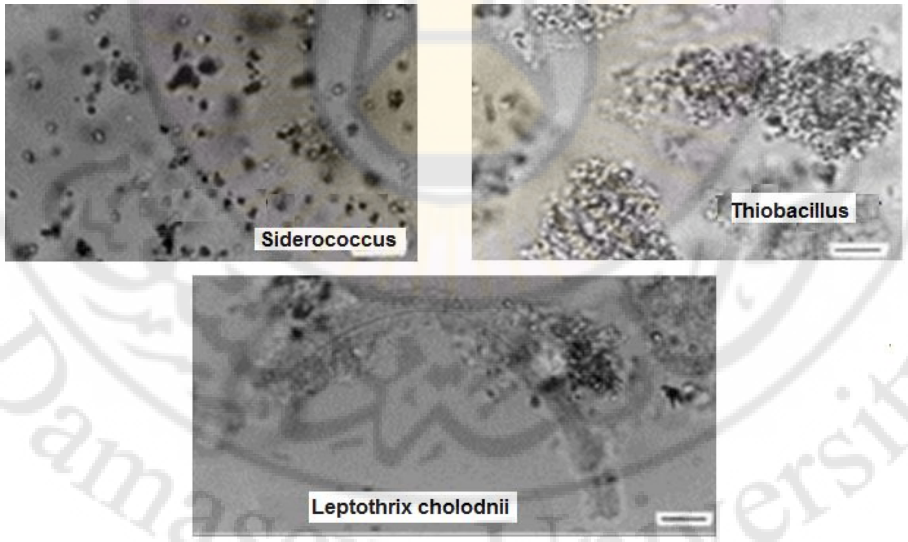
يمكن أن تسبب جراثيم الحديد تأثيرات كريهة عندما تسود بوضوح في الآبار، إذ تبدي نمواتها الضخمة عدداً من الظواهر المؤذية كالآتي:

- ✓ لون بني محمر صدئ للمياه.
- ✓ طعم معدني خفيف لمياه الشرب.
- ✓ طعم ورائحة غير مستساغة بسبب موت الجراثيم.
- ✓ تكوين طبقة هلامية على السطوح الجانبية لشبكات التوزيع.
- ✓ إغلاق سريع لمصافي المرشحات بالهلام الصدئ.
- ✓ خفض معدلات التدفّق وإغلاق شبكة الأنابيب بالهلام.
- ✓ نشوء طبقة من هلام أحمر أو بني على السطوح الجانبية للأحواض والخزانات.
- ✓ زيادة المادة العضوية في المياه؛ ما يساعد على نمو الجراثيم الكبريتية التي تفكك لاهوائياً هذه المواد وتنتج الحموض وكبريت الهدروجين.
- ✓ صبغ الملابس المغسولة ببقع بنية محمرة.

- ✓ مقاومة المعالجة الكيميائية، فالرقاقات الحيوية تزيد مقاومة الكلورين 150 إلى 3000 مرة، وتزيد مقاومة العوامل الأخرى 2 – 10 مرات، حسب عمر الرقاقة الحيوية وتكوين المحفظة وظروف النمو.

تتكون المادة الهلامية اللزجة slime التي تنتجها جراثيم الحديد من عديدات السكر الخارج خلوية، وتفيد عديدات السكر الخارج خلوية في ارتباط مكوّنات الرقاقة الحيوية معاً والتصاقها بالسطوح، فتصبح شبيهة بشبكة العنكبوت إلى حد كبير، تعمل على اصطياد الغذيات، وتحمي الجراثيم من المبيدات الحيوية، وتفيد كمنظومة للتبادل الشاردي لاقتناص الغُذيات الصِغرية من المياه وتركيزها بإفراط، وتعمل عديدات السكر الخارج خلوية كغطاء لحماية الخلايا الفَوْنباتية فتُخفف تأثير المبيدات الحيوية والمواد السامة الأخرى، وتُوقع في شرَكها الأنماط الأخرى من خلايا الأحياء الدقيقة التي تبحث عن الغُذيّات وتستقلب مخلّفات الرقاقة الحيوية وتفرز مستقلباتها المفيدة.

يبين الشكل 8-8 الجراثيم التي تعمل على ترسيب الحديد والمنغنيز.



الشكل 8-8 ترسيب الحديد والمنغنيز بفعل جراثيم الحديد.

ينشأ الوحل الحيوي biofouling بفعل جراثيم الحديد IB التي تعمل على تآكل آبار المياه الجوفية وشبكات التوزيع (الشكل 8-9)، وتسبب الضرر لمعدات الضخ، وتُتلف المصافي ومحطات معالجة المياه، وقد تجعل البئر خارج الخدمة.

تتكون الرقاقة الحيوية أساساً (الشكلان 8-10 و 0-11) من جراثيم الحديد والجراثيم المرتبطة، إضافة إلى الجراثيم الممرضة، مثل: جراثيم الكوليفورم، والجراثيم الانتهازية – الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa*، والجراثيم الممرضة – *Helicobacter pylori*، والإشريكية المعوية *Escherchia coli*.

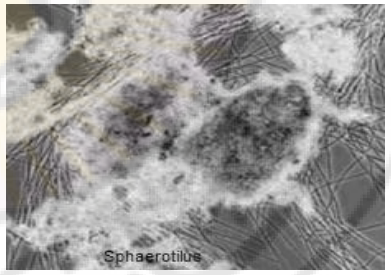


منطقة تدفق المياه انبثاق الجراثيم المغمورة

الشكل 8-9 الوحل الحيوي بفعل جراثيم الحديد في أنابيب الآبار.



Galionella ferruginea

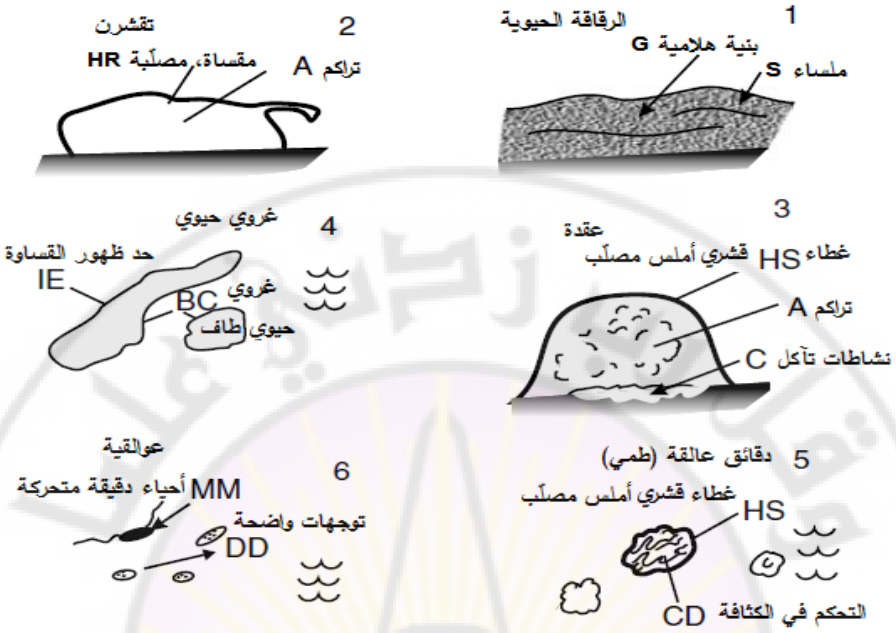


Sphaerotilus



Leptothrix

الشكل 8-10 مكونات الرقاقات الحيوية (أنواع الجراثيم المستعملة للحديد والكبريتات والمنغنيز).



الشكل 8-11 تصور للأشكال المتباينة من النموات الميكروبيولوجية في مياه الآبار.

(1) تصور الرقاقة الحيوية التي تمتلك عموماً سطحاً أملس (S)، وبنية هلامية (G).

(2) صور ظروف نضج الرقاقة الحيوية إلى تقشرن encrustation مع غطاء قشري مقسى (HR)، والغزارة والتراكم الكثيف في الداخل (A).

(3) تبدي شكل العقدة الصغيرة (عُقيدة) nodule، والعُقيدات بنى يمكن تفحصها غالباً وهي تنمو داخل جسم صلب غير حاد. ولهذه عادة غطاء قشري أملس مقسّى/مصلّب (HS)، مع نشاطات أكالة (C)، تعمل على تكوين نُقَر (كالثقوب) تظهر غالباً على دعامات تحت السطح.

(4) تصور غروي حيوي طاف (BC)، مع حد ظهور القساوة (IE) عالق في المياه (موجات). قد تصبح عديدة لأن الماء يصبح كالهلام وقد توجد دقائق محتجزة ضمن المياه المتحول إلى هلام.

(5) تبدو دقائق الطمي العالقة كتراكم ضمن الصدفة الملساء المقساة (HS) مع قابلية للتحكم في الكثافة (CD) والطفو أيضاً ضمن المياه.

(6) تصور نشاط الأحياء الدقيقة العوالقية. هنا، الأحياء الدقيقة المتحركة (MM) قادرة على الحركة في اتجاهات محددة (DD) بالسباحة باستعمال السياط، هناك زوائد خارج الخلايا تساعد على دفع الخلايا خلال المياه. ولأي من هذه البنى المتباينة هيئة مختلفة أمام تحديات المعالجة والتدبير. بعض النماذج الفَوْنباتية للنمو (1،2، و 4) يمكنها أحياناً الانتقال بالتمزق (DR، مثل التنظيف..!) والأخرى تتطلب تأثيراً كيميائياً لتمزيقها ويفيد في تحقيق هذا الغرض استعمال الحرارة.

أسئلة للمناقشة



- عرّف المياه المعدنية، وأوضح أهميتها؟.
- ما الصخور الأكثر قدرة على خزن المياه؟.
- تتميز المياه الجوفية بتركيب كيميائي وفق تكوّنها كالآتي: ...
- لماذا ننصح باستعمال المياه الجوفية في الشرب؟.
- عدد أنماط المياه الجوفية.
- ما أهم أنواع الأحياء الدقيقة الموجودة في المياه الجوفية؟.
- ارسم مخططاً توضيحياً يمثل غزارة الأحياء الدقيقة في المياه الجوفية.

المراجع References

بحيري، صلاح الدين (1979). أشكال الأرض. دار الفكر، الطبعة الأولى، دمشق. سورية.

الجنايني؛ محمد عبد الرحمن، الفتياني؛ فاروق (1986). الهيدرولوجيا ومبادئ هندسة الري، كلية الهندسة – جامعة بيروت العربية وجامعة الإسكندرية، دار الراتب الجامعية، بيروت– لبنان.

APHA, AWWA,WPCE (1995). Standard methods for examination of water and waste water, Washington, American public health association, 18th ed. USA.

Breed R. S., Murray F. G. D., Smith N. R. (eds) (1957). Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. 7th Edn. Baltimore: Williams & Wilkins Co.

Buchanan R. E., Gibbons N. E. (eds) (1974). Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 8th ELM. Baltimore: Williams & Wilkins Co.

Cullimore D. R. (1978). The Identification, Cultivation and Control of Iron Bacteria in Ground Water. Aquatic Microbiology, Editors Skinner & Shewan Academic Press, Annette E. McCann

Foster S., Louks D. P. (2006). Non-renewable groundwater resources, UNESCO.

Iron and Iron Bacteria in Water, Kitsap Country Public Works, Program Fact Sheet, www.kitsapgov.com

Norton C., Baker K. H., Hegarty J. P., Redmond B., Reed N., Herson D. (). Effect of Oxidizing Disinfectants on Helicobacter pylori. Applied and Environmental Microbiology, Feb. 2002, p. 981-984.

Schlegel H. G. (1985). General Microbiology, second edition, Moscow, Mir, 1987.

Schopf E. G., Ehlers E. G., Stills D. V., Birle J. D. (1965). Fossil iron bacteria preserved in pyrite, Proceedings of the American Philosophical Society 109, 288- 308.

Solomon E., berg L., Martin D. (1999). Biology, Fifth edition, Saunders College publishing.

Temple K. L., Colmer A. R. (1951). The autotrophic oxidation of iron by a new bacterium *Thiobacillus ferrooxidans*. Journal of Bacteriology, 62, 605-611.

Waterbury J. B. (1992). The cyanobacteria isolation, purification and identification. In: Balows A., Trüper M., Dworkin M., Harder W., Schleifer K. H. [Eds]. The Prokaryotes. Second edition, Volume II, Springer-Verlag, New York, 2058-2078.

الفصل التاسع

ميكروبيولوجيا تلوث المياه



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يحدّد مصادر الملوثات وأنماطها.
- يستنتج مخاطر التلوث الإشعاعي.
- يقارن بين المعايير الأولية والثانوية للتلوث.
- يربط الاحتباس الحراري بتلوث المياه.
- يفهم سلوك النتروجين في المياه.
- يذكر أمثلة عن تأثير السموم في التنوع الحيوي.
- يقدّر أهمية صون الموارد المائية من التلوث.

مفاهيم مفتاحية

□ **تلوث المياه** Water Pollution

أي تغير فيزيائي أو كيميائي أو حيوي يعوق الاستعمال الطبيعي للمياه، مع أن المياه تستوعب كمية معينة من التلوث بالتخفيف والتنقية الذاتية.

□ **الإصحاح البيئي** Ecosanitation

الإجراءات والتدابير المتخذة لإغلاق الحلقة في الطبيعة بين الإصحاح والزراعة من خلال تطبيق المسارات الآمنة والحديثة وتقنيات إعادة الاستعمال.

□ **المطر الحمضي** Acid Rain

الهطل والجزيئات التي أصبحت حمضية بفعل تلوث الهواء، إذ تندمج مع قُطيرات الغيوم، وهو مشكلة عابرة للحدود، الرقم الهدروجيني منخفض.

□ **السموم أو الذيفانات** Toxins

المواد التي يؤدّي امتصاصها بكمية بسيطة نسبياً إلى اضطراب في التكوين أو في أداء وظائف الأحياء أو ما يحدث ضرراً أو يسبب الموت.

□ **التراكم الحيوي** Bioaccumulation

تراكِمُ الأحياءُ مواد كيميائية سامة مباشرة من البيئة ومن مصادر غذائية، ولاسيما المياه، يفوق تركيزها في الأفراد ما في البيئة مرات عديدة، ويرتبط ذلك بنوع الأحياء والثبات وقابلية التحوّل الحيوي والانحلال في الدهن.

□ **التضخم الحيوي** Biomagnification

العملية التي تراكم الأحياء عن طريقها مواد كيميائية وسموماً، ويزداد تركيزها في الأفراد وتتعاظم قيَمُها وفق تدرُّج انتقالها في الشبكة الغذائية ووفق طولها وتعقيدها حتى المستهلك الأخير.

□ **العناصر الصِّغْرية** Trace element

هي العناصر الأثرية التي تظهر على مستويات منخفضة جداً لبعض الأجزاء في المليون أو أقل في المنظومة المقصودة أو الحي.

أولاً. الملوثات ومصادر تلوث المياه

Pollutants and Resources of Water Pollution

إن التلوث مسألة لم تتحوّل إلى مشكلة جديّة إلا في القرون الأخيرة، ويرتبط ذلك بالتقدم الصناعي الذي دفع بقوة إلى ازدياد استعمال المياه في الأغراض المختلفة كالصناعة والزراعة والتجارة، وفي الشرب والتنظيف والاستجمام، وازدياد صرف المخلفات السائلة المنزلية والصناعية نتيجة الضغط لتأمين السكان بالمنتجات الزراعية والصناعية، إضافة إلى التنمية الهائلة غير الرشيدة والتسابق إلى الأسواق والاستهلاك؛ ما أسفر عنه تدهور في خواص البيئة المائية في أصقاع الأرض، حتى أصبحت إنذارات الخطر تدق على أوتار اندثار التنوّع الحيوي والمخزون الوراثي وسَقَم الحاضر وانكسار المستقبل...!

في الواقع، رافق التلوث نشوءَ الحياة وتطوُّرَ بني الإنسان، إلا أن الوسط المحيط كان قادراً في العصور الأولى على التنقية الذاتية، فإلى مطلع القرن التاسع عشر لم تتجاوز أعداد سكان الأرض المليار نسمة، بينما يزيد اليوم على سبعة مليارات، ولَكمْ ساهمتْ الثورة الصناعية مع الانفجار السكاني وتوسع المدن في تفاقم المشكلة في مجمل أنحاء العالم، وكثرتْ الحوادث وحالات تدهور الحالة البيئية في مناطق كثيرة وأوقات عديدة جداً؛ ما حتّم طرح مشكلة التلوث بقوّة في جوانبها العلمية والعملية، ودعا العالم إلى إصدار التشريعات التي تحدد مستويات التلوث المسموح بها والسعي لإيجاد الإجراءات المناسبة للرقابة وتدابير المعالجة والصيانة.

يعرَّف **تلوث المياه** Water Pollution بأنه التغيُّر في كل أو جزء من الصفات الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية الذي يؤدّي إلى إعاقة استعمال المياه في المجال الطبيعي لها، سواء أكانت لاستعمال الإنسان ولإجراء نشاطاته أم لحياة أنواع الأحياء المختلفة وبقائها، وإن كانت المياه لا توجد نقية في الطبيعة.

من المؤكد أنَّ أيّ مصدر من مصادر المياه يتّصف بمقدرة على استيعاب كميّة معينة من التلوث وتحمُّلها؛ لأنَّ الحلول الأولية هي التخفيف والتنقية الذاتية.

يقصد بماهية التلوث المائي حدوث تغيّرات كميّة ونوعيّة في عناصر البيئة الحية واللاحية الموجودة في الوسط ، وينتج عنها تأثيرات سلبية في حجم الموارد الطبيعية المتاحة، إذ إن التغير الكمي ينتج عن زيادة بعض المكونات الطبيعية اللاحية أو نقصها في الوسط المائي، مثل: الأملاح المغذية، ودرجة الحرارة وكمية الأكسجين، وقد يحدث تغير كمّي من دخول مواد سامة أو قاتلة حتى في تراكيزها الطبيعية، مثل: الزئبق وأكاسيد الكربون، أما التغير النوعي فيحدث نتيجة إضافة مركبات صناعية غريبة عن النظم البيئية المائية إذ تتراكم في المياه، مثل: المبيدات الحشرية.

1. المعايير الأولية والثانوية لتلوث المياه

Primary and Secondary Parameters of Water pPollution

يبين الجدول 9-1 المعايير الأولية والثانوية لتلوث المياه.

الجدول 9-1 المعايير الأولية والثانوية لتلوث المياه.

المعايير الأولية للتلوث	
صفاء الماء	كمية المواد الصلبة العالقة في المياه التي تؤدي كثرتها إلى إعاقة التعقيم بالكلور.
الأحياء الدقيقة	توجد في المياه ولها أضرار محتملة، قد يكون وجودها طبيعياً في المياه أو بتأثير أنشطة الإنسان.
المركبات العضوية	الملوثات الناتجة عن الأنشطة الزراعية أو الصناعية، مثل: مبيدات الآفات.
المركبات اللاعضوية	مركبات كيميائية مرتشحة من المياه الجوفية، أو ناتجة عن أنشطة الإنسان، كالرصاص والنترات، وغيرها.
النشاط الإشعاعي	ينشأ عن الترسيبات المعدني أو الغبار الذري الناتج عن التفجيرات النووية، أو عمل الأجهزة الطبية والعلمية والصناعية.
المعايير الثانوية للتلوث	
بداية الرائحة	3 وحدات
النحاس، الحديد، المنغنيز، الزنك، الكلوريد، الكبريتات..	
إجمالي المواد الصلبة الذائبة، عوامل نافخة ومكونة للرغوة	

وهناك مكونات إضافية، مثل:

الرقم الهدروجيني، والعسر، والصوديوم، والكلسيوم، والبوتاسيوم، والمغنزيوم، والبورون، والنترات.

ومن الاختبارات الفيزيائية:

درجة الحرارة، والطعم، واللون، والعكارة، والمواد المنحلة، والمواد غير المنحلة.

ومن الاختبارات الكيميائية:

الأكسجين المنحل، والمادة العضوية العالقة، وملوثات المياه.

2. **أنماط الملوثات** Types of Pollutants

الملوثات الطبيعية natural pollutants: يمتص بخارُ الماء، المتكاثف في الهواء، الغبارَ ويذيب الأكسجين وثنائي أُكسيد الكربون والغازات الأخرى، ويكتسب بعضَ الجراثيم والأبواغ الموجودة في الهواء عند الهطل، وعندما يجري على الأرض يجرف الطمي والمواد العضوية واللاعضوية، ويذيب بعض الصخور، ويلتقط أعداداً هائلة من الجراثيم والأحياء الدقيقة الأخرى عند تكوينه للمجاري والسيول والأنهار، غير أن الجزء النافذ في التربة يتخلص من الجراثيم والمواد العالقة نتيجة الترشيح الطبيعي خلال الطبقات الأرضية؛ ولذلك فإن انخفاض نسبة التلوث في المياه الجوفية يعتمد على طول الجريان الجوفي والتفاعلات الكيميائية الجارية.

ويمكن تقسيم الملوثات الطبيعية وفق الآتي:

(1) المواد العالقة: الطمي الذي يسبب العكر، والجراثيم التي قد يكون بعضها ممرضاً، والطحالب التي تعمل على تغيير الطعم واللون في المياه وتزيد العكر.

(2) الشوائب المنحلة: الأملاح وأكاسيد المعادن والغازات، تزيد الأملاح قساوة المياه وتغيّر طعمها وتجعلها غير صالحة للصناعة؛ وأحياناً تجعلها غير صالحة للشرب، وأهمها أملاح الكلسيوم والمغنزيوم والصوديوم وأملاح الحديد وغيرها، ومن أهم الأكاسيد المعدنية: أكاسيد الحديد والكلسيوم والصوديوم، وتشمل الغازات المنحلة ثنائي أُكسيد الكربون وكبريت الهدروجين وثنائي أكسيد الكبريت.

الملوثات المستحدثة artificial pollution: ينشأ الملوث المستحدث نتيجة أنشطة الإنسان المختلفة التي تطرح كميات كبيرة من المخلفات السائلة والصلبة مباشرة أو على نحو غير مباشر في مسطحات المياه كالأنهار والبحيرات والشواطئ؛ ما يترك تأثيرات عميقة في التنوع الحيوي الذي تغتني به الأوساط المائية، وتطرأ تغييرات كبيرة في خواص المياه فتجعل المصادر المائية غير صالحة للاستعمالات المحددة لها، وكثيراً ما تتحول إلى خطر كامن على الصحة والبيئة، وعندما تصبح كمية الملوثات كبيرة فإن قدرة المياه على التنقية الذاتية تصبح محدودة وغير كافية، وتتحوّل إلى مياه تحمل المخاطر.

تزداد المخلفات السائلة والصلبة مع ازدياد أعداد السكان وتوسُّع المدن، ولاتزال شبكات الصرف المنزلي في المدن القديمة مشتركة لنقل المخلفات المنزلية ومياه الأمطار القادمة من الأسطح والطرق حتى المخلفات الصناعية، والمخلفات المنزلية تحتوي الجراثيم والخمائر والمواد العضوية واللاعضوية، وتحمل المخلفات الصناعية المواد السامة، وعندما تصرف المخلفات أو تصل بأي طريقة إلى الموارد المائية فإنها تغيّر خواص المياه وتضر بالأحياء فيها.

وكذلك يؤدي استخراج الثروات الطبيعية المختلفة إلى تلوث مصادر المياه بالمواد الخام اللاعضوية والمركبات السامة، كالفحم الحجري والنفط والمعادن والفسفات وغيرها، كما تتعرّض الخواص العامة للموارد المائية إلى تغييرات جوهرية تحت ضغط تزويد المدن بمياه الشرب، والاستجرار الجائر للمياه الجوفية، وشقّ المشروعات المائية كالقنوات والري، وتحويل مجاري الأنهار وإنشاء البحيرات.

أما المواد العضوية الناجمة عن المشروعات الصناعية والزراعية، بما فيها المبيدات والمخلفات الصناعية والمواد النشطة سطحياً فتؤثر سلبياً في الأحياء المائية، ولاسيما المفيدة منها كالأسماك التي تتحسس لتراكيز صغيرة جداً، وحوادث التسرب النفطية العَرَضية الضخمة لناقلات النفط سبب كبير للتلوث على طول الشواطئ، والازدياد الكبير في أعدادها، وتؤدي عمليات النقل البعيدة إلى تلوث عَرْض البحار ونقل المشكلة وتوسيع مداها (الشكل 9-1).

ويقدر أن واحداً من كل مليون طن من النفط المنقول يتسرب إلى المياه، وحسبنا أن نذكر أن كميات النفط المتسربة في الخليج العربي في عام 1991 تقدّر بنحو 240 مليون غالون من النفط المسفوح.



الشكل 9-1 التسرب النفطي في البحر.

تزيد عمليات استصلاح الأراضي الملوثات التي تنتقل عن طريق الهواء والمياه إلى المسطحات المائية، وتقدر كمياتها بنحو 10 بلايين طن متري تجرفها الأنهار إلى البحار، ويزداد الرقم إلى 14 بليون طن متري مع حساب تأثير الإنسان، وكذلك المواد المشعة الناجمة عن مخلفات اليورانيوم وتنقيب الثوريوم وتركيزه ومن محطات الطاقة النووية، إضافة إلى مياه التبريد ولاسيما في مصانع توليد الطاقة الكهربائية؛ ما يؤدي إلى ازدياد درجة الحرارة فوق الدرجة 40 مئوية وإحداث أضرار كبيرة في الشبكة الغذائية والأنواع الحية.

توجد العناصر الصِّغْرية trace element في المياه الطبيعية، وهي مهمة لتوازن المنظومة بمستويات منخفضة جداً حتى بضع أجزاء في المليون أو أقل، وبالمقابل ينطوي مصطلح المركب الصغري trace substance على العناصر والمركبات الكيميائية معاً، بعض العناصر الصغرية غُذيّات للحيوانات والنباتات وتجلب الأذى بمستويات أعلى، وهذا سلوك نموذجي للعديد من الركائز في البيئة المائية.

يمكن تقسيم ملوثات المياه إلى فئات (الجدول 9-2) كالآتي:

الجدول 9-2 الأنماط العامة لملوثات المياه (Manahan 2000).

الفئة	الأهمية
العناصر الصِغْرية (الأثرية)	صحية، مجمعّات الأحياء المائية، سميّة
المعادن الثقيلة	صحية، مجمعّات الأحياء المائية، سميّة
المعادن المرتبطة عضوياً	نقل المعادن
المواد الإشعاعية	سميّة
الملوثات اللاعضوية	سميّة، مجمعات الأحياء المائية
الأسبستوس	صحة الإنسان
الغُذيات (الطحلبية)	الإثراء الغذائي
الحموضة، القلوية، التملُّح (بإفراط)	نوعية المياه، الحياة المائية
الملوثات العضوية الصِغرية	سمية
ثنائيات الفينول عديدة الكلور	احتمال تأثيرات حيوية
المبيدات	سمية، مجمعات الأحياء المائية، الحياة البرية
المخلفات النفطية	تأثير في الحياة البرية، جمالية
الصرف، مخلفات الإنسان والحيوانات	نوعية المياه، مستويات الأكسجين
الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين	نوعية المياه، مستويات الأكسجين
المُمرِضات	التأثيرات الصحية
المنظّفات	الإثراء الغذائي، الحياة البرية، الجمالية
المسرطِنات الكيميائية	حدوث السرطان
الرَّسُوبات	نوعية المياه، تجمعات الأحياء المائية، الحياة البرية
الطعم، الرائحة، اللون	حسية (جمالية)

ويبين الجدول 9-3 أهم العناصر الصغرية في المياه الطبيعية.

الجدول 9-3 أهم العناصر الصغرية في المياه الطبيعية (Manahan 2000).

العنصر	المصدر	التأثير والأهمية
الزرنيخ	منتج ثانوي في المناجم، مخلفات كيميائية	سام1، احتمال مسرطن
بريليوم	الفحم، والمخلفات الصناعية	سام
بورن	الفحم، والمخلفات الصناعية	سام
كروم	الطلي المعدني	كروم III أساسي، سداسي VI سام
نحاس	الطلي المعدني، التعدين، المخلفات الصناعية	أساسي، سام للنباتات والطحالب على مستويات عالية
فلوريد -F	مصدر جيولوجي طبيعي، مخلفات، مضاف مائي	يمنع تآكل الأسنان نحو 1 ملغ/ل، سام على المستويات الأعلى
يوديد -I	مخلفات صناعية، محلول ملحي طبيعي، ولوج مياه البحر	منع تضخم الغدة الدرقية
الحديد	مخلفات صناعية، صدأ، مياه التعدين الحمضية، نشاط الأحياء الدقيقة	أساسي، أضرار العنصر الملوث
الرصاص	المخلفات الصناعية، التعدين، الوقود	سام، ضار للحياة البرية
المنغنيز	مخلفات صناعية، صدأ، مياه التعدين الحمضية، نشاط الأحياء الدقيقة	سام للنبات، أضرار العنصر الملوث
زئبق	مخلفات صناعية، تعدين، فحم	سام، متحرك بصيغة مِتيل الزئبق بفعل الجراثيم اللاهوائية
مولبدن	مخلفات صناعية، مصادر طبيعية	أساسي للنباتات، سام للحيوانات
سِلينيوم	مصادر طبيعة، فحم	أساسي بالمستويات الأخفض، سام على المستويات الأعلى
الزنك	مخلفات صناعية، الطلي المعدني، أنابيب المياه: عمل الرصاص	أساسي، سام للنباتات على المستويات الأعلى

أي المصطلحين يعني الملوِّث Pollutant أم Contaminant؟.

http://pediaa.com/differencebetweenpollutantandcontaminant/

What is a Pollutant?

◘ الملوِّث pollutant: هو مادة تسبب التلوث، بمعنى المادة الضارة أو السامة التي تلوث شيئاً ما، إذ إنه يسبب تأثيرات غير ملائمة في المصدر أو في البيئة، التأثيرات غير المرغوب فيها: تسبب الملوثات تأثيرات ضارة عادة، والمادة الغريبة: يمكن أن تكون الملوثات مواد غريبة أو مكوناً للمادة الأصل الذي يتجاوز المستوى غير المؤذي.

What is a Contaminant?

◘ الملوِّث contaminant هو وجود مادة غريبة أو نجاسة تلوث شيئاً معيناً، أي وجود المادة التي لا توجد طبيعياً، الملوث هو مادة محددة توجد في المكان حيث لا يجب أن تكون، الملوث ليس ضاراً بالضرورة أو غير ملائم، مثلاً، إضافة الماء إلى الحليب يمكن النظر إليها كنمط من أنماط التلوث، التأثيرات غير المرغوب فيها: الملوثات ترجع عادة للمادة الغريبة التي تنتج من الخارج.

Δ كلاهما مادة غير مرغوب فيها، ومن المهم فهم الفرق بينهما: فالتلوث pollution مقدّمة لوجود مادة ضارة بالبيئة، والتلوث contamination وقوع مادة نجسة غير ضارة بالضرورة في مادة ما أو جسم أو بيئة طبيعية.

يمكن تصنيف الملوثات وفقاً لمصدرها، فهي ملوثات التربة، ملوثات الضجيج، ملوثات المياه، وملوثات الهواء.. هذه بعض الأصناف، ويمكن وضع الملوثات المختلفة – مواد تلوث البيئة – في هذا التصنيف.

في الواقع، يبدو أن التلوث pollution هو التلوث contamination يسبب أو يمكنه أن يسبب تأثيراً غير ملائم، وهذا يعني كل الملوثات pollutants هي ملوثات contaminants، ولكن العكس ليس كذلك..!

إن التلوث pollution يرجع لمادة ضارة، والتلوث contamination ليس بالضرورة أن يكون ضاراً، وهو موجود فقط في مادة أخرى لا يجب أن يكون فيها.

3. **مصادر الملوثات** Resources of Pollutants

إن وجود الملوثات وتراكيزها وتنوّعها الكبير في الأوساط البيئية اليوم دالة على درجة التحضر urbanization، وعلى نمط استعمالات المياه والأراضي وكثافة حركة مرور السيارات وتربية جماعات الحيوانات، وكذلك على درجة تلوث الهواء بشتى أنواع الملوثات قبل الهطل، وعلى ازدياد استهلاك الموارد الطبيعية واستنزاف بعضها وازدياد كميات المخلفات الصلبة والسائلة والغازية وتنوعها، فكلّ الأنشطة البشرية تجلب تأثيرات غير ملائمة للأجسام المائية، ووفقاً للمصدر تُصنَّف الملوثات (الشكل 9-2) المختلفة أساساً (Chae and Hamidi 1999) كالآتي:

◊ الملوثات محددة المصدر point source pollutants

تأتي الملوثات من مصادر محددة أو تنشأ في نقطة واضحة، كالمصانع والمصافي ومحطات المعالجة وغيرها، فتظهر أنابيب الصرف وهي تصب كمية من المخلفات (غير المعالجة أو المعالجة إلى درجة غير كافية) في الوديان والمستجمعات المائية والأنهار والشواطئ وغيرها، إذ إن مفتاح المفاهيم لإدراك التلوث محدد المصدر هو:

- ✓ التدفق في القنوات لأنه يمتلك مصدراً واضحاً.
- ✓ يسهل تحديده، ويمكننا رصده والتحكم فيه.

◊ الملوثات غير محددة المصدر nonpoint source water pollutants

تنشأ عن مصادر منتشرة وواسعة غير واضحة، وفي نقاط غير مرسومة، مستمرة أو متقطعة، ولا تمتلك كميات ضخمة للتلوث، كالصرف الزراعي نتيجة الأسمدة والرعي والمبيدات، والجريان السطحي، وصبيب المحاصيل crop runoff وهو يعني المركبات الكيميائية الضارة التي تمثّل تلوثاً عندما تتوضع غالباً على المحاصيل المحمولة من الحقول إلى الأجسام المائية القريبة، ومطامر landfills مواد المخلفات الصلبة، والرَّسُوبات العالقة suspended sediments – الغبار والمواد المستهلكة للأكسجين والعناصر الثقيلة وغيرها – التي يعدُّ الحَتّ erosion أضخم مصادرها في الصرف الحضري.

فمفتاح المفاهيم لإدراك التلوث غير محدد المصدر هو:

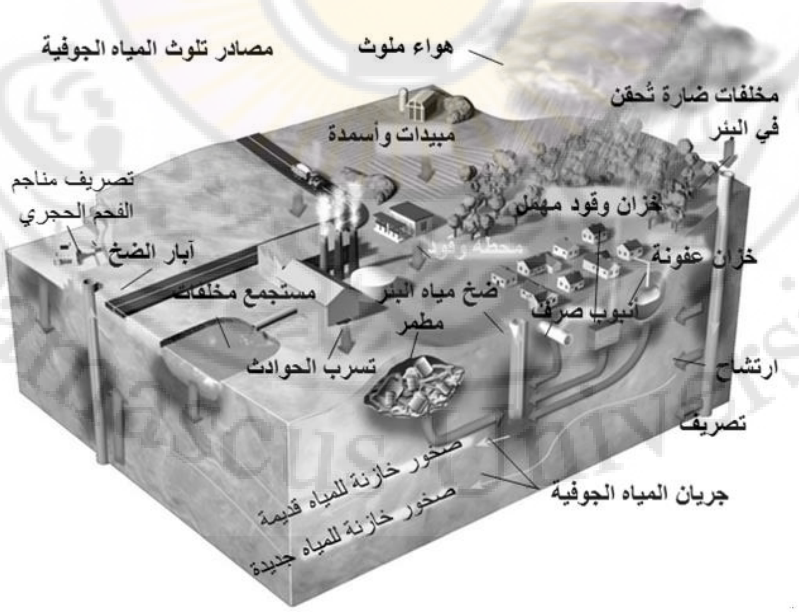
- ✓ التدفق المنتشر والمصدر غير الاضح.
- ✓ عادة لا يمكن تعريفه والتحكم فيه مباشرة، أي لا يمكن تتبع التلوث غير محدد المصدر حتى نقطة الصرف المباشر.
- ✓ باهظ الكلفة لتنقيته.

يمكن أن يظهر تلوث المياه عندما تأخذ المواد الضارة طريقها إلى الصخور الخازنة للمياه ومستويات المياه الجوفية، تمثّل الملوثات المحددة 35% وغير المحددة 65%.



الشكل 9-2 الملوثات محددة المصدر وغير محددة المصدر.

ويبين الشكل 9-3 مصادر الملوثات في المياه الجوفية.



الشكل 9-3 الملوثات المحتملة للمياه الجوفية محددة المصدر وغير المحددة المصدر.

4. المطر الحمضي والاحتباس الحراري

Acid Rain and Global Warming

تؤدي الأنشطة الاقتصادية المختلفة التي يقوم بها الإنسان إلى تلوث الهواء، وتدريجياً تترسب الملوثات (المواد الصلبة والغازات) فوق الأرض، وتصل مباشرة أو على نحو غير مباشر إلى المسطحات المائية، كالهطل وغيره، وقد أصبح المطر الحمضي ظاهرة حقيقية وخطرة في المنطقة الشمالية الشرقية من الولايات المتحدة وفي كندا والشمال الأوروبي إذ جعلت عدداً من البحيرات عديمة الحياة.

يؤدي المطر الحمضي إلى ارتفاع في حموضة البحيرات؛ ما يجلب الضرر إلى الأسماك والأحياء المختلفة، إلى جانب التأثير في الغطاء النباتي المحيط، وهو ما يترافق بتكوين كبريتات الكلسيوم الضارة بالأحياء وبنوعية المياه الجوفية، وتآكل بعض القنوات والمجاري والتجهيزات المعدنية.

إن التغيرات المناخية سبب لظاهرة الاحتباس الحراري، ومن أهم نتائجها التمدّد الحراري للمياه وارتفاع منسوب البحر، ومن المتوقع أن يضيف هذا التمدد نحو 10 سنتيمترات على منسوب البحر خلال الخمسين عاماً القادمة، ويتضمن التأثير السيئ للاحتباس الحراري أن مناطق معيّنة تحصل على هطل أكثر من الأخرى، حتى في منطقة الصحراء العربية، وتحدث زخات الهطل غزيرة وعاصفة ومفاجئة، ولذلك يزداد تدفق الأنهار الكبرى واحتمالات حدوث الفيضانات، ويزداد الجفاف والتصحر، ويقل جريان الأنهار التي تعمل في الواقع على تخفيف المخلفات، وتزداد المركبات الكيميائية الضارة، ويضطرب تركيز الأكسجين في المياه.

إن ندرة المياه العذبة في العالم وعجزها المرتقب لتأمين الحاجات السكانية المتزايدة، وكذلك مقوِّمات التنمية، دفعت الأوساط العلمية إلى استشعار المخاطر المحتملة للبشرية جمعاء؛ ما يحتّم مساراً محدداً للتوجّه العالمي نحو إعطاء أولوية لمشكلات المياه، لأن التغيرات المناخية ستعصف بالحجم الكلي للمياه العذبة في العالم، فالبلدان الغنية بالمياه قد تصبح فقيرة بها مع الوقت وبالعكس...!

ثانياً. الملوثات العضوية واللاعضوية

Organic and Inorganic Pollutants

1. حركية الغُذيَّات ومتاحيتها Nutrients Dynamics and Availability

تساهم الأحياء الدقيقة في تركيب المادة الحية ضمن الموائل المائية المختلفة، إذ تشغل العوالق النباتية الطبقة السطحية المضاءة، وتوجد الجراثيم ذاتية الاغتذاء في مناطق محددة، وبالمقابل تشارك مجموعات الجراثيم والرُّميّات الأخرى في تفكيك المركبات العضوية وتدويرها وفقاً لخصائصها ونوعية المياه وظروفها؛ ما يسمح بانتشار الغُذيّات العضوية واللاعضوية في البيئة، ويجعل تلك المكونات متاحة للمستويات الغذائية الأعلى مرّة أخرى (Azam *et al.*, 1983).

وهكذا، تدور الأمونيا والنترات والنتروجين والفسفور والكبريتات والكبريتيدات وكبريت الهدروجين، وكذلك الحديد والمنغنيز والسليكون وغيرها، إلى جانب العناصر الصِغرِّية في عمليات حيوية هوائية ولاهوائية، في المياه والرسوبات في آن معاً.

تبدو تراكيز الأمونيا منخفضة ومتباينة في مياه البحر والمياه العذبة غير الملوّثة، غير أنّ الجراثيم المفكّكة للمادّة العضويّة والمخلّفات الحيوانيّة تزوّد العوالق النباتية بها، أما خلايا الطحالب فتفرز عموماً مركبات كيميائية لها نشاط مميز في تنشيط الجراثيم الموجودة أو المتعايشة معها أو مثبطة لبعض الأنواع الأخرى.

يكدّس بعض الطحالب عناصر، مثل: كربونات الكلسيوم وكربونات المغنزيوم وقليل من السيليس والكبريت والحديد واليود، وكميّات زهيدة من المنغنيز والبور والكروم والزنك وغيرها، وتكدّس خلايا العوالق النباتيّة الفسفات.

وهكذا، تجري في النظم البيئية للمياه العذبة والبحرية المختلفة سلاسل غذائية عديدة متشابكة جداً، وتتدرّج المستويات الغذائية فتتوزع الأحياء وفقاً لدورها الغذائي الوظيفي على هيئة هرم بيئي ecological pyramid يكفل التوازن البيئي في أي منظومة تعمل في الظروف الطبيعية، وتؤدي حركية الجراثيم غيرية الاغتذاء إلى التوازن بين مجتمعات الأحياء وصون التنوع الحيوي (محمد وآخرون 2009–2،1).

2. مركبات النتروجين في المياه

Nitrogen Compounds Forms in Water

يكوّن النتروجين 78% من الهواء، 62% من مجمل الغازات في المياه البحرية، وهو منحل بالماء، غير أن غاز N_2 في الجو والمياه خامل وغير متاح إذ لا تتمكّن النباتات والحيوانات من استعماله، أما الأشكال القابلة للاستعمال، أي "المثبتة"، فهي:

- الأمونيا NH_4^+ (النشادر NH_3): النتروجين N والهدروجين قابلة للانحلال بالماء.
- النترات NO_3^-: النشادر والأكسجين المنحل بالماء.
- النتريت NO_2^-: النشادر والأكسجين المنحل بالماء.

ومن اللافت أن الأحياء الدقيقة تتميز بقدرة على استراتيجية بيئية رائعة لتثبيت النتروجين nitrogen fixing، فهناك أنواع من الجراثيم الزرقاء، مثل: *Anabaena*، *Aphanizomenon*، *Cylindrospermopsis*، *Nodularia*، *Nostoc* قادرة على تثبيت النتروجين الجوي، إلى حدود تركيزه الطبيعي في المياه غالباً، في النظم المائية العميقة والضحلة، ولئن كانت هذه الاستراتيجية تسود في النظم البيئية ذات المستويات المنخفضة من النتروجين المنحل اللاعضوي، فعلى العكس، لا تبدو مطبقة بالضرورة في العديد من البحيرات ذات المستويات الواضحة من النتروجين، فهي غير سائدة بفعل الجراثيم الزرقاء المثبتة للنتروجين، وقد يرتبط ذلك بانخفاض الإضاءة المتاحة، لأن تثبيت النتروجين يتطلب كميات كبيرة من الطاقة، ووجود العكر عامل يعوق عملية التثبيت النشط للنتروجين (Zevenboom and Mur 1980).

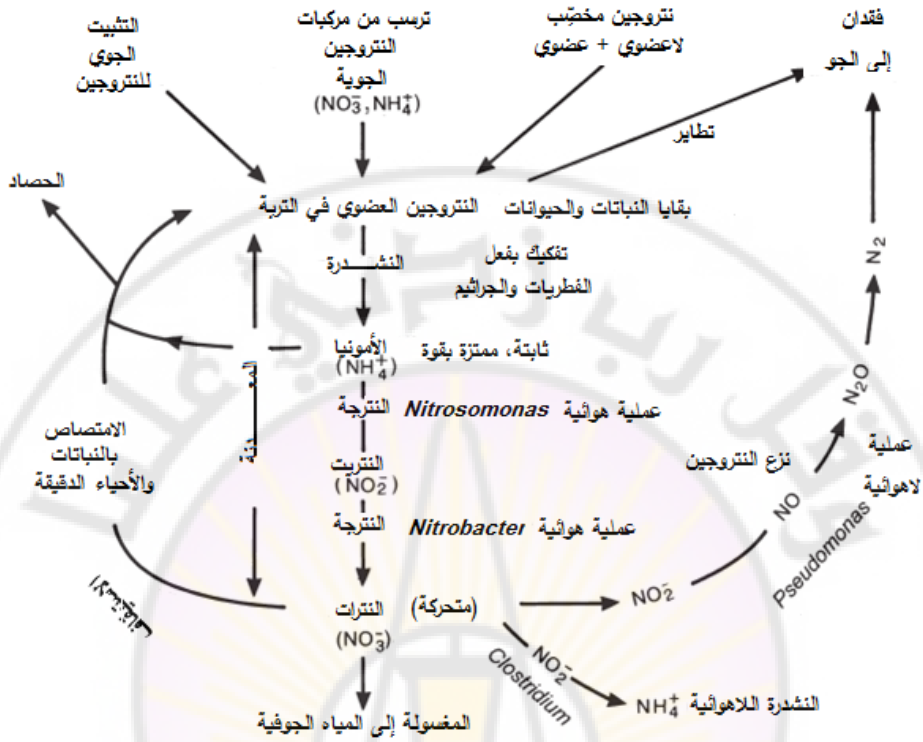
هناك عدد من أنواع الجراثيم الزرقاء ذات المستعمرات المثبتة للنتروجين القادرة على التنامي بغزارة وتكوين زبد مستقر stable scums على طول الشواطئ باتجاه الرياح، فهي إذن قادرة على تنظيم الطفو، مثل: أفراد الجنس *Microcystis*، ويمكن أن تكوّن معدلات التعويض التي تقل في الوقت نفسه حمولة الفُسفات والنتروجين (تفكيك مياه الصرف، والعزل)؛ ما يعزّز ظروف مستويات النتروجين، وينشّط مجموعات كبيرة من الجراثيم الزرقاء المثبتة للنتروجين.

تتميز أفراد الجنس *Aphanothece* بقدرتها على تكوين المستعمرات الصغيرة، ولها أنواع تنتشر في الزبد الطافي في العديد من الأجسام المائية، حيث تسود جماعات كبيرة من هذا الجنس بعد تناقص جماعات *Planktothrix rubescens*، وكانت الجراثيم الزرقاء الوحيدة الموجودة في العوالق الصيفية في البحيرات الصغيرة الفيضية دورياً (Reynolds 1997)، ولا ترتبط سيادة هذه المجموعة تماماً بمستويات الفُسفات والنتروجين، ولا توجد علاقة واضحة يمكنها تفسير السيادة المفاجئة لهذه الجراثيم الزرقاء، إذ تظهر السيادة في الحالة المتوسطة خلال شفاء البحيرة بعد أخذ معدلات التعويض في الحسبان، وبيئتها غير معروفة بعد.

يهضم الشخص البالغ نحو 25 ملغ من نتروجين النترات في غذائه كل يوم عادة، ولكن مياه الشرب مصدر لأقل من 10% من النترات، إذ إن المصدر الأساسي للنترات والنتريت في الغذاء هو الخضار واللحوم المعالجة، مع ذلك، فاستعمالات مياه الشرب الملوثة بالأسمدة أو بالمخلفات النتروجينية والأغذية يمكن أن تصبح مصدراً أساسياً لامتصاص النترات.

لا يضرّ ارتفاع كمية النترات الموجودة في المياه الجوفية بالإنسان والحيوانات فحسب بل يتعدى ذلك إلى البيئة، فالمياه الجوفية الملوثة بالنترات تصبح في النهاية مياهاً سطحية تنتشر في منطقة الصرف، ويكفي تركيز من النترات بمقدار 0.3 ملغ/ل في المياه السطحية، ولاسيما البحيرات، لتعزيز تنامي الطحالب والأعشاب، مع ذلك يظهر عنصر الفُسفور أكثر من النتروجين وكأنه المغذي المحدّد لتنامي الطحالب في البيئة المائية غالباً.

ما إن تتحرك النترات خلال التربة وتهاجر نحو المياه الجوفية، حتى تمتزج ببطء مع المياه في الصخور الخازنة للمياه؛ وهكذا، قد تصبح الطبقة الخازنة للمياه ملوثة أكثر بالنترات مقارنة بما هي عليه في الطبقة أعلاها أو تحتها؛ لأن المياه الجوفية تتحرك في مثل هذا النمط (الشكل 9-4)، وتهاجر النترات الملوثة إلى المنافذ، وكثيراً ما تصرف إلى البحيرات والجداول والأراضي الرطبة أو إلى الآبار.



الشكل 9-4 مصادر النتروجين المندمجة في منطقة التربة والمسالك الأساسية لإنتاج النترات (المعدنة) والاستهلاك (نزع النتروجين)، أي زيادة في النترات لا تمتصها النباتات أو الأحياء الدقيقة أو تزال بعملية نزع النتروجين يحتمل غسلها إلى المياه الجوفية تحت منطقة التربة.

يؤدي استنزاف النتروجين إلى فقدان خصوبة التُرَب الزراعية في الحقول والمزارع؛ ما يُتبع بانخفاض الإنتاج الغذائي المسبب للكوارث التي لا تقلّ أهمية عن الأشكال الأخرى للتدهور البيئي، إذ يقترن الإنتاج الزراعي المكثّف فقط بالمستويات المقبولة من النتروجين في التربة، فالاستهلاك الشامل الحالي لمخصّبات النتروجين التجارية يقدر بنحو 80×10^9 كغ N / العام، ويؤدي في مناطق كثيرة إلى تلوث المياه الجوفية بالنترات، مواصفات المياه لا تسمح بتجاوز 10 ملغ من النتروجين – نترات في اللتر.

يحتوي الكثير من الآبار في مناطق مختلفة من سورية قيماً أعلى من الحدود المسموح بها، إذ تحمل المياه المخاطر بملوث النترات في كثير من الآبار غير العميقة خصوصاً في المناطق الزراعية، إضافة إلى الآبار الضحلة.

يتركز استعمال المخصّبات والأسمدة في المناطق الزراعية الأساسية ومواقع معينة، مثل: غوطة بدمشق، وسهول الشريط الساحلي، وسهول نهر العاصي، وسهول الجزيرة، وسهل حوران، إضافة إلى الرُّقَع الزراعية الصغيرة في المناطق الجبلية، مثل: مناطق الجبال الساحلية، وجبل العرب، وريف دمشق والقنيطرة... ومن الملاحظ الأثر السيئ لأشكال النتروجين في مياه الأنهار (الجدول 9-4) وارتشاحها إلى المياه الجوفية (الجدول 9-5) نتيجة التلوث العضوي واللاعضوي والاستعمال الكبير للأسمدة العضوية النتروجينية.

كما كان التركيز الإجمالي للنتروجين في رَسُوبات بحيرة قطينة بحدود 200 – 600 ملغ / كغ (منصور والمفتي 2010).

الجدول 9-4 متوسط قيم BOD وتراكيز شوارد النترات والأمونيا (ملغ/ل) والرقم الهدروجيني ودرجة الحرارة (سلسيوس) في مياه نهر بردى (علي نظام وحمد 2001).

مواقع الرصد		آذار	نيسان	حزيران	تموز	آب	تشرين1
نبع بردى	Tc°	13	13	20	18	16.8	جاف
	pH	8	7.9	7.8	7.7	7.7	
	NH^{4+}	0.0774	0.3354	0.1344	0.1677	0.1032	
	NO^{3-}	0.325	0.325	0.528	0.396	0.352	
	BOD	1.2	2.6	3.6	6.33	8.69	
عين الفيجة	Tc°	11	11	14	17	17	13
	pH	7.7	7.5	7.4	7.4	7.2	7.4
	NH^{4+}	0.0642	0.0935	.36401	3.999	0.2709	6.1633
	NO^{3-}	0.352	0.352	0.396	0.352	0.352	0.396
	BOD	6.5	8.5	16.7	24.85	19.83	26.5
الربوة	Tc°	15	13	22	20	21	18
	pH	7.3	7.4	7.8	7.8	7.9	7.9
	NH^{4+}	4.128	0.0774	0.3897	0.903	0.3999	6.642
	NO^{3-}	0.352	0.352	0.396	0.352	0.352	0.352
	BOD	12.2	15.6	17.5	19.8	16.18	24.6
فرع الزبديني وسط الغوطة	Tc°	11	15	19	21	21	20
	pH	7.8	7.8	8.2	8.2	8.4	8.6
	NH^{4+}	0.4515	4.644	5.113	7.74	4.386	24.796
	NO^{3-}	0.352	0.352	0.352	0.396	0.308	0.308
	BOD	86.3	98.8	133.6	96.43	80.66	172

الجدول 9-5 متوسط قيم BOD وتراكيز شوارد النترات والأمونيا (ملغ/ل) في آبار الري بحوض بردى (علي نظام وحمد 2000).

مواقع الرصد			آذار	نيسان	حزيران	تموز	أيلول	تشرين1
الزبداني		BOD	4.4	6.1	8	6	12	10
		NO^{3-}	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40
		NH^{4+}	0.03	0.39	0.20	0.10	028	0.81
الغوطة	حرستا	BOD	38	36	44.3	62.3	58.3	52.7
		NO^{3-}	10	11	11	13	11	10
		NH^{4+}	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04
	زبدين	BOD	29	30.8	31.3	36.7	34.7	30
		NO^{3-}	9	9.5	8	10	10	9.5
		NH^{4+}	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09
	دير العصافير	BOD	26	26	30.6	34.9	33.5	28.9
		NO^{3-}	10	10	10	12	11	10
		NH^{4+}	0.09	0.10	0.10	0.88	0.09	0.09
	يلدا	BOD	38	50	78.3	76.3	78.5	60.6
		NO^{3-}	9	12	16	16	11	8
		NH^{4+}	0.78	0.79	0.96	0.89	0.24	0.26

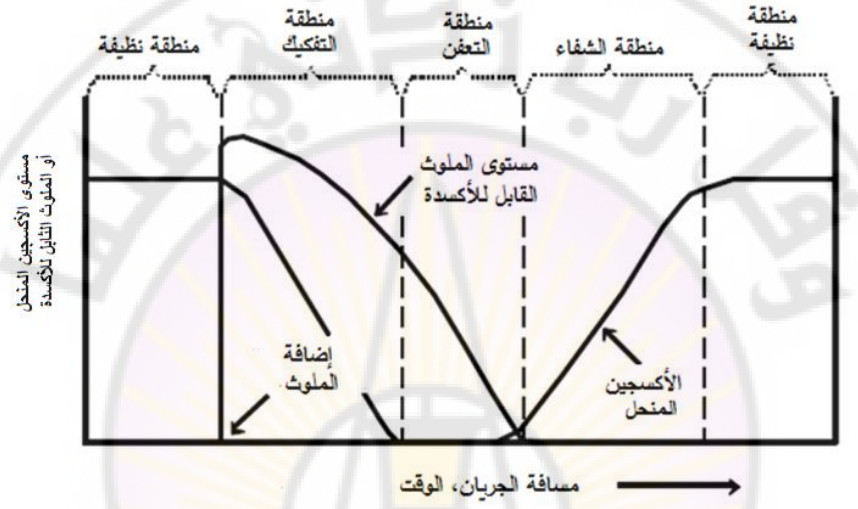
3. مواصفات التلوث العضوي والجرثومي

Specification of Organics and Bacterial Pollution

يختلف تركيب المواد العضوية اختلافاً كبيراً وفقاً لمصدرها، توجد في حالة منحلة، وفي حالة طافية كالشحوم والزيوت، وفي حالة عالقة، وفي حالة راسبة أو قابلة للترسيب، وغالبية المواد العالقة الغروانية colloidal مركّبات عضوية ذات أوزان جزيئية كبيرة وذات تماسك كبير جداً بالماء؛ لذلك فإن ترسيبها صعب جداً.

المخلفات السائلة لعصر الزيتون (الجفت) Olive Mill Wastewater OMW من أهم الملوثات البيئية في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط بما فيها سورية، هي محلول مائي بلون بنفسجي بني غامق ورائحة قوية وذات درجة عالية من الملوثات العضوية صعبة التفكك ورقم هدروجيني 3 – 5.9 ومحتوى عالٍ من الفينولات 80 – 200 غ/ل، وفيها أيضاً 2 – 8% سكريات وأملاح وأنواع من الجراثيم والفطريات متحمّلة لها، وهناك أكثر من 30 مليون $م^3$ كل عام من الجفت في العالم (Borja *et al.*, 1997, Paraskev and Diamadopoulos 2006).

تقدر كمية المادة العضوية في المياه بقياس الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين BOD، وعند وجود مركبات كيميائية غير قابلة للأكسدة الحيوية نقدرها بقياس الطلب الكيميائي على الأكسجين COD، ولتركيز الأكسجين أهمية كبيرة في حياة المياه (الشكل 9-5)، وهو يعكس نوعية المياه (الشكل 9-6).

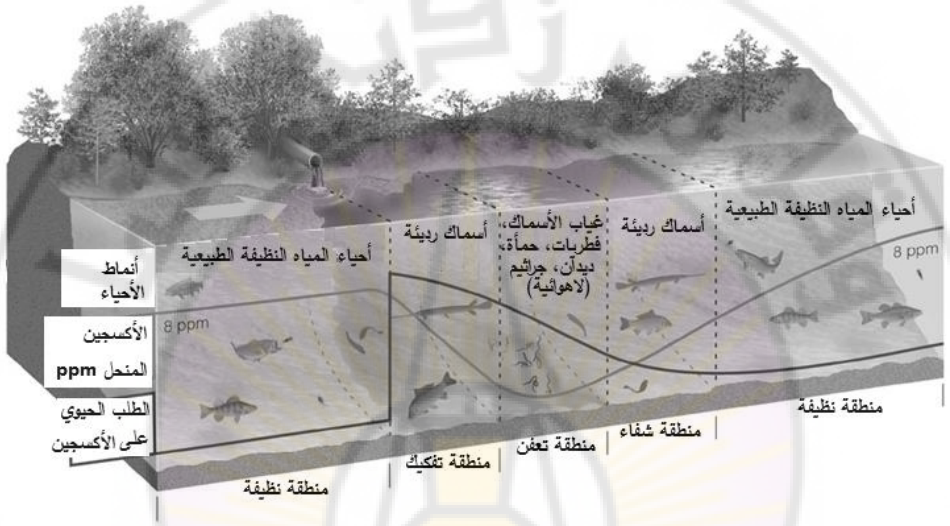


الشكل 9-5 انخفاض تركيز الأكسجين في مياه الجدول نتيجة استهلاكه عند إضافة مادة ملوثة قابلة للأكسدة.



الشكل 9-6 نوعية المياه اعتماداً على تركيز O_2 المنحل (Brook/Cole – Thomson 2005).

يبين الشكل 9-7 حالة الجداول التي تتعرض لملوثات يمكن استيعابها واستعادة نوعية المياه الطبيعية، وما يرتبط بها من تغير في التنوّع وتركيز DO وقيمة BOD، يُقسم التلوث العضوي اعتماداً على درجة التلوث وأعداد الجراثيم غيرية الاغتذاء (الجدول 9-6)، إذا كان مستوى BOD منخفضاً جداً فالآحياء تكون مهددة بالخطر.



الشكل 9-7 تلوث الجداول (Brooks *et al.*, 2005).

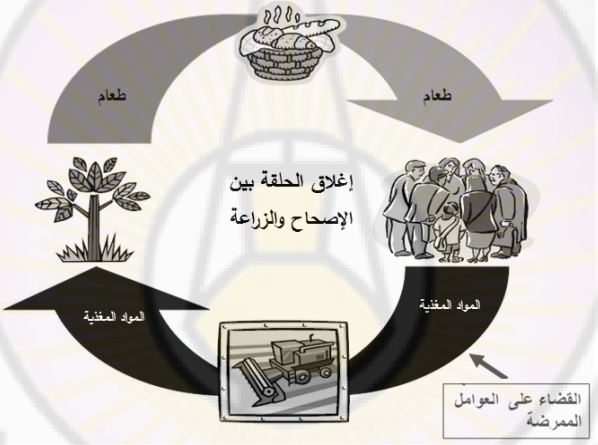
الجدول 9-6 صفوف التلوث اعتماداً على سهولة أكسدة المادة العضوية.

تصنيف التلوث العضوي		تلوث عضوي	غيريات الاغتذاء على الأطباق، 22 C^o، ألف خ/ 100 مل ماء
الفئة أو الصف	I	قليل	≥ 0.5
	II	معتدل	$0.5 - 10 <$
	III	حرج	$10 - 100 <$
	IV	شديد	$100 - 750 <$
	V	مفرط	$750 <$

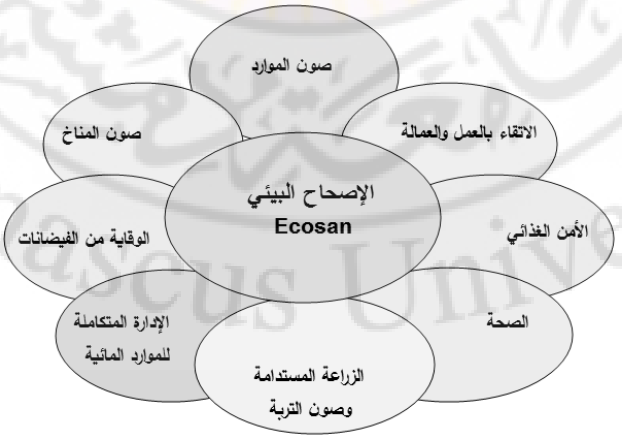
تُقسم التفاعلات الفيزيائية الكيميائية القادرة على تعديل تركيز الملوث العضوي في المياه الجوفية إلى خمسة أنماط (Little 1976, Rao and Jessup 1982): حلمهة الملوث في المياه، الأكسدة – الإرجاع، تفكيك الملوث بفعل الأحياء الدقيقة، امتزاز الملوث على التربة، تطاير الملوث إلى الهواء الموجود في منطقة عدم الإشباع.

4. **الإصحاح البيئي** Ecosanitation (Ecosan)

"المخلفات البشرية ومياه الصرف المنزلي مصادر طبيعية" فلسفة جديدة تعتمد على أسلوب تدفق المواد من منظور بيئي، فالإصحاح البيئي ecosanitation (ecological sanitation) يقدِّم رؤية جديدة للتعامل مع ما يُعدّ "مخلفات ومياه صرف يجب التخلص منها"؛ ويطبّق المبدأ الطبيعي الرئيس بإغلاق الحلقة من خلال استعمال الإصحاح البيئي الآمن والحديث وتقنيات إعادة الاستعمال (الشكل 9-8)، ولذلك فالإصحاح يفتح مجالاً أوسع من الخيارات الجديدة غير تلك التي يجري عدّها حالياً؛ ما يدفع نحو التداخل بين القطاعات المختلفة (الشكل 9-9).



الشكل 9-8 مبادئ الإصحاح البيئي: إغلاق الحلقة بين الإصحاح والزراعة.



الشكل 9-9 الإصحاح البيئي خطوة من أجل التداخل بين القطاعات المختلفة.

عُرِفَت العلاقة بين الصحة والبيئة منذ زمن بعيد، عندما ربط الإنسان بين انتشار الأمراض وبيئته، فاكتشفت العوامل المسببة للأمراض المعدية؛ ما دفع للاهتمام بصحة البيئة للحدّ من انتشار بعض الأمراض، ووُضعت برامج الحفاظ على البيئة النظيفة والصحية لتأمين مياه شرب نقية وشبكات صرفلصحي، أو بسترة الحليب واللبن، وتحضير المواد الغذائية تحت الرقابة الصحية.

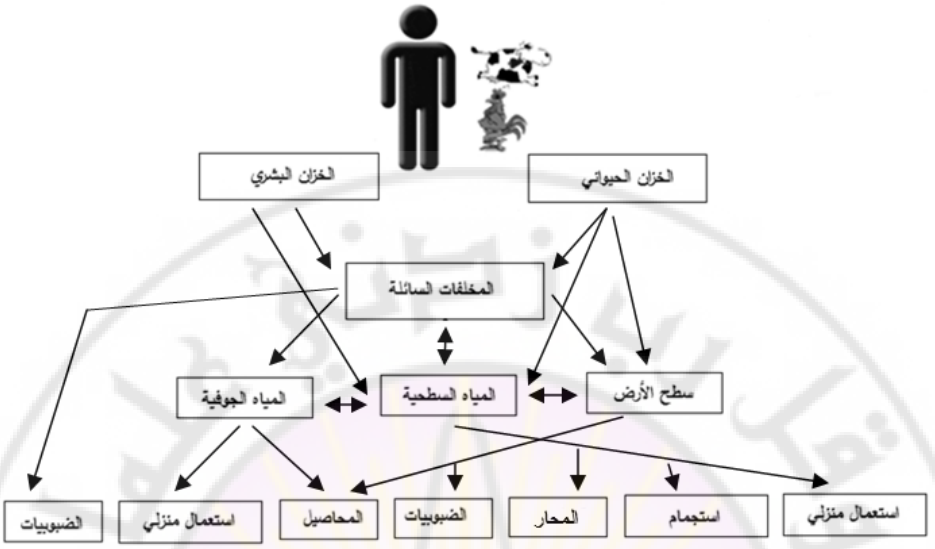
أصبحت المواد الكيميائية المنتشرة والمستعملة اليوم، وعددها يفوق مليوني مادة، مصدراً خطيراً لتلوث البيئة تبعاً للتطور الحضاري، ولاسيما أننا لا نمتلك المعرفة الدقيقة والكاملة عن مجال أضرارها على البيئة والصحة.

وقد أمكن رصد الكثير من المركبات الكيميائية وحصر أضرارها في قوائم خاصة لغرض تعميمها، مثل: أمراض الرئة الناجمة عن تلوث الهواء، وأمراض القلب وعلاقتها بأحادي أُكسيد الكربون، والكثير من المركبات التي ثبت فعلها المسرطن أو يُحتمل ذلك، كالعلاقة بين نوع من سرطان الرئة وغبار الأسبستوس، وسرطان الكبد الناجم عن بلمرة فِنيل كلوريد إلى بولي فنيل كلوريد.

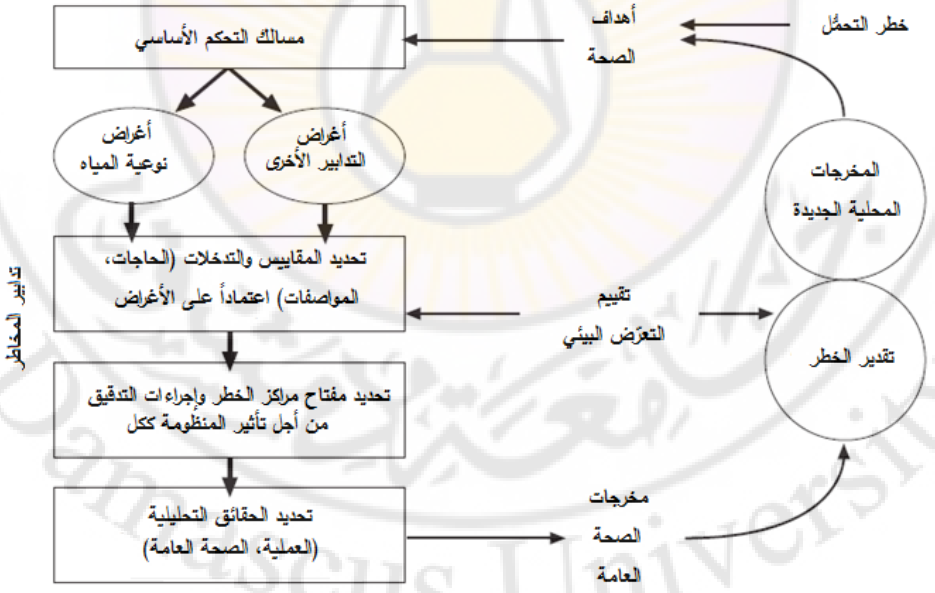
هناك نحو ألف مادة ثبُت فعلها كعوامل مسببة للسرطان عند الحيوانات، وما يزيد على مئتي مادة مسببة للسرطان عند الإنسان، ولكن القائمة طويلة ولا يزال فيها أسماء سوداء بحاجة للدراسة والتأكد من مجال خطورتها.

التلوث البرازي هو الشكل الأكثر خطراً من ملوثات المياه؛ فكثير من الأمراض ينتشر خلال الطريق البرازي – الفموي، والحمى التيفية والهيضة تنتشر بالمياه الملوثة فقط، ويرتبط التلوث الكيميائي للمياه أيضاً بالمواد الكيميائية الزراعية والصناعية والمواد الكيميائية الراشحة التي تقاوم التفكيك، والمياه في الأرياف تمتلك غالباً النترات والفسفات بإفراط، وقد تتلوث بالمبيدات.

إن تحديد نوعية المياه water quality يعدّ من الاهتمامات الأولية حفاظاً على الصحة العامة؛ ولذلك كان تلوث المياه بالأحياء الدقيقة ولاسيما المُمرضات مسألة تستأثر بأهمية كبيرة في ميكروبيولوجيا المياه (الشكل 9-10)، وتحتّم تقييم المخاطر الكامنة في المياه في إدارة المخاطر للتعرض للمُمرضات (الشكل 9-11).



الشكل 9-10 ميكروبيولوجيا المياه فيما يتعلق بالصحة العامة.



الشكل 9-11 مسلك توافقي لتقييم المخاطر وإدارة المخاطر للتعرض للممرضات المتعلق بالمياه (Bartram *et al.*, 2001).

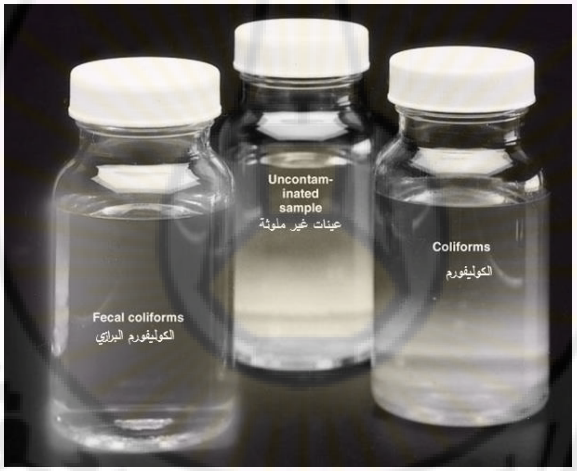
تقدر منظمة الصحة العالمية أن 3.4 ملايين شخص يموتون بالأمراض المنقولة بالماء، وأن 1.5 مليون شخص في الولايات المتحدة الأمريكية يموتون بالأخماج، ونرصد نوعية المياه عن طريق عدّ الجراثيم، والتحاليل الكيميائية، والأحياء الدالة:

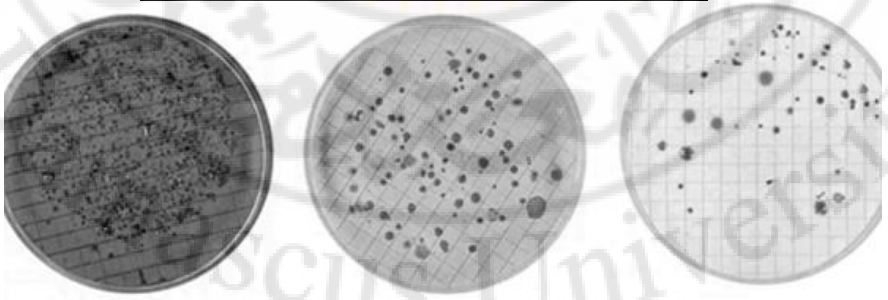
يجري عدّ الجراثيم الموجودة في عينة الماء وفق الآتي (الشكل 9-12):

- عدد مستعمرات جراثيم الكوليفورم البرازية faecal coliform bacteria TCB.

مياه الشرب: 0 مستعمرة/ 100 مل، مياه السباحة: < 200 مستعمرة/ 100 مل

- مسار المصدر الجرثومي bacterial source tracking BST.
- تحديد الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين BOD.
- اختبارات الدالات indicator tests.





إجمالي الكوليفورم الكوليفورم برازي العقديات البرازية

Coliform Fecal coliform Faecal streptococci

الشكل 9-12 الدالات الجرثومية للتلوث - الكوليفورم والعقديات البرازية.

يمكن تقدير العدد الأكثر احتمالاً most probable number MPN/100 ml في المياه باستعمال طريقة الأنابيب (الشكل 9-13) والجدول المرافق.



مجموع العنيات الإيجابية	قرينة MPN / 100 مل	حدود الثقة 95% أخفض	حدود الثقة 95% أعلى
4-2-0	22	9	56
4-2-1	26	12	65
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80
5-0-0	23	9	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-3-2	140	60	360

الشكل 9-13 طريقة وجدول العدد الأكثر احتمالاً في المياه.

تتعايش الجراثيم المعوية بأعداد كبيرة في أمعاء الإنسان والحيوانات ذوات الدم البارد والحار، وتساعد في هضم الطعام، فوجود تلوث برازي في المياه دليل على احتمال المخاطر الصحية للأشخاص المعرّضين للمياه التي قد تحمل أسباب بعض الأمراض، مثل: حمى التيفود، والتهاب المعدة والأمعاء والتهاب الكبد الفيروسي وغيرها.

ويبين الجدول 9-7 اختبارات تعريف جراثيم فصيلة الأمعائيات.

الجدول 9-7 تعريف فصيلة الأمعائيات Identification of Enterobacteriaceae.

الاختبار	*Proteus vulgaris*	*Sal. e*	*E. coli*	*Kl.p*	*Ent.c*
H_2S	+	+	−	−	−
إندول	V	−	+	−	−
أحمر مِتيل	+	+	+	− (+)	−
فوجس بروسكاور	V	−	−	+ (−)	+
سيترات	−	+	−	+	+
يوريا	+	−	−	+	V
الحركة	+	+	+	−	+
غلوكوز	+	+	+	+	+
غاز *	+	+	+	+	+
لاكتوز	−	−	+	+	+
	V	−	V	+	+

+، − تدل على النتيجة الإيجابية أو السلبية على الأقل 90% من الزمن.

V تدل على أن نتائج الاختبار تتباين بين كائن وآخر.

كل أفراد فصية الأمعائيات ليست مخمرة (- Oxidase)

وأفراد النوع *Pseudomonas aeruginosa* مخمرة (+ Oxidase).

* TSI تجمُّع الغاز المنتج بالتخمّر، ليس دائماً fermentation.

Kl.p, Klebsiella pneumoniae,
Sal.e, Salmonella enteritidis,
Ent.c, Enterobacter cloacae,
E,coli, Escherichia coli

ويبين الجدول 9-8 التراكيز النموذجية للجراثيم في المخلفات السائلة، ويبين الجدولان 9-9 و 9-10 معدلات تخفيض أعداد الجراثيم البرازية في المياه السطحية والجوفية على التوالي.

الجدول 9-8 التراكيز النموذجية لجراثيم مختارة في المخلفات السائلة المنزلية الخام والمعالجة (Medema *et al.*, 2003).

المجموعة الجرثومية	الصرف الخام (خ/مل)	السوائل المعالجة (خ/مل)
Salmonella	$10^{1} - 10^{-1}$	$10^{1} - 10^{-1}$
الكوليفورم الإجمالي	$10^{6} - 10^{4}$	$10^{5} - 10^{3}$
الكوليفورم البرازي	$10^{5} - 10^{3}$	$10^{4} - 10^{2}$
Enterococci	$10^{4} - 10^{3}$	$10^{3} - 10^{1}$
Clostridium perfringens	$10^{3} - 10^{2}$	$10^{2} - 10^{1}$

الجدول 9-9 معدلات تحلل الجراثيم البرازية في المياه السطحية (Medema *et al.*, 2003).

المجموعة الجرثومية	مرات تحلل 50% من التركيز (أيام)
الكوليفورم الإجمالي	0.9
E. coli	3 – 1.5
Enterococci	4 – 0.9
Clostridium perfringens	300 < - 60
Salmonella	0.67 – 0.1
Shigella	1

الجدول 9-10 معدلات تحلل الجراثيم البرازية في المياه الجوفية (Medema *et al.*, 2003).

المجموعة الجرثومية	معدلات الزوال في اليوم
E. coli	0.36 – 0.063
Fecal streptococci	0.24 – 0.03
Clostridium perfringens (أبواغ)	0.00
Salmonella enterica subsp. enterica serovar typhinurium	0.22 – 0.13

ويبين الجدول 9-11 قيم المؤشرات الجرثومية الصحية والطفيليات في نهر بردى.

الجدول 9-11 متوسط قيم المؤشرات الجرثومية الصحية لمياه نهر بردى خلال 1999، ألف خلية/ل (علي نظام وحمد 2001).

مواقع الرصد		آذار	نيسان	حزيران	تموز	آب	تشرين1
نبع بردى	TC	0.0	0.0	0.2	0.15	0.0	
	E. coli	0.0	0.0	0.006	0.007	0.0	
	S.S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	FS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	جاف
	FC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
عين الفيجة	TC	0.23	3.95	7.8	2	6.667	60
	E. coli	0.012	0.15	2.9	0.8	2	15.38
	S.S	0.02	0.0	0.275	0.75	0.0	0.0
	FS	90	110	2.067	0.0	0.0	0.0
	FC	60	111	86	72	69.6	12
الربوة	TC	0.549	20	7.5	190	0.0	13
	E. coli	0.132	0.003	3.2	68	0.0	4.66
	S.S	0.025	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	FS	2.3	6.9	1.2	0.0	0.0	0.0
	FC	22	30	64	59	42	7.273
الزبديني	TC	13.12	500	345	100	393	430
	E. coli	6.954	183	138	41.6	156.3	110.25
	S.S	1.674	0.0	2.5	0.0	196	0.0
	FS	300	680	43	2.5	3	16.5
	FC	166	190	97	41	56	9.455

التلوث بالحيوانات الأوالي والديدان المعوية في نهر بردى.

المتحولات المعوية	*Entamoeba coli*	112/ 398 كيس/ل
المتحولات الزحارية	*Entamoea histolytica*	72/ 220 و 153/ 250 كيس/ل
الصفر الخراطيني	*Ascaris lumbricoids*	13/ 34 و 26/ 51 بيضة مخصبة/ل
الأسطوانة البرازية	*Strongyloides stercoralis*	8/ 21 و 16/ 28 يرقة/ل
	Enterobius vermicularis	8/ 21 و 15/ 33 بيضة/ل
الملقوات العفجية	*Ancylostoma duodenale*	1/ 2 و 2/ 7 بيضة/ل

ثالثاً. السموم الكيميائية Toxic Chemicals

1. المعادن الثقيلة Heavy Metals

يعد التلوث بالمعادن الثقيلة مشكلة جديّة اليوم في أنحاء مختلفة من العالم، إذ إنها تتميّز بتأثير سام، إضافة إلى قدرتها على التراكم الحيوي bioaccumulation؛ ما يجلب المخاطر للبيئة والأحياء، وعند انتقال هذه العناصر كما هي أو تراكمها في الأحياء، أو انتقالها مضخّمة في الشبكة الغذائية؛ تجلب تأثيراً خطراً ومضاعفاً.

يعد **الزئبق** من أكثر المعادن الثقيلة سمية، وتعادل كميته في البحار خمسين مليون طن متري، ويوجد في المياه والمشروبات اليومية بتركيز بين 2 – 6 أجزاء في البليون (Fishbein 1973)، ويوجد الزئبق أساساً في قيعان وصخور ورسوبات المحيطات والبحار البعيدة عن مصادره، ويوجد في النفط الخام والفحم الحجري وخامات الفُسفات، تحوّل أنواع من الأحياء الدقيقة الزئبق اللاعضوي لاهوائياً أو بقليل من O_2 إلى زئبق عضوي مِتيلي، وهو أكثر سميّة في صيغته العضوية، يصل الزئبق بكميات كبيرة إلى البحيرات ومجاري الأنهار، ويتراكم أساساً في الطحالب والعوالق النهرية التي تعدّ غذاء مهماً للأسماك؛ فينتقل الزئبق في الشبكة الغذائية حتى الإنسان، وتسمح الهجرة البعيدة للأسماك البحرية نحو المصبات والشواطئ الملوثة باكتساب كميات مفاجئة من الزئبق في المحيط الهندي والمحيط الهادي والساحل الأفريقي.

تؤكسد الجراثيم كبريت الزئبق غير القابل للانحلال بالماء إلى معدن ثنائي التكافؤ قابل للانحلال، ثم تُرجعه الجراثيم إلى معدن حر Hg(0) يتحرّر بخارُه إلى الوسط البيئي، ويتكوّن زئبق شاردي أحادي المِتيل من رسوبات المياه العذبة والبحار ينتشر في المياه ويدخل في الشبكة الغذائية بدءاً بالأسماك والطحالب والعوالق، وقد تحوّله الجراثيم إلى ثنائي المِتيل $(CH_3)_2Hg$ يتطاير في الجو ويتفكك بتأثير الإشعاع الشمسي منتِجاً جذور المِتيل الحرة والزئبق المعدني الحر (Baily *et al.*, 1978, Cotton and Wilkinson 1980).

تعدّ أملاح **الكادميوم** أكثر سمية على الأسماك والأحياء المائية الأخرى، إذ تؤدى بأقل التراكيز إلى نفوق بعض أنواع الأسماك، وتزداد سمية الكادميوم على الأحياء المائية بازدياد درجة الحرارة وقلة الأكسجين، ويصل **الرصاص** في مياه الصرف الصناعي إلى المياه السطحية والأسماك والنباتات التي تعيش فيها.

تتميز مركبات **الزرنيخ** بسمية شديدة بتراكيز منخفضة، وهو عنصر سام يهاجر في المياه الجوفية الناتج عن التفاعل الطبيعي، وله تأثيرات صحية غير ملائمة ويقتل ملايين الناس، ولاسيما في بنغلادش (Karim 2000) وبعض الأجزاء من البنغال الغربي في الهند (Mandal *et al.*, 1998)، التراكيز النموذجية للزرنيخ في المياه العذبة بين 1 – 10 µg/l (Tamaki and Frankenberger 1992, Azcue 1995)، يوجد في المياه الطبيعية غالباً في صيغة لاعضوية كشاردة سالبة As III أو As V (Smedley and Kinniburgh 2002)، تلوُّث المياه الجوفية بالزرنيخ في بنغلادش هو التسمم الأكبر للجماعات في التاريخ، مع ملايين من الناس المعرّضة.

ويزداد وجود **الحديد** بازدياد الأمطار الغزيرة وانخفاض درجة حرارة المياه، وكذلك يرتبط ازدياد غزارة الطحالب بوجود شوارد الحديد، ويعدّ أكسيد الحديدي من أخطر مركبات الحديد على الأسماك والمحار والقشريات، ويتميز هدروكسيد الحديد بتأثيره السلبي في الأحياء ونوعية المياه.

تذوب أملاح **النحاس** في المياه ما يجعل سميتها عالية، وتزداد سمية النحاس على الأسماك والقشريات والمحار بوجود الكادميوم أو الزنك، وتقلّ هذه السمية بازدياد القلوية وعسر المياه نتيجة ازدياد الكلسيوم.

تكون غالبية المعادن الصِّغرية السامَّة مذابة كشوارد موجبة (Pb^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Cd^{2+}, CO^{2+}, Zn^{2+})، وتصبح غير مذابة عموماً في pH قريبة من الاعتدال أو قلوية؛ ولذلك لا تحمل مخاطر تذكر في المياه ذات القيم العالية للرقم الهدروجيني إذ تُقلّل تحرُّرَ المعادن، مثل: مياه الآبار في غوطة دمشق.

بلغت كميات العناصر الثقيلة (جزء في البليون ppb) في مياه مخرج بحيرة المزيريب جنوبي سورية (اليازجي وآخرون 2004) كالآتي: الرصاص (0 – 13.00)،

الكادميوم (0 – 9.02)، الزئبق (0.0)، الزرنيخ (0.0)، وكانت في رسوبات بحيرة قطينة (ملغ/كغ) (منصور والمفتي 2010) كالآتي: الزئبق (≤ 0.04 – 0.01±0.1)، الرصاص (≤ 30 – 4.0±38.0)، الكروم (3.0±29 – 4.0±36)، الزرنيخ As (0.04±0.3 – 0.4±3.2).

بلغت كميات العناصر الثقيلة (جزء في المليون ppm) في مياه نهر بردى (علي نظام وآخرون 2000) كالآتي:

الرصاص (0.0224 – 2.442)، الكادميوم (0.0348 – 0.2145)، الزئبق (0.0 – 1.1511)، الكروم (0.4314 – 2.691).

وفي المياه الجوفية بغوطة دمشق كالآتي: الرصاص (0.0005 – 0.4210)، الكادميوم (0.0008 – 0.1642)، الزئبق (0.0)، الكروم (0.1189 – 2.1215).

2. المبيدات والأسمدة Pesticides and Fertilizers

تقسم المبيدات حسب تركيبها إلى: مستحضرات سائلة، ومستحضرات جافة، وضبوبيات Aerosols، وطعوم سامة، ومبيدات حفظ البذور، ومستحضرات المحافظ (الشكل 9-14)، وتقسم وفقاً لتأثير مادتها الفعالة إلى: مبيدات الحشرات، ومبيدات الأعشاب، ومبيدات الفطريات، ومبيدات الجراثيم، ومبيدات النيماتودا، ومبيدات القوارض، وغيرها من المواد السامة أو القاتلة أو المضادة لأنواع أو مجموعات معينة من الأحياء، وتتضمن أيضاً المواد المثبطة ومنظمات النمو والهرمونات.

ويتوقف تأثير المبيدات على مجال سمية المادة الفعالة، والخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة الفعالة، وتركيز المبيد والجرعة، وطريقة دخول المبيد وامتصاصه، ومدة التعرُّض للمبيد، وهناك أنواع من الأحياء الدقيقة يمكنها تفكيك بعض المبيدات.

الجراثيم ذاتية الاغتذاء من النوع *Thiobacillus denitrificans* تُرجع النترات وتعمل على أكسدة الكبريت المعدني أو التيوسلفات إلى الكبريتات.

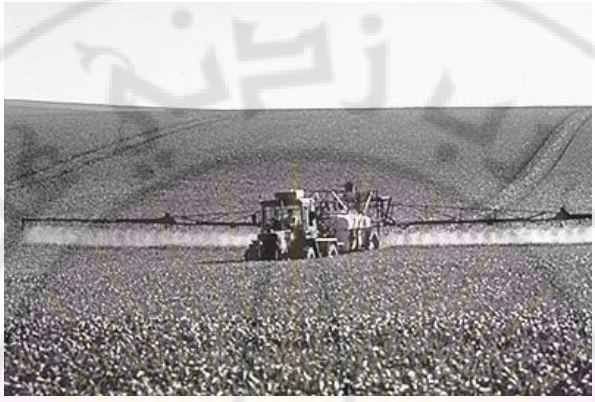
وتؤكسد جماعات من الجراثيم ذاتية الاغتذاء مركبات الكبريت المعدنية، مثل:

Thiobacillus, Thiospira, Thiomicrospira, Thiosphaera, Thiovulum, Acidophilium, …

ومنها خيطية الشكل، مثل:

Thiothrix, Thioplaca, Beggeatoa, …

وبعضها يقوم بالتركيب الضوئي، مثل: الجراثيم الكبريتية الأرجوانية والخضراء، وينتشر وجودها عموماً في الينابيع الكبريتية ومجاري المياه والأراضي الغدقة..



الشكل 9-14 رش المبيدات في الحقول.

أما الجراثيم المرجعة للكبريتات فتستعمل الكبريت لاهوائياً، وتتطلب وجود مانح للإلكترونات، كالمواد العضوية والهدروجين الغازي، مثل:

Desulfovibrio, Desulfotomaculatum, …

وهذه الجراثيم مسؤولة عن تكوين كبريت الهدروجين ذي الرائحة الكريهة في أنفاق المجارير أو الرسوبات ذات اللون الأسود في قاع المستنقعات.

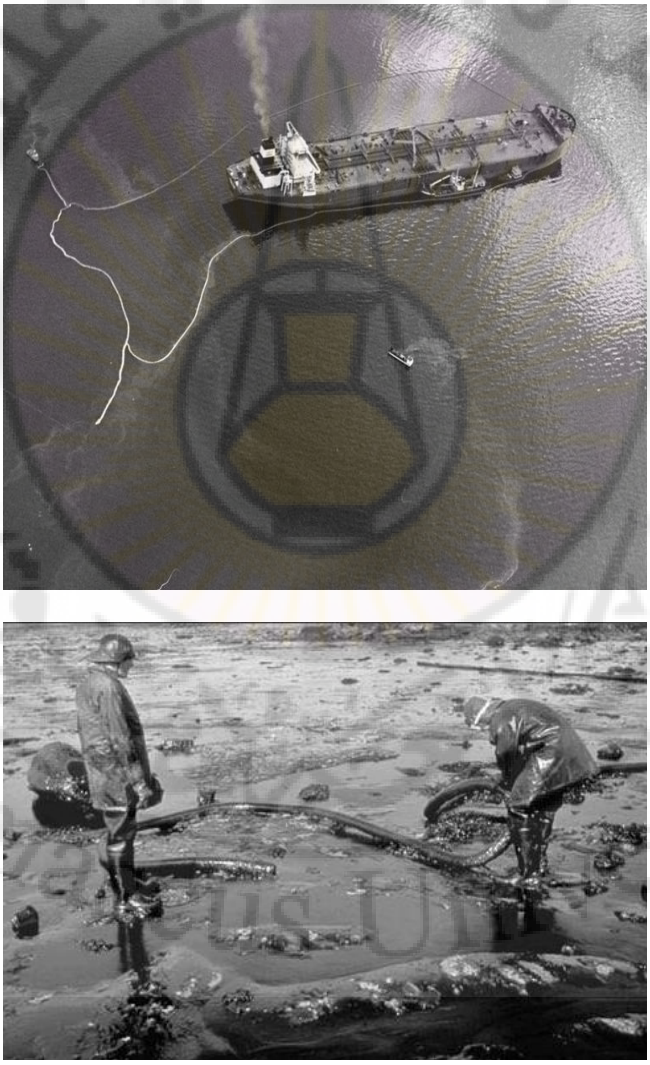
3. المنظفات Detergents

تسبب المنظّفات الصناعية تلوّث الموارد المائية عندما تتسرّب أحياناً أو كثيراً إلى مواقع معينة، وهي على أنواع، المنظفات اليسرة Soft detergents سهلة الأكسدة التي تتحلّل بفعل الأحياء الدقيقة ولا تحمل خطراً مهماً على البيئة ومكوِّناتها، والمنظفات العسرة Hard detergents الثابتة التي تقاوم التحلُّل وتسبّب الضرر للبيئة ومكوّناتها، ومن أهم مخاطرها استنزاف الأكسجين وتكوين الرغوة، ويُعدّ الفسفور من أهم مكوّنات منظفات الغسيل التي نستعملها اليوم، وله تأثير سيء جداً في البيئة التي يصل إليها، ويسبب ظاهرة الإثراء الغذائي.

4. النِّفط Petroleum

يسبّب التلوث النفطيّ ومشتقّاته تأثيراً ضاراً بالحياة المائية، إذ إن النفط يكوّن طبقة عازلة رقيقة (الشكل 9-15) تعوق تبادل الغازات من الهواء والماء، إضافة إلى ما تحتوي المشتقات النفطية من عناصر سامة، تتمكّن أجناس الجراثيم، من تفكيك النفط ومشتقاته، وإن كانت العملية تحدث على نحو بطيء جداً مثل:

Micrococcus, *Pseudomonas*



الشكل 9-15 التلوث النفطي وعمليات إزالته آلياً.

رابعاً. التلوث الإشعاعي والحراري

Radiological and hydrothermal Pollution

1. مصادر النظائر المشعة Radiological Isotopes Resources

ينشأ التلوث الإشعاعي عن المفاعلات الذرية والمحطات الذرية، والتجارب الذرية في المحيطات، وطمر المخلفات الذرية في أعماق البحار، والمنشآت الصناعية، مثل: صناعة البطاريات وصناعة الأجهزة الطبية.

2. أضرار التلوث الإشعاعي Hazards Radiological Pollution

تنتقل المواد المشعة إلى الأحياء خلال الشبكة الغذائية، إذ تمتصها الطحالب بما في ذلك المشطورات، ثم تتغذى بها الأسماك والطيور البحرية... حتى الإنسان، وهي ذات قدرة على التراكم الحيوي في النسج الحية، ولها تأثير شديد السمية.

3. مصادر التلوث الحراري Hydrothermal Pollution Resources

ينشأ التلوث الحراري طبيعياً عن الحمم البركانية، وصنعياً عن محطات توليد الطاقة الكهربائية، إضافة إلى مياه التبريد في المصانع والمفاعلات الحرارية ومحطات تحلية المياه، وتتميز المياه الصادرة بارتفاع حرارتها عن المعدل العادي.

4. أضرار التلوث الحراري Hydrothermal Pollution Hazards

يؤدي التلوث الحراري إلى الإخلال بالتوازن الطبيعي، ويحمل أضراراً بالبيئة ومكوّناتها، نتيجة تأثيره في تغيير خواص المياه وتسريع التفاعلات الكيميائية التي تجري فيها ونقص الأكسجين، وتسبّب نموَّ أنواع جديدة من الأحياء بسبب الاصطفاء أكثر ملاءمة لدرجة الحرارة المرتفعة؛ ما يؤدي إلى تغيير توازن التنوع الحيوي في المياه، وإلى هجرة كثير من الأحياء إلى مناطق أخرى أو موتها، وقد تؤدّي نموّات الطحالب أو النباتات المائية الراقية الناشئة إلى إغلاق القنوات المائية، وإعاقة الحركة في المجاري المائية.

يمكن إجمال تأثير التلوث المائي وأخطاره عموماً فيما يأتي:

1. انخفاض تركيز الأكسجين المنحل في البيئة المائية لأن الملوثات تعمل على استهلاكه عند الأكسدة.
2. نقصان الأكسجين المنحل في المياه، ووجود المواد السامة والمركبات الكيميائية، وكذلك يسبب التلوث الحراري موتَ الأسماك.
3. وجود العديد من المركبات العضوية الضارة كالهيدروكربونات الحلقية والمنظفات والمبيدات الحشرية والمطهِّرات والمبيدات والمذيبات العضوية؛ ما يسبب نشوء الأمراض والأضرار والسرطان.
4. الأضرار الناجمة عن وجود الأمونيا في المياه، وعن وجود النترات والنتريت، وحسبنا أن نذكر أن مركب النتروزأمين الناجم عن تأثير الجراثيم في النتريت يسبب السرطان.
5. يؤدي التراكم الحيوي للسموم، مثل: الرصاص والكادميوم والزئبق والنيكل والنحاس وغيرها، إلى أضرار جديّة بالتنوع الحيوي، وكثيراً ما تصل إلى الإنسان.
6. ازدياد تركيز بعض الشوارد الضارة، مثل: الكلوريدات.
7. انتشار الأمراض الخمجية الناجمة عن التلوث الحيوي للمياه بسبب وجود عوامل، مثل: الجراثيم، والفيروسات، والطفيليات، ولاسيما التيفود والهيضة والزحار والتهاب الكبد الفيروسي والالتهابات المعوية.

ويمكن تقسيم مستويات تلوث المياه كالآتي:

- التلوث المقبول: حالة شائعة في المناطق والأقاليم المختلفة على الكرة الأرضية، ويعود ذلك لسهولة انتقال ملوثات الهواء بفعل الرياح أو الأمطار من بقعة إلى أخرى، مثل: الغازات والأبخرة التي تسبب المطر الحمضي.
- التلوث الخطر: هو الناجم بالدرجة الأولى عن النشاط الصناعي في البلدان المتطورة، ويعود ذلك للاستهلاك الكبير لمصادر الطاقة – الفحم والنفط، ويمثّل مرحلة متقدّمة إذ تتعدّى كمية الملوثات ونوعيتها الحدود الحرجة الصديقة للبيئة؛ ما يجعل تأثيره سلبياً في البيئة ومكوّناتها الحيوية، ويتطلب التخلص منها استعمال وحدات معالجة فعَّالة.
- التلوث المدمر: حالة الحضيض حيث تتقوّض المكونات البيئية، ويختلُّ التوازن البيئي إلى حدّ بعيد، مثل: حالات الانفجارات النووية.

أسئلة للمناقشة



- أوضح تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري في تلوث المياه.
- ما تأثير السموم في التنوع الحيوي؟.
- يتميز النتروجين بسلوك متباين في البيئة المائية، كالآتي: ...
- لماذا نقف ضد استعمال الأسلحة والتقنيات النووية؟.
- قارن بين تأثير النفط والزئبق والمخلفات السائلة المنزلية.
- اذكر مصادر الملوثات، وما أنماطها؟.
- ارسم مخططاً مبسطاً تقترح فيه تصنيفاً عاماً لملوثات المياه.

المراجع References

زينب، أسمهان (2010). تقييم نوعية المياه البحرية بالاستناد إلى مؤشرات التلوث البرازي، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية – المجلد 26، العدد الأول.

علي نظام، عدنان – حمد، ابتسام – محمد، ياسر (2000)، مؤشرات على تراجع الإنتاج الزراعي بسبب تدني نوعية مياه الري وقلّتها في حوض بردى. مؤتمر الإستراتيجية العربية لزيادة الإنتاج الزراعي وحماية البيئة. الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، مؤسسة العلميين الدوليين، اتحاد الغرف الزراعية السورية، مركز التعاون الأوروبي العربي، 2-4/ 9 دمشق.

علي نظام، عدنان – حمد، ابتسام (2001). المؤشرات الفيزيائية – الكيميائية والجرثومية الصحية لمياه نهر بردى. مجلة أبحاث البيئة والتنمية المستدامة، بغداد (العراق) المجلد 4- العدد 1، 2001، 18-29.

علي نظام، عدنان – حمد، ابتسام. دراسة تحليلية جرثومية لمياه آبار الري في حوض بردى وتقييم نوعيتها. منشورات المجلس الأعلى للعلوم، الكتاب الخامس – الجزء الأول، 2000، دراسات وبحوث العلوم الهندسية 2002، 117- 130.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة (2009). تركيب مجتمع البكتريا غيرية الاغتذاء وفعاليتها في بحيرة سد الروم بالسويداء بسورية. مجلة جامعة أسيوط في النبات، المجلد (38) العدد 1، 263-280، عدد خاص بالمؤتمر الدولي الأول للعلوم البيولوجية رقم 1، 4 – 5 آذار، أسيوط – مصر.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة (2009). حركية جماعات الجراثيم غير ذاتية الاغتذاء ودورها في الشبكة الغذائية في بحيرة سد الروم بالسويداء. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (25) – العدد 2، 109-130.

منصور، خولة – المفتي، محمد بشار (2010). توزع المؤشرات المعدنية واللامعدنية في رسوبات بحيرة قطينة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد 26، العدد الثاني 2010.

اليازجي، وريف – البلخي، عبد المجيد – البلخي، مصطفى (2004). رصد التلوث الكيماوي والجرثومي في مياه المنطقة الجنوبية الغربية من حوض اليرموك، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية المجلد 20، العدد الثاني.

Azam F., Fenchel T., Field J. G., Gray J. S., Meyer-Reil L. A., Thingstad F. (1983). The ecological role of water column microbes in the sea. Mar Ecol Prog Ser 10: 257–263.

Azcue J. M. (1995). Environmental significance of elevated natural levels of arsenic. Enviorn. Rev., 3: 212-221.

Baily R., Clarke H. M., Ferris J. E., Krause S., Strong R. L. (1978). Chemistry of the Environment, Publisher: Academic press, chapter 14.

Bartram J, ed. (2001). Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. Published by E & FN Spon on behalf of the World Health Organization, pp. 41–112.

Borja R., Alba J., Banks J. (1997). Impact of the main phenolic compounds of olive mill wastewater (OMW) on the kinetics of acetoclastic methanogenesis, Process Biochemistry, vol. 32, № 2, 121–133.

Brook/Cole – Thomson 2005.

Chae Y. S., Hamidi A. (1999). " Groundwater Pollution Control "Groundwater and Surface Water Pollution: CRC Press LLC, 9.

Cotton F. A., Wilkinson G. W. (1980). Advanced Inorganic Chemistry, A Comprehensive Text, Publisher John Wiley and Sons, Fourth Edition, Chapter 19.

Fishbein L., (1973). Chromatography of Environmental Hazards, publisher: Elsevier Scientific Publishing Company, 1973, Chapter7.

Karim M. M., (2000). Arsenic in groundwater and health problems in Bangladesh, Water Res., 14: 1304-1310.

Little A. D. Inc. (1976). Physical, chemical, and biological treatment techniques for industrial wastes. Report to U.S. EPA, Office of Solid Waste Management Programs, PB-275-054/56A Vol. 1 and PB - 275- 278/ 1GA Vol. 2.

Manahan Stanley E., (2000). "Water Pollution" Environmental Chemistry Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

Mandal B. K., Chowdhury T. R., Samanta G., Mukherjee D. P., Chanda C., Saha K., Chakraborti D. (1998). Impact of safe water for drinking and cooking on five arsenic-affected families for 2 years in West Bengal, India. Sci. Total Environ., 218: 185-201.

Medema G. J, Shaw S., Waite M., Snozzi M., Morreau A., Grabow W. (2003).Catchment characteristics and source water quality. In Assessing Microbial Safety of Drinking Water. Improving Approaches and Method; WHO & OECD, IWA Publishing: London, UK, 111–158.

Paraskeva P., Diamadopoulos E. (2006). Technologies for olive mill wastewater OMW treatment: a review-Journal of chemical technology and Biotechnology, 81, 1475-1485.

Prescott L., et al., (2002). Microbiology. McGraw Hill, Boston, USA.

Rao P. S. C., Jessup R. E., (1982). Development and verification of simulation models for describing pesticide dynamics in soils. Ecol. Modeling 16:67–75.

Reynolds C. S. (1997). Vegetation Processes in the Pelagic. A Model for Ecosystem Theory. Ecology Institute, D-21385 Oldendorf/Luhe, ISSN 0932-2205.

Smedley P. L., KinniBurgh D. G., (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, 17: 517-568.

Tamaki S. Frankenberger (1992). Environmental Biochemistry of arsenic. Rev. Environ. Contam. Toxicol., 124: 79-110.

www.en.wikipedia.org/wiki/Exxon_Valdez_oil_spill

www.pdffactory.com

www.pediaa.com/differencebetweenpollutantandcontaminant

www.spartacus.schoolnet.co.uk/IRpollution.htm

www.unitedstreaming.org

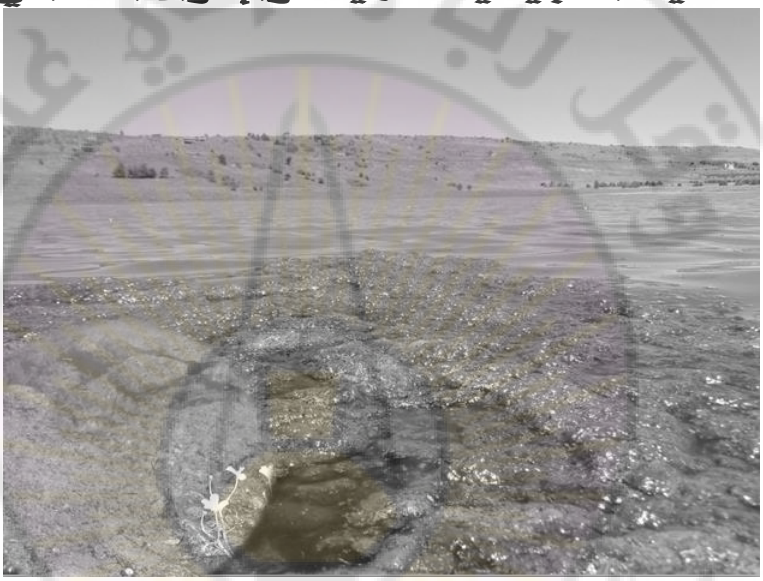
Zevenboom W., Mur L., (1980). N2 fixing cyanobacteria, why they do not become dominant in dutch hypertrophic lakes. Dev. Hydrobiol., 2,123-131.

Damascus University

Natural Water Purification and Eutrophication

الفصل العاشر

التنقية الطبيعية للمياه والإثراء الغذائي



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُحدد الأسباب الطبيعية والصنعية لنشوء الإثراء الغذائي.
- يستنتج العوامل المتحكمة في التنقية الذاتية.
- يقارن بين التنقية الذاتية والإثراء الغذائي.
- يربط بين تغيرات مجموعات الجراثيم وكمية المادة العضوية في البحيرة.
- يفهم أسباب تكوّن الرقاقات الحيوية وآلية تطورها ووظيفتها.
- يصف العمليات الأساسية للتفكيك في مرحلة تكوّن البحيرات المستحدثة.
- يقدّر أهمية التنقية الذاتية في الأجسام المائية.

مفاهيم مفتاحية

□ **المركّبات الدُّبالية** Humic Substances

مركبات عضوية تتوضّع في الآفاق السفلى من المسطحات المائية، ويرتبط توزيعها الشاقولي بدرجة كبيرة مع اللونية.

□ **الجراثيم قليلة الاغتذاء** Oligotrophic bacteria

تنمو في التراكيز المنخفضة المنحلة والعسرة والمرتفعة للمادة العضوية، والكمية الإجمالية للمادة العضوية في المياه لا تحدّد أعدادها بالضرورة.

□ **الإثراء الغذائي** Eutrophication

عملية معقدة وظاهرة طبيعية تنشأ في المياه العذبة والبحرية، فتزداد خلالها مستويات الغُذيَّات من مستويات منخفضة إلى أخرى مرتفعة، ولاسيما عند التطبُّق، وتعسرِّها أنشطة الإنسان، والعامل المحدّد لها الفسفور أو النتروجين.

□ **التنقية الذاتية** Self-purification

هي جملة العمليات الحيوية والكيميائية التي تجعل المياه قادرة على تحمُّل كمية من الملوثات نتيجة التخفيف؛ فتعيد تركيبها الذي كانت عليه، وتتأثر بدرجة الحرارة، والأحياء ولاسيما الرميّة، والأكسجين، والغُذيات، والترسيب.

□ **المُشْعِرات (الدالات) الحيوية** Bioindicators

هي أنواع من الأحياء تمتلك استجابة متكاملة لبيئاتها تفيد في تقييم تأثير التغيّرات في نوعية المياه ووصف الاضطراب الطبيعي أو المستحدث، فالطحالب والأحياء الدقيقة ذات أهمية مقارنة بالحشرات والحيوانات الأخرى.

□ **الرصد الحيوي** Biomonitoring

إجراء عمليات اعتيان لاستكشاف الدالات الحيوية الصحية في الموقع.

□ **المعماق** Bathometer

وسيلة لجمع الطحالب والجراثيم من العوالق النانوية nanoplankton على أعماق مختلفة حتى 12 م في زجاجات معقمة ومرقمة وفق نقاط الرصد.

أولاً. عمليات التفكك الحيوي في البيئات المائية
Biodegradation Processes in Aquatic Environments

1. التفكك الميكروبيولوجي في البحيرات والبرك
Microbiological Decomposition in Lakes and Ponds

تتميز البحيرات الطبيعية بتطوّر مستمرّ وإن كان تطوّرها بطيئاً في الحالة الطبيعية، من المياه قليلة الاغتذاء إلى جيدة الاغتذاء، وتضطرب حالة التوازن في فترات وفرة الفُسفور الذي يحرّض حدوث ظاهرة الإثراء الغذائي، ولاسيما البحيرات الراكدة والبرك، والجماعات الجرثومية مكوّن أساسي في الشبكة الغذائية ضمن المياه العذبة، ومتباينة جداً من حيث تركيبها وأشكالها وفاعليتها في الدورات الأرضية الكيميائية، وتتميّز هذه الجماعات بقدرة كبيرة على التفكيك الحيوي للملوثات الطبيعية أو الناتجة عن الأنشطة البشرية، والمساهمة في عملية التنقية الذاتية الطبيعية (Carrillo *et al.*, 1985, Rivera *et al.*, 1988, Ali Nizam 1992)، إضافة إلى دورها المميز في الظروف اللاهوائية، وتتكوّن غالبيتها من الجراثيم غيرية الاغتذاء التي تستعمل مصادر الكربون العضوية المتوافرة في المياه والرسوبات، وتتصف بمعدلات تضاعف سريعة؛ وتعدّ الإنتاجية الجرثومية الواجهة الحركية لوظيفة المجتمع، والمكوِّن المهم للكتلة الحيوية والانتقال في الشبكات الغذائية في البيئة المائية العذبة، إلى جانب الأحياء الأخرى في البحيرة؛ ولذلك هناك علاقات ارتباط إيجابية بين إجمالي الكربون العضوي وجماعات الجراثيم، مثل: أنواع *Pseudomonas*، *Bacillus* وغيرها (Azam *et al.*, 1983, Goldman *et al.*, 1996, Magnuson *et al.*, 2005, Sigee 2005)، فمن أنواع الزائفة في المياه:

Pseudomonas aeruginosa, P. putida, P. fluorescens,...

ومن أنواع العصوية *Bacillus* في الرسوبات:

B. mesentericus, B. cereus, B. mycoides, B. subtilis, ...

وتبدي جماعات هذه الأنواع نشاطاً حيوياً كيميائياً عالياً نظراً إلى امتلاكها إنزيمات مهمة، كالبروتياز والأميلاز والليباز والفُسفاتاز والفسفوليباز.

2. التفكك الميكروبيولوجي في البحيرات المستحدثة

Microbiological Decomposition in Reservoirs

يختلف تحوُّل المادة والطاقة في البحيرات المستحدثة عما يجري في الأنهار والبحيرات الطبيعية، من حيث المقاييس والتوجُّه والشدّة والمدّة، ويعود ذلك لتغير النظم الهدرولوجية عند نشوئها؛ فالمسطحات الجديدة تتميز بانخفاض مستوى تبادل المياه وتغيُّر منسوبها ونشوء نظم للنقل والدوران؛ ولذلك فإن معرفة تكوين نوعية المياه ومشاركة الأحياء الدقيقة في التفكيك فيها تستأثر بأهمية علمية وتطبيقية كبيرة (Margolina 1989).

(1) دور البحيرات المستحدثة في تحوّل المادة العضوية والغذيات

إن المادة العضوية والغُذيّات في المسطحات المائية هي القاعدة التي تحدّد الإنتاجية الحيوية وتكوين نوعية المياه، إذ تخضع المركبات الكيميائية العضوية والأملاح المعدنية التي تنقلها التيارات النهرية بوضوح لظروف التبادل المائي البطيء، وتقع تحت تأثير العمليات الداخلية الجارية في البحيرة، ويشمل ذلك المواد العضوية العالقة والمواد العضوية واللاعضوية المنحلة (الجدولان 10-1، 10-2)، ويتجمّع الفسفور بكميات كبيرة في مركّباته لأنه أساس الخلائط العالقة ويترسّب إلى القاع؛ ولذلك فالرسوبات القاعية مصدر لارتشاح الفسفور إلى الطبقة المائية ولاسيما في الأحواض الضحلة المعرضة لتأثير الرياح (Bylinkina *et al.*, 1982, Razgulin *et al.*, 1982, Ziminova *et al.*, 1982).

(2) عمليات الإنتاج والتفكيك في فترة تكوين البحيرة

إن تنظيم التيار النهري وغمر مساحات واسعة من الأراضي الزراعية والمواقع المأهولة والمستنقعات والغابات وتغيُّر النظام الحراري وسرعة الجريان تؤدي إلى حدوث العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية ونشوء ظروف فريدة لوجود الأحياء، وتؤثر عمليات الغمر بوضوح أكبر في نوعية المياه خلال الأعوام الأولى من إنشاء البحيرات المستحدثة؛ إذ تتكوّن النظم الهدروكيميائية والميكروبيولوجية، وفيما بعد ينخفض تأثير هذه العوامل وتميل النظم الهدروكيميائية للأحواض إلى الاستقرار.

الجدول 10–1 تيار المواد الكيميائية في نهر الفولغا Volga قبل التنظيم وبعده، ألف طن/سنة (Tarasov *et al.*, 1987).

المكوّن	1955 – 1935	1980 – 1959	% من التيار غير المنظم
المواد العضوية	5610	3985	70
المواد العالقة	19.3	7.8	40.5
تيار الشوارد	57800	69147	120
الفسفور المعدني	6.0	3.7	61.7
الفسفور العضوي المنحل	11.9	17.3	145
P العضوي في الخلائط العالقة	14.9	7.7	51.6
النتروجين العضوي المنحل	97.9	158.1	162
N العضوي في الخلائط العالقة	116.8	97.8	84
النتروجين النشادري	50.4	30.4	60.4
النتروجين النتراتي	41.5	79.5	192
النتروجين النتريتي	0.75	1.62	216
السيليس	578.7	423.7	73

الجدول 10–2 تفكك المادة العضوية في قيعان بحيرات نهر الفولغا، ملغ C / م2/يوم (Dzuban 1984).

الحوض	العمق المتوسط	التفكك في القاع			
	م	الهوائي	اللاهوائي	المجموع	% من الإجمالي
Ivanovsk	3.4	170	210	380	28
Rubinsk	5.7	110	90	200	20
Gorkovsk	5.5	160	120	280	19
Kuibyshensk	8.9	130	110	240	12
Saratovsk	7.3	100	40	140	11
Volgagradsk	10.1	210	40	250	14

تتميز التربة السطحية في قاع الحوض الناشئ بأهمية بالغة تختلف باختلاف المناطق (Starodubtsev 1986)، ففي مناطق الغابات الرطبة تؤثر التربة في محتوى المياه من الغازات والغُذيّات والإثراء الغذائي، وفي السهوب ولاسيما في المناطق الجافة وشبه القاحلة تكتسب أهمية كبيرة في ارتشاح الأملاح من القاع فتزيد معدنة المياه، إضافة إلى تأثير الغطاء النباتي المغمور المندثر في التركيب الكيميائي للمياه نتيجة التفكك والتماس مع القاع (الجدول 10–3) فتتجمّع مادة عضوية أصيلة غنية بالنتروجين الأميني والأميدي والسكريات والحموض العضوية والمركبات الدُّبالية (Laskorin *et al.*, 1975).

الجدول 10–3 كمية المواد الجارية في المياه خلال 210 أيام من التجربة، ملغ لكل 100 غ من التربة (Drachev 1971).

العنصر المكوِّن	تحت التربة	التربة	الخُث Peat
اللون (درجة)	0.00	350	3250
القلوية ملغ، مكافئ	1.20	3.32	39.30
$N\text{-}NH_4$	1.4	23.4	91.00
N إجمالي	–	–	120.0
P إجمالي	0.84	1.43	8.700
Fe	0.00	84.5	384.0
Mn	13.5	57.2	22.10
الأكسدة ملغ O_2/ل	0.00	36.4	280.0

تتميّز السنوات الأولى من تكوين المسطحات المائية العذبة بتجمّع كمية ملموسة من المواد العالقة نتيجة غسل الضفاف، إذ يعطي هذا المصدر 60 – 70% من إجمالي الخلائط العالقة الدخيلة على الحوض (Shirokov 1985)، ويقلّ تأثير عملية التكوُّن بوضوح مع ازدياد عمر الحوض، وهكذا، في الأعوام الخمسة والعشرين الأولى من تكوين بحيرة Ribinsk (1941 – 1965)، بلغت سرعة طمر مركبات الكربون 326 ألف طن في السنة (Trifonova 1974).

أما تواتر التجمّع فقد انخفض لاحقاً إلى 215 ألف طن في السنة، ويتوقّف ذلك على تناوب مصادر المواد المكوّنة للقاع على هيئة غسيل للخلائط الغذائية والترب المغمورة وغسل الضفاف التي لوحظت في الأطوار الأولى من وجود الحوض، ومع نشوء الأحواض تستقر النظم الهدروكيميائية فيها؛ ويقلّ تأثير القاع ويحدث ميل أكثر وضوحاً إلى تكديس المركبات الكيميائية (الجدول 10-4).

الجدول 10-4 تكديس العناصر الغذائية في فترات مختلفة من وجود البحيرات على نهر الدنيبر، محسوبة % من الدخيلة.

البحيرة	عام التكوُّن	النتروجين المعدني	الفسفور المعدني	الحديد
Kuevsk	1	1.3-	16.0-	9
	2	7.4-	42.0	40
	7	3.2	40.0-	8.8
	18	11.0	17.0	27
Kremenchugsk	2	12.3-	8.0-	13
	3	1.7-	9.5-	48
	5	2.5-	9.0	36.5
	13	21.4	32.0	61

تساهم الأحياء الدقيقة بدور كبير في عمليات نشوء النظم الهدروكيميائية للأحواض، إذ ترتبط فاعليتها بتحوّل المادة العضوية ودورة الغُذيّات وتكوين نوعية المياه (الجدول 10-5)، تتميز الفترة الأولى من وجود الأحواض بازدياد غزارة مجموعات الجراثيم ونشاط بعض الأنواع والجماعات المساهمة في الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية (Kuznetsov 1959, a,b)، ولكنْ تنخفض أعدادها سريعاً في الأعوام اللاحقة بسبب نقصان المواد الغذائية.

تتميز غالبية البحيرات المستحدثة ذات الشلالات بتفوّق معدنة المادة العضوية على عمليات إنتاجها الأولي بالتركيب الضوئي (الجدول 10-6).

الجدول 10-5 الخصائص الميكروبيولوجية لبحيرة Kapchagaisk في فترة التكوُّن (Margolina 1989).

العام	المساحة، كم^2	العدد الإجمالي للجراثيم ألف خ/مل	الجراثيم غيرية الاغتذاء	التركيب الضوئي P ملغ O_2/ م^2. يوم	التفكيك D ملغ O_2/ م^2. يوم	D : p
0	325	4.3	_	3.91	6.00	0.65
1	835	4.9	_	6.53	18.70	0.35
2	900	2.0	750	5.91	6.58	0.90
3	1130	2.8	1200	4.17	7.90	0.53
4	1120	2.0	1600	9.39	6.77	1.40
5	1030	2.9	750	4.52	6.66	0.70
6	1140	4.8	300	6.06	5.40	1.10
7	1140	3.9	600	4.29	3.69	1.16
8	1170	3.5	300	3.56	7.70	0.46

الجدول 10-6 الإنتاج الأولي وتفكك المادة العضوية في البحيرات على الفولغا والدون خلال الفترة الإعاشية (Romanenko 1985).

البحيرة	الإنتاج الأولي غ كربون / م^2	التفكك
Ivankovsk	226	160
Uglichesk	155	144
Rybinsk	80	129
Gorkovsk	115	185
Chebokarsk	198	240
Kuibyshevsk	100	220
Saratovsk	101	201
Volgogradsk	121	201
Cymlyansk	418	395

تنخفض عمليات التفكيك والمعدنة بوضوح في الشتاء البارد؛ ولذلك تتجمّع المادة العضوية سهلة الأكسدة في الأحواض، ويمكن رصدها بتقدير قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين BOD، إذ إن درجة الحرارة المنخفضة تؤثر سلبياً في النشاط الحيوي وتحدّ من نشاط الجراثيم المفككة للمادة العضوية سهلة الأكسدة.

تساهم الجراثيم غيرية الاغتذاء، إلى جانب الجراثيم قليلة الألفة للكربون، في المراحل الأولى فقط من معدنة المادة العضوية في الأحواض، ويجري التفكيك فيما بعد بفعل مجموعات الجراثيم التي تتميّز بنموّ سيء على الأوساط الغذائية الغنيّة بالمادة العضوية (Margolina 1989).

إن دراسة تركيب المجتمعات الجرثومية وفاعليتها في بحيرات السدود ضرورة ملحة (Carrillo *et al*, 1985, Rivera *et al*, 1988, Ali Nizam 1992)، فجراثيم المياه العذبة مجموعة متباينة جداً وتتكوّن غالبيتها من الجراثيم غيرية الاغتذاء التي تستعمل مصادر الكربون العضوية المتوافرة في الأوساط المائية أو الرسوبات، وهي تتصف بمعدلات تكاثر سريعة.

هناك علاقات ارتباط إيجابية بين إجمالي الكربون العضوي والجماعات الجرثومية غيرية الاغتذاء، مثل: *Pseudomonas*، *Bacillus*، Actinomycetes، وهذا ما يؤكد دورها في عمليات التفكيك للمادة العضوية، ففي مياه بحيرة سد الروم بالسويداء، بلغت القيمة العظمى للكتلة الحيوية 178.14×10^3 مقدرة بالكربون C (fgC.cell^{-1})، وبالمقابل كانت القيمة العظمى لإجمالي الكربون العضوي TOC في الوقت نفسه (حزيران) 15 ملغ/ل (محمد وعلي نظام 2009، I؛II).

بقي دور الجراثيم غيرية الاغتذاء في دراسات النموذج التقليدي للشبكة الغذائية في المياه العذبة مهملاً حتى وقت متأخر (Fuhrman and Azam 1980, Malinsky and Legrand 1996, Fuhrman 1999)، فالجراثيم غيرية الاغتذاء تكوّن المجموعة الأكبر التي تنتشر في النظم البيئية المائية، وتؤدي حركيتها إلى التوازن بين مجتمعات الأحياء لأنها تستأثر بالدور المفتاحي في الشبكة الغذائية من خلال تفكيك المادة العضوية وإعادة تدويرها.

3. التفكك الميكروبيولوجي في البحار

Microbiological Destruction in Marines

يزداد تركيز المادة العضوية سهلة التفكك في المحيط العالمي عموماً بفعل الجراثيم بدءاً من المناطق القطبية إلى الإستوائية، وينخفض مع ازدياد العمق، وإن وجدت شذوذات في بعض الأماكن وفي أعماق المحيط، نظراً إلى وجود التيارات التي تحمل المياه الدافئة نحو القطبين وبالعكس (Kriss 1971).

تتطلب دراسة توازن المادة العضوية تحديد التغيرات الشهرية والسنوية لقيم إنتاجية العوالق النباتية، ومستويات التفكيك اللاحقة في السلسلة الغذائية في المياه والرسوبات، وهذا ما يكتسب أهمية نظرية وعملية كبيرة؛ ولذلك تقدّر كمية المادة العضوية الدخيلة خلال خمس سنوات فرضاً، وكمية المادة العضوية الأصيلة، مثال:

إذا كانت الكمية الإجمالية للمادة العضوية الدخيلة في المياه تقدر بنحو 6.7 مليون طن C (مقدرة بالكربون)، والأصيلة 114.7 مليون طن C (الجدول 10-7)، ويتعرّض 115.9 مليون طن C من المادة العضوية للتمعدن حتى عمق 100 متر في المياه و9.9 ملايين طن C وفي الرسوبات على التوازي مع قياس الإنتاجية، فإنه يشارك في تدوير المادة العضوية 130.9 مليون طن (Salmanov 1987) من المادة العضوية في السنة، ويبدو أن دور المادة الدخيلة في التوازن غير كبير (5.4%)، فالمصدر الأساسي للمادة العضوية هو العوالق النباتية (92.7%).

ولما كانت بقايا الطحالب تتميز بأهمية كبيرة في توازن المادة العضوية، فمن الضروري تحديد الجراثيم المفككة للسليلوز والمثبتة للنتروجين والمرجعة للكبريتات والنازعة للنتروجين وغيرها، فمثلاً: توجد الجراثيم المفككة للسليلوز هوائياً بكمية أكبر في المياه خلال الصيف والخريف، وتبلغ أعدادها 80 – 100 خ/مل، ولا تزيد على 10 خ/مل في الشتاء، وتتراوح أعداد الجراثيم المفككة للسليلوز لاهوائياً بين 1 – 10 آلاف خ/غ من الرَّسُوبات وتبلغ الحد الأعظم في نيسان وتشرين الأول، وتوجد جراثيم الميتان في الخريف والشتاء بأعداد قليلة؛ وتزداد بوضوح في الربيع حتى 10 آلاف خ/مل من المياه ونحو مليون خ/غ من الرسوبات في الصيف.

الجدول 10-7 توازن المادة العضوية في بحر قزوين.

الوارد	ألف طن C، عام	%	الفاقد	ألف طن C، عام	%
المادة الدخيلة	6.7	5.4	التفكيك في الكتلة المائية	115.9	88.6
الإنتاجية الأولية	114.7	92.7	التفكيك في القاع	9.9	7.5
استعمال CO_2 بفعل الجراثيم	2.4	1.9	المطمور في القاع	5.1	3.9
الوارد الإجمالي	123. 8	100	الفاقد الإجمالي	130.9	100

تنمو النباتات المائية الراقية جيداً أحياناً في بعض الخلجان البحرية الضحلة، وتشغل مساحات كبيرة منها، مثل: *Phragmites*، *Potamogeton*، *Typha*، وعلى نحو مميز في الربيع، ويتجمع الجزء الأكبر من الكتلة الغاطسة في القاع؛ ولذلك تتكدس البقايا المتفسخة في مناطق راكدة قليلة الأكسجين سيئة النوعية، ويبدأ تفكك النباتات بعد 10 – 12 يوماً؛ فتنشط الجراثيم غيرية الاغتذاء في المعدنة التي تحرض العوالق النباتية بقوة خلال 20 يوماً، ثم ينخفض الإنتاج ليعود إلى الحالة الأصلية بعد 30 يوماً، ويلاحظ تدهور في نمو العوالق النباتية في اليوم الأربعين فينخفض إنتاجها انخفاضاً شديداً، وتنخفض قيمة تفكيك المادة العضوية تدريجياً فيما بعد حتى تبلغ حدها الأدنى في اليوم الخمسين.

تفكّك الجراثيم النفط والمشتقات النفطية (الهدروكربونات)، إذ تبدي جراثيم النوعين *Methanomonas methanica, Bacillus hexcarbovorum* قدرة على تفكيك التولوين والزيلول والميتان واستعمالها كمصدر للكربون.

وتبين وجود سلالات تنتمي إلى *Mycobacterium, Pseudomonas* قادرة على التفكيك الكامل للبنزين والكيروسين وزيت البرفين وشمع البرفين إلى CO_2 وماء وبعض الحموض العضوية.

وتتمكن الشعّيات من تفكيك الهيدروكربونات في الرسوبات الملوثة.

4. الجراثيم قليلة الاغتذاء في البيئة المائية

Oligotrophic Bacteria in Aquatic Environment

يستأثر فهم بنية ووظيفة الجراثيم الأساسية المنتشرة في المسطحات المائية بأهمية كبيرة في ميكروبيولوجيا المياه، وتقوم على استعمال طرائق المجهر الإلكتروني والأوساط الغذائية الفقيرة لعزل مجموعات معينة من الجراثيم موسومة بالكربون ^{14}C للمادة العضوية المنحلة من أجل تقدير نشاط الجراثيم (Hobbie *et al.*, 1968, Hirsch 1972, Romanenko 1973, Akagi *et al.*, 1977, Ishida *et al.*, 1981, Moaldi & Overbek 1982).

تنتمي الجراثيم الرمية عادة إلى نمط الجراثيم الدخيلة allochthonous التي تنشط عند موت الطحالب والنباتات الراقية أو وصول مادة عضوية إلى المسطح المائي، وتكوِّن جزءاً صغيراً من العدد الإجمالي للجراثيم، وتساهم في عمليات تفكيك المادة العضوية في الأطوار الأولى، ويدخل في تركيب الجراثيم الأصيلة autochthonous مجموعات تصنيفية متباينة بالخواص الفيزيولوجية، وهي في الأساس جراثيم غيرية الاغتذاء وذاتية الاغتذاء تتنامى في ظروف بيئية مميزة، وحسب صلتها بالمادة العضوية نقسمها إلى مجموعتين (Krasilnikov & Belyaev 1973, Vanagita *et al.*, 1978, Ishida *et al.*, 1979, Ishida *et al.*, 1981, Lapteva 1984):

- مجموعة قليلة الاغتذاء oligotrophs (قليلة الألفة للكربون oligocarbophils).
- مجموعة مخيَّرة facultative.

يعدّ مصطلح قليلات الاغتذاء "oligotrophs" أكثر شمولاً لاستعمال الجراثيم للتراكيز المنخفضة من المادة العضوية والغُذيَّات (Kuznetsov *et al.*, 1985)، أما الاصطلاح قليلات الألفة للكربون "oligocarbophils" فيوضح أن المادة العضوية مهما قلّت كميتها فهي تفيد كعامل أساسي يكفل تنامي الجراثيم (Romanenko 1985)، وينسب معظم الباحثين إلى الجراثيم قليلة الألفة للكربون – الأحياء الدقيقة القادرة أساساً على التنامي في تراكيز دنيا من المادة العضوية.

تنمو الجراثيم قليلة الاغتذاء المخيّرة، وفقاً للظروف، في التراكيز المنخفضة والمرتفعة للمادة العضوية (Vanagita *et al.*, 1978)؛ فهي تمتلك إنزيمات تكيفية وتنتقل بسهولة من نمط تغذية إلى آخر، ولكن التركيز الحدّي للمادة العضوية غير محدّد بعد، حيث يكون فيه نمو الجراثيم من الأنماط البيئية – الفيزيولوجية.

تتنامى الجراثيم قليلة الاغتذاء على المادة العضوية المنحلة (Hirsch 1972)، ولكنها قادرة على تفكيك المادة العضوية العسِرة (Moaldi & Overbek 1982)، والجراثيم قليلة الاغتذاء تستعمل منتَجات الاستقلاب الانتقالية بتراكيز منخفضة وتكمل تفكيكها تماماً (Kuznetsov *et al.*, 1979)، فصوغ مفهوم "قلّة الألفة للكربون" غير نهائي بعد، ولكن يُستخلص من الدراسات المرجعية أن غالبية الجراثيم غيرية الاغتذاء تستعمل المادة العضوية المنتشرة في الموائل المائية، ويقتصر دور الجراثيم قليلة الاغتذاء على تحقيق تيسير ذلك للأحياء الأخرى في دورة الكربون.

تتميز البحيرات، ذات الصفات العامة إلى حدّ معين، بمُشْعرات بيئية محددة؛ ما يُحدِّد بدوره التركيب النوعي وأعداد العوالق الجرثومية الأصيلة الأساسية – الجراثيم قليلة الاغتذاء (الجدول 10-8)، ففي الطبقة السطحية من البحيرات قليلة – معتدلة الاغتذاء تتراوح غزارة الجراثيم قليلة الاغتذاء والعدد الإجمالي للجراثيم في حدود كبيرة، وتوجد الجراثيم قليلة الاغتذاء – النشطة فيزيولوجياً في المنطقة الغذائية من البحيرات عديمة الاغتذاء بعدد بين 10 – 100 ألف خ/مل، والقيمة العظمى في الأماكن ذات التركيب الضوئي الشديد، ويتغير عددها في حدود صغيرة في البحيرات الضحلة والعميقة معتدلة الاغتذاء ذات المحتوى العالي من الخلائط العضوية –المعدنية مقارنة بالبحيرات قليلة – معتدلة الاغتذاء، وإن تقاربت قيم الإنتاجية الأولية للمادة العضوية.

واللافت أن الكمية الإجمالية للمادة العضوية في المياه لا تحدّد أعداد الجراثيم قليلة الاغتذاء، إذ يرتبط تناميها أساساً بالمادة العضوية المنحلة اليسِرة الناجمة عن العوالق النباتية في المنطقة المضاءة، وينخفض عددها مع ازدياد العمق، حيث تتنامى جراثيم قليلة الاغتذاء نوعية مرتبطة مع أكسدة الحديد والمنغنيز في طبقة المنحدر الحراري قليلة الأكسجين من الطبقة السفلى اللاهوائية، التي يتطلب نموها عوامل إضافية للنمو.

الجدول 10–8 عدد الجراثيم في البحيرات ذات مستويات تغذية متباينة، ألف خ/مل.

نمط البحيرة	البحيرة	منطقة تنامي الجراثيم	عدد الجراثيم قليلة الاغتذاء	العدد الإجمالي للجراثيم
قليلة الاغتذاء ثنائية الطبقة	Baikal	العليا السفلى	5 –0.1 0.01–0.005	1000 –300 3000 –200
قليلة– متوسطة الاغتذاء ثنائية الطبقة	Pertozero	العليا المنحدر الحراري السفلى	100 –1 100 –1 100	900 –300 1000 –600 1200 –700
عديمة الاغتذاء ثنائية الطبقة	Brigenes Lambi Karelie مع علامات قليلة الاغتذاء مع علامات معتدلة الاغتذاء مع علامات جيدة الاغتذاء	العليا المنحدر الحراري السفلى العليا المنحدر الحراري السفلى العليا المنحدر الحراري السفلى	100 –10 100 –10 100 –10 10 100 –10 1000 –10 1000 1000 –100 100 –10	2200 –300 1700 –500 500 –1700 1000 –200 6000 –400 7000 –2800 1400 –700 5000 –2600 6000 –5000
متوسطة الاغتذاء ثنائية الطبقة	Volgagrad Sevan	العليا المنحدر الحراري السفلى العليا المنحدر الحراري السفلى	100 –10 10 10 1000 –100 1000 –100 1000 –100	1400 –200 2700 –300 1500 –300 3000 –600 1400 –300 900 –300
جيدة الاغتذاء عديدة الطبقة	Kichier	العليا المنحدر الحراري السفلى	1000 1000 100	7000 –4000 6500 –4000 7000 –2500
معتدلة الاغتذاء مع علامات جيدة الاغتذاء وحيدة الطبقة	Vologodsk	العليا	100 –10	2000 –1000
معتدلة الاغتذاء وحيدة الطبقة	البيضاء Kubensk	العليا العليا	100 –0.1 1000 –10	350 –200 1100 –400
قليلة– معتدلة الاغتذاء وحيدة الطبقة	Ruminsk Resnas	العليا العليا	100 –10 10	19000 –1700 560

تتميز البحيرات عديدة الطبقات بتركيز ملموس لكبريت الهدروجين في الطبقة السفلى، ويكون العدد الأعظم للجراثيم قليلة الاغتذاء في المنطقة المضاءة والمنحدر الحراري، فالجراثيم الكبريتية ضوئية الاغتذاء تكوّن نصف العدد الإجمالي في المنطقة السفلى اللاهوائية، وتنتشر الجراثيم قليلة الاغتذاء وفقاً لنمط الاغتذاء في البحيرات ثنائية الطبقة، إذ يزيد عددها مرتين إلى ثلاث مرات في البحيرات قليلة – معتدلة الاغتذاء في الطبقة السفلى مقارنة بالطبقة المضاءة ومنطقة المنحدر الحراري، وتغزر في الطبقة العليا من البحيرات معتدلة الاغتذاء ذات المحتوى العالي من المواد العالقة ويكون الحدّ الأعظمي في الطبقة الأكثر حرارة.

يقع كثير من الجراثيم في الآفاق المنخفضة من المياه في حالة خاملة غالباً تحت التأثير السلبي للتركيز العالي لأكسيد الحديد، إذ تتنامى عموماً جراثيم الحديد قليلة الاغتذاء، مثل: *Ochrobium, Arthrobacter* على هيئة كتل، في حال توافر المادة العضوية الدبالية ومركبات الحديد الشاردية.

ويكون عدد الجراثيم قليلة الاغتذاء أعظمياً في المنطقة العليا من البحيرات عديمة الاغتذاء – وجيدة الاغتذاء، والحدّ الأعظمي للعدد الإجمالي للجراثيم في المنطقة السفلى بسبب التنامي الكبير للجراثيم الكبريتية ضوئية الاغتذاء، ويُلاحظ في البحيرات عديمة الاغتذاء انخفاض نسبة الجراثيم قليلة الاغتذاء إلى العدد الإجمالي للجراثيم، وتكون أكثر وضوحاً مع قيم تمثيل ثنائي أكسيد الكربون في الظلام، ويكون تأثير درجة الحرارة والأكسجين ضعيفاً في تنامي الجراثيم قليلة الاغتذاء، ويرتبط توزيعها الشاقولي بدرجة كبيرة مع اللونية؛ لأن ازدياد أعداد الجراثيم قليلة الاغتذاء يتفق مع ازدياد التدبُّل Humification في كثير من البحيرات.

وهكذا، فإن الجراثيم في منطقة التركيب الضوئي ومنطقة المنحدر الحراري لبعض البحيرات معتدلة الاغتذاء وجيدة الاغتذاء تقع في حالة نشاط فيزيولوجي عالٍ، وتزداد أعدادها في الطبقات العليا بسبب وفرة المادة العضوية المنحلة الناتجة عن عملية التركيب الضوئي للطحالب، وفي منطقة المنحدر الحراري نتيجة التفكيك الشديد للفُتات Detritus والعوالق النباتية الميتة الباقية نتيجة ازدياد كثافة المياه.

ترتبط أعداد الجراثيم قليلة الاغتذاء إلى حد كبير مع الحالة الفيزيولوجية للخلايا في المسطحات المائية؛ ولذلك فإن تزويدها بالمادة العضوية المنحلة والأكسجين يعدّ إجراء مهماً لتحديد توزيع الجراثيم قليلة الاغتذاء وتركيبها النوعي.

تنتمي الجراثيم قليلة الاغتذاء السائدة عموماً (الجدول 10-9) في البحيرات إلى الأجناس الآتية:

Asticcacaulis, Aeromonas, Chromobacterium, Microcyclus, Gaffkya, Cytophaga, Sarcina, Bacillus.

الجدول 10-9 تكرارية الجراثيم قليلة الألفة للكربون في البحيرات.

عدد الأنواع		عدد العزلات		الجنس
% من الإجمالي	الإجمالي	% من الإجمالي	الإجمالي	
22.9	34	25.5	131	*Pseudomonas*
11.4	17	13.8	71	*Flavobacterium*
5.4	8	13.1	67	*Arthrobacter*
6.8	10	12.1	62	*Caulobacter*
4.7	7	7.6	39	*Achromobacter*
12.8	19	6.8	35	*Micrococcus*
6.1	9	6.2	32	*Brevibacterium*
8.8	13	4.5	23	*Corynebacterium*
2.0	3	2.5	13	*Alcaligenes*
0.7	1	1.2	6	*Acinetobacter*
2.7	4	1.4	7	*Mycobacterium*
15.5	23	5.3	27	النادرة
100	125	100	513	المجموع

تكوّن جراثيم الجنس *Pseudomonas* 25% من جميع العزلات، وينتمي نحو 13% من الجراثيم إلى *Caulobacter*, *Arthrobacter*, *Flavobacterium*، ويشغل المكان الأول من حيث عدد الأنواع سلالات الأجناس:

Pseudomonas, Flavobactrium, Micrococcus, …

هناك تباين كبير بأعداد أجناس الجراثيم قليلة الاغتذاء في البحيرات عديمة الاغتذاء ومعتدلة الاغتذاء، وتباين قليل – في البحيرات قليلة الاغتذاء (مثل البيكال) وقليلة – معتدلة الاغتذاء (الجدول 10-10).

الجدول 10–10 الجراثيم قليلة الألفة للكربون السائدة في البحيرات، ع العزلة.

الجنس	قليلة الاغتذاء		معتدلة الاغتذاء		جيدة الاغتذاء		عديمة الاغتذاء	
	عدد، ع	%	عدد، ع	%	عدد، ع	%	عدد، ع	%
Pseudomonas	36	24.5	56	29.6	20	29	19	18.0
Arthrobacter	29	19.3	18	9.5	6	8.8	14	13.2
Caulobacter	17	11.3	39	20.6	1	1.47	5	4.7
Corynebacterium	9	6.0	7	3.7	3	4.4	4	3.7
Flavobacterium	24	16.1	25	13.2	10	13.2	13	12.0
Achromobacter	2	1.3	15	7.9	13	19	9	8.5
Alcaligenes	4	2.7	5	2.6	1	1.47	2	1.9
Micrococcus	10	6.7	11	5.8	9	13.2	5	4.7
Brevibacterium	8	5.3	4	2.1	4	5.9	16	15.1
Acinetobacter	3	2.0	0	0	0	0	3	2.8
Mycobacterium	0	0	2	1.1	2	2.9	3	2.8
Aeromonas	–	–	–	–	–	–	2	1.86
Sarcina	1	0.7	0	0	0	0	0	0
Bacillus	0	0	1	0.52	0	0	2	2.8
Asticcacaulis	0	0	3	1.58	0	0	1	0.94
Gaffkya	0	0	1	0.52	0	0	0	0
Cytophaga	0	0	1	0.52	0	0	0	0
Microcyclus	0	0	1	0.52	0	0	1	0.94
Chromobacterium	0	0	0	0	0	0	2	1.86
خمائر	8	4.7	2	1.1	0	0	5	4.7
المجموع	150	100	189	100	68	100	106	100

تسود أنواع الجنس *Pseudomonas* في جميع البحيرات، وينتمي عدد ملموس من العزلات إلى الجنس *Arthrobacter* في البحيرات قليلة الاغتذاء وعديمة الاغتذاء، أما في البحيرات معتدلة الاغتذاء ذات الإنتاجية الأولية العالية؛ فتكون الجراثيم من الجنس *Caulobacter* الأكثر تمييزاً، وتسود، إلى جانب *Pseudomonas* في البحيرات جيدة الاغتذاء، أنواع الأجناس: *Arthrobacter, Flavobacterium* و Micrococcus، وفي البحيرات عديمة الاغتذاء ذات التدبُّل العالي للمياه توجد غالباً جراثيم الجنس *Brevibacterium*، وتنتشر جراثيم الجنس *Flavobacterium* في كل مكان، ويقع التباين الأكبر للأنواع في البحيرات معتدلة الاغتذاء وقليلة– معتدلة الاغتذاء، والأقل– في البحيرات الكبيرة: البيكال، سيفان (الجدول 10–11).

الجدول 10–11 تكرارية الجراثيم قليلة الألفة للكربون في الطبقة السطحية للبحيرات.

نمط البحيرة	عدد العزلات	عدد الأنواع	نسبة عدد الأنواع إلى العدد الإجمالي للعزلات، %
معتدلة الاغتذاء وقليلة – معتدلة الاغتذاء	47	41	87.2
جيدة الاغتذاء	18	15	83.3
عديمة الاغتذاء	28	13	72.2
قليلة الاغتذاء: البيكال	109	56	51.4
معتدلة الاغتذاء: سيفان	84	50	59.5

يتغيّر عدد الأنواع في أعماق البحيرات المتطبقة (الجدول 10–12)، ففي البحيرة ثنائية الطبقة قليلة – معتدلة الاغتذاء ومعتدلة الاغتذاء (بحيرة سيفان) يكون التوزع متجانساً، ويقع العدد الأكبر للأنواع في طبقة المنحدر الحراري، ويكون التركيب النوعي في البحيرات ثنائية الطبقة عديمة الاغتذاء أكثر فقراً في الطبقة العليا؛ ويكون التباين في الطبقة السفلى ذات اللونية العالية للمياه، وفي البحيرات عديدة الطبقات يكون العدد الأكبر للأنواع في الآفاق العليا للمياه حتى الطبقة المضاءة والمنحدر الحراري؛ وتتميز الطبقة السفلى اللاهوائية بفقر واضح بسبب وفرة كبريت الهدروجين وازدياد شدة الاغتذاء الضوئي.

الجدول 10-12 توزع الجراثيم قليلة الاغتذاء في الطبقات المائية للبحيرات.

المنطقة	الموئل	الجراثيم	عدد العزلات	
			الإجمالي	% من الإجمالي
الهوائية	الطبقة السطحية	*Pseudomonas*	9	30
		Arthrobacter	6	20
		Flavobacterium	7	23.3
		Achromobacter	2	6.7
		Caulobacter	0	0
		Micrococcus	1	3.3
		Brevibacterium	0	0
		النادرة	5	17
		المجموع	30	100
قليلة الأكسجين	المنحدر الحراري	*Pseudomonas*	9	19.1
		Arthrobacter	5	10.6
		Flavobacterium	5	10.6
		Achromobacter	6	12.8
		Caulobacter	3	6.4
		Micrococcus	0	0
		Brevibacterium	11	23.4
		النادرة	8	17
		المجموع	47	100
اللاهوائية	السفلى	*Pseudomonas*	6	15.4
		Arthrobacter	2	5.1
		Flavobacterium	5	12.8
		Achromobacter	5	12.8
		Caulobacter	0	0
		Micrococcus	3	7.7
		Brevibacterium	5	12.8
		النادرة	13	33.3
		المجموع	39	100
الهوائية	السطحية	*Pseudomonas*	18	25.4
		Arthrobacter	9	12.7
		Flavobacterium	11	15.5
		Achromobacter	5	7.0
		Caulobacter	10	14.1
		Micrococcus	7	9.9
		Brevibacterium	1	1.4
		النادرة	10	14.1
		المجموع	71	100
	السفلى	*Pseudomonas*	33	32.7
		Arthrobacter	17	16.8
		Flavobacterium	11	10.9
		Achromobacter	2	1.98
		Caulobacter	18	17.8
		Micrococcus	4	4.0
		Brevibacterium	5	5.0

يختلف التركيب النوعي للجراثيم قليلة الاغتذاء في مواقع مستقلة من البحيرات مختلفة الأنماط (الجدول 10-12)، ففي البحيرات ثنائية الطبقة عديمة الاغتذاء وفي عديدة الطبقات جيدة الاغتذاء يكون العدد الأعظمي لعزلات *Pseudomonas* و*Arthrobacter* و *Flavobacterium* من الطبقة السطحية، والأقل – من الطبقة السفلى اللاهوائية، وتزداد غزارة الأجناس *Arthrobacter*، *Brevibacterium* في الطبقة ضعيفة الأكسجين وتوجد أفراد الجنس *Caulobacter* في منطقة المنحدر الحراري للبحيرات المتدبّلة، وينخفض عدد أنواع الجنس *Brevibacterium* في الطبقة السفلى اللاهوائية مقارنة بمنطقة المنحدر الحراري ضعيفة الأكسجين، ويزداد عدد الأنواع النادرة من الجراثيم قليلة الاغتذاء، ويوجد الأكسجين في مجمل الكتلة المائية في البحيرات معتدلة الاغتذاء وقليلة الاغتذاء؛ ما يساعد على توزع أكثر تجانساً للجراثيم قليلة الاغتذاء؛ ولذلك تسود أنواع الجنس *Pseudomonas* في جميع الطبقات المائية مع ازدياد طفيف لتركيزها في منطقة القفزة الحرارية، في هذه البحيرات تنخفض أعداد أفراد *Brevibacterium* و *Arthrobacter* وتزداد وفرة أنواع *Micrococcus*، ويكون التوزع الشاقولي لأفراد الجنس *Caulobacter* متجانساً.

يتمثّل التركيب النوعي للجراثيم قليلة الاغتذاء السائدة في البحيرات بالأجناس المذكورة في الجدول 10-12، وهي تتكرر ثلاث مرات على الأقل، وأكثر الأنواع انتشاراً من الجنس: *Pseudomonas* هي *P. cohaerens* و*P. oleovorans*، وتوجد أنواع متباينة من الجنس *Flavobacterium* التي يتكرر بعضها مرتين فقط، ويتكون الجنس *Arthrobacter* أساساً من النوع *A. simplex*، وينتمي إلى الجنس *Caulobacter* النوعان *C. bacteroids* و *C. crescentus*، وتتكرر باستمرار تقريباً أنواع متشابهة من *Brevibacterium*، وأهم أنواع الجنس *Arthrobacter* النوعان *A. parvulus*, *A. butyri*، وينتمي إلى *Micrococcus* أنواع مختلفة.

ويبين الجدول 10-13 الصفات الفيزيولوجية لعزلات الجراثيم قليلة الاغتذاء من بحيرات متباينة، وغالبيتها قادرة على تفكيك البروتينات وإطلاق النشادر، وأكثر الجراثيم نشاطاً أفراد الجنس *Pseudomonas* وبدرجة أقل أفراد الجنس *Caulobacter*.

تبدو أعداد قليلة من عزلات الجراثيم قليلة الاغتذاء قادرة على تفكيك البروتينات وإطلاق كبريت الهدروجين، وتُظهر أغلبية الجراثيم قدرة على إرجاع النترات إلى النتريت، والأجناس الأكثر مساهمة في ذلك هي: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*، ومن الأنواع المفككة للنشاء على نحو جيد: *Flavobacterium*, *Micrococcus*.

وهكذا، تبين أن تتمكّن الجراثيم قليلة الاغتذاء من تفكيك المادة العضوية المنحلة استناداً إلى القدرة الإنزيمية الضعيفة لها في حال تفكيك البوليميرات المعقدة، وكذلك قابليتها الكبيرة للنمّو واستعمال مصادر كربونية، مثل: السكريات والكحوليات والحموض العضوية، وقد يعود غياب نموّ الجراثيم قليلة الاغتذاء على الأوساط الغذائية الغنية لتجمع فوق أُكسيد الهدروجين في الاستقلاب، وغياب إنزيم الكتلاز المفكك له، وإن كانت غالبية عزلات الجراثيم قليلة الاغتذاء تتزود بالكتلاز النشط، مثل: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*، أما أنواع الجنس *Caulobacter* فهي ضعيفة الأداء.

الجدول 10-13 الصفات الفيزيولوجية للجراثيم المعزولة من البحيرات، ع: العزلات.

الجنس	عدد العزلات	عدد العزلات (% من الإجمالي)، المشاركة في						وجود الكتلاز
		تكوُّن الغازات		إرجاع NO_3 إلى NO_2	حلمهة النشاء	تمييع الهلام	تخثر الحليب وترويقه	
		NH_3	H_2S					
Pseudomonas	131	81	22.1	49.6	27.5	42	32.1	76.3
Flavobacterium	71	52.1	25.4	28.2	40.1	32.7	66.2	66.2
Arthrobacter	67	42	22.4	32.8	16.4	20.1	16.4	70.1
Caulobacter	62	17.8	3.2	32.8	3.2	19.4	13.4	29
Brevibacterium	32	37.5	3	25	18.8	18.8	11.3	22.5
Corynebacterium	23	48	17.4	26.1	26.1	26.1	0	47.8
Micrococcus	35	74.3	11.4	65.7	57.1	51.4	37.1	82.3
Achromobacter	39	59	25.6	51.3	10.3	41	33.3	56.4
Alcaligenes	13	61.5	30.7	33.7	7.6	15.3	23	69.2
Mycobacterium	6	83.3	–	66.5	33.3	33.3	–	66.6
Acinetobacter	7	14.2	–	–	28.5	–	14.2	42.8

تختلف الجراثيم المعزولة من مناطق بيئية متباينة من البحيرات المتطبّقة قليلاً في الصفات الفيزيولوجية والحيوية الكيميائية (الجدول 10-14)، فالعدد الأكبر من الأنواع القادرة على إرجاع شديد للنترات إلى نتريت وتفكيك النشاء والبروتينات، أمكن عزله من المناطق السفلى حيث تكوّن العزلات الموافقة نحو 60 – 96%، في بحيرة ستيفان، وفي أغلبية العزلات يوجد إنزيم الكَتلاز النشط، وتعمل الجراثيم في البحيرات قليلة الاغتذاء بشدة على تفكيك النشاء، وتمتلك أغلبية العزلات إنزيمات نشيطة مفككة للبروتينات، كما في البحيرات جيدة الاغتذاء ومعتدلة الاغتذاء.

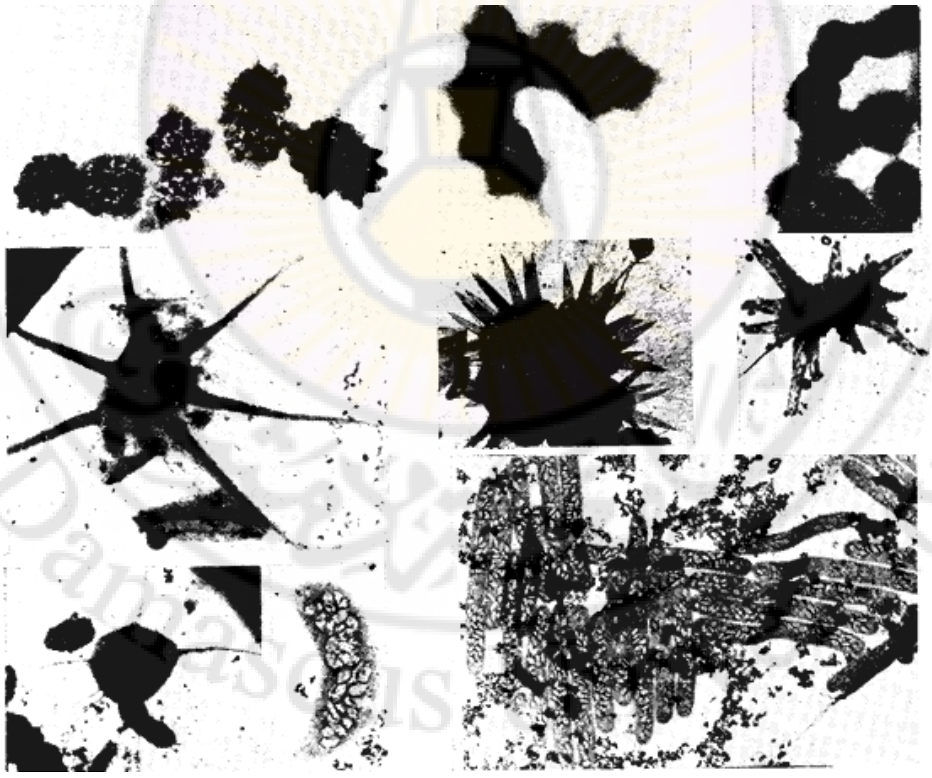
الجدول 10-14 الصفات الفيزيولوجية للجراثيم في البحيرات المتطبقة.

المنطقة	مجموع العزلات	عدد العزلات (% من الإجمالي)، المشاركة في					
		تكوُّن الغازات		إرجاع NO_3 إلى NO_2	حلمهة النشاء	تمييع الهلام	تخثر الحليب وترويقه	وجود الكتلاز
		NH_3	H_2S					
السطح	135	44.4	19.3	28.8	28.1	34.1	23.7	62.2
المنحدر الحراري	187	51.3	15.5	33.7	27.3	29.3	23.0	52.3
السفلى	130	42.3	21.5	49.2	34.6	43.1	30	63.1
عدد المنعزلات النشطة	452	46.7	18.8	36.7	29.6	34.5	25.2	59

وهكذا، فإن الجراثيم قليلة الاغتذاء قادرة على استعمال المركبات العضوية البسيطة والمعقدة كمصدر للكربون، وتتنامى غالباً على الركائز الطبيعية، مثل: خلاصة الخميرة والببتون والكازيين، وتنمو أغلبية العزلات أفضل على النتروجين العضوي، إذ إن نحو خُمْس الغزلات غير قادر على استعمال النتروجين اللاعضوي، ويبدي نصف عدد العزلات النقية قدرة على النمو في المياه الطبيعية التي عزلت منها، ويتكاثر نصفها الآخر بوجود الركائز العضوية كالببتون بتركيز 5 – 10 ملغ/ل، وربما يرتبط غياب نمو الجراثيم قليلة الاغتذاء في المياه الطبيعية مع عوز الحموض الأمينية والفيتامينات الضرورية لتناميها، ولكثير من العزلات القدرة على استعمال التراكيز العالية من المادة العضوية عند استزراعها المديد على وسط غني كالببتون.

كثيراً ما تنمو الأنواع النادرة من الجراثيم قليلة الاغتذاء عند استزراع عينات المياه في المرة الأولى، ولكنها تموت في حالات إعادة الزرع، إضافة إلى أن الخواص الفيزيولوجية والبيئية المتباينة للجراثيم المائية لا يسمح باصطفاء وسط مغذٍ عام لها، ويمكن تعريف الجراثيم المائية الأصيلة استناداً إلى الصفات الشكلية للخلايا باستعمال المجهر الإلكتروني.

تفيد الدراسة بالمجهر الإلكتروني في توسيع المعرفة بالتنوع الحيوي للجراثيم قليلة الاغتذاء، إذ توضح أشكال الجراثيم (الشكل 10-1) وتساعد في إظهار مناطق تجمعها وتسهّل عمليات عزلها في مزارع نقية، ويجب في الوقت نفسه مراقبة الأنواع النادرة وفحصها بالمجهر، إضافة إلى دراسة الصفات الفيزيولوجية التي تسمح على نحو أكثر دقة وكمالاً برسم تركيب العوالق الجرثومية ووظيفتها.



الشكل 10-1 أشكال فريدة للجراثيم من المنطقة السفلى في بحيرة Yaraslavsk بالمجهر الإلكتروني: 10000 × (Kuznetsov 1981).

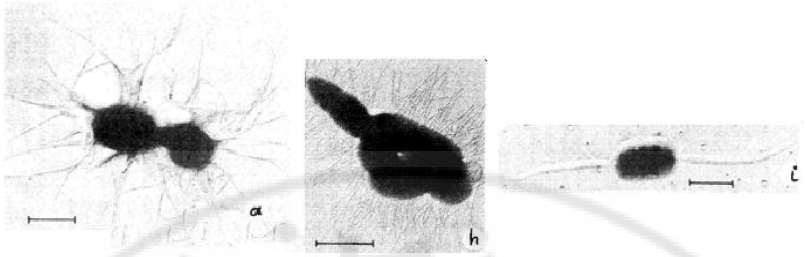
توضح الدراسات بالمجهر الإلكتروني (الشكل 10-2) مظاهر الجراثيم ذات النموات الفريدة والأشكال الخيطية التي تنتشر في منطقة تفكيك بقايا العوالق النباتية والنباتات، والأشكال الخيطية تبني مستعمراتها في البحيرات المتدبّلة ثنائية أو عديدة الطبقات في منطقة المنحدر الحراري قليلة الأكسجين بوجود مركّبات الحديد والمنغنيز المؤكسدة، وتوجد في الطبقة قرب القاعية في البحيرات ذاتية الاغتذاء، وتنتشر الجراثيم ذات الفجوات الغازية على نحو قليل في منطقة انخفاض الأكسجين أو غيابه التام في درجات الحرارة المنخفضة، وقد عُزل بعضها ولاسيما ذات النموات في مزارع نقية (Staley 1968, Staley 1984).

تتطلب عملية عزل أجناس مثل *Ancalomicrobium* و *Prostecomicrobium* كثيراً من الجهد واستعمال أوساط غذائية معقدة التركيب؛ ولذلك ربما كان الاهتمام بها قليلاً.

توصف أغلبية غيريات الاغتذاء التي تستعمل المياه الطبيعية بأنها جراثيم قليلة الاغتذاء، غير أن هذا المفهوم لم يتبلور تماماً بعد:

- ✓ إذ تسود جراثيم قادرة على استعمال تراكيز منخفضة من المادة العضوية في المسطحات المائية.
- ✓ وتوجد الأنماط واسعة الانتشار والأكثر تنوعاً في البحيرات معتدلة – وعديمة الاغتذاء، وتنتشر على نحو متباين في أعماق البحيرات المتطبقة.
- ✓ ويكون العدد الأعظمي لجماعات هذه الجراثيم ولأنواعها في المنحدر الحراري.
- ✓ وتتمتع أغلبية هذه الجراثيم بنشاط فيزيولوجي في البحيرات؛ وتبلغ حداً أعظمياً قريباً من العدد الإجمالي للجراثيم في الشروط المناسبة.

ولذلك، تكتسب دراسة أنواع الجراثيم قليلة الاغتذاء وطرائق عزل الأنواع النادرة وخواصها الفيزيولوجية والبيئية باستعمال أوساط غذائية فقيرة أهمية كبيرة.



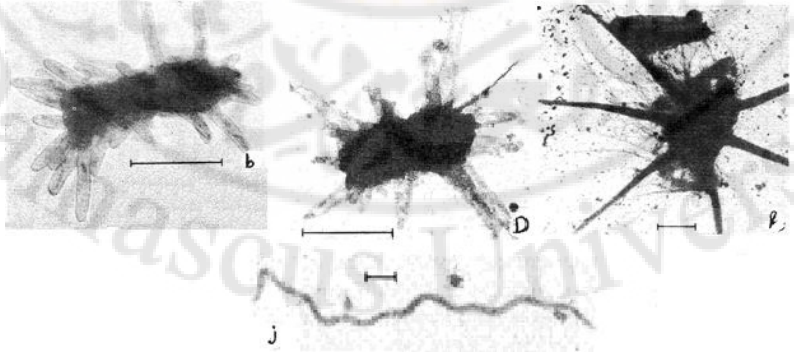
من البيكال- a، h، i



من بحيرة عديدة الطبقات ذات إثراء غذائي c، g، l



من بحيرة سيفان e، k



من بحيرة متدبلة واقعة في الغابات b، d، f، j

الشكل 10-2 أشكال نادرة للجراثيم في بحيرات المياه العذبة.

ثانياً. التنقية الذاتية الحيوية في المياه الطبيعية
Biological self-purification in the Natural Waters

1. التنقية الذاتية الحيوية Biological Self-Purification

يستأثر الأكسجين المنحل في البيئة المائية بأهمية كبيرة، ويعدّ دالّة مهمّة على نوعية مياه الأنهار والبحيرات والتجمُّعات المائية عموماً، فهو ضروري لوجود الأحياء واستمرارها وكذلك لحدوث العمليات الكيميائية والتنقية الذاتية في المياه الطبيعية، وانخفاض تركيز الأكسجين دون القيمة 5 ملغ/ل يهدّد الأحياء المائية بالموت، ولذلك فإن عملية قياس الأكسجين المنحل dissolved oxygen DO في المياه تبدو مسألة ذات أهمية في الدراسات البيئية.

يمكن تحديد المواد العضوية واللاعضوية المستهلكة للأكسجين بقياس الطلب على الأكسجين total oxygen demand، وفق الآتي:

- تمثّل كمية الأكسجين التي تستهلكها الأحياء الدقيقة للحصول على الطاقة بأكسدة المواد العضوية في الماء في درجة حرارة ثابتة 20 Cº في مدة زمنية محددة (عادة 5 أيام) كمية المواد العضوية التي تتحلل هوائياً في المياه، وتسمى الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين biochemical oxygen demand BOD، وتعتمد كمية الأكسجين المنحل في المياه على كمية الملوثات المنحلة ودرجات الحرارة والضغط الجوي والتهوية، فالعلاقة بين الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين وكمية المواد العضوية طردية.

يجب ألا تزيد قيمة BOD في المياه الصالحة للشرب على صفر ملغ/ل، أما إذا وصلت كمية الأكسجين المنحل في المياه إلى 1 – 2 ملغ/ل تموت الأسماك.

- تمثّل كمية الأكسجين، التي تستهلكها عمليات أكسدة المواد القابلة أو غير القابلة للأكسدة باستعمال مواد كيميائية مؤكسدة قوية، مثل: ثنائي كرومات البوتاسيوم، الطلب الكيميائي على الأكسجين chemical oxygen demand COD، وهي طريقة سريعة في التقدير.

2. التنقية الذاتية في الأنهار Self-Purification in the Rivers

تمثّل الأنهار عموماً بيئات جيدة لحدوث عملية التنقية الذاتية، فمياه الجداول والأنهار الجارية تعمل على تنظيف ذاتها بسبب وفرة الأكسجين قبل كل شيء، ودرجة الحرارة المناسبة ومُجانسة الغُذيّات، إضافة إلى الأحياء ولاسيما الأحياء الدقيقة التي تستهلك الملوثات والمواد الإضافية، وتتصف مياه النهر بقدرة على استيعاب وتحمُّل كمية من الملوثات نتيجة التخفيف؛ ما يساعد على التنقية الذاتية فعلاً، ويمكن تقسيم النهر وفقاً لدرجة التلوث عموماً إلى:

- منطقة المياه النظيفة قليلة التفكك oligosaprobic zone حيث تكفيها عمليات تفكيك قليلة، وتكون المياه نظيفة.
- منطقة المياه معتدلة التلوث mesosaprobic zone حيث تجري عمليات تفكيك متوسطة.
- منطقة المياه كثيرة التفكك polysaprobic zone حيث تجري عمليات تفكيك واسعة، وتقع عادة في المجرى السفلي، وهي المنطقة الأخيرة الأكثر تعرُّضاً للتلوث.

3. التنقية الذاتية في البحيرات Self-Purification in the Lakes

تمثّل البحيرات عموماً بيئات جيدة لحدوث عملية التنقية الذاتية، إذ تجري في مياه البحيرات عموماً عمليات تنقية بسبب وفرة الأكسجين، ولاسيما في الطبقة المضاءة حيث تحدث أيضاً عملية التركيب الضوئي، وتكون درجة الحرارة مناسبة، وهو ما يساعد في تنشيط الجراثيم غيرية الاغتذاء والأحياء الأخرى على تفكيك الملوثات، وتبدو البحيرات قادرة على استيعاب كمية من الملوثات، وتتصف عمليات الترسيب بأهمية في هذه البيئات.

ونظراً إلى أن مياه البحيرة يمكن أن تدخل في فترات ركود طويلة أو قصيرة فإن ذلك يعوق عملية التنقية فيها، إضافة إلى أن درجات الحرارة المنخفضة في الطبقة السفلى وفي الشتاء تحدّ من عمليات التنقية أو تجعلها في حدودها الدنيا.

4. المركبات السامة Toxic Substances

تسبّب الأحياء الدقيقة المنتشرة في المياه بعض المشكلات الصحية للإنسان والحيوانات، مباشرة أو على نحو غير مباشر، فمثلاً:

- يؤدي العديد من الجراثيم الزرقاء التي تتغذى بها الأسماك إلى التسمم، مثل: النوعان *Lyngbya eastuarii, L. majuscula*، أو التي تتغذى بها محارات بلح البحر Clams مثل: *Gonyaulax* التي تبدي تأثيراً شديد السمية.
- تنتج أنواع من الجراثيم الزرقاء سموماً قوية تسبّب موت المواشي التي تشرب مياهاً غنية بها، مثل: *Anabaena, Microcystis, Aphanizomenon*.
- يتميز النوع السوطي *Prymnesium parvum* بإنتاج خلايا إضافية سامة قاتلة للأسماك، وهو ينتشر في أوروبا وبرك المياه المالحة في فلسطين.
- يؤدي النمو المفرط للنوع *Gymnodinium veneficum* إلى قتل الأسماك والقنفذ البحري والمفصليات في المدّ الأحمر على سواحل المحيطات في سواحل كاليفورنيا وبيرو وأوروبا وغيرها.
- تساعد طحالب *Chlorella* والفطريات في إحداث خدوش أو جروح في الأغشية المخاطية للإنسان.
- تتعرض المواشي والطيور لتسمم حادّ ولاسيما في أشهر الصيف عندما تشرب من برك غنية ببعض أنواع الجراثيم الزرقاء بكميات كبيرة.
- يتعرّض الإنسان لاضطرابات معوية – معدية وآلاماً في العضلات والمفاصل وإنهاكاً شديداً وحدوث صداع حاد وحمّى شديدة وغثيان بسبب الجراثيم الزرقاء.

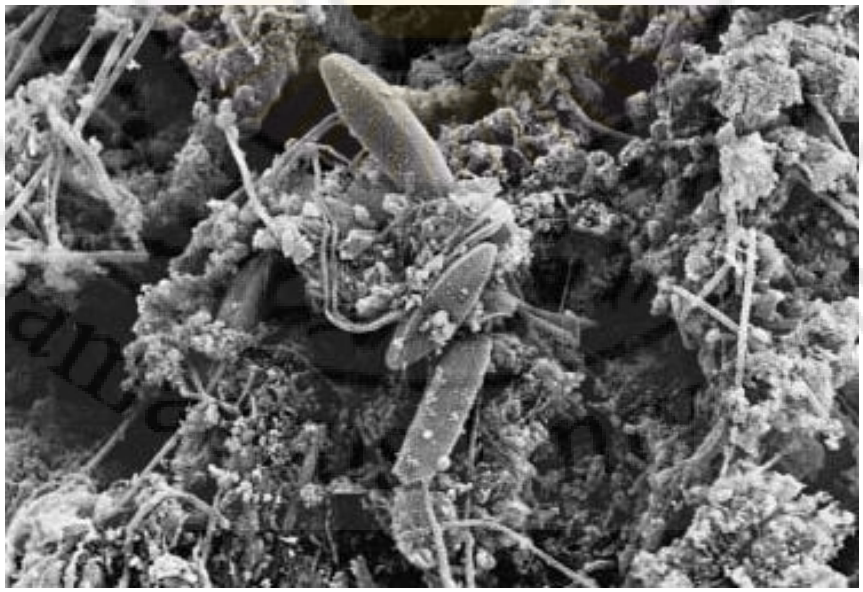
يرتبط التسمم بالغزارة الكبيرة للطحالب ودرجة الحرارة (16 C^o) والرقم الهدروجيني العالي وطول مدة تعرّض المياه للأشعة الشمسية، وتتميّز أنواع من الجراثيم بدور كبير في إزالة سمية detoxification المركبات السامة كالمبيدات والهدروكربونات والمواد ذات السطح الفعّال ومركبات المعادن الثقيلة وغيرها (Rotmistrov *et al.*, 1971, Kwasnikov *et al.*, 1981, Stavskaya 1981, Mironov 1985, Kirso *et al.* 1988).

ثالثاً. الإثراء الغذائي Eutrophication

1. الرقاقات الحيوية Biofilms

تكون الرقاقات الحيوية مطبّقة إلى حدّ كبير بالأحياء الدقيقة والمادة الأساسية، وترتبط الأحياء الدقيقة ضمن الحصيرة الميكروبيولوجية microbial mat بالمواد الصلبة وتنتشر بغزارة عالية، ويعتمد نموّها على معدّل التدفّق، وعلى الحجم والبنية الفراغية للدقائق، وتتضمن: الجراثيم والفطريات والطحالب والحيوانات الأوالي، ويرقات الحشرات، والنيماتودا، والدوارات Rotifers، والديدان الحلقية.

لا توجد الجراثيم غالباً على هيئة مستعمرات معزولة (الشكل 10-3)، فهي تكوّن مجتمعات لزجة slime-like تسمى الرقاقات الحيوية biofilms، إذ يسمح ارتباط خلية جرثومية بأخرى بتنظيم جماعات جرثومية تساهمية وظيفية، ملتصقة عادة على السطوح، ويطفو بعضها على هيئة مجموعات دقائقية ونُدَف flocs، تتشارك الغُذيّات؛ ما يجعلها محميّة من الظروف البيئية القاسية، ويتيح لها على نحو سهل تبادل المعلومات الوراثية.



الشكل 10-3 تكوين البنيات والقنوات المنتشرة الأولية في الرقاقات الحيوية.

إن الرقاقات الحيوية طبقة من المادة العضوية ذات الأحياء الدقيقة الملتصقة، تتكون على سطوح النباتات والصخور المغمورة وسطوح السفن والأنابيب، وعلى أي سطح مغمور أساساً، وقد تكون ضارة على هيئة صدأ في الأنابيب، والغِرْسات implants الطبية، وقَلَح الأسنان tartar dental، وأنابيب القسطرة catheters.

تبدو الأحياء الدقيقة النامية في الرقاقة الحيوية أكثر مقاومة للصادات الحيوية والافتراس والتجفاف desiccation وتغيرات العوامل البيئية كالرقم الهدروجيني pH ودرجة الحرارة، والرقاقة الحيوية تلتقط الغُذيّات بسهولة لأن هذه الغذيات المنحلة تتدفق باستمرار فوقها (الشكل 10-4).

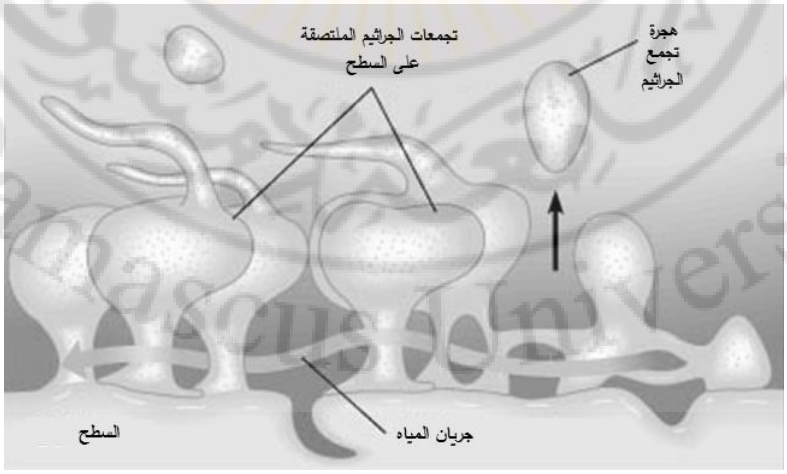
يمرُّ تنامي الرقاقة الحيوية في ثلاثة أطوار:

(1) يعدّل السطح بالتصاق الجزيئات العضوية.

(2) الالتصاق العكوس للأحياء الدقيقة إلى الطبقة العضوية وإنشاء المستعمرات.

(3) الالتصاق غير العكوس وتكوين الرقاقة الحيوية.

في الرقاقة الحيوية الناضجة، تُنظَّم الخلايا على هيئة أعمدة محاطة بأماكن فارغة ضخمة تكوّن قنوات لحمل الغُذيّات (O_2) عميقاً في الرقاقة الحيوية، وتعمل الجراثيم في الرقاقات الحيوية معاً لإنجاز وظيفتها، وكأنها جسم متكامل يعمل في الوقت نفسه لتحقيق الغرض الذي جاء به.



الشكل 10-4 ارتباطات الجراثيم لأداء وظائفها في الرقاقة الحيوية.

تتميز الرقاقات الحيوية بخواص عديدة، مثل:

- القدرة على معالجة المخلفات السائلة المنزلية.
- ازدياد مقاومتها للمركبات المضادة للجراثيم antimicrobials.
- إمكان مقاومة نحو ثلثي العوامل الخمجية.
- القدرة على إدماج الصادات الحيوية antibiotics على سطوحها.
- إمكان عزل اللاكتوفِرينات lactoferrins المضافة في حال عِوَز الحديد لانتقال الجراثيم.
- تمتلك غالبية الأحياء الدقيقة التي تنتشر في المياه ملحقات appendages أو مواسك holdfasts تفيد في الالتصاق على السطوح المختلفة.

2. **الازدهار والمَدّ** Blooms and Tide

تحدث نموات الطحالب والجراثيم الزرقاء في الأنهار والبرك والبحيرات والبحار، وتبدو واضحة عياناً في بقع قد تكون صغيرة ويحدث أن تكون كبيرة، وفي أكثر الأحياء تكون ضارة بالبيئة والأحياء، إذ تنتج الطحالب الذيفانات مثل جماعة الطحالب الداينوية Dinoflagellates وجماعات المشطورات وجماعات الجراثيم الزرقاء (المياه العذبة)، وهي ليست ظاهرة جديدة.

وتحدث ازدهارات الطحالب الضارة harmful algal blooms HABs ولاسيما الطحالب الخضراء والطحالب السوطية والجراثيم الزرقاء، وتظهر في الأوقات الحالية على هيئة المد "الأحمر" والمد "البني" وسلسلة من الألوان المشتقّة مع الأخضر والأصفر على نطاق عالمي واسع (الشكل 10-5)، إلى جانب النموات المحدودة في كثير من المواقع والمواضع ضمن الأجسام المائية.

تكون ازدهارات بعض الطحالب السوطية سامة، تضر بالأسماك والمحار وغيرها، ويمكن أن يسبب بعض الأجناس ازدهارات ضارة غير سامة أو ذات سمية غير مزمنة، مثل:

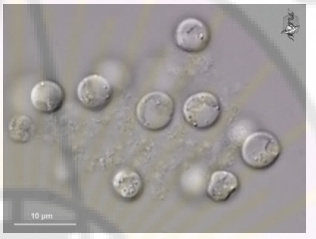
Pfiesteria, Chaetoceros, Heterosigma



المد البني



المَدّ الأحمر

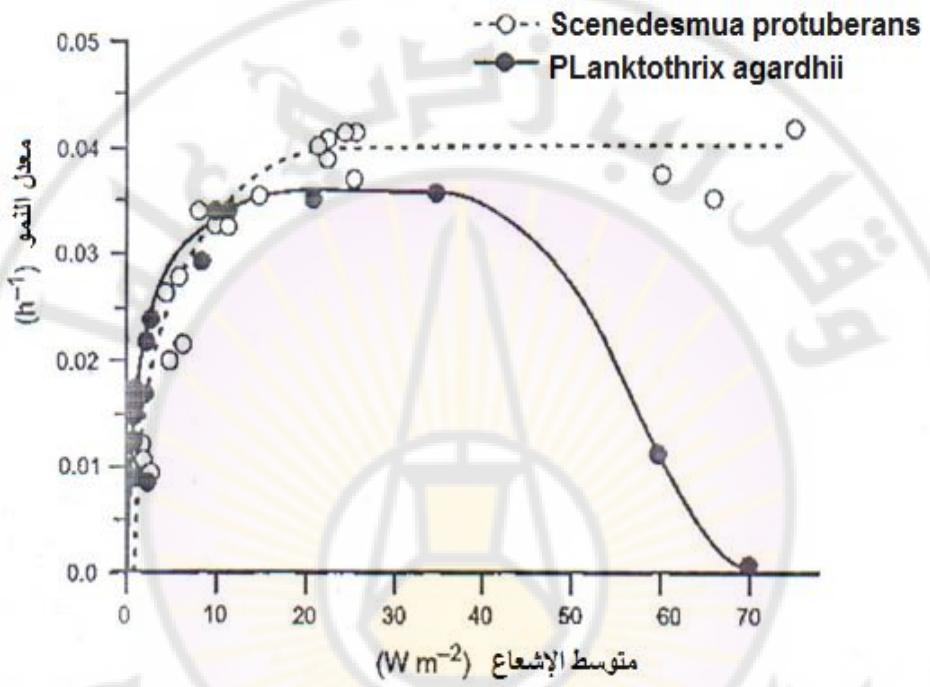




الشكل 10-5 الازدهار والمد الأحمر وبعض الممثلات المرتبطة بها.

تمتلك الجراثيم الزرقاء عدداً من الصفات النوعية التي تحدّد أهميتها النسبية في جماعات العوالق النباتية، مع ذلك فإن سلوكية الجراثيم الزرقاء في الطبيعة غير متجانسة، ويعود ذلك لاختلاف صفاتها الفيزيولوجية البيئية، فالجراثيم الزرقاء يمكنها اقتناص الطاقة الضوئية بفعالية والعيش في بيئة بالضوء الأخضر فقط وهي أقل من نصف الشدة الضوئية عند السطح، والعديد منها حساس للشدة الضوئية العالية المديدة، وقد تنشط في الوقت نفسه لو تعرّضت للشدة الضوئية العالية المتقطعة (Loogman 1982)، وهناك أنواع تسبب الازدهار السطحي وهي تمتلك قدرة كبيرة على تحمّل الشدات الضوئية العالية لامتلاكها كاروتينويدات (Paerl *et al.*, 1983)، وتتطلب الجراثيم الزرقاء القليل من الطاقة من أجل صون وظائف الخلية وبنيتها (Gons 1977, Van Liere & Mur 1979)؛ ما يتيح لها الحفاظ على معدل عال نسبياً للنمو أكثر من العوالق النباتية في الشدات الضوئية المنخفضة، ويكسبها ميزة تنافسية في عكارة النمو الغزير للعوالق النباتية.

يبين الشكل 10-6 نتائج مقارنة التنافس على الضوء بين نوع من الجراثيم الزرقاء وآخر ينتمي إلى الطحالب الخضراء، ويمتلك العديد من خلايا الجراثيم الزرقاء فجوات غازية تساعد في الطفو (Walsby 1981).



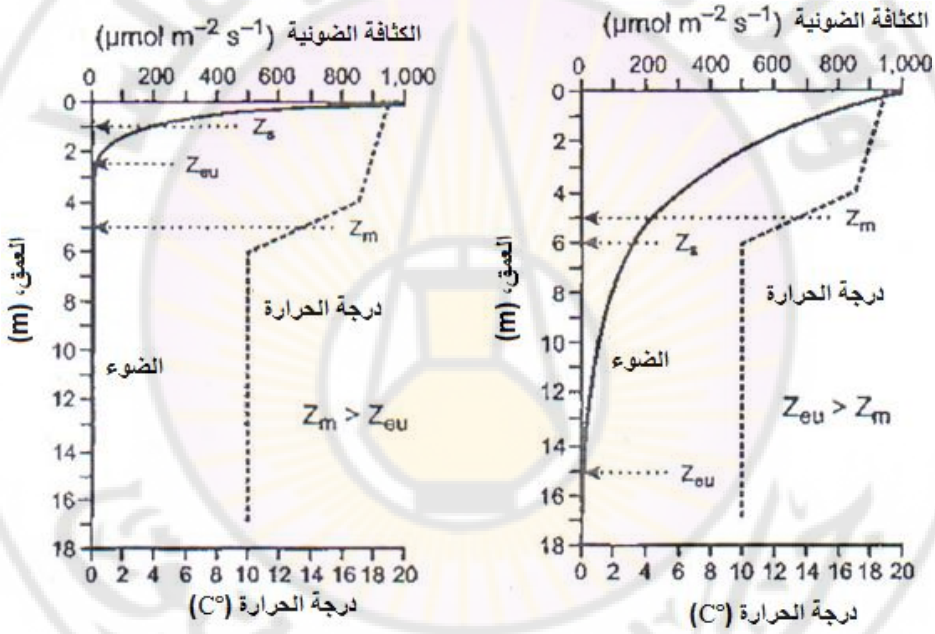
الشكل 10-6 التنافس على الضوء بين الجراثيم الزرقاء والطحالب الخضراء

(أُعيد رسمه بعد Van Liere 1997).

في الواقع، يكون معدّل نمو الجراثيم الزرقاء أقل بكثير عادة من أنواع الطحالب (الشكل 10-7) في درجة الحرارة 20 Cº والإشباع الضوئي (Hoogenhout and Amesz 1965; Reynolds 1984)؛ ولذلك لا تزدهر الجراثيم الزرقاء في المياه المحتجزة فترة قصيرة، ولكن نجاحها عموماً في البيئات المائية (Sigee 2005) يعود للأسباب الآتية:

- وجود آليات الامتصاص الفعّال للضوء والقدرة على التكيف مع الاختلافات الطيفية بوجود الصباغ الإضافية المتنوعة.

- استمرار التركيب الضوئي في ظروف تراكيز منخفضة من CO2 وقيم مرتفعة للرقم الهدروجيني pH التي تظهر خصوصاً خلال ازدهار المياه جيدة الاغتذاء التي لا تتمكّن الطحالب حقيقية النواة تحمّلها.
- مقاومة الضرر الإشعاعي عن طريق إنتاج مجموعة من المركبات التي تعمل كواقيات ضوئية photoprotectants عند امتصاص الأطوال الموجية القصيرة.



المنطقة جيدة الإضاءة غير عميقة كما الطبقة العليا epilimnion

المنطقة جيدة الإضاءة أعمق من الطبقة العليا epilimnion

الشكل 10-7 الامتداد العمودي للمنطقة جيدة الإضاءة (Zeu) في العلاقة مع عمق الطبقة العليا (Zm) في مواقع بعكارة مختلفة.

عمق قرص سيكي Z_s كمقياس لعمق الإضاءة الجيدة Z_{eu}

$$(Z_s \times 2.5 \cong Z_{eu})$$

- التكيف الحراري، إذ يمكن أن تنمو أنواع مختلفة في البحيرات المعتدلة والاستوائية ضمن بيئات شديدة الحرارة أو شديدة البرودة، وتحافظ الجراثيم الزرقاء على معدلات النموّ في درجة حرارة الصيف المرتفعة، وبالعكس تتثبّط الطحالب بالحرارة.
- آلية الطفو والانتقال ذات الكفاءة العالية عند الجراثيم الزرقاء؛ ما يتيح لها الهجرة نهاراً في عمود المياه بين الطبقة السطحية ذات الضوء العالي والافتراس، والمياه الأخفض ذات التراكيز العالية من الفسفات والنترات، وتفادي التثبيط الضوئي.
- الفعالية في اقتناص الغُذيّات، فللجراثيم الزرقاء مجال رائع لتناول الغُذيّات، يجعلها قادرة على السيادة في البيئة المائية قليلة الاغتذاء (عوالق بيكية)، وفي المياه جيدة الاغتذاء (المستعمرات الخضراء الكبيرة)، حيث تزدهر بغزارة خارج تنافس الطحالب جيدة الاغتذاء؛ ولبعض الجراثيم الزرقاء قدرة على تثبيت النتروجين الجوي؛ ما يسمح لها بالنمو عند نسب N/P منخفضة، وتنتج الجراثيم الزرقاء حوامل الحديد siderophores تحت ظروف إجهاد الحديد iron stress تسمح بالتقاط الحديد الثلاثي Fe(III) تماماً عند حدود المستويات البيئية، وهي لا تتطلب وجود مصدر خارجي المنشأ لتلبية احتياجها من الفيتامين.
- وجود آليات كيميائية في الجراثيم الزرقاء، مثل: إنتاج الذيفانات toxins، وأخرى فيزيائية، مثل: تكوين المستعمرات الكبيرة large colonies؛ للعمل على مقاومة الإزالة والرعي عن طريق تغذية العوالق الحيوانية بعملية الترشيح filter-feeding zooplankton.
- دخول الجراثيم الزرقاء في ارتباطات جرثومية تعايشية متطورة "نشوئياً" evolved specialized symbiotic bacterial associations تتميز بأهمية خصوصاً فيما يتعلق بوظائف الحويصلات المغايرة heterocysts ذات القيمة المضافة.

3. الإثراء الغذائي في بيئات المياه العذبة

Eutrophication of freshwater environments

◊ مصادر الغُذيّات عند تكوُّن البحيرات

تكتسب البحيرات الطبيعية أو المستحدثة عند تكوّنها بعض المعادن نتيجة تفاعلها مع الصخور والتربة المحيطة بها، وهي تحتوي الغُذيات الضرورية للأحياء المائية وكميات قليلة من المادة العضوية، ويختلف ذلك من بحيرة لأخرى وفقاً للخصائص الجيولوجية للمنطقة المحيطة، وتصل المعادن والغُذيّات مع مرور الوقت إلى مياه البحيرة نتيجة الجريان السطحي أو ارتشاح المياه الجوفية.

تعد الغُذيّات في المياه، في الدرجة الأولى النتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والكلسيوم والمغنزيوم من العوامل الضرورية لنمو الطحالب والنباتات والحيوانات وازدهارها، إذ تكوِّن الأحياء المائية سلسلة متدرجة في الرقي تتداخل فيما بينها وتعتمد في غذائها بعضها على بعض وفق شبكات غذائية معقدة، تكون العوالق النباتية في القاعدة والأسماك ومثيلاتها في الذروة، وتتوازن في النهاية اعتماداً على الغذيات الموجودة في البيئة المائية، وهكذا، تغتني البحيرة بالمادة العضوية التي تتكدس تدريجياً على القاع مكونة طبقة من الرَّسُوبات، وقد تساهم عوامل طبيعية، مثل: ظاهرة الإثراء الغذائي في تأمين البحيرات بالغُذيات اللازمة (أحمد 1999).

◊ ظاهرة الإثراء الغذائي Eutrophication

تتميز البحيرات بظاهرة الإثراء الغذائي التي تزداد خلالها مستويات الغُذيات من مستويات منخفضة؛ كما في البحيرات قليلة الاغتذاء إلى مستويات مرتفعة كما في البحيرات جيدة الاغتذاء، وتعدّ هذه الظاهرة من العوامل الطبيعية الرئيسة التي تعوِّض النقص في كمية الغُذيات الناشئ بسبب استهلاك الأحياء المائية المزدهرة، وتكون أكثر وضوحاً في البحيرات ذات الجريان البطيء سواء أكانت على نهر أم منقطعة عنه، وتتميز هذه البحيرات بخصائص طبيعية تساعد على إتمام عملية الإثراء الغذائي، يمكن إيجازها بالآتي:

وجود التطبُّق stratification في البحيرة بسبب الركود النسبي وانعدام الأمواج والدوامات والمزج فيها، فتنقسم إلى طبقات متباينة بالحرارة والصفات الفيزيائية والكيميائية في الأوقات المختلفة من السنة، إذ تتميز الطبقة العليا epilimnion من المياه بارتفاع درجة الحرارة بتأثير الإشعاع الشمسي ولاسيما في الصيف، وتتصف الطبقة السفلى hypolimnion من المياه بانخفاض درجة الحرارة وازدياد الكثافة، وتقع بينهما منطقة حرجة تعاني انخفاضاً ملحوظاً وحاداً، مع ازدياد طفيف في العمق، وتسمى منطقة المنحدر الحراري thermocline zone؛ ولذلك لا تحدث ظاهرة الإثراء الغذائي في البحيرات الضحلة جداً.

تسود العوالق النباتية التي تنتشر في الطبقة العليا مع ازدياد العمق، وتصبح المواد الأولية متاحة عن طريق هذه المنتِجات فقط؛ ولذلك فإن انخفاض الشدة الضوئية ودرجة الحرارة في الشتاء يحدّ نموها، وتنشط من جديد في الربيع والصيف، وتؤدي غزارتها إلى استهلاك كمية كبيرة من الغذيات المتوافرة في الطبقة العليا، وتصبح عاملاً محدداً للنمو والإنتاجية، وتهرم خلايا بعض الطحالب وتموت وترسب إلى القاع حيث تتفكك، غير أنها تبقى في القاع بسبب التطبق، وتزول جماعات العوالق النباتية مع اقتراب الخريف نظراً إلى محدودية الغذيات وانخفاض الشدة الضوئية ودرجة الحرارة، وتمتزج مياه البحيرة في الشتاء وتصعد الغذيات المتوافرة في الأعماق؛ فتعمل بذلك على خلق عامل مهم لبدء دورة جديدة (مجلة الجمعية الكيميائية 1999)، وتساعد أنشطة الإنسان في تسريع نشوء ظاهرة الإثراء الغذائي على نحو غير مباشر تحت ضغط العمليات الزراعية التي تزود التربة بكميات زائدة من الأسمدة الكيميائية ترتشح إلى الموارد المائية، وكذلك وصول المواد العضوية كالمنظفات والمخلفات السائلة المنزلية مع التيارات الملوثة إلى البيئة المائية.

كثيراً ما تحدث ظاهرة الإثراء الغذائي في البرك، وكذلك في البحيرات ولاسيما في المناطق المعتدلة، وقد تحدث في مواقع محدّدة في الأنهار، وفي بعض من الجداول أو كثير منها، وقد ازدادت هذه الظاهرة حدّة واتساعاً تحت تأثير الأنشطة البشرية.

يعدّ الإثراء الغذائي عملية معقدة وظاهرة تنشأ في المياه العذبة والبحرية، إذ يحدث نمو مفرط لأنماط من الطحالب، وأهم الأسباب المؤدية إلى حدوث ظاهرة الإثراء الغذائي التركيز المفرط للغذيات النباتية الناجمة عن الزراعة أو معالجة الصرف المنزلي، وأهمها النتروجين والفسفور P/N، ثم السيليس Si لتنامي المشطورات، إن نسبة مركبات P/N في الجسم المائي مهمة لتحديد أي من العنصرين العامل المحدد limiting factor، وهكذا، فإن أي من العنصرين يمكن أن يحدث الازدهار ويحرّضه (الجدول 10-15)، ويمكن توضيح مراحل عملية الإثراء الغذائي بالشكل 10-8، وعموماً، يميل الفسفور أن يكون عاملاً محدداً للعوالق النباتية في المياه العذبة، وتكون الجداول والأنهار في المناطق المعتدلة محدودة الفسفور غالباً ولاسيما في الربيع، أما المناطق البحرية فكثيراً ما يكون النتروجين عاملاً محدداً، ولاسيما في الصيف.



الشكل 10-8 عملية الإثراء الغذائي Eutrophication.

الجدول 10–15 معدل النتروجين/الفسفور (المعبر عنه بالوزن) من أجل الظروف المحددة المختلفة في المياه العذبة ومياه المصبات/الشواطئ.

	تحديد –N (نسبة N على P)	معتدل (نسبة N على P)	تحديد –P (نسبة N على P)
المياه العذبة	≥ 4.5	$6 - 4.5$	≤ 6
مياه المصبات/الشاطئ	≥ 5	$10 - 5$	≤ 10

وقد يعود تحديد السيليس أو النتروجين في الصيف، عندما يكون الفسفور عاملاً محدداً فتركيز الفسفات 0.01 ملغ/ل يكون كافياً لدعم العوالق، وتراكيز من 0.03 إلى 0.1 ملغ/ل أو أعلى يكون محتملاً لتحريض الازدهار، أما في المناطق الشاطئية فيعزّز السيليس نمو المشطورات وتكاثرها، وبالعكس يثبّط تركيزه الأخفض نمو المشطورات؛ ولذلك يمكن أن تصادف في الازدهار أنواع من الطحالب السامة الانتهازية التي لا تخضع للتنافس، مثل: أنواع من الجنس *Phaeocystis* والعديد من ثنائيات السياط – *Prorocentrum, Dinophysis, Gymnodynium*.

4. التأثيرات البيئية والصحية للإثراء الغذائي

Ecological Health Effects of Eutrophication

تستأثر ظاهرة الإثراء الغذائي بأهمية في البيئة والصحة، فهي تجلب تأثيرات ملموسة، إذ يتمكن نحو نصف أعداد الأنواع المعرَّفة من الجراثيم الزرقاء من إنتاج الذيفانات، وتوجد في المياه العذبة غالباً الأجناس:

Microcystis, Anabaena, Aphanizomenon, Oscillatoria, Nodularia, Nostoc, ...

يمتلك بعض الجراثيم الزرقاء قدرة على إنتاج ذيفانات خطرة تتميز بتأثير ضار للجلد والأعصاب والكبد، وهناك أنواع من الطحالب يمكنها إنتاج الذيفانات، مثل: أفراد قاتل الأسماك *Pfiesteria piscicida* التي تنتج ذيفانات تقتل الأسماك عندما تدخل في موضع الازدهار، ومن تأثيراتها في الإنسان فقدان الذاكرة وصعوبة في التنفس ورؤية ضبابية وضرر بالأعضاء الكبرى، وتسبب أيضاً الضرر للجلد وقد تدفع إلى الموت.

يمكن أن تصادف الذيفانات حرّة في المياه حيث يظهر الازدهار أو مرتبطة بخلايا الطحالب أو الجراثيم الزرقاء، يرتبط 70 إلى 90% من السموم بالخلايا في طور النمو، وعند تلف الخلايا تتحرّر الذيفانات، وترتبط مقاومة الذيفانات واستمرارها في البيئة بطبيعة المركّب، وتبدو عملية إزالة الذيفانات من المياه صعبة بأي عملية طبيعية لمعالجة المياه من أجل أغراض الشرب، وتكون إزالة خلايا الجراثيم الزرقاء عادة أسهل جداً من الذيفانات الحرة.

يمكن أن يجلب النمو الشديد للجراثيم الزرقاء الأذى nuisance وهذه مسألةً مهمة في إدارة المياه القارية، مثل: تزويد مياه الشرب والاستجمام وصيد السمك وغيرها...، فهي تفرز مواد قد تكون كريهة unpleasant في وسطها (Jüttner 1987) أو سامة (Gorham and Carmichael 1988)، ويسبب النموّ الغزير لجماعات الجراثيم الزرقاء مشكلات معقدة وعديدة في نوعية المياه (Skulberg 1996)، وبالعكس هناك أنواع مفردة الخلية مفيدة ولها أهمية اقتصادية (Richmond 1990)، مثل: إنتاج الهدروجين (Skulberg 1994)، وإنتاج العلف أو الغذاء؛ فهي ذات محتوى عال جداً من البروتينات والفيتامينات وعوامل النمو الأساسية الأخرى والصباغ (Borowitzka and Borowitzka 1988)، أو المواد الصيدلانية كالصادات الحيوية (Falch *et al.*, 1995)، والباب مفتوح في أبحاث التقانات الحيوية لإنتاج المستقلَبات الثانوية ذات الصلة بالصحة.

وهي قادرة في الوقت نفسه على إقصاء أنواع من العوالق النباتية في البحيرات جيدة الاغتذاء في ظروف تحديد النتروجين أو الفسفور، إذ إن النسب الفضلى للجراثيم الزرقاء المكونة للازدهار 10–16 جزيئة N : 1 جزيئة P أقل بكثير مقارنة بها للطحالب حقيقية النواة 16–23 جزيئة N : 1 جزيئة P (Schreurs 1992).

وكذلك تبدو درجة الحرارة الفضلى لنمو معظم الجراثيم الزرقاء 25 Cº وهي أعلى منها لنمو الطحالب الخضراء والمشطورات (Robarts and Zohary 1987)؛ ما يفسّر حدوث ازدهار الجراثيم الزرقاء في الأجسام المائية بالمنطقة المعتدلة والشمالية خلال الصيف (الشكل 10–9).



الشكل 10-9 الإثراء الغذائي وانتشار الجراثيم الزرقاء، وموت الأسماك.

يمكن أن تصبح كل المستعمرات طافية خلال الليل، ولكن بعض الجماعات يتجمّع على سطح المياه حيث تسوقُها الرياح لتكوين زَبد ثابت على طول الشواطئ باتجاه الرياح، وتعتمد تكرارية الهجرة العمودية على حجم المستعمرة.

يتفوّق التركيب الحيوي على التنفس في فصل الخريف بالمناطق المعتدلة نتيجة هبوط درجة الحرارة (انخفاض استهلاك الكربوهدرات) فتغوص الخلايا نحو الأسفل وقد تستمر في الشتاء، ثم تصعد مرة أخرى في الربيع، مثل *Microcystis* الصغيرة التي تأخذ بالظهور في بداية الصيف، ولاسيما في الأجسام المائية التي يزيد عمقها على ثلاثة أمتار (Reynolds 1997).

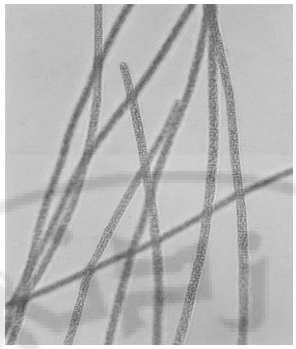
أما الأجناس الخيطية الحساسة جداً للشدة الضوئية العالية، فلا تكوّن المستعمرات إذ إن الخيوط صغيرة تماماً، والهجرة العمودية بالطفو المنظم أقل وضوحاً مقارنة بالانتقال السلبي (Reynolds 1987)؛ لذلك يكون انتشار هذه الأحياء متجانساً في كل مكان من الطبقة السطحية (الشكل 10-10)، مثل:

Planktothrix (Oscillatoria) agardhii, Limnothrix (Oscillatoria) redekei, …

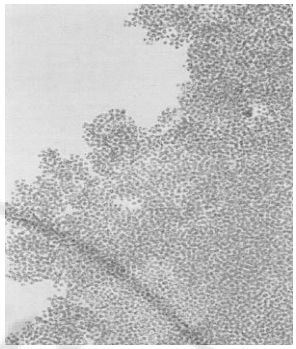
إن الأجناس *Anabaena, Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Nodularia, Nostoc* قادرة على تثبيت النتروجين في المناطق العميقة تماماً كما في الضحلة (Zevenboom and Mur 1980)، وإن عدداً من الأنواع المثبتة للنتروجين يمكن أن تكوّن المستعمرات وتمتلك حُبابات غازية gas vesicles، فهي قادرة على تنظيم الطفو، مثل: الميكروسيست *Microcystis*.



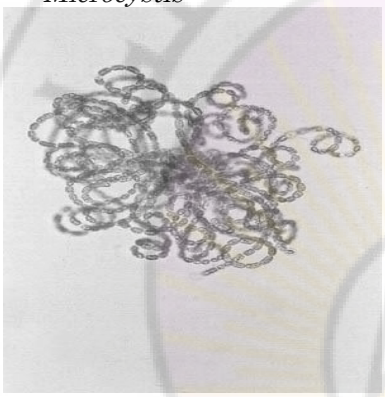
ازدهار سطحي من
Microcystis



Planktothrix agardhii
(Oscillatoria)



Microcystis aeruginosa



Anabaena lemmermannii



نموات الجراثيم الزرقاء في بحيرة سد الروم،
تصوير د. عدنان



Anabaena



نموات سطحية في بحيرة قطينة،
تصوير د. عدنان

الشكل 10-10 بعض المواقع، وبعض أنواع الجراثيم الزرقاء الضارة المنتشرة في المياه.

تنتج جماعات معينة من الأحياء الدقيقة الذيفانات، فقد تبين وجود الجراثيم الزرقاء المنتجة للذيفانات في بحيرات عديدة من العالم، وتسبّب الموت للحيوانات الأليفة والبرية، وتسبب الأمراض حتى الموت للإنسان، ولها أيضاً تأثيرات ضارة بالأسماك والأحياء المائية الأخرى، ولها تأثيرات اقتصادية في استعمال المياه ونوعيتها، ثبت أن سموم الجراثيم الزرقاء تسبب الأمراض المعدِية المعوية والكبدية عن طريق شبكة المياه، فانهيار الازدهار الطبيعي للجراثيم الزرقاء وتحلله أو معالجته بالمركبات الكيميائية مثل كبريتات النحاس تؤدي عملياً إلى تحرير الذيفانات من الخلايا المتحللة، فالمعالجة تفيد في إزالة الذيفانات المرتبطة مع الخلايا السليمة وتبدو غير فعالة في إزالة الذيفانات المنحلة، وحسبنا أن نعلم أن الهطل القليل عامل يساعد على نقل الغُذيات إلى فروع النهر وتحفيز حدوث ازدهار الجراثيم الزرقاء وهذه بدورها تتعرّض للغسيل إلى النهر الأساسي، وتنتقل المياه مع الجريان النهري؛ ما يؤدي إلى تفشي حالات من الأمراض لا يمكن أن تعزى لعوامل خامجة، إذ إن معظم الانفجارات القاتلة lethal outbreak المرتبطة بسموم الجراثيم الزرقاء ولاسيما عند الفيضانات وقعت بسبب مياه الشرب في البرازيل (Teixera *et al.*, 1993).

تؤدي الأحياء الدقيقة إلى تآكل الخرسانة والمعادن وتخريب المنشآت والأجهزة والوسائط المائية؛ وإلى تلون المياه وتغيير الطعم وإصدار الرائحة وعرقلة التصفية وسدّ شبكات توزيع المياه، ونقل الأمراض للإنسان والحيوانات أو إحداث التسمم.

Δ **مشكلات محطات المعالجة:** تؤدي الأحياء الدقيقة إلى عرقلة التصفية الكيميائية للمياه فتسبب الأمراض للإنسان والحيوانات، وتؤدي إلى تلوّن المياه المعالَجة وانسداد شبكات المياه المستجرّة إلى محطات المعالجة، ويرتبط ذلك مع إمكانات نموّها وتكاثرها وتكوين كتل وإنتاج مواد هلامية في خزانات الإمداد.

ففي المرشحات البطيئة، يمكن أن تقوم الأحياء الدقيقة النامية بدور إيجابي، ولكن المشطورات تبدو ضارة؛ لأنها تزيد انسداد المرشحات وتؤدي إلى إخراج المرشحات السريعة من العمل، مثل:

Asterionella, Fragilaria, Tabellaria, Synedra

وتسبب مشطورات أخرى مشكلة انسداد المرشحات، مثل:

Navicula, Cyclotella, Diatoma, Cymbella

وتعرقل الجراثيم الزرقاء عمل المرشحات، مثل:

Anacystis, Rivularia, Anabaena, Oscillatoria

وتسبب طحالب الجنس *Chlorella* إغلاق المرشحات الصناعية، وهي نفسها التي تنمو على السطوح الداخلية لزجاجات المياه المحفوظة في البرادات؛ وفي الأنابيب البلاستيكية عند تعرضها للضوء (ذرب 1992).

تحتجز المرشحات غالبية الأحياء الدقيقة الموجودة في المياه في السنتيمتر الأول من طبقة الحصى، وإن تمكّن القليل منها من الدخول في أجسام المرشحات، ومع امتداد زمن العمل تتوسّع الطبقة المخترقة، وتعتمد سهولة الولوج على عوامل مختلفة، مثل: سرعة التيار وأحجام الحصى ونوعية الأحياء الدقيقة، ومن المؤكد أن الأفراد الصغيرة جداً والسوطيات تلِجُ بسهولة أكبر؛ ولذلك فإن الغسل الدوري للمرشحات يعدّ أمراً ضرورياً.

تؤدي الأحياء الدقيقة إلى نشوء طعم ورائحة غير مستحبة للمياه بعد التصفية، نتيجة تفكيك الطحالب غالباً في محطات معالجة مياه الشرب بفعل الفطريات والجراثيم، بما فيها الشُعّيات، وقد تنتج رائحة من مركبات انتقالية أو من مواد نوعية تفرزها خلايا الأحياء الدقيقة، وترتبط رائحة التعفن غالباً مع وجود تجمّع للجراثيم الزرقاء، وللطحالب الخضراء أحياناً، مثل: *Hydrodictyon, Cladophora*، وتستعمل صفات كثيرة لوصف الرائحة، مثل: رائحة كدرة (كريهة) وتخمّر ونتنة وعشبية وسمكية وغيرها (ذرب 1992).

تتباين أعداد الأحياء الدقيقة المسببة لمشكلات الطعم والرائحة، فهي مثلاً:

Tabellaria	2500 خلية	*Synedra ،Asterionella*	3000 خلية
Anabaena	600 خلية	*Aphanizomenon*	1000 خلية
Cryptomonas	200 خلية	*Dinobryon*	500 خلية
		Chlamydomonas	10 خلايا فقط

تسبّب الجراثيم الزرقاء الطعم والرائحة، مثل:

Anabaena sircinalis, Anacystis cyanea, Aphanizomenon flos-aquae, Cylindrospermum muscicola, Oscillatoria curviceps, Rivularia hamatites, Symploca muscorum

تسبب الطحالب السوطية (مع الطحالب الذهبية واليوغلينا) الطعم والرائحة، مثل:

Ceratium hirundinella, Chlamydomonas globosa, Chrysosphaerella longispina, Cryptomonas erosa, Dinobryon divergens, Euglena sanguinea, Glenodinium palustre, Mallomonas caudata, Pandorina morum, Peridinium cinctum, Synura uvella, Uroglenopsis americana, Volvox aureus.

تسبب المشطورات الطعم والرائحة، مثل:

Asterionella gracillima, Diatoma vulgare, Cyclotella comta, Fragilaria construens, Stephanodiscus niagarea, Synedra ulna, Tabellaria fenestrata.

ينتج بعض أنواع الطحالب الخضراء السوطية رائحة سمكية، مثل:

Chlamydomonas, Pandorina, Volvox

ولذلك لا بد من التخلص من الطعم والرائحة في منشآت التصفية باستعمال مضادات الطحالب؛ إضافة إلى إنشاء أحواض الترسيب الأولي.

Δ **مشكلات شبكات توزيع المياه:** تؤدي الأحياء الدقيقة، كالجراثيم والطحالب والجراثيم الزرقاء، إلى تلوّن المياه المعدّة للمصانع أو مياه المنشآت والشبكات، وإلى انسداد شبكات توزيع المياه، ويرتبط ذلك مع إمكانات نموّها وتكاثرها وتكوين كتل وإنتاج الهلام في خزانات الإمداد، إذ تؤدّي إلى تكوين بُقَع من الأوساخ في منتَجات معامل الخميرة ومصانع الأغذية، وتغطية أنابيب المكثفات في أنظمة التبريد الصناعية بالمواد الهلامية؛ ما يقلّل نسبة انتقال الحرارة إلى المياه، وتؤدي الجراثيم إلى تكوين مواد هلامية عند نموها في الأجزاء غير المضاءة من شبكات توزيع المياه، وتنتِج الهلامَ الجراثيم الزرقاء والعديد من المشطورات والطحالب الخضراء والحمراء وبعض السوطيات ذات الغمد (ذرب 1992).

توجد الطحالب التي لا تزيلها التصفية، في شبكات توزيع المياه، ويتمكّن عدد قليل منها من النمو في الظلام، مثل:

Scenedesmus, Euglena, Anacystis, Coelastrum, Chlorococcum

وتقاوم الطحالب تأثير الكلورين في شبكات التوزيع:

Gelatinosa, Gomphosphaera, Aponia, Closterium, Cosmarium, Chlorella

وتساعد الطحالب النامية في شبكات توزيع المياه في زيادة كمية المادة العضوية التي قد تكون مصدراً لتغذية الجراثيم والديدان الخيطية وغيرها من الأحياء غير المرغوب فيها، وتؤثر غزارة الطحالب النامية ولاسيما المشطورات في الخزانات المكشوفة للمياه الجوفية المخزونة على نحو أسرع مما في حالة المياه السطحية المعالجة، ويساعد في ذلك الرياح أو الطيور التي تحمل الطحالب (ذرب 1992)، وتؤدي الطحالب إلى تلوّنِ مياه الشرب في المنازل وتكوّنِ أشكال حلقية جدارية ملونة على سطح المياه في أحواض السباحة، ونظراً إلى وجود الطحالب فيتراوح لون المياه بين الأخضر – المصفر إلى الأخضر أو الأخضر المزرق أو الأحمر أو البني إلى الأسود، ولكن لون المياه قد ينشأ بسبب وفرة مواد أخرى.

Δ **مشكلات تخريب المنشآت المائية:** تعدّ ظواهر تآكل الخرسانة والمعادن في الأنابيب والمسخّنات مشكلة دائمة، تساهم الطحالب مباشرة أحياناً في عملية التآكل في مواضع محدّدة، مثل: الطحالب الخضراء والجراثيم الزرقاء التي تتمكّن من حفر الخرسانة وجعلها هشة، وتؤدي *Oscillatoria* إلى تآكل الأحواض المعدنية المعرضة للإشعاع الشمسي، وقد تؤثر الطحالب في سرعة التآكل والصدأ بسبب التغيّرات الفيزيائية والكيميائية التي تحدّثها في المياه، مثل: زيادة ترسيب المادة العضوية في الأنابيب وزيادة تركيز الأكسجين المنحل، وتغيير الرقم الهدروجيني وكمية ثنائي أُكسيد الكربون وكمية كربونات الكلسيوم (ذرب 1992).

وتُرجع الجراثيم الكبريتية الكبريتَ فتسبّب الكبريتيدات الناتجة تآكلَ الخرسانة والأحجار؛ ولاسيما في أحواض المعالجة اللاهوائية للمخلفات السائلة المنزلية.

Δ **مشكلات الطعم والرائحة:** يمكن أن تكسب الطحالب الماء طعماً ورائحة غير مرغوب فيها، وإن كانت تنتشر باستمرار في الوسط المائيّ، وتنمو *Chladpphora* وطحالب خيطيّة كبيرة أخرى في الخزانات الكبيرة والبحيرات ذات الضفاف الحجريّة بكميّات كبيرة في الصيف وقنوات الري السطحية، كما في نهر الأعوج، وعند فصلها ونشرها على الشواطئ تسبّب بسرعة نشوء روائح عفنة، تقتضي التخلّص منها فوراً، ويمكن أن تسبّب مشكلات لصيادي الأسماك.

Δ **مشكلات النمو الكثيف في القنوات والأحواض:** يعدّ وجود أعداد معقولة من أنواع مختلفة من الأحياء الدقيقة الطافية المعروفة دليلاً على وجود ظروف متوازنة؛ تسمح بدعم الحياة في مصادر المياه الخام، دون أن ترتبط بها أيّ مشكلة تجلب المخاطر وتستدعي إيجاد حلّ لها.

ترتبط جماعات من الطحالب بالصخور والموادّ المغمورة في مياه الأنهار، كالجدران الإسمنتيّة أو الخشبيّة والآجرّ والأحجار (الشكل 10-11)، وفي أرضيّات الخزّانات، وعلى جوانب قنوات الريّ وأرضيّاتها وبوّاباتها، تتمكّن من الانتشار على نحو واسع، وتنمو بكثافة في بحيرات الحدائق وأحواض تربية الأسماك وأحواض السباحة، ويمكن أن تغلق النموّات الكثيفة لطحالب الجنس *Chladophora* القنوات المفتوحة الصغيرة وتسبّب فيضان المياه، وقد تجلب أشكال صغيرة من الطحالب المخاطرَ؛ نتيجة نشوء طبقات لزجة على الإسمنت وسطوح أحواض السباحة، ويمكن أن تعرقل النموات الكثيفة للطحالب السباحة وصيد الأسماك، وتكون مصدر أذى للناس في الجوار؛ عند نموّها بكميّات كبيرة على حافّات المياه الضحلة.

Δ **مشكلات إغلاق المرشحات:** تؤدّي النموّات الكثيفة للطحالب المتعلّقة إلى إغلاق مرشحات تصفية المياه وتخفيض تدفّق المياه، وتقلّل كفاءة المرشحات العاديّة إلى عشر ساعات أو أقلّ وربّما يتكرّر إغلاقها وإنتاج روائح كريهة في المياه والهواء، وتعمل عادة 30 – 100 ساعة قبل أن تتطلّب عملية تنظيف، بسبب غياب الترسيب الأوليّ أو إجراء ترسيب غير كافٍ لمياه الخزّانات والبحيرات ومياه الأنهار، وإن كان نموها أحياناً يتّصف بدور مفيد داخل المرشحات.



الشكل 10–11 نموات الطحالب في البحيرات وقنوات الري. تصوير د. عدنان

تعدّ المشطورات دائمة الخطورة نظراً إلى وجودها في جميع الأوقات، حيث تموت الأفراد وتبقى دروعها السيليسيّة الصلبة من دون تحلّل، مثل: *Asterionella*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Synedra*، ويتمكّن بعضها من تكوين شبكة من الخيوط تُغلق المرشحات، مثل: *Fragilaria* و *Tribonema*.

وينتج العديد من الطحالب أغماداً هلاميّة، مثل: *Cymbella*, *Gomphonema* (المشطورات)، *Chaetophora*, *Palmella*, *Spirogyra*, *Tetraspora* (الخضراء)، ومن الحمراء: *Batrachospermum*، ومن السوطيّات: *Euglena sanguinea*.

وقد يؤدّي نموّ الطحالب إلى تلوّن المياه بعد التصفية؛ ولاسيّما في الخزانات غير المغطّاة، سواء باللون البنيّ (*Ceratium*) أم بالأخضر (*Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Cosmarium*) أم بالأحمر (*Euglena sanguinea*).

وقد تتخرّب المرشحات عند معالجة مياه الصرف الصحي؛ بسبب نشوء طبقة نموّ حول حصى الترشيح بسماكة 1 – 2 مم مكوّنة أساساً من الطحالب الفَوْنباتية، مثل: *Stigeoclonium nanum, Ulothrix tenuissima, Phormidium unicinatum*

رابعاً. المُشْعِرات (الدالات) الحيوية Bioindicators

1. مفهوم الاستدلال الحيوي Biological Indices Concept

يزداد الاهتمام بالطحالب والأحياء الدقيقة المُشعِرات (الدالاتٍ) indicators على نوعية المياه water quality (Venkateswarlu 1981, Venkateswarlu & Manikya Reddy 1985, Wihtton *et al.*, 1991)، فللأحياء استجابة متكاملة لبيئاتها، وإنّ استعمال الطحالب في تقييم نوعية المياه بدأ منذ سبعينات القرن العشرين، عندما أخذت مسألة التلوث تصبح جديّة، فالحقيقة أنّ مجتمع المشطورات يتبع لكيميائية مياه النهر إلى حدّ بعيد.

من هنا فإن مجتمعات الطحالب تبدو وسيلة مفيدة وذات أهمية مقارنة بالحشرات الصغيرة لرصد monitoring نوعية مياه النهر، فهي المكوّن الحيوي الأكثر مناسبة في النظام البيئي المائي لوصف الاضطراب الطبيعي أو المستحدث.

لكي نستعمل أنواعاً معيّنة مُشعرات حيوية يجب أن تحقق الشروط الآتية:

- ❖ تظهر الأنواع طيلة حياتها وفي وفرة abundance.
- ❖ يجب أن تكون قابلة للتعريف بسهولة.
- ❖ يجب أن تمتلك محدّدات بيئية دقيقة Precise ecological limits أو مجالات قابلة للتحديد Definable ranges.

ويتطلّب ذلك درجة عالية من الخبرة، ويمكن استعمال المشطورات في كثير من الأحيان، وما يفيد في تحقيق ذلك:

- أن تكون عالمية الانتشار cosmopolitan مع تنوّع عالٍ high diversity.
- يسهل جمعها وحفظها.
- أن تكون دالات جيدة لتغيرات بيئاتها.
- أن تمتلك استجابة عالية.

وبالمقابل، فإن العوائق محتملة، فعملية التعريف تتطلّب الخبرة والمعرفة التصنيفية الجيدة، وحلّ مشكلة تقييم معدّل الخلايا الحية والميتة.

وهكذا، فإنّ تغيّرات نوعيّة الوسط المحيط تؤثّر في نوعية الأحياء المختلفة التي توجد فيه، ومن أهمّها الأكسجين المنحل والغُذيّات والملوّثات السامّة؛ ولذلك أمكن إيجاد أنواع من الأحياء الدقيقة دالّات على نوعية المياه حيث تعيش، فهي تقيس تأثير التغيّرات في نوعيّة المياه، إلى جانب الدالّات الفيزيائية والكيميائيّة التي تقيس التغيّر فيها، وتوجد طريقتان للاختبارات الحيويّة:

(1) الاختبار البيئيّ (المباشر)

هو نظام الاغتذاء العضوي استعمله كولكويتز (Kolkwitz 1950) وطوّره آخرون مثل ليبمان (Liebman 1951)، ويعتمد على تحديد الأحياء في العيّنة وتكراريّتها النسبيّة لكلّ نوع والحسابات الإحصائيّة، سواء أكان ذلك مع مجمل الأحياء أم مع مجموعة أو بضع مجموعات، أم مع نوع واحد أو بضعة أنواع من الأحياء.

(2) الاختبار الفيزيولوجي (غير المباشر)

يعتمد هذا الاختبار على النشاط الحيويّ للأحياء، سواء أكان ذلك لأنواع معيّنة أم لكائن واحد يزرع في المختبر في عينة من المياه من أجل اختباره، ويعدّ بعض التفاعلات المختارة دليلاً على نوعية المياه (Bick 1963).

ويعيّن لكل نوع من الأحياء (Bick 1963) الموجودة في عينة ماء من موقع معين مثلاً رقم 1 – 4، ويعتمد هذا الرقم على موقعه في نظام الاغتذاء *S وعلى تكراره، ومن خلال هذا الترقيم فإنّ كائنات المنطقة النظيفة يكون فيها *S = 1، وهكذا يستمر ترقيم المناطق الأربع على هذا المنوال، أما التكرار (تكرار الكائن في عينة ما) فيقسم إلى ثلاثة أنواع هي:

نادر = 1 rare

شائع = 3 common

سائد (كثيف) = 5 dominant

من خلال هذه التقسيمات، يمكن حساب منسب التفكيك saprobity index لكل عينة مأخوذة من أي منطقة لكل درجة من التلوث كالآتي:

درجة التلوث degree of pollution	منسب التفكيك saprobity index
ضعيف جداً	1.5 – 1.0
معتدل	2.5 – 1.5
شديد	3.5 – 2.5
شديد جداً	4.0 – 3.5

ويبيّن الجدول 10–16 بعض أجناس الطحالب ودليل التلوث.

الجدول 10–16 بعض أجناس الطحالب ودليل التلوث في المياه (Williams 1980).

الجنس	دليل التلوث
Anacystis	1
Ankistrodesmus	2
Chlamydomonas	4
Chlorella	3
Closterium	1
Cyclotella	1
Euglena	5
Gomphonema	1
Melosira	1
Microactinium	1
Navicula	3
Nitzschia	3
Oscillatoria	5
Pandorina	1
Phacus	2
Phormidium	1
Scenedesmus	4
Stigeoclonium	2
Synedra	2

2. المناطق المائية وفقاً لدرجة النظافة

Water Zones According to Purity Degree

يمكن تقسم المناطق النهرية (Palmer 1980)، وفق الآتي:

(1) المنطقة النظيفة katarobic

ينتشر بعض الطحالب في عيون المياه ومياه الأنهار الجبلية النظيفة، وتوضع في مجموعة مستقلة تعرف بجماعات المنطقة الخالية من الملوثات العضوية ومنتجاتها التي تصل مع المخلفات السائلة المنزلية.

- من الجراثيم الزرقاء (Prescott 1968):

Agmenellum quadriduplicatum, glauca type
Calothrix parietina
Coccochloris stagnina
Microcoloeus soptorolosus
Phormidium anondatum

- ومن الطحالب الخضراء غير المتحركة:

Ankistrodesmus falactus var. acicularis
Cladophora glomerata
Micrasterias trucata
Rhizoclonium hieroglyphicum
Staurastrum punctulatum
Ulothrix aequalis

- ومن الطحالب الحمراء:

Betrachosperm vajum
Lemania anolata

- ومن المشطورات:

Amphora uvalis
Cocconeis placentula
Cyclotella bodanica
Cymbella sisati
Navicula grasilis
Nitzschia lenearis

Pinnularia nobilis
Surirella splendida

– ومن السوطيات الذهبية واليوغلينية ورتبة Volvocales

Chromulina rosanovi
Chromonas nordsteti
Chromonas cytonensis
Chrysococcus major, Chr. uvalis, Chr. revnisensis
Dynobryon stepitatum
Euglena spirogyra
Mallomonas caudate
Phacus leticularis, Ph. longicoda
Rhodomonas lacostris

(2) المنطقة كثيرة التفكك polysaprobic

تنتشر الطحالب والأحياء الأخرى غير المتحمّلة للتلوث في المنطقة الملوثة التي تقع أسفل مصدر المخلفات السائلة المنزلية مباشرة، حيث لم تتمكّن المياه، بما تملكه من مفكّكات، من تفكيك الملوثات العضوية، وتّتصف بانخفاض تركيز الأكسجين على نحو كبير حتى بغيابه كلياً، وتكون الجراثيم الزرقاء والسوطيات أكثر الجماعات انتشاراً وتكرارية في منطقة النهر التي تحتوي مخلفات عضوية.

وتكون المخلفات الصناعية ذات طبيعة عضوية أحياناً، وتُصرف بكميات كبيرة تمنع الطحالب من القيام بوظائفها الحيوية بكفاءة، إذ إن العكر الشديد الذي تسبّبه يقلّل اختراق الضوء الذي يترك تأثيره السيئ في نشاط الطحالب، وتكون المخلفات الصناعية اللاعضوية سامة، إذ يسبب الوحل والرمل والطين الناتج عن بعض المصانع العكر المثبّط لتنامي الأحياء القاعية.

(3) منطقة التلوث المعتدل من النمط ألفا alpha-mesosaprobic

تنتشر الجراثيم والطحالب المتحمّلة للمخلفات السائلة المنزلية في منطقة التلوث المعتدل من النمط ألفا، وتتّصف عندئذ بقدرتها على النمو الكثيف وعلى التفكيك النشط للمخلفات العضوية.

تسود الجراثيم الزرقاء والطحالب السوطية في منطقة التحلّل النشط عادة، وتسود الطحالب الخضراء في الجزء المتبقي من منطقة التحلّل النشط.

(4) منطقة التلوث المعتدل من النمط بيتا beta-mesosaprobic

تختفي الرائحة الكريهة في منطقة التلوث المعتدل من النمط بيتا وتصبح المياه فيها نظيفة، وتكون المخلفات السائلة المنزلية في المراحل النهائية من التحلّل، فالطحالب تسود وتقلّ أعداد الجراثيم، ويمكن أن تدعى منطقة الشفاء recovery zone.

تكثر طحالب الجنس *Chlamydomonas* حيثما يختفي معظم المواد العضوية وتترسب العناصر المغذية بسبب ارتفاع قيم pH، ويعدّ اختبار مجاري البرك لمعرفة الطحالب أداة مفيدة للعاملين في منشآت معالجة المخلفات أيضاً.

(5) المنطقة قليلة التفكك oligosaprobic

يصعب تحديد نوع معين من الطحالب دليلاً محدِّداً لمنطقة المياه النظيفة أسفل النهر، حيث تصبح المياه خالية من المخلفات السائلة المنزلية، وتأخذ أعداد الطحالب غير المتحمّلة للمخلفات العضوية بالازدياد ثانية في المياه، وتقلّ أعداد الطحالب المتحملّة لها.

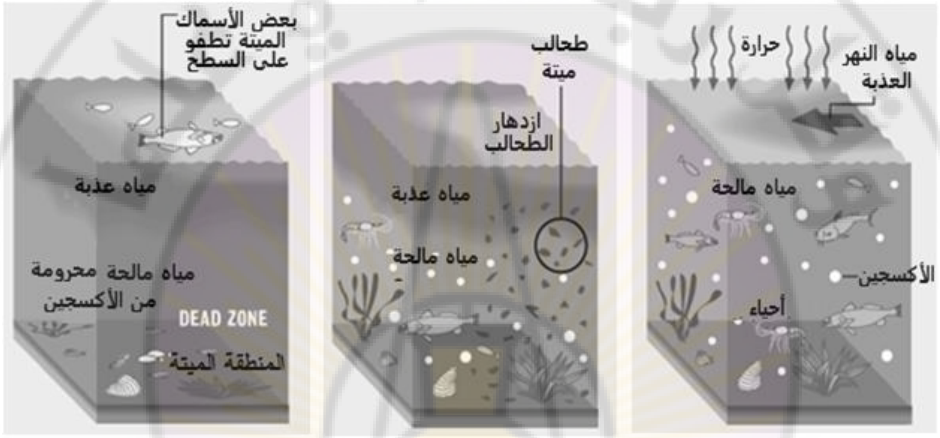
ومنطقة النهر قليلة التلوث هي المنطقة التي حدث فيها تحويل المواد العضوية الملوثة إلى عناصر معدنية غذائية بفعل الطحالب والجراثيم أي التي خضعت لعملية تنقية ذاتية أدّت إلى اختفاء بقايا الملوثات العضوية في المياه، وترتبط هذه العملية مع درجة الحرارة وكمية الملوثات وكذلك مع سرعة الجريان وغير ذلك.

ويكون وجود الطحالب السوطية *Chrysococcus*، *Cryptomonas* خير دليل على اكتمال تحلل المواد العضوية (Brogan 1961)، ويحتوي الجزء غير الملوث من النهر غالباً مشطورات وطحالب خضراء وإن غياب كمية كبيرة من الجراثيم الزرقاء دليل على وجود ماء نظيف (Patrick 1950).

تعد السوطيات الدقيقة أفضل الدالات على المياه النظيفة مقارنة بالطحالب الأكبر حجماً، وإن كان بعض الطحالب الكبيرة يستعمل لتحديد نوعية المياه، وتسود المشطورات في المياه الأكثر نظافة، وتختلف أشكال الطحالب باختلاف نوعية المياه

التي تعيش فيها وإن كانت تنتمي إلى الجنس ذاته، والمياه غير الملوثة من النهر تحتوي غالباً مشطورات وطحالب خضراء، وغياب كمية كبيرة من الجراثيم الزرقاء دليل على وجود المياه النظيفة.

تصبح البحيرات في عِوز للأكسجين hypoxic وتموت الأسماك والأحياء الأخرى. ويمثل الشكل 10-12 "المناطق الميتة dead zones" في النهر.



1. الحرمان من الأكسجين والانعزال يجعل المياه الأعمق منطقة ميتة، تتفادى الأسماك المنطقة أو تموت بأعداد هائلة، الأحياء الصغيرة جداً التي تكوّن القاعدة الحيوية للسلسلة الغذائية في الخليج تموت أيضاً، يؤجّل الشتاء ولكن جريان الربيع يبدأ الدورة من جديد.
2. النتروجين والفسفور من المخصبات والصرف المنزلي في طبقة المياه العذبة تشعل ازدهارات الطحالب التي تموت وتتغلغل في المياه المالحة تحتها، وتتفكك بفعل الأكسجين في المياه الأعمق.
3. خلال الربيع، المياه العذبة من النهر المسخنة بحرارة الشمس فتنشأ طبقة عائقة في الخليج، وتفصل المياه المالحة تحتها عن التماس مع أكسجين الهواء.

الشكل 10-12 تكوّن المناطق الميتة في الأنهار (Swenson).

3. **دالات التنوع الحيوي** Biodiversity indices

يعدّ التنوّع الأكبر للطحالب الخضراء والمشطورات دليلاً على نوعية المياه النظيفة clean water، وتوجد أفراد الجراثيم الزرقاء واليوغلينات في الموائل habitats الملوثة بالمواد العضوية، والعدد الأكبر للأنواع والعدد الأقل للأفراد individuals دليل على خصائص المياه النظيفة، والعدد الأقلّ للأنواع والعدد الأكبر للأفراد دليل على المياه الملوثة.

فالازدواجيات من الطحالب الخضراء حساسة جداً للتلوث، شائعة في المياه النظيفة، والمياه قليلة الاغتذاء:

Zygnema, *Spirogyra*, *Stigeoclonium tenue*

تسود هذه الممثلات من الطحالب الخضراء في المياه النظيفة، والمياه الملوثة، والمياه العكرة، وهي دالة جيدة على المستويات المرتفعة للتلوث العضوي، وعلى التراكيز المرتفعة للمعادن الثقيلة، فهي مقاومة للسموم المعدنية، وعلى المستويات المرتفعة للغُذيات، وعلى تراكم المعادن الثقيلة، وهي موثوقة في الكشف عن التلوث المعدني في الأجسام المائية:

Cladophora golmerata, *Chlorella vulgaris*

تسود هذه الممثلات من الطحالب الخضراء في المياه الملوثة بالمواد العضوية.

تدل المشطورات: *Synedra*, *Cymbella*, *Epithemia*, *Diploneis* على المياه النظيفة، وتنتشر *Achnanthes microcephyl*, *A. minutissima* في الأنهار النظيفة.

وسيادة أنواع *Nitzschia* دليل على التركيز المرتفع للمواد النتروجينية العضوية، وتدل *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum*, *Achnanthes exigua* على المياه الملوثة أو القذرة، أما الجراثيم الزرقاء، مثل: *Oscillatoria chalybea* فتدلّ على المياه ذات الإثراء الغذائي والمياه الملوَّثة بالمواد العضوية.

وتدلّ ممثلات *Nostoc*, *Calothrix*, *Scytonema* من الجراثيم الزرقاء على المياه قليلة الاغتذاء وسيادة المياه النظيفة.

تنتشر في المياه الكريهة ذات التأثير السام أنواع، مثل: *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos*-aquae, *Aphanizomenon flos-aquae*، وتعدّ أفراد النوع *Euglena acus* من اليوغلينات دليلاً على التلوث.

ويفيد استعمال مثل هذه الدالات في اختصار الوقت مقارنة بالتحاليل الكيميائية، وحسبنا أن نذكر أنّ عمليّة مراقبة قطرة واحدة من المياه بالمجهر تكون كافية للحكم على نوعية المياه، فالمشهد يعطي صورة دقيقة عن واقع الحال، ومن اللافت للانتباه أن تغيّر جماعات الطحالب في ظروف متباينة من التلوث العضوي يعدّ من أهم الدالات التي يمكن استعمالها لتحديد وجود المخلفات السائلة المنزلية أو غير المنزلية أو غيابها في مياه الأنهار، وكذلك لقياس درجة التلوث بالمخلفات العضوية.

فمن الأنواع غير المتحمّلة للتلوث العضوي:

Chlamydomonas, Euglena, Navicula, Oscillatoria, Phormidium, Synedra, …

ومن الأنواع المتحمّلة للتلوث العضوي (Palmer 1980):

– من الجراثيم الزرقاء في المياه العذبة:

Anabaena constricta
Oscillatoria limosa, O. tenuis, O. formosa
Phormidium unicinatum, Ph. autumnale

– ومن الطحالب الخضراء غير المتحركة في المياه العذبة:

Chlorella vulgaris, Closterium microporum, Pediastrum boryanum, Stigeoclonium tenue, …

– ومن المشطورات في المياه العذبة:

Nitzschia palea, Synedra acus, Stephanodiscus hantzschii
Diatoma vulgare, Cyclotella meneghiniana

– ومن السوطيات في المياه العذبة:

Euglena viridis, Chlamydomonas reinhardi
Euglena acus, Euglena gracilis

أما الأنواع الدالة على تلوث المياهفيمكن ذكر: *Chlorella, Chlorococcum*

ويمكن استعمال مجموعات الطحالب الدالة، مثل: نسبة المشطورات A/C

A/C = نسبة المشطورات الريشية إلى المركزية araphid pennate/centric

4. **دالات التنوع النوعي** Indices of species diversity

يمكن وجود طحالب دالة على درجات الحرارة:

أ. طحالب الثلوج والجليد

– من الطحالب السوطية:

Chlamydomonas
Haematococcus

– ومن الطحالب الخضراء:

Ankistrodesmus
Chlorella

ب. طحالب درجات الحرارة المنخفضة 5 – 15 ْم

– من المشطورات:

Achnanthes lanceolata

Fragilaria

Synura acus

– ومن السوطيات:

Chlamydomonas

Cryptomonas erosa

Mallomonas alpina

Rhodomonas lacustris

– ومن الطحالب الحمراء:

Batrachospermum

– ومن الازدواجيات:

Cosmarium pseudobroomi

ج. طحالب درجات الحرارة المعتدلة 15 – 30 ْم

– من الجراثيم الزرقاء:

Anacystis cyanea
Lyngbya limnetica

– ومن المشطورات:

Nitzschia filiformis

– ومن الطحالب الخضراء:

Dactylococcopsis smithii
Oedogonium tapcin
Spirogyra

د. طحالب درجات الحرارة المرتفعة 40 – 85 °م

– من الجراثيم الزرقاء:

Coccochlories (*Synedchcoccus*)
Mastigocladus laminosus
Oscillatoria filiformis
Phormidium tenue
Scytonema coactile
Synechococcus elongatus
Synechocystis aquatilis

هـ. طحالب دالة على الحموضة (pH منخفضة)

– من المشطورات:

Diatoma vulgare
Navicula bryophila
Navicula minima
Navicula roteana
Navicula viridis
Pinnularia acoricola
Pinnularia subcapitata
Tabellaria flocculosa

– ومن السوطيات:

Chlamydomonas
Chromulina ovalis
Cryptomonas erosa
Dinobryon
Euglena mutabilis
Euglena stellata
Euglena viridis

– ومن الطحالب الخضراء:

Cladophora
Chlorella
Scenedesmus
Mougeotia, Ulothrix zonata

– ومن الازدواجيات:

Desmidium
Xanthidium antilopaeum

تكون المخلّفات الصناعيّة الواصلة إلى الأنهار ضارّة، حيث تقلّل كفاءة الوظائف الحيويّة للطحالب، ويسبّب بعضها عكراً يقلّل نفاذيّة الضوء في المياه ويحدّ نشاط الطحالب، وتؤدّي المخلّفات النفطيّة عموماً إلى موت غالبيّة الأحياء في المياه العذبة، وتمنع مخلّفات النسيج والجلود والأسمدة الزراعيّة نموّ الطحالب وتكاثرها، ويثبّط تصريف مياه الريّ الزائدة إلى الأنهار نموّ الطحالب ويقلّل غزارة العوالق النباتيّة.

ومن الطحالب الدالّة على وجود المخلّفات الصناعيّة:

أ. طحالب دالّة على مخلّفات النفط

– من الجراثيم الزرقاء

Lyngbya
Oscillatoria

– ومن الطحالب الخضراء

Ankistrodesmus
Closterium
Scenedesmus

– ومن المشطورات

Amphora ovalis
Asterionella
Cyclotella
Diatoma vulgare
Fragilaria
Gomphonema herculaneum
Melosira varians
Navicula radiosa
Surirella molteriana
Synedra acus, S. ulna
Tabellaria

– ومن السوطيات

Chlamydomonas
Euglena
Gonium

ب. طحالب دالّة على وجود كبريت الهدروجين

– من المشطورات

Achnanthes affinis
Cyclotella memeghiniana
Cymbella ventricosa
Navicula minima
Nitzschia palea
Surirella ovata

ج. طحالب دالّة على وجود الحديد

– من الطحالب الخضراء

Chlorella variegata

– ومن المشطورات

Eunotia
Gomphonema acuminatum
Pinnularia microstauron
Surirella linearis

– ومن السوطيات

Chromulina

د. طحالب دالّة على وجود النّحاس

– من الجراثيم الزرقاء

Calothrix braunii
Symploca erecta

– من الطحالب الخضراء

Chlorococcum botryoides
Scenedesmus obliquus
Stigeoclonium tenue

– من المشطورات

Achnanthes affinis
Asterionella formosa
Cymbella ventricosa
Navicula viridula
Nitzschia palea

هـ. طحالب دالّة على وجود الكروم

– من الطحالب الخضراء

Closterium acerosum
Stigeochlonium tenue

– ومن المشطورات

Navicula atomus
Nitzschia palea
Nitzschia linearis

– ومن السوطيات

Euglena acus
Euglena oxyuris

و. طحالب دالّة على وجود مخلّفات الفينول

– من المشطورات

Achnanthes affinis
Cocconeis placentula
Cyclotella kutzingiana
Symbella naviculiformis
Fragilaria virescens
Gomphonema parvulum
Navicula cryptocephalla
Pinnularia borealis
Surirella ovata

ويؤدي التلوث الشديد للمياه البحرية إلى تقليل جماعات الطحالب إلى أنواع قليلة تتميز بقدرتها على تحمّل التلوث (ذرب 1992)، كما في حال أحياء المياه العذبة، وهي مشكلة للمصطافين والسياح والصيد البحري وصناعة الأسماك، وكذلك فإن نواتج تفكّك الملوثات تحفّز نمواً غزيراً للطحالب فيما بعد، والملوثات الصناعية الأساسية في مصبات الأنهار هي كبريتات الحديد المحفّزة لنمو الطحالب، مثل: *Chlorella variegata*، والمثبّطة للمشطورات الحساسة، مثل:

Skeletonema و *Chaetoceros*.

أسئلة للمناقشة



- أوضح آلية تكوّن الرقاقات الحيوية؟.
- ما أهمية الجراثيم قليلة الاغتذاء؟.
- أوضح مراحل الإثراء الغذائي.
- ما أهمية التنقية الذاتية؟.
- قارن بين التفكك الميكروبيولوجي في الأنهار والبحيرات.
- أوضح أهمية المُشْعِرات الحيوية واذكر الأمثلة الموافقة.
- ارسم مخططاً لتوضيح احتمالات الاستفادة من التنقية الذاتية في المعالجة.

المراجع References

أحمد، محمد المنتصر، (1999). إثراء مياه البحيرات بالغذيات Eutrophication، العامل الرئيس لتواصل الحياة في البيئة المائية. مجلة الجمعية الكيميائية، العدد 37.

الأشقر، كمال (2010). الطحالب، منشورات جامعة دمشق، كلية العلوم، مطبعة الجامعة.

ذرب، حمودي حيدر، (1992). الطحالب وتلوث المياه، الطبعة الأولى، منشورات جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.

مجلة الجمعية الكيميائية (الكويتية) العدد / 37 / 1999.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة (2009). تركيب مجتمع البكتريا غير ذاتية الاغتذاء وفعاليتها في بحيرة سد الروم بالسويداء بسورية. مجلة جامعة أسيوط في النبات، المجلد (38) العدد 1، 263–280، عدد خاص بالمؤتمر الدولي الأول للعلوم البيولوجية رقم 1، 4 – 5 آذار/مارس، أسيوط – مصر.

محمد، سيراؤوس – علي نظام، عدنان – عمار، أسامة. حركية جماعات الجراثيم غير ذاتية الاغتذاء ودورها في الشبكة الغذائية في بحيرة سد الروم بالسويداء. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (25) – العدد الثاني، 2009، 109–130.

Akagi V., Taga N., Simidu U., (1977). Isolation and distribution of oligotrophic marine bacteria. //Canad. J. Microbiol. Vol. 23(8).

Ali Nizam Adnan, (1992). Microbiological characteristics of natural Geranbtan lake, and purification by Zeolite. Baku university, USSR.

Azam F., Fenchel T., Field J. G., Gray J. S., Meyer-Reil L. A., Thingstad F. (1983). The ecological role of water column microbes in the sea. Mar Ecol Prog Ser 10: 257–263.

Bick H., (1963), A Review of central European methods for biological estimation of water pollution levels. Bull-World Health organization, 29: 401 – 413.

Borowitzka M. A., Borowitzka, L. J. (1988) Micro-algal Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge, 477 pp.

Brogan R. H. (1961). Removal of sewage nutrients by algae. Pub. health Report, 76: 301 – 308.

Bylinkina A. A., Trifonova N. A., (1982). Peculiarity of hydrochemical regime Ivank reservoir in connection with volume and distribution water flow. //Works- High sch., biol. Sceince, vol.50 (53). P.: 3–20.

Carrillo M., Estrada E., Hazen T. C., (1985). Survival and enumeration of the fecal indicators Bifidobacterium adolescentis and Escherichia coli in a tropical rain forest watershed. Appl. Environ. Microbiol., 50, 468–476.

Chorus I., Bartram J. editors (1999). Toxic cyanobacteria in water, London, E & FN Spon. Coquet Sandrine, Évaluation des risques lies à la présence de cyanobactéries dans les eaux destinées à la consommation humaine, rapport AFSSA, Paris, 2001

Drachev S. M., (1971). Changes of chemical structure water in connection with flood soil . // Works- IBVV SA SSR , vol, 20(23). P.: 8 – 22 .

Dzuban A. N., (1984). Intensity of microbiological prosesses destruction organic matter in ground deposit of Volga reservoir. // Biological productivity and quality of water Volga and its reservoirs . M. Nauka, 1984. p.: 139 – 141.

Falch B. S., König G. M., Wright A. D., Sticher O., Angerhofer C. K., Pezzuto J. M., Bachmann H., (1995). Biological activities of cyanobacteria: evaluation of extracts and pure compounds. Planta Med. 61, 321-328.

Fuhrman J. A., (1999). Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects. Nature 399:541–548.

Fuhrman J. A., F. Azam (1980). Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica, and California. Appl. Environ. Microbiol. 39:1085-1095.

Goldman C. R., J. J. Elser, R. C. Richards, J. E. Reuter, J. C. Priscu, A. L. Levin. (1996). Thermal stratification, nutrient dynamics, and phytoplankton productivity during Phenology of freshwater bacteria 493 the onset of spring phytoplankton growth in Lake Baikal, Russia. Hydrobiologia 331: 9–24.

Gons H. J., (1977). On the light-limited growth of Scenedesmus protuberans Fritsch. Thesis, University of Amsterdam.
Gorham P. R., Carmichael W. W., (1988). Hazards of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria). In: C.A. Lembi and J.R. Waaland. [Eds] Algae and Human Affairs. Cambridge University Press, Cambridge, 403-432.
Hobbie I. E., Wright R. T., (1968). A new method for study of bacteria in Lakes : description on and results. // Mitt. Intern. Vereinig. Theor. And angew. Limnol. 1968. Bd. 14.
Hoogenhout H., Amesz J., (1965). Growth rates of photosynthetic microorganisms in laboratory cultures. Arch. Microbiol., 50, 10-15.
Ishida V., Kadota N., (1979). A new method for enumeration of oligotrophic bacteria in lake Water .// Arch. Hydrobiol. Bein Ergebn. Limnol. H. 12.
Ishida V., Kadota N., (1981). Obligatory oligotrophic bacteria in lakes Biwa. //Verh. Intern. Vereinig . theor.&angew. Limnol.Bd. 21.
Jüttner F., (1987). Volatile organic substances. In: P. Fay and C. Van Baalen [Eds] The Cyanobacteria. Elsevier, Amsterdam, 453-469.
Kirso Yu. E., Stom D. I., Belych L. I., Ircha N. I., (1988). Transporation of cancerogenic and toxic matter in Hydrosphere, Tallin: Valgus, 271 p.
Krasilnikov N. A., Belyaev S. S., (1973). Systematics and Classification of Caulobacter // Infor. SA USSR, Ser. Biol. № 3 , 1973.
Kriss A. E., (1971). Achievements and problems of ocean micribiology . Microbiology successes № 7 , Nauka, Moscow, p. 208 - 222
Kuznetsov S. I., (1959, a) Microbiological characteristic of Volga reservoirs .// Works – IBV SA USSR , vol 1 (4). P.: 69 – 81.
Kuznetsov S. I., (1959, b). Microbiological research of Gorki reservoirs. // Bul – IBV SA USSR , № 3, P.: 2 - 4.
Kuznetsov S. I., (1981). Fundamental way of development microbiology in continental reservoirs. Microbiology successes № 16 , Nauka, Moscow, p 159 - 175.
Kuznetsov S. I., Dubinina G. A., Lapteva N. A. (1979). Biology of oligotrohpic bacteria. // Annu. Rev. Microbiol. 1979, Vol. 33.
Kuznetsov S. I., Saralov A. I. Nazina T. N. (1985). Microbiological prosesses of carbon and netrogen cycles in Lakes. M.
Lapteva N. A., (1984). Specific composition and Distribution of oligotrophic bacteria in carstic lakes. // Microbiology, T.53, vol. 4.
Laskorin B. N., Bolotina O. T., Kaminski V. S., *et al.*, (1975). Quality and protection of water in river Volga bassin . // water resources, № 4, p.: 23 – 45.
Loogman J. G. (1982). Influence of photoperiodicity on algal growth kinetics. Thesis, University of Amsterdam.
Magnuson J. J., T. K. Kratz, B. J. Benson. (2005). Long term dynamics of lakes in the landscape. Oxford Univ. Press.

Malinsky-Rushansky N. Z., C. Legrand (1996). Excretion of dissolved organic carbon by phytoplankton of different sizes and subsequent bacterial uptake. Mar. Ecol. Prog. Ser. 132:249-255.

Margolina G. L., (1989) . Microbiological Processes destruction in freswater reservouers , Moscow , Science , 120p

Mironov O. G., (1985). Interaction between marine organisms and oil hydrocarbons. L. Hydrometeoizdat, 127 p.

Moaldi K., Overbek J., (1982). Quantitative verteilung der olicarbophilen und saprophy. Tischen Bacterion in Plußsee.// Arch. Hydrobiol. 1982, Bd 93. H. 3.

Paerl H. W., Tucker J., Bland P. T., (1983). Carotenoid enhancement and its role in maintaining blue-green (Microcystis aeruginosa) surface blooms. Oceanogr. 28, 847-857.

Palmer C. M., (1980). Algae and water pollution. Castle House publication LTD, 123p.

Patrick R., (1950). A proposed biological measure of stream conditions. Proc. 5th Indust. Waste Conf., purdue Univ. Eng. Bull. 34: 379 – 399.

Prescott G. W., (1968). The Algae: A Review. Houghton, Mifflin Co. 136p.

Razgulin, S. M., gapeeva, M. V., Litvinov, A. S., (1982). Balance biogenic elements and ions in Rybin reservoir in 1980. // Works: IBVV SA USSR, vol. 50 (53), p.: 81 – 91.

Reynolds C. S., (1984). The Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.

Reynolds C. S. (1987) Cyanobacterial waterblooms. In: P. Callow [Ed.] Advances in Botanical Research, 13, Academic Press, London, 17-143.

Richmond A., (1990). Large scale microalgal culture and applications. Prog. Phycol. Res.,7, 269-330.

Rivera S. C., Hazen T. C., Toranzos G. A., (1988). Isolation of fecal coliforms from pristine sites in a tropical rain forest. Appl. Environ. Microbiol.,54, 513–517.

Robarts R. D., Zohary T., (1987). Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. N.Z. J. Mar. Freshwat. Res., 21, 391-399.

Romanenko V. I., (1973). Reproduction of bacteria on natural water. Biology of internal water : Inform. Bul, № 17.

Romanenko V. I., (1985). Microbiological Processes production and destruction of organic metter in internal reservoirs, Leningrad.

Rotmistrov M. N., Stavskaya S. F., Krivets I., Samoilenko L., (1971). Microorganisms destructores alcylsulphates. // Microbiology, T. 47, vol. 2. Rybin reservoir, L. Nauka, 1972, 364 p.

Salmanov M. A., (1987). The role of Microflora and Phytoplankton in Productional prosesses in Caspian sea. M., Nauka.

Schreurs H., (1992). Cyanobacterial dominance, relation to eutrophication and lake morphology. Thesis, University of Amsterdam.

Shirokov V. M., (1985). Constructive geography of revers, Bases reorganization and using . Minsk: Univ. 191 p.
Sigee D. C., (2005). Freshwater Microbiology Biodiversity and Dynamic interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment. University of Manchester, UK. John Wiley & Sons, LTD.
Skulberg O. M., (1996) Toxin produced by cyanophytes in Norwegian inland waters - health and environment. In: J. Låg [Ed.] Chemical Data as a Basis of Geomedical Investigations. The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, 197-216.
Skulberg O. M., (1994). Oscillatoialean cyanoprokaryotes and their application for algal culture technology. Arch. Hydrobiol. Suppl. 105, Algological Studies, 75, 265-278.
Staley J. T., (1968). Prosthecomicrobium and Ancalomicrobium new prosthcate freshwater bacteria. // J. Bacteriol. 1968. vol. 95.
Staley J. T. (1984). Prosthecomicrobium hirschii a New species in Redefined Genus. // Intern. J. Syst. Bact. 1984. vol. 34 (3).
Starodubtsev V. M., (1986). Effect of reservoirs on soil. Alma- Ata; Nauka, 296 p.
Stavskaya S. S., (1981). Biological destruction Anionic PAV. Kiev, Nauka . dumka, 114 p.
Swenson D., (0000). STAFF Graphic, Staff research
Tarasov M. N., Beschetnova E. I., (1987). Hydrochemistry of low Volga in connection whith regulation flow (1935 – 1980). // Hydrochem. Materials, T. 101. p.: 3 – 100.
Teixera MGLC, Costa MCN, Carvalho VLP, Pereira MS, Hage E., (1993) Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica Dam, Bahia, Brazil. Bulletin of the Pan American Health Organization, 27: 244–253.
Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Edited by Ingrid Chorus and Jamie Bartram©1999 WHO. ISBN0-419-23930-8
Trifonova N. A., (1974). Keeping and isolation netrogen compond of ground sediments of Rybin reservoir // Works. IBVV SA USSR. Vol.29 (32). P.: 68 – 89.
Van Liere L., Mur L. R., (1979). Chapter 9. Some experiments on the competition between a green alga and a cyanobacterium. In: L. Van Liere, Thesis, University of Amsterdam.
Vanagita T., Ichikawa T., Tsuji T., Kamata v., Ito K., Sasaki M., (1978). Two trophis groups of bacteria, Oligotrophs and autrophs: Their distribution inn fresh and sea Water areas in the central northern Japan. // J. Gen., Appl. Microbiol. 1978. vol., 24 (1).
Venkateswarlu V., (1981), Algae as indicators of river water quality and pollution. In. WHO work shop on Biological indicators and indices of environmental pollution CPCB, New Delhi, pp.93-100

Venkateswarlu V., Manikya R. P., (1985). Algae as biomonitors in river ecology: In Symposium on Biomonitoring. State of Environment New Delhi, India. 183-189.

Walsby A. E., (1981). Cyanobacteria: planktonic gas-vaculated forms. In: M. Star, H. Stolp, A. Balowes and H.G. Schlegel [Eds] The Prokaryotes. Springer Verlag, New York, 224- 235.

Whitton B. A., E. Rott, G. Friendrich (eds), (1991). Use of algae for monitoring rivers. Proc. Int. Symp. Dusseldorf. Germany, 26-28 May 1991. Pp 1-193.

Williams P. F., (1980). The ecology and nutrition of the Sewage fungus complex and other benthic communities of polluted river system. Ph.D. Thesis. University Collage Cardiff.

www.edstrom.com/resources.cfm?doc_id=143

Zevenboom. W., Mur L., (1980). N2 fixing cyanobacteria, why they do not become dominant in dutch hypertrophic lakes. Dev. Hydrobiol., 2,123-131.

Ziminova N. A., Zakonnov V. V., (1982). Balances of biogenic elements in Ugli reservoir . // Works : IBVV SA SSSR. vol. 46 (49), p.: 109 - 121.

Damascus University

الفصل الحادي عشر

ميكروبيولوجيا مياه الشرب



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُحدّد مراحل إنتاج مياه الشرب.
- يستنتج مخاطر تلوث مياه الشرب.
- يقارن بين تلوث المياه الطبيعية وتلوث مياه الشرب.
- يربط بين مصادر مياه الشرب ونوعية المياه.
- يفهم آلية عمل المخثرات.
- يصف طرائق اعتيان مياه الشرب.
- يقدّر أهميّة حماية مصادر مياه الشرب.

مفاهيم مفتاحية

□ **المياه المخزونة** Stored Water

المياه التي تُجمع في جرار وأحواض لأغراض الشرب في أماكن غير مزودة بمصادر لمياه الشرب، وهي اليوم صناعة رائجة باستعمال العبوات.

□ **الآبار الأرتوازية** Artesian Wells

مستحدثة حتى الصخور الخازنة للمياه المحصورة بين طبقتين كتيمتين على عمق 800 – 1600 م؛ فتنبثق المياه تحت ضغط مائي من الأعماق.

□ **صلاحية مياه الشرب** Suitability

عملية تحديد الصفات الفيزيائية والكيميائية والجرثومية والمجهرية والإشعاعية للمياه، ومقارنتها بمعايير جودة المياه، إلى: مياه نقية وملوثة ومشوبة.

□ **تطرية المياه** Water Softening

عملية إزالة كمية معيّنة من شوارد الكلسيوم والمغنزيوم المذابة بالمياه إذا كانت القساوة عالية، القساوة فضلى 80 جزءاً في المليون. ويمكن تطرية المياه بالكلس الصودي أو بالتبادل الشاردي.

□ **تعقيم المياه (التطهير)** Disinfection of Water

عملية قتل الجراثيم الممرضة (وليس كل الجراثيم) التي لم تُحتجز في أحواض الترسيب أو المرشحات، بالكلورة والأوزونة والأشعة فوق البنفسجية وغيرها.

□ **جودة مياه الشرب** Water Quality

المقاييس النوعية النموذجية للمياه وفق استعمالها: مياه الشرب ومياه الاستجمام وموئل الأسماك والأحياء المائية والأصداف، فلكل مياه نوعية يسمح بها.

□ **التحليل الحيوي للمياه** Biological Analysis

تحليل اعتيادي نجريه عادة على مصادر المياه لتحديد وجود وتركيز الجراثيم واستكشاف المُمرضات، والفحص المجهري لوجود الطحالب والحيوانات الأوالي والديدان وأطوارها.

أولاً. مصادر مياه الشرب وصونها

Resources and Conserve of Drinking Water

1. مصادر مياه الشرب Source of Drinking Water

تمثّل المياه السطحية أقدم مصدر لإمداد التجمّعات السكانية بالمياه، إذ تستعمل مياه الأنهار والجداول والبحيرات كمصادر لمياه الشرب، ولكنّ هذه المسطّحات تتعرض للتلوث بالغبار والدقائق العالقة فيه كالأبواغ وغبار الطلع والمواد الكيميائية والإشعاعية وجزيئات التراب وغيرها، ووصول المخلّفات السائلة المنزلية والصناعية، وما يحمله الجريان من الضفاف وسطح الأرض، وما يمكن أن تسببه المراكب والمخلفات الصلبة والأنشطة السياحية والاستجمام وغيرها.. وتستعمل المياه الجوفية كمصادر لمياه الشرب أيضاً على نطاق واسع، ولاسيما مع ازدياد إمكانات الوصول إلى الخزانات الجوفية وسحبها، والمياه الجوفية أقل تعرضاً للتلوث وأكثر نقاءً في المنطقة العميقة مقارنة بمياه المنطقة قليلة العمق، وتستعمل مياه الأمطار النظيفة على نطاق ضيق كمصدر لمياه الشرب في بعض المناطق، كأن تُجمع خزانات مغلقة.

يقدّر الناتج السنوي من مياه الشرب المعبأة بنحو 90 بليون لتر في السوق العالمية، ويزداد سنوياً بمعدل 7 في المئة، ولئن بدتْ المياه المعبأة متشابهة، فثَمَّة اختلاف كبير بينها بالتركيب الكيميائي وبطريقة معالجتها، وفي أحيان كثيرة، تكون مجرد "مياه حنفية". هناك ثلاثة أنماط منها: المعدنية الطبيعية ومياه الينابيع والمياه المكرَّرة، ويضيف الاتحاد الدولي للمياه المعبأة (ibwa): مياه الآبار الأرتوازية، مياه الشبكة، والفوَّارة، ومياه الآبار، وقد أخذت محطات التحلية تزوّد المجتمعات بمياه الشرب المحلّاة ولاسيما في الصين وإندونيسيا وتايلاند وبلدان الخليج العربي.

2. حماية مصادر الإمداد بالمياه

يعد الحصول على مياه الشرب المأمونة ضرورة لا غنى عنها للصحة، وقد انعكست أهمية الماء والإصحاح ومراعاة الشروط الصحية للتنمية والصحة في نتائج المنتديات الدولية الصحية، أو المعنية بالمياه، وكذلك الأهداف الإنمائية للألفية التي

اعتمدتها الجمعية العامة للأمم المتحدة في عام 2000، ونتائج مؤتمر القمة العالمي في جوهانسبوغ بموضوع التنمية المستدامة، في عام 2002 (منظمة الصحة العالمية WHO 2004). ولا ريب في أن حماية مصادر المياه التي تستعمل لإمداد التجمُّعات السكانية من التلوث مسألة ذات أولوية، وبالمقام الأول التلوث بالمخلفات السائلة المنزلية الأكثر خطورة وانتشاراً، إذ يجب القيام بإجراءات مناسبة لتحقيق ذلك في المدن؛ ولكن ربما لا تفيد وسائل توعية الأفراد والأُسَر والجماعات الصغيرة.

3. المياه المخزونة Stored water

كانت تعني تخزين مياه المطر في جرار rainjars أو أحواض raintanks لتأمين المجموعات البشرية الصغيرة في الماضي، ولاسيما في الأماكن النائية التي ليس فيها مصادر لمياه الشرب، وقد توسّعت اليوم إلى صناعة حقيقية، إذ توجد معامل لتعليب المياه (الشكل 11-1)، إذ تلبّي طلباً متزايداً عليها، إضافة إلى المياه المعدنية mineral water، ومياه العيون والينابيع springs، ومياه الآبار wells.



جرار خزان المياه للشرب **تعبئة مياه الفيجة بدمشق**

الشكل 11-1 المياه المخزونة: في جرار الفخّار، والعبوات البلاستيكية.

4. صلاحية مياه الشرب Suitability of Drinking Water

تقاس صلاحية المياه للاستعمال عن طريق تحديد صفاتها الفيزيائية والكيميائية والجرثومية والمجهرية والإشعاعية، ومقارنتها بمعايير جودة المياه؛ يجب ألا تحتوي المياه الصالحة للشرب أي عوامل ممرضة أو عناصر ضارة، وتقسم إلى ثلاثة أنماط:

- المياه الشروبة potable water: مياه نقية آمنة safe خالية من أي سبب ضار بالصحة؛ كالمُمرضات والمواد اللاعضوية المذابة التي تكسبها اللون أو تجعلها غير مقبولة أو غير مستساغة الطعم أو الرائحة.
- مياه ملوثة بطريقة طبيعية polluted water: تعرَّضت لعوامل طبيعية أكسبتها تغيُّراً في اللون والطعم أو الرائحة أو العكر، كوجود مادة عضوية منحلة أو عالقة، وهذا لا يقتضي بالضرورة عدم صلاحيتها للشرب، مثل: وجود العكر في المياه الطبيعية (الجدول 11-1)، ولكنها قد تكون ضارة أو تصبح كذلك لاحقاً.
- مياه ملوثة بصورة صنعية contaminated water: تحتوي أيّ مادّة أخرى لا يجب أن تكون فيها كالمُمرضات أو السموم فتجعلها ضارّة بالصحة العامة.

الجدول 11-1 المواد الموجودة في المياه الطبيعية ومصادرها.

مياه الأمطار	
مواد عالقة	بعض الشوائب التي توجد في الجو عند نزول المطر.
مواد منحلة	الأكسجين، النتروجين، ثنائي أُكسيد الكربون وبعض الأملاح.
مياه سطحية	
مواد عالقة	الطين والطمي والأحياء الدقيقة، مثل: الطحالب ووحيدات الخلية الحيوانية والجراثيم وكذلك المواد العضوية.
مواد منحلة	الأكسجين، النتروجين، ثنائي أُكسيد الكربون، الحموض العضوية، النشادر، أملاح الكلوريدات والنترات والكبريتات.
مواد عالقة غروية	مواد ملونة وحموض ومواد عضوية.
مياه جوفية	
مواد عالقة	بعض الأحياء الدقيقة (نادراً).
مواد منحلة	أملاح الكربونات والبيكربونات، الكبريتات، النترات، الكلوريدات، هدروكسيد المنغنيز والحديد والكلسيوم والصوديوم والغازات مثل الأكسجين والنتروجين.
مواد عالقة غروية	السيليكا وأكسيد الحديد.

ثانياً. إنتاج مياه الشرب Drinking water production

تشمل معالجة مياه الشرب أحياناً عملية أو أكثر، مثل: إزالة المواد العالقة المسببة للعكر أو اللون أو الرائحة والطعم أو الأملاح المسببة للعسر، وتطهير المياه؛ ولذلك لا بدّ من إقامة محطات لتنقية المياه عمادها الترسيب والترشيح والتطهير (التعقيم) لمياه الشرب، أما محطّات المعالجة فهي محطات ترشيح تعمل على تصفية المياه وتعقيمها وإزالة الروائح والطعم غير المستساغة، وكذلك محطات تطرية تعمل على إزالة قساوة المياه وفقاً للضرورة.

1. التصفية والحد من الطعم والروائح

Screening and Limiting of Taste and Odour

تفيد المصافي الخشنة في إزالة المواد الصلبة التي تعوق عملية الضخ أو المعالجة اللاحقة في محطات المعالجة، وتزيل المصافي الناعمة الطحالب والعكارة من خلال الأغشية المسامية الدقيقة (20 – 30 ميكروناً)، ثم الحد من الطعم taste والرائحة odour عن طريق التهوية لإبعاد الغازات المنحلة، مثل: H_2S، والهدروكربونات الطيارة، وبعض الروائح الناتجة عن المعقِّمات، أو باستعمال المواد المؤكسِدة، مثل: الكلور وبرمنغنات البوتاسيوم، أو بالمازّات sorbents على البنتونيت (صلصال)، أو بالكربون المنشَّط، مثل: هباب الفحم، أو بالمعالجة بالكلور والأمونيا.

2. التخثير والترسيب Coagulation and Sedimentation

يفيد الترسيب في إزالة قدْر كبير من المواد الصلبة العالقة والأحياء الدقيقة، وهو عملية طبيعية تحدث في المسطحات المائية، ويمكن تسريع الترسيب الطبيعي بخزن المياه في أحواض خاصة (6 – 24 ساعة) أو بإضافة المخثِّرات الكيميائية؛ ولذلك يزيل كمية كبيرة من المواد الصلبة العالقة في المياه، فترسب المواد العالقة. وفي الطرائق المطوَّرة تُمرر المياه بسرعة بطيئة جداً في أحواض مستمرة التدفق، فترسب المواد العالقة قبل وصولها إلى المخرج، ويرتبط ذلك بعوامل مختلفة.

ويزيل الترسيب الكيميائي chemical sedimentation المواد الغروية سلبية الشحنة باستعمال المخثرات coagulants إيجابية الشحنة التي تعمل على تجمّع المواد في كتل سريعة الترسيب، وتفيد عملية التندُّف (التلبُّد) flocculation في انتشار المخثّر في الكتلة المائية اعتماداً على المزج السريع وتوزع مناسب للطاقة في الماء وتركها وقتاً كافياً، والراسب يسمى النُّدف flocs.

من المخثِّرات: كبريتات الألمنيوم وكبريتات الحديد وكبريتات الحديدي، ذات الطبيعة الحمضية التي تتفاعل مع المواد القلوية الطبيعية؛ أو المضافة لتكوين كبريتات الكلسيوم أو المغنزيوم أو الصوديوم وراسب هلامي هدروكسيد الحديد أو الألمنيوم، وهذه الأخيرة إيجابية الشحنة تفيد في التعديل، ويجب تعديل قيمة الرقم الهدروجيني، بإضافة بعض القلويات كالصود الكاوي أو كربونات الكلسيوم.

✓ **كبريتات الألمنيوم** (الشبة alum) $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$

الجرعة المناسبة 35 غ/م^3، واسعة الاستعمال، وتتفاعل مع القلويات كالآتي:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3) \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 3CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4$$

✓ **كبريتات الحديد** $Fe(SO_4)_3$ ferric sulfate

الجرعة المناسبة 25 غ/م^3، وتتفاعل مع القلويات لتكوين ماءات الحديد الراسبة:

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4$$

✓ **كبريتات الحديدي** $FeSO_4.7H_2O$ ferrous sulfate

الجرعة المناسبة 50 غ/م^3، تتطلب وجود قلويات مثل الكلس على مرحلتين لتكوين ماءات الحديد الراسبة و pH > 8.4، ويمكن استعمال الكلور لأكسدة ماءات الحديدي.

$$Fe(OH)_2 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + CaSO_4$$

$$Fe(OH)_2 + 2O \rightarrow Fe(OH)_3$$

✓ ويمكن استعمال كلوريد الحديد $FeCl_3$ وكبريتات الحديدي المكلورة، وألومينات الصوديوم وكبريتات الألمنيوم النشادرية وغيرها.

تتراوح درجة عكر المياه عند خروجها من أحواض الترسيب بين 10 – 12 جزءاً في المليون، وللتحكم في قيم الرقم الهدروجيني تُستعمل المركبات الآتية:

القلويات alkalies تستعمل لتعديل قيم الرقم الهدروجيني وأشهرها:

ماءات الكلسيوم (الكلس المطفأ) $Ca(OH)_2$ hydrated lime

كربونات الصوديوم (الصودا) Na_2CO_3 soda ash

ماءات الصوديوم (الصود الكاوي) NaOH caustic soda

الغضار clay يفيد في توسيع مجال الرقم الهدروجيني المناسب لعمل المخثرات، ويضاف لزيادة عكر المياه وتكوين الندف، جرعته المناسبة 35 غ/م^3.

بولي إلكتروليتات polyelectrolytes جزيئات عضوية طويلة السلسلة تربط اثنين أو أكثر من الجزيئات المترسبة لتكوين جزيئات عالقة كبيرة، تفيد في توسيع مجال pH وتقليل كمية المخثّر المطلوبة، تكون مصعدية (شرسبية anionic) أو مهبطية (شرجبية cationic) أو لاشاردية nonionic.

3. **الترشيح** Filtration

تحتجز الطبقات الأرضية أغلبية المواد العالقة والأحياء الدقيقة الموجودة في المياه، ويُستفاد من خواصها بأساليب مختلفة لعملية الترشيح في محطات المعالجة، كالترشيح البطيء أو السريع، وتهدف عملية الترشيح إلى إزالة المواد العالقة والشوائب، وتعدّ مرحلة من المراحل الأساسية لمعالجة المياه، تفيد في إزالة العكر بإمرار المياه خلال طبقة مسامية تحتجز الشوائب، والرمل من أهم المواد المستعملة، ويفضل استعمال رمل السيليس الطبيعي بسبب نقاوته وجودة صفاته الآلية والكيميائية، تجري عملية الترشيح إما تحت الجاذبية الأرضية أو تحت الضغط، وتوجد المرشحات اليوم على نوعين رئيسين (درويش 1997):

- ✓ ☼ المرشحات الرملية البطيئة slow sand filter

تتطلّب المرشحات الرملية البطيئة وجود مساحة كبيرة نسبياً من الأرض، وتتكون من طبقات متتالية من الحصى والرمل الخشن والرمل الناعم، وترتشح المياه خلالها ببطء، تُحتجز الجراثيم والطحالب والحيوانات الأوالي، والمواد الصلبة العالقة في سطح

الطبقات العميقة للرمل الناعم، وهذه الكتلة تزيد كفاءة المرشحة ولكنّها تقلّل التصريف، وعندئذ يجب تنظيف سطح المرشحة، وبعد إزالة الكتلة الهلامية تمرّر المياه خلال المرشحة بسرعة مدة قصيرة، ولكن كمية الأحياء الدقيقة المزالة بالترشيح تنخفض في حالة الانغلاق الجزئي للمرشحة، وتصرف مرشحات الرمل البطيئة عادة ثلاثة ملايين غالون خلال 24 ساعة (الغالون= 3.78 ل).

تعدّ إنتاجية هذه المنشأة منخفضة، وعندما يتغطّى سطح الرمل وتغلقُه المواد العالقة والشوائب يصبح المردود أدنى من المستوى المقبول اقتصادياً؛ ما يُخرج المرشحات من الخدمة؛ ولذلك يُكشط الجزء الأعلى منها وتُنظف دورياً حتى وإن لم تنغلق المرشحات. تخضع المياه قبل تمريرها على المرشحات للترقيد أو للترشيح السريع باستعمال مرشحة من الحصى لتخفيف الحمل على المرشحات الرملية البطيئة التي تزيل الجراثيم ومعظم العكر ولكنها غير فعالة في إزالة المواد الغروانية.

✓ ☼ المرشحات الرملية السريعة rapid sand filter

نظراً إلى عدم كفاية المرشحات الرملية البطيئة وإلى كونها تشغل مساحة كبيرة من الأرض، استُبدلت منذ مدة بالمرشحات الرملية السريعة ذات التصريف نحو 25 مليون غالون خلال ساعتين، تقام في مجموعات تسمح بتشغيل بعضها في الوقت الذي يُنظف فيه بعضها الآخر، وتُضاف المخثّرات المناسبة وتمزج المياه المعالجة جيّداً، وتُترك لتنساب ببطء في الحوض فيترسب معظم المواد تحت تأثير الضغط أو الجاذبية خلال طبقة من الرمل الناعم المدعّمة بالحصى الخشن. عند تدفّق المياه خلال المرشحة تُحتجز رَسُوباتها على سطح الرمل فتكوّن كتلة هلامية تمرّ المياه خلالها، وعند انغلاق المرشحة يمكن عكس اتجاه التدفق لإزالة المواد المترسبة فتتجدّد.

تعمل المرشحات الرملية السليمة على إزالة 90 – 99% من الأحياء الدقيقة الموجودة في المياه، ويجب العناية بها لكي تقوم بعملها جيّداً، وعلى الرغم من أن المرشحات تُستعمل منذ عقود لتنقية كميات كبيرة من المياه لإمداد السكان بمياه الشرب، إلا أن استعمالها غير شائع في تنقية الكميات الصغيرة التي تستهلكها أسرة واحدة أو عدد قليل من الأسر.

يمكن تقسيم المرشحات الرملية السريعة إلى:

- ✓ مرشحات الجاذبية الأرضية gravity rapid filter
- ✓ مرشحات الضغط pressure rapid filter

وتُستعمل حالياً نماذج مطوَّرة من المرشحات، مثل:

- ✓ المرشحات فائقة السرعة ultra high – rate filters
- ✓ مرشحات صخور الدياتوميت (المشطورات) diatomite filters
- ✓ مرشحات عديدات الوسط multimedia filters

وهناك الترشيح الصِغري microfiltration، والترشيح الفائق ultrafiltration والترشيح النانوي nanofiltration.

- ✓ ☼ مرشحات الكربون المنشَّط activated carbon

تستعمل لإزالة المواد العضوية والطعم والرائحة واللون من المياه، والكربون المنشّط التجاري موجود على هيئة مسحوق أو حُبيبات، تُستعمل طريقة المعالجة الثنائية عند تطبيق مسحوق الكربون؛ إذ يضاف جزء من الكربون في موقع معين من المعالجة ويضاف الجزء المتبقي في موقع آخر، مثلاً: قبل الترشيح، وتُستعمل الحُبيبات في مرشحات الضغط أو كطبقة تعلو المرشحات الرملية العادية.

4. **التطرية والتعقيم (التطهير)** Softening and Disinfection

توجد مصادر للمياه، وإن كانت قليلة، قاسية جداً، ويجب إزالة جزء من محتواها من شوارد الكلسيوم والمغنزيوم بعملية التطرية softening، القساوة الفضلى هي 80 ppm، والقساوة المعتدلة 80 – 180 ppm، وتكون التطرية بالكلس الصودي، والتبادل الشاردي ion exchange، وهناك اليوم أجهزة منزلية لتطرية الماء وتكييفها.

ويُعد التعقيم عملية مكمِّلة لمراحل الحماية والترسيب والترشيح في مجال تنقية المياه، إذ يبيد ما قد تحتويه من الجراثيم الممرضة وجراثيم الأشكال المعوية، ولا يؤدي بالضرورة إلى إبادتها تماماً (تعقيم sterilization)، تجري عملية التطهير بطرائق مختلفة، كالأوزنة والكلورة والأشعة فوق البنفسجية، والتسخين، واستعمال الكلس المطفأ أو الكروم واليود أو الموجات فوق الصوتية.

الكلورة chlorination

تفيد جرعة صغيرة (بحدود 0.5 – 1 ppm) من غاز الكلور في تعقيم المياه قبل الاستهلاك، وتُزاد الجرعة إلى 2 ppm في حالات الطوارئ.

◊ غاز الكلور (الكلورين chlorine) Cl_2

يتميز بلون أصفر مائل إلى الاخضرار، ورائحة نفّاذة، أثقل من الهواء، ويمكن تحويله إلى سائل بالضغط في أسطوانات، يضاف المحلول المركّز إلى كمية محدّدة من المياه باستعمال أجهزة الكلورة بهدف حلّه بنسبة عالية، كالآتي:

$$H_2O + Cl_2 \rightarrow H\,Cl + H\,O\,Cl$$
$$H\,O\,Cl \rightarrow H\,Cl^{+} + O^{-}$$

يتشرد المركّب $H\,O\,Cl$ إلى $H^{+} + Cl\,O^{-}$، وتعمل شاردة $Cl\,O^{-}$ على إتلاف خلايا الجراثيم، وتتوقف فاعلية الكلور والكمية اللازمة على عوامل كثيرة أهمها:

- تقلّ جرعة الكلور المضافة مع ارتفاع درجة الحرارة لازدياد سرعة تفكّك مركباته.
- يؤدي الضوء إلى تفكيك مركبات الكلور.
- تزداد جرعة الكلور المضافة بازدياد قيمة pH.
- تزداد فاعلية الكلور بازدياد زمن التماس (30 دقيقة على الأقل قبل استعمال المياه).
- يتميز كل نوع من الجراثيم بمقاومة معينة لتأثير الكلور؛ ولذلك تُجرى الاختبارات الجرثومية لتحديد أعدادها وأنواعها، بهدف تقدير جرعة الكلور اللازمة.
- تزداد جرعة الكلور اللازمة بازدياد العكر؛ لأن المواد المسبّبة للعكر تعمل على صون الجراثيم من التأثير السلبي للعوامل البيئية.
- يؤدي وجود مركبات النتروجين، وعلى نحو خاص الأمونيوم، والحديد والمنغنيز إلى انخفاض تأثير الكلور.
- يعوق وجود بعض القلويات تفكّك مركبّات الكلور، مثل: $Ca(OH)_2$, CaO، $Na\,OH$، $Na_3\,PO_4$، $Na_2\,CO3$.
- تساعد الحموض في تسريع تفكّك مركبّات الكلور.

يُستهلك جزء من الكلور في التفاعل مع المواد الكيميائية التي قد توجد في المياه، والكلور المتبقي يجب أن يتراوح بين 0.2 – 0.3 ppm بعد ثلاثين دقيقة من إضافته، وقد يُسمح حتى 0.5 – 0.7 ppm في حالات الطوارئ، تؤكد وفرة كمية الكلور المتبقي كفاية الكمية المضافة لإتلاف الأحياء الدقيقة الحساسة؛ ويستعمل كاحتياط وقائي ضد احتمال التلوث مرة أخرى. وإن كمية الكلور المتبقي الزائدة على الحدود المسموح بها تكسب المياه طعماً غير مستساغ ورائحة نفّاذة؛ ويجب تخليص المياه منها بإضافة نحو 1.5 ملغ/ل من ثنائي أكسيد الكبريت إلى كل مليغرام في اللتر من الكلور المراد إزالته، أو إضافة كبريتيت الصوديوم، وفق التفاعل الآتي:

$$Cl_2 + 2\,H_2O + SO_2 \rightarrow 2\,HCl + H_2SO_4$$

$$Cl_2 + H_2O + Na_2SO_3 \rightarrow 2HCl + Na_2SO_4$$

أو تخزين المياه ثلاث ساعات في أحواض مكشوفة؛ ما يعمل على تطاير الكلور الزائد ويسمح أن تكون المياه صالحة للشرب.

◊ هيبوكلوريت الكلسيوم (أو الصوديوم) $Ca(OCl)_2\,4H_2O$

تتراوح كمية الكلور الفعال بين 60 – 70% من وزن هيبوكلوريت الكلسيوم، ويُستحصل عليه من تفاعل الكلور مع الكلسيوم وتفاعل الناتج مع الماء، كالآتي:

$$Cl_2 + Ca \rightarrow CaCl_2$$

$$CaCl_2 + H_2O \rightarrow CaOCl$$

وتبلغ نسبة الكلور الفعال 15% من وزن هيبوكلوريت الصوديوم الذي لا يستعمل على نطاق واسع لأنه يسبب تآكل الشبكات، ويمكن الحصول عليه من تفاعل الكلور مع ماءات الصوديوم أو بالتحليل الكهربائي لكلور الصوديوم في محاليل قلوية، ويمكن تخزين OCl، ويحضّر محلول مركّز منه ثم يُضاف إلى المياه بالجرعة اللازمة.

◊ الكلورامين chloramine

يتكون بتفاعل الكلور مع النشادر السائل أو مع الماء في وجود ماءات الأمونيوم، وفق التفاعل الآتي:

$$2NH_3 + Cl_2 = NH_4Cl + NH_2Cl$$

$$NH_4OH + HOCl \rightarrow 2H_2O + NH_2Cl$$

ويعد الكلورامين أقل كلفة؛ لأن ثمن النشادر أرخص من غاز الكلور، وهو من العوامل المبيدة، ويفيد استعماله في تخفيض كمية الكلور المستعملة.

تتميز الجراثيم المقاومة للحموض بقدرتها نسبياً على مقاومة مركبات الكلور، وتكون الأبواغ الجرثومية والفيروسات أكثر مقاومة لمركبات الكلور من الخلايا الإعاشية، ويقتصر استعمال مركبات الكلور على تعقيم الشبكات قبل إدخالها في الخدمة وتعقيم خزانات المياه وفي حالات الطوارئ كالفيضانات وليس في المحطات الكبيرة، ولا يتمكّن الكلور من إتلاف جميع الأحياء الدقيقة، إذ إن الجراثيم الإيجابية الغرام والجراثيم المتبوغة، والحيوانات الأوالي المتكيسة تقاوم تراكيزه المستعملة عادة، ويعدّ استعمال الكلور بتراكيز من أجزاء في المليون غير ضار بالإنسان والحيوانات.

الأوزنة (التعقيم بالأوزون) ozonation

يستخرج الأوزون ozone بإمرار الهواء الجاف أو الأكسجين الخالي من الغبار بين قطبين كهربائيين موصولين بتيار عالي التوتر، ويُمزج مع المياه بعد استخراجه مباشرة، يضاف بتركيز 2 – 3 أجزاء في المليون، ولا يؤثر في طعم المياه ورائحتها، ومن مصاعب استعمال طريقة التعقيم بالأوزون:

- سرعة تحوّله إلى شكل عديم الفاعلية (O_2)، فما يتبقى منه خلال عشر دقائق يبلغ 0.10 جزء في المليون فقط، ويختفي هذا الجزء بعد فترة قصيرة؛ ولذلك لا تكتسب المياه تعقيماً دائماً ولاسيما في الشبكات، ويفضّل استعماله مع الكلور.
- ضعف الانحلالية بالماء؛ ما يصعّب المزج.
- صعوبة توليد الأوزون.
- ضرورة وجود آلات احتياطية بسبب الأعطال المستمرة لآلة التوليد.
- استعمال الطاقة الكهربائية وارتفاع تكاليف الاستثمار؛ ما يحدّ من الاستعمال، إذ تزيد كلفة هذه الطريقة على كلفة الكلور نحو 10 – 15 مرة.
- ضرورة تبريد المياه المعقمة به قبل استهلاكها؛ لأنه يُستخرج بدرجة حرارة عالية.

وعلى الرغم من ذلك، فالأوزنة تُستعمل في المحطات الكبيرة في كثير من مدن العالم، كمدينة حلب، فالأوزون مؤكسد قوي يتميز بتأثير فعال.

الأشعة الفَوْبنفسجية ultraviolet rays: تستعمل لإبادة الجراثيم والفيروسات، طريقة سريعة الفاعلية في التعقيم، لا تغير الطعم والرائحة، ويقتصر تأثيرها في الطبقة السطحية من المياه بعمق 30 سم فقط، ويمكن توليدها في أنابيب من زجاج الكريستال الصخري الحاوية سائل الزئبق عند تعريضها لتيار كهربائي مستمر بتوتر نحو 220 فولطاً خلال 10 دقائق.

الإشعاع الشمسي the sun: يفيد في قتل كثير من أنواع الجراثيم عند تعريض المياه لها فترة من الزمن؛ بسبب ما تحمله الشمس من طاقة.

التسخين heating: من أبسط الطرائق المستعملة؛ لا يفيد كطريقة لتعقيم مياه الشرب في المدن والتجمعات السكانية الكبيرة، يُستعمل أحياناً عند حدوث تلوث للمياه المستهلكة في المنازل كإجراء وقائي، ويمكن تطبيقها بسهولة بالتسخين إلى 75 Cº حتى الغليان فترة 30 د، ويتحمّل بعض الفيروسات 115Cº.

الأمواج فوق الصوتية ultrasonic waves: يؤدي استعمالها إلى إبادة الجراثيم بسرعة ولكنها وسيلة صعبة المنال، لا تؤثر في أعماق كبيرة للمياه، كلفتها عالية؛ لذلك لم تنتشر على نطاق واسع في مجال تعقيم المياه.

المواد الكيميائية chemicals: يُستعمل عدد منها في تعقيم المياه، في حالات الطوارئ، فبرمنغنات البوتاسيوم عامل أكسدة متوسط القوّة وقاتل للجراثيم؛ ولكنه غير فعّال في مقاومة الفيروسات، ويجب ألا تُستعمل كميات زائدة منها، ويتفاعل اليود iodine على نحو أبطأ بكثير من تفاعل الكلور، ولكنه يعطي نتائج أكثر فاعلية، ويُستعمل يود البوتاسيوم لتحقيق ذلك، كما يستعمل لتعقيم أحواض السباحة، ويُستعمل البروم bromine أحياناً لتعقيم المياه ولكنه خطر يطلق أبخرة شديدة التخريش، ويسبب حروقاً عند ملامسة الجلد، ولا يعدّ مهماً في تنقية المياه، وتُستعمل الفضة في حالات نادرة لتعقيم المياه أو أحواض السباحة. لابد من التخلص من مخلفات محطات المعالجة، ولاسيما الرَّسُوبات (والأوحال)، فقد تُحرق للحصول على كلس حي يفيد في التطرية، أو تُجفف في أحواض خاصة، أو تعاد إلى المصدر، أو تصُرف مع شبكة الصرف المنزلي، وقد تقلّل المواد الصلبة في ماء الغسيل، أو تُترك دون معالجة.

ثالثاً. اختبارات مياه الشرب Drinking Water Tests

1. الاعتيان Sampling

يتطلب أخذ عينات المياه للتحليل عناية خاصة، وقد تنشأ مشكلات لا تتعلق بالاعتيان؛ ولذلك لا تكون متابعة التحليل سليمةً:

- الاعتيان من ماء الصنبور في شبكة التوزيع، أو من فتحة مضخة ثابتة:

– ننظف الصنبور ولا نترك أي أجزاء ملحقة به، ونمسح الفتحة بقطعة قماش نظيفة لإزالة أي مواد محتملة، ثم نفتح الصنبور ونترك الماء يتدفق 5 دقائق (2 د)، ونعقّم الفوهة 1 دقيقة بلهب قطعة قطن مبللة بالكحول (بلهب الغاز الأزرق).

– نترك ماء الصنبور يجري نحو 12 – 15 د (2 د) بمعدل تدفق معتدل.

– نفتح زجاجية معقَّمة ونحن نمسك بالسدادة والقلنسوة باتجاه الأسفل.

– نقبض على الزجاجة فوراً ونضعها تحت المياه المتدفّقة ونملؤها.

– نترك حيّزاً صغيراً للهواء لتسهيل الرجّ عند التلقيح ولكي لا تبتلّ السدادة بالنقل.

– نضع السدادة في الزجاجة ونثبّت القلنسوة الورقية أو رقائق الألمنيوم.

- الاعتيان من مجرى مائي أو صهريج أو خزان:

– نضيف 4 أو 5 نقاط من محلول تيوسلفات الصوديوم المائي (100 غ/ل) إلى كل زجاجة عينة نظيفة حجمها 200 مل، ونضع السدادة دون إحكام لمنع دخول الغبار، وحول عنق الزجاجة نربط القلنسوة الورقية أو رقائق الألمنيوم.

– نعقّم الزجاجة في فرن هواء ساخن مدة ساعة في 170 س°، أو في المعقمة مدة 30 د في 120 س°، ويمكن استعمال طنجرة الضغط مدة 30 – 45 د.

– لمنع التصاق السدادة عند التعقيم يُدخل شريط من الورق البني 75 × 10 مم بين السدادة وعنق الزجاجة.

– نمسك الزجاجة من جزئها السفلي ونغطسها في الماء حتى عمق 20 سم تقريباً وفتحتها موجهة قليلاً إلى أعلى، وفي حال وجود تيار توجيه فتحة الزجاجة مقابل التيار، نغلق الزجاجة أو نغطيها كما في السابق.

- الاعتيان من آبار محفورة وما يشبهها:

– نربط حجراً بحجم مناسب إلى زجاجة العينة بخيط، ونربط الزجاجة بخيط طوله 20 م ملفوفاً حول عود ونربطه بخيط الزجاجة، ثم نفتح الزجاجة كما في السابق.

– ندلي الزجاجة مثقلة بالحجر، نحلّ الخيط ببطء، لا ندع الزجاجة تمس جوانب البئر، نغطس الزجاجة في الماء وندليها إلى القاع، وعند امتلائها نلفّ الخيط حول العود لسحبها.

– لا نترك الزجاجة ممتلئة تماماً، ولكن نسكب قليلاً من الماء أو نغطيها كالسابق.

◘ التفتيش الصحي واعتيان المياه

يعتمد برنامج التفتيش الصحي واعتيان المياه للفحص الجرثومي على عبء العمل المرتبط بعدد مرافق المياه الحالية والمقترحة وأنواعها وأحجام نظم المراقبة المستعملة وأنواعها (الجدولان 11–2 و 11–3).

الجدول 11–2 التواتر المقترح لإجراء التفتيش الصحي على إمداد المياه، الحد الأدنى في العام.

المياه الجوفية	
الآبار المكشوفة لتزويد المجتمع	مرة في البداية وحسب متطلبات الوضع فيما بعد.
الآبار المحفورة المغطاة والآبار الأنبوبية الضحلة ذات المضخات اليدوية، الآبار الأنبوبية العميقة ذات المضخات اليدوية.	
الآبار والينابيع والإمدادات المنقولة بالأنابيب	مرة في البداية وبعد ذلك مرة كل خمس سنوات، أو كما يتطلب الوضع.
المياه السطحية ومياه الأمطار	
الإمدادات المرشحة و/أو المعالجة بالكلور والإمدادات المنقولة بالأنابيب، عدد السكان حتى 5000 نسمة	مرة في البداية وبعد ذلك مرة كل خمس سنوات أو كما يتطلب الوضع.
عدد السكان 5000 – 20000 نسمة	كل مرفق مرة في السنة.
المرافق المجتمعية لتجميع مياه الأمطار	مرة في البداية وحسب متطلبات الوضع فيما بعد.

الجدول 11-3 التواتر المقترح لاعتيان وتحليل إمدادات المياه، الحد الأدنى للاعتيان والتحليل.

المصدر وطريقة التزويد	الجرثومي	الفيزيائي/ الكيميائي	ملاحظات
المياه الجوفية			
الآبار المكشوفة لتزويد المجتمع	لا شيء	مرة في البداية لآبار المجتمع	يتوقع عادة حدوث تلوث
الآبار المحفورة المغطاة والآبار الأنبوبية غير العميقة ذات المضخات اليدوية	لا شيء	مرة في البداية وبعد ذلك حسب متطلبات الوضع	الأوضاع التي تتطلب إجراء الفحص: -التغير في الظروف البيئية، -تفشي الأمراض المنقولة بالماء، -الارتفاع بمعدل حدوث الأمراض المنقولة بالماء.
الآبار الأرتوازية العميقة ذات المضخات اليدوية	مرة في البداية وكما يتطلب الوضع فيما بعد	مرة في البداية وكما يتطلب الوضع فيما بعد	
الآبار والينابيع والإمدادات المنقولة بالأنابيب	مرة في البداية وكما يتطلب الوضع فيما بعد	افحص الكلور المتبقي دورياً إذا كانت المياه معالجة بالكلور	
المياه السطحية ومياه الأمطار			
الإمدادات المرشحة و/أو المعالجة بالكلور والإمدادات المنقولة بالأنابيب،	مرة كل شهر	فحص يومي للكلور المتبقي	يزداد التواتر إذا تطلب الوضع ذلك
المرافق المجتمعية لتجميع مياه الأمطار	تدابير الحماية الصحية، فحص جرثومي وحسب إذا تطلب الوضع ذلك	لا لزوم له	

2. **التحليل الفيزيائي** Physical Analysis

Δ درجة الحرارة temperature – تختلف وفقاً لمصدر المياه، ودرجة الحرارة المثلى لمياه الشرب 7 – 12 س.

Δ الطعم والرائحة odour and taste – تسبب المواد العضوية الطبيعية ذات المصدر الحيوي الطعم والرائحة للمياه نتيجة التفكك أو تكاثر الطحالب أو بسبب وجود H_2S، وقد يعود ذلك لوصول المخلفات السائلة؛ أو إضافة مواد كيميائية عند التنقية، وأحياناً بسبب وجود تراكيز عالية لبعض المركبات الكيميائية المذابة.

Δ اللون colour – يمكن أن تكتسب المياه لوناً بسبب العكر ووجود بعض المواد العضوية أو اللاعضوية المنحلة فيها، أو تلوثها بالمخلفات السائلة وبمركبات الحديد أو بسبب نمو الطحالب. يجب إزالة لون المياه حتى لو كانت صالحة للشرب، والحد الأقصى لدرجة تلون مياه الشرب 20 درجة والقيمة المثلى خمس درجات.

Δ العكر، يرتبط عكر المياه بطبيعة المواد العالقة، وكلما ازداد العكر قلَّت الشفافية clarity والعكس صحيح، ويُحدد العكر باستعمال جهاز العكر turbidimeter، والدرجة المسموح بها 2 – 5 ملغ/ل.

Δ المواد الصلبة، الناقلية الكهربائية، النشاط الإشعاعي،... يجب ألا تتجاوز المواد المشعّة النسب المحددة في مياه الشرب.

3. **التحليل الكيميائي** Chemical Analysis

تحدّد الخواص الكيميائية قدرة المياه الأكَّالة وطعمها وضررها ودرجة التلوث ونوعيته ومصدره وطريقة المعالجة المحتملة وتقدير فاعليتها، وكذلك قلوية المياه وقساوتها وتركيز الغُذيّات والعناصر الثقيلة والمواد ذات التأثير الفيزيولوجي كاليود والفلور. ويمكن تقدير مجال صلاحية المياه للاستعمال في مجال الشرب أو الصناعة أو الزراعة اعتماداً على الخواص الكيميائية: الأكسجين المنحل، BOD، COD، النتروجين، الكلور، المواد العضوية الصِغْرية trace، الخواص السمية الكيميائية.

تُجرى الاختبارات الفيزيائية والكيميائية على مصادر مياه الشرب بمجملها مرة في

العام على الأقل، وعند وجود مصادر تلوث يمكن أن تؤثر في حرم المصدر المائي أو الشبكة يُكتفى بالكشف عن المقومات الآتية: الأمونيوم NH_4، النتريت، النترات، COD، كبريت الهدروجين H_2S، الكلور الشاردي Cl^-، الفسفات PO_4.

4. **الصفات الحيوية** Bacterial Properties

يفيد التحليل الجرثومي bacterial analysis في الكشف عن المُمرضات، وفي تحديد مجال التلوث بالمخلفات السائلة؛ ولذلك تُقدر أعدادها، ولاسيما الجراثيم المعوية.

يُجرى التحليل الجرثومي دورياً على مياه الشرب، ويتناسب عدد العينات مع عدد المستهلكين من السكان (الجدول 11-4)، وتتفق مع الكشف عن المقومات الآتية:

الرقم الهدروجيني pH، والعكر NTU، والكلور الحر المتبقي، ودرجة الحرارة T.

ويجب توسيع برنامج الاعتيان لغرض التحليل الجرثومي في حال حدوث الأوبئة والفيضانات؛ وعمليات الطوارئ وفي إثر انقطاع الإمدادات أو أعمال الإصلاح.

ويفيد الفحص المجهري microscopic observe في تحديد وجود الطحالب والحيوانات الأوالي والديدان وأطوارها.

الجدول 11-4 الحد الأدنى لعدد عينات الاختبارات الجرثومية وفقاً لأعداد السكان.

عدد السكان، نسمة	الحد الأدنى لعدد العينات في الشهر
أقل من 500	عينة واحدة
500 – 100,000	عينة واحدة لكل 500 نسمة
أكثر من 100,000	عينة واحدة لكل 10,000 نسمة + 10 عينات إضافية

عند اكتشاف تلوث بالجراثيم المعوية يُعاد الاختبار للتأكّد، ويُعدّ المصدر المائي ملوثاً جرثومياً عند وجود تلوث جرثومي في عينتين متتاليتين. وفي حالات الطوارئ، فإن المختبرات المختصة تتحرى الجراثيم الممرضة والفيروسات.

أما عند المعالجة في محطة مياه الشرب فتُحدد المقومات الآتية دورياً كل ثلاثة أشهر: pH، اللون والرائحة والطعم، العكر، الألمنيوم والحديد والمنغنيز والكبريتات، الكلوروفورم والفينول والبنزين والألكانات المكلورة، الألكينات والبنزينات والفينولات.

ويُجرى الكشف مرة كل ستة أشهر في شبكة توزيع المياه المعالجة وغير المعالجة، عن المقومات الآتية: الكادميوم والكروم والنحاس والرصاص والزنك.

يعد الماء القاتل الأول في أنحاء العالم، أكثر من الحروب والإرهاب معاً، فهناك 3 ملايين شخص يموتون كل عام غالباً دون عمر 5 سنوات من مياه الشرب الملوثة، ولا يمتلك 1.2 بليون شخص مياه الشرب، ويتركّز في الغالب في البلدان النامية ولاسيما تلك البلدان التي لا تتمكّن من الحصول على المياه النظيفة؛ ولذلك كان الاهتمام نحو مشكلات أكثر تعقيداً وخطورة على الصحة العامة، ولاسيما الحالات المسببة للأمراض السرطانية والتشوهات الخلقية الناتجة عن المركبات السامة الموجودة في مياه الشرب (عوض 2008)، هناك 86 مركباً عضوياً على درجة عالية من الخطورة في مياه الشرب (WHO 1993)، يتصف 14 مركبًّاً منها بقدرته المسرطنة الوراثية التي يمكن أن تحدث عند أي مستوى من التعرض، ووفقاً لمنظمة الصحة العالمية في إرشاداتها المعيارية لمياه الشرب لعام 1993 يوجد 23 مركباً لاعضوياً صنَّفتها الوكالة الدولية لبحوث السرطان (الجدول 11-5)، وتعني السرطانات ذات العلاقة بالمياه أن المسرطِنات موجودة في المياه أو منقولة بها أو ناشئة عنها، ولا تقتصر هذه المسرطِنات على المياه، بل هناك أسباب أخرى تتصف بدور إضافي أو محدّد.

الجدول 11-5 المجموعات وفق التسرطن للإنسان وفق الوكالة الدولية لبحوث السرطان.

المجموعة	التسرطن للإنسان وفق الوكالة الدولية لبحوث السرطان IARC	عدد المركبات	منظمة الصحة العالمية WHO 1993
الأولى I	مؤكدة	2	الزرنيخ، الأسبستوس، الكروم VI، النيكل
الثانية 2A	محتملة	3	البريليوم، الكاديوم
الثانية 2B	ممكنة	28	ثلاثي أكسيد الأنتموان، البرومات، الرصاص
الثالثة 3	غير قابلة للتصنيف من ناحية قدرتها المسرطنة لعدم كفاية المعلومات	18	
-	يجب تقييمها لاحقاً في الوكالة	35	

رابعاً. تحقُّق جودة المياه Water Quality Control

1. مواصفات جودة مياه الشرب Drinking Water Quality Standards

لا يزال نصف سكان العالم الثالث محرومين من المياه الصالحة للشرب، وثلاثة أرباعهم محرومون من المرافق الصحية، ينجم أكثر من ثلاثة أرباع أمراض الإنسان في الوقت نفسه من نقص مياه الشرب والافتقار إلى المرافق الصحية.

☼ المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب (جودة المياه) 2007:

(الجدول 11-6)

الجدول 11-6 الجوانب الحيوية الجرثومية والفيروسية [1]

المكون		الحد الأقصى	ملاحظات
في الحالات العادية			
القولونيات الكلية	مستعمرة/ 100 مل	صفر	37°t م بعد 24 و48 سا
المكورات العقدية البرازية		صفر	
القولونيات البرازية		صفر	44°t م بعد 24 و48 سا
العدد الكلي لجراثيم أخرى		200 2000	37°t م بعد 24 سا 22°t م بعد 72 سا
الكلور الحر المتبقي	ملغ/ل	0.2 – 0.4	بين أول الشبكة ونهايتها مع زمن تماس ≥ 30 دقيقة
في حالات الطوارئ			
القولونيات الكلية	مستعمرة/ 100 مل	10	37°t م بعد 24 و48 سا
المكورات العقدية البرازية		صفر	
القولونيات البرازية		صفر	44°t م بعد 24 و48 سا
العدد الكلي لجراثيم أخرى		200	37°t م بعد 24 سا
المكورات العنقودية الممرضة		صفر	-
السلمونيلات		صفر	
الكلور الحر المتبقي	ملغ/ل	0.5	في نهاية الشبكة مع زمن تماس ≥ 30 دقيقة

[1] لا يسمح بوجود الفيروسات في مياه الشرب (صفر / 10 ل)

يبين الجدولان 11-7 و 11-8 الصفات الفيزيائية والكيميائية لمياه الشرب.

الجدول 11-7 الصفات الفيزيائية والكيميائية:

المقومات اللاعضوية ذات الصلة بالصحة العامة (ملغ/ل)

المكون	الرمز	الحد الأقصى المسموح به	ملاحظات
الزرنيخ	As	0.01	
الكادميوم	Cd	0.003	
الكروم الكلي	Cr	0.05	
السيانيد	CN	0.05	
الرصاص	Pb	0.01	
الزئبق	Hg	0.001	
السلينوم	Se	0.01	
الموليبدن	Mo	0.07	
الباريوم	Ba	0.1	
النيكل	Ni	0.02	
الفلور	F	1.5 0.7	من (8-12) م 1 من (25-30) م 1
البور	B	0.3	
الأمونيوم	NH_4	0.05	شرط صلاحيتها جرثومياً
النتريت	NO_2	0.01	مقدرة على أساس N
النترات	NO_3	10	
الفسفات	PO_4	0.5	
الطلب الكيمائي على الأكسجين	COD	2	
اليود	I	-	قيد البحث
الأنتموان	Sb	0.005	

1 هي درجة حرارة المنطقة الجغرافية

الجدول 11-8 الصفات الفيزيائية والكيميائية:

المقومات العضوية ذات الصلة بالصحة العامة (مكغ /ل)

المكون		الحد الأقصى المسموح به
مجموعة الألكانات المكورة	2,1 ثنائي كلور الإيتان	10
	رابع كلور الكربون	2
مجموعة الألكانات المكورة	1,1 ثنائي كلور الايتين	30
	2,1 ثنائي كلور الايتين	50
	ثلاثي كلور الايتين	30
	رباعي كلور الايتين	10
	كلور الفينيل	5
مجموعة مبيدات الهوام	د.د.ت	1
	الكلوردان	0.2
	سداسي كلور البنزين	0.01
	سباعي كلور و سباعي كلور ايبوكسي	0.1
	لندان (غاما، هكساكلور وسيكلوهكسان)	2
	ميتوكسي كلور البنزين	20
	4,2 – دي كلور وفينوكسي حمض الخل	30
	الدرين و ديلدرين	0.03
مجموعة الكلورفينولات	6,4,2 ثلاثي كلور فينول	10
	خماسي كلور فينول	10
مجموعة البنزين ومشقاته	البنزين	10
	المنظفات	200
مجموعة مركبات ثلاثي هالوميتان	الكلورفورم	30
مجموعة الهدروكربونات العطرية متعددة النواة	تركيز مجموعة مركبات الهدروكربونات	0.2
	بنزو 4,3 بيرين	0.01

ويبين الجدول 11-9 المقومات المشعة، أما الجدول 11-10 فيوضح الجوانب الحسية (الجمالية) لمياه الشرب.

الجدول 11-9 المقومات المشعة (بيكريل / ل)

المكون	الرمز	الحد الأقصى المسموح	ملاحظات
نشاط ألفا الإجمالي	–	0.1	إذا حدث تجاوز للمستويات فقد يلزم إجراء اختبارات أكثر تفصيلاً للنويدات المشعة
نشاط بيتا الإجمالي	–	1	المستويات الأعلى لا تدل بالضرورة على أن الماء غير صالح للاستهلاك البشري

الجدول 11-10 الجوانب الحسية (الجمالية) لمياه الشرب *

المكون	الرمز	الوحدة	الحد الأقصى	ملاحظات
رقم الهدروجين	pH		8.5 – 6.5	عند الكلورة يفضل pH < 8
اللون	–	مغ/ل Co- بلاتين	15	
الطعم والرائحة	–	–	مقبولة للأغلبية	
درجة الحرارة	T	مئوية	25 – 5	
العكر	Tur **	NTU	5 وحدات	عند الكلورة يجب Tur < 1
الناقلية	Cond**	ميكروموز/سم	1500	
الخلاصة الجافة	T.D.S	ملغ / ل	1000	
القساوة الكلية	T.H		500	
الكبريتات	SO_4		250	
الكلور الشاردي	Cl		250	
الصوديوم	Na		200	
المنغنيز	Mn		0.1	
الحديد	Fe		0.3	
النحاس	Cu		1	
الألمنيوم	Al		0.2	
التوتياء	Zn		3	
كبريت الهدروجين	H_2S		0	
الفينولات	–	مكغ / ل	0.5	
الكلور الحر المتبقي أ. في حالة عادية ب. في حالة طوارئ	–	ملغ / ل مع زمن تماس ≥ 30 د	0.4 – 0.2 0.5	بين بداية الشبكة ونهايتها نهاية الشبكة

* يجب أن تكون مياه الشرب خالية من العكر، وعديمة اللون والرائحة والرغوة، وذات طعم مستساغ، وألا تزيد المواد ذات التأثير في الصفات الحسية على الحدود المبينة.

** يمكن تجاوز هذه القيمة في حالة عدم توافر مصدر مائي بديل بعد دراسة فنية.

المياه المعدنية والحارة

تتكوّن بطريقة طبيعية في مخازن مائية خاصة ولها تركيب كيميائي ثابت، وتبدو صحية أكثر مقارنة بمياه الشرب العادية بسبب احتوائها تقريباً جميع الشوارد والعناصر الضرورية إذ تعمل على وجود الشوارد في جسم الإنسان وتقوم بتنظيم الجسم وتنقيته من المواد الضارة وتصون توازن كمية المياه التي يفقدها عند الأنشطة.

المياه المعدنية والحارة: مياه معدنية خفيفة تحتوي 250 – 500 ملغ/ل من أملاح مذابة، ومياه معدنية ثقيلة فيها أملاح مذابة تفوق 500 ملغ/ل، ومياه عيون طبيعية غير ثابتة تتدفق من باطن الأرض وليس لها خصوصية فيزيائية أو كيميائية وتوجد في أماكن صخرية مختلفة الأنواع.

أو هي مياه كلسية يحتوي كل لتر منها 140 ملغ من الكلسيوم المفيد لنمو جسم الإنسان.

مياه مغنزيومية يحتوي كل لتر منها 12 ملغ من المغنزيوم الذي يقوّي الجهاز المناعي ويتحكم في ضغط الدم.

مياه كبريتية غنية بالكبريت المفيد لعلاج الروماتيزم والمفاصل والجلد وغيرها من الأمراض.

للمياه المعدنية تركيب ثابت وصحي لجسم الإنسان وتوجد في تكوين أو تراكيب جيولوجية معيّنة، ولها طعم خاص بين حُلو عذْب ومُرّ مالح خفيف أحياناً، أما مياه العيون الطبيعية فيتغير تركيبها الكيميائي والفيزيائي نتيجة اختلاطها بالمياه السطحية المجاورة. إن محتوى المياه المعدنية من الأملاح الكلية المذابة يكون أكبر من 250 ملغ/ل، ويكون محتوى مياه العيون من الأملاح الكلية المذابة أقل من 250 ملغ/ل. تتميز المياه المعدنية بأنها آمنة ولا تحتاج إلى معالجة كيميائية لاستعمالها فهي صحية بحد ذاتها بسبب تخزينها الآمن، وتكون مياه العيون غير آمنة للاستعمال المباشر.

يبين الجدول 11-11 نتائج التحاليل الكيميائية والإشعاعية لبعض الينابيع المعدنية والكبريتية فيها.

الجدول 11-11 نتائج التحاليل الكيميائية والإشعاعية لبعض الينابيع المعدنية والكبريتية في سورية (عساف والمصري 2007).

الموقع	درجة الحرارة	الناقلية S/cm	الرقم الهدروجيني	U ppb	Rn-222 Pci/L
نبع الدريكيش	18.3	237	7.86	–	204.3
دريكيش البلد	18.9	450	7.25	1.42	168.7
وادي العيون	15.4	382	7.61	0.94	61.1
عين ليلون	15.5	446	7.14	–	302.8
حمامات الشيخ عيسى (رجال)	35.6	1118	7.29	–	1476.3
حمامات الشيخ عيسى (نساء)	36.6	1080	7.19	–	1142.3
نبع تدمر الكبريتي	27.7	2630	7.35	5.66	636.2
بئر مقالع زنوبيا	36.8	1795	6.80	0.33	690.9
نبع راس العين الكبريتي	27.8	936	7.32	2.95	185.5
بئر الضبيات (السخنة)	57.5	2687	7.25	0.12	518.2
بئر الشدادة الرعوي	26.3	4005	7.26	3.40	148.1
قصر الحلابات (البئر الروماني)	22.0	790	7.79	4.25	170.8
بئر العباسية	44.5	1540	6.83	–	1404.2
نبع الرحيبة	31.5	2800	7.45	0.30	60.6
نبع الحياة (جباب)	–	–	–	–	10175

تابع الجدول 11-11 بعض الشوارد المعدنية، ملغ/ل.

الموقع	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	NO3	SiO2	TDS
نبع الدريكيش	33.0	12.3	9.8	1.0	140	1.8	15.0	8.3	3.0	221
دريكيش البلد	66.0	15.5	14.0	1.3	248	9.0	24.5	12.5	3.5	390
وادي العيون	55.0	19.8	5.5	0.0	238	5.5	8.5	9.3	8.3	342
عين ليلون	81.0	6.5	7.3	4.0	232	8.5	17.0	20.5	3.5	377
حمامات الشيخ عيسى (رجال)	130.0	28	90	15	293	200	143	6.5	12.5	906
(نساء)	117.5	27.8	90	–	482	200	134	3.8	–	–
نبع تدمر الكبريتي	196	80	300	–	220	385	510	0.6	–	–
بئر مقالع زنوبيا	68	59	140	–	439	342	193	7.2	–	–
نبع راس العين الكبريتي	56	31.8	69	–	220	195	106	5.3	–	–
بئر الضبيات (السخنة)	154	48	292	–	91.5	450	359	6.1	–	–
نبع الحياة	–	–	–	–	–	40.7	22.9	1.5	–	462.7

تابع الجدول 11-11 نتائج التحاليل الإشعاعية.

الموقع	Th-234 Pci/L	Ra-226 Pci/L	Bi-214 Pci/L	Pb-214 Pci/L	Pb-212 Pci/L	k-40 Pci/L
نبع الدريكيش	156.05	53.8	27.7	18.5	6.75	233.4
دريكيش البلد	156.6	62.1	54.8	25.4	5.9	351.0
وادي العيون	163.8	48.9	29.9	12.85	6.2	215.7
عين ليلون	159.8	65.3	13.8	43.2	7.3	153.9
حمامات الشيخ عيسى (رجال)	166.9	66.9	34.0	25.7	6.8	263.0
حمامات الشيخ عيسى (نساء)	322.1	66.8	20.5	16.5	5.7	99.0
نبع تدمر الكبريتي	495.7	94.5	60.2	48.6	8.1	183.6
بئر مقالع زنوبيا	162	60.8	56.7	34.6	8.1	186.3
نبع رأس العين الكبريتي	161.7	65.1	32.4	21.6	N.D	175
بئر الضبيات (السخنة)	N.D	10.8	8.1	13.5	N.D	N.D
بئر الشدادة الرعوي	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
بئر العباسية	N.D	29.7	N.D	N.D	N.D	348.3

N.D الحد الأدنى للكشف.

☼ المواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب، منظمة الصحة العالمية (WHO 1971, 2004).

لا تشجع منظمة الصحة العالمية اعتماد معايير دولية لجودة مياه الشرب، فوضع معايير ولوائح وطنية أمر يلائم الأحوال الوطنية، والمعايير الدولية نقاط استرشاد لجميع البلدان، وقد تختلف طبيعة معايير مياه الشرب وشكلها باختلاف البلدان والأقاليم، إذ لا يوجد أسلوب فريد ينطبق عالمياً، والأساليب التي يمكن أن تعمل في بلد أو إقليم لا تعمل بالضرورة في بلدان أو أقاليم أخرى، ويبرر الكلفة، وهذا أمر يعود لكل بلد في اتخاذ قراره لصون المجتمع والصحة.

يبين الجدول 11-12 الصفات الإشعاعية والجرثومية لمياه الشرب، ويوضح الجدول 11-13 الصفات الفيزيائية، أما الجدول 11-14 فيبين الصفات الكيميائية.

الجدول 11-12 الصفات الإشعاعية والجرثومية.

نشاط أشعة ألفا	-	**3 بيكروكوري / لتر**
النشاط الإشعاعي الإجمالي	-	**30 بيكروكوري/ لتر**
العدد الإجمالي لجراثيم الأشكال المعوية	-	**10 خلايا جرثومية / 100 سم^3 للجراثيم المعوية**

الجدول 11-13 الصفات الفيزيائية لمياه الشرب.

الصفات	القيمة المثلى	الحد الأقصى المسموح به
اللون	أ. 5 وحدات على مقياس البلاتينيوم – الكوبالت ب. لا يظهر اللون في أنبوبة طولها 20 سم	50 وحدة على مقياس البلاتينيوم – الكوبالت
العكر	5 وحدات	25 وحدة
المواد العالقة	–	≥ 0.25 ملغ/لتر
المواد الصلبة الكلية	500 ملغ/لتر	1500 ملغ / لتر
الرائحة والطعم	لا رائحة ولا طعم بأي صورة	–
الناقلية الكهربائية	–	لا تزيد على 1500 ميكروموز/سم^3

الجدول 11-14 الصفات الكيميائية لمياه الشرب.

الصفات	القيمة المثلى	الحد الأقصى المسموح به
الأكسجين الحيوي المستهلك	–	لا يزيد على 3 ملغ / لتر
الأكسجين الكيميائي المستهلك	–	10 ملغ / ل
الرقم الهدروجيني	7 – 8.5	6.5 – 9.2 /تقلل الزيادة فاعلية عملية الكلورة والنقص يساعد في تآكل شبكات التوزيع
المنظفات الشاردية	0.2 ملغ/ ل	1 ملغ / ل
تركيز الأكسجين المذاب	5 ملغ / ل	ألا يقل عن 4 ملغ/ل في عينات المياه التي تُجمع قبل الساعة 12 ظهراً
زيوت معدنية	0 .1 ملغ/ ل	0.3 ملغ / ل
المنظفات الكيميائية	–	0.0005 ملغ / ل
المركبات الفينولية	0.001 ملغ/ ل	0.002 ملغ / ل
الأملاح المذابة	500 ملغ / ل	1000 ملغ / ل
العسر الكلي، كربونات كلسيوم	100 ملغ/ل	500 ملغ/ل
التركيب المعدني	–	لا يزيد على 1000 ملغ / ل
الكلسيوم	75 ملغ / لتر	200 ملغ / ل قد تؤدي الزيادة على المدى البعيد إلى الإصابة بأمراض تصلب الشرايين
الصوديوم	–	600 ملغ / ل تؤدي الزيادة إلى ارتفاع ضغط الدم ولاسيما عند المصابين بهذا المرض

يتبع الجدول 11-14

الكلوريدات	200 ملغ / ل	600 ملغ / ل قد تؤدي الزيادة إلى احتمال زيادة الملوحة وتغيير الطعم
النحاس	0.05 ملغ / ل	1.5 ملغ / ل
الحديد الكلي	0.1 ملغ / لتر	1 ملغ / ل تسبب الزيادة طعماً غير مرغوب فيه للمياه وتكوين رواسب نتيجة نمو جراثيم الحديد
المغنزيوم	ألا يزيد على 30 ملغ/ل إذا بلغ تركيز الكبريتات 250 ملغ/ل وإذا كان تركيزها أقل يسمح حتى 150 ملغ/ل	30 – 150 ملغ / ل
البوتاسيوم	–	10 ملغ / ل
المنغنيز	0.05 ملغ / ل	0.5 ملغ / ل
النترات	–	45 ملغ / ل
الكبريتات	200 ملغ / ل	400 ملغ / لتر/ تسبب الزيادة اضطرابات معوية عند توافر أملاح المغنزيوم والصوديوم
الخارصين	5 ملغ / ل	15 ملغ / ل
الفلوريدات	0.6 – 1.8 ملغ/ ل	الزيادة على الحد الأعلى المسموح به تؤدي إلى تصلب العظام
الزرنيخ	–	0.05 ملغ / ل
الكاديوم	5 ميكروغرام/ل	0.001 ملغ / ل الزيادة تؤثر في الأوعية الدموية وتسبب التسمم الكلوي
السيانيد	–	0.02 ملغم / ل
الرصاص	–	0.05 ملغم / ل
الزئبق الكلي	–	0.001 ملغ / ل للمياه الطبيعية 0.2 ميكروغرام / ل للمياه غير المرشحة
السلينوم	–	0.001 ملغ / ل
الكروم (سداسي التكافؤ)	–	50 ميكروغرام / ل

عملياً، ينبغي بذل جهد مستمر لصون جودة مياه الشرب عند أعلى مستوى ممكن، وليس عند المستوى الموصى به، إذ يجب إدخال المزيد من التحسينات على جودة المياه، وإنشاء بنى تحتية ملائمة ورقابة مستقلة وحازمة.

إن ظاهرة بيع المياه شائعة في أجزاء كثيرة من العالم حيث تحدُّ ندرة المياه أو العيوب التي تصيب البنية الأساسية أو عدم وجودها أصلاً من إمكانات الحصول على الكميات الكافية من مياه الشرب، ويتّبع الباعة طرائق مختلفة لحمل مياه الشرب للبيع للمستهلك، بما فيها الشاحنات ذات الصهاريج وعربات اليد أو الخزانات في الشاحنات الصغيرة، ولا يشمل ذلك بيع المياه المعبأة في زجاجات أو المغلّفة.

والتطهير أبسط وأهم طريقة لمعالجة المياه الملوثة بالأحياء الدقيقة، وينبغي أن تنفذ الهيئات المحلية برامج لرصد المياه التي يوردها الباعة وأن تعدّ، عند اللزوم، برامج تثقيفية لتحسين عمليات سحب المياه ومعالجتها وتوزيعها للحيلولة دون تلوثها، وعلى المستهلكين مسؤولية ضمان ألا تؤثر تدابيرهم سلبياً في جودة المياه، ومن الأفضل أن يضطلع بتركيب وصيانة شبكات المواسير والسباكة في المنازل سبَّاكون مؤهَّلون ومرخَّصون، أو أشخاص آخرون لهم خبرة مناسبة لضمان ألا تؤدي حوادث الوصلات التصالبية أو الدفق الخلفي إلى تلويث إمدادات المياه المحلية. وتستعمل الأسر إمدادات مياه غير منقولة بأنابيب، مثل الآبار الخاصة ومياه الأمطار؛ ما يدفع إلى جهود ملائمة لضمان جمع مياه الشرب وخزنها وربما معالجتها بطريقة مأمونة، ويفيد التثقيف والتدريب المجتمع المحلي في تحقيق هذا الغرض.

لن تكون المواد الكيميائية التي حُددت لها قيمة دلالية موجودة جميعاً في جميع إمدادات مياه الشرب أو في جميع البلدان، وإذا وجدت، فقد لا توجد بمستويات تثير القلق، وعلى العكس فإن بعض المواد الكيميائية التي لم تُحدّد لها قيم قد يكون مثار قلق محلي في ظروف معينة، وهناك معلومات إضافية بشأن مخاطر وأخطار كثير من العناصر الكيميائية على الموقع الإلكتروني:

http://www.who.int/pcs/index.htm
http://www.epa.gov.waterscience

2. ضبط الأخماج المنقولة بالمياه

Controlling Waterborne Infections

تعدّ المياه الملوَّثة مصدراً لانتقال كثير من الجراثيم الممرضة والطفيليات التي تحمل المخاطر للإنسان عند استعماله هذه المياه في الشرب أو الأعمال المنزلية المختلفة، وقد تؤدي مياه الشرب الملوثة إلى انتشار الأوبئة في بعض الحالات، وتختلف الأمراض التي تنقلها وفق العامل المسبب لها، وتقسم العوامل الممرضة إلى عدة مجموعات أهمها:

- مجموعة السلمونيلات salmonellae: توجد في المسالك الهضمية للإنسان وعدد كبير من الحيوانات والطيور، تسبب الحمّى التيفية والحمى نظيرة التيفية وتجرثم الدم والتهاب المعي والمعدة؛ وقد تسبب أحياناً التهاب السحايا عند حديثي الولادة.
- مجموعة الشيغلات shigellae: توجد في الجهاز الهضمي للإنسان وتسبب له مرض الزحار.
- مجموعة الضمات vibrions: أهمها ضمات الهيضة cholera المسببة لحالات وبائية شديدة الخطورة نتيجة سرعة انتشارها وتأثيرها في حياة الملايين.
- مجموعة الفيروسات viruses: عوامل مجبرة التطفل تسبب الأمراض للإنسان، مثل: التهاب النخاع الشللي paralytic polymyelitis والتهابات الفيروسات المعوية enteric viruses، إضافة إلى شلل الأطفال والتهاب السحايا والتهاب الكبد.
- مجموعة الطفيليات parasites: تسبب للإنسان أمراض المسالك الهضمية في الغالب، وأهمها الزحار الأميبي ومرض اللامبليا المعوي وغيرها.

تتميز الحيوانات الأوالي بمقاومتها للكلور ومقدرتها على البقاء فترات طويلة؛ ولذلك فإن غياب الدالات الجرثومية على التلوث لا يعدّ كافياً في اختبارات المياه، فقد تبين بالفعل أن جميع الإصابات بالطفيلي *Creptosporidium* مرتبطة عملياً بمياه الشرب (Smith 1992).

ومن الأمراض المنتشرة بوساطة المياه water dispersal diseases بعض الأميبات وجراثيم *Ligionella*.

3. المخاطر الكامنة في مياه الشرب

Potential Risks of Drinking Water

الهيضة cholera

مرض معوي جرثومي حاد يبدأ فجأة، وأهم أعراضه: براز مائي، تجفاف سريع، وحماض، وقد تحدث إقياءات. والخمج دون أعراض، أكثر حدوثاً من المرض السريري أو الحالات البسيطة التي تتظاهر بإسهال فقط وهي شائعة عند الأطفال، والمستودع: الإنسان المريض والحامل للجراثيم. ينتقل المرض بشرب ماء ملوث ببراز أو إقياء المرضى، أو بأكل طعام ملوث بأيدي ملوثة أو ماء أو براز أو حشرات ناقلة للممرضات.

شلل الأطفال poliomyelitis

مرض فيروسي حاد، تتراوح شدته من عدوى غير متظاهرة إلى علَّة حمَوية لا شللية، إلى التهاب سحايا عقيم، إلى مرض شللي قد يؤدي إلى الوفاة، العامل الخامج: فيروسات شلل الأطفال المعوية، ولها ثلاثة أنماط، النمط I مسؤول عن حدوث معظم الأوبئة، ويرتبط النمطان الآخران بمعظم الحالات الناجمة عن اللقاح، المستودع: الإنسان فقط، طرائق الانتقال: الإنسان بالطريق البرازي الفموي أو بالتنفسي أو بالتماس غير المباشر.

الحمى التيفية typhoid fever

مرض جرثومي عام، يتميز بوجود حمّى وصداع وآلام بطنية، إمساك (أكثر حدوثاً من الإسهال)، ألم مفاصل، التهاب بلعوم ورعاف، أكثر الاختلاطات شيوعاً النزف المعوي وانثقاب الأمعاء وتحدث عادة عند غير المعالجين أو عند تأخر المعالجة، العامل الخامج: السلمونيلة التيفية *Salmonella typhi*، المستودع: الإنسان المريض والحامل. طرائق الانتقال: تناول ماء أو غذاء ملوث ببراز أو بول شخص مريض أو حامل، يمكن أن يخمج الذباب الأطعمة عن طريق النقل الآلي.

التهابات الكبد الفيروسية viral hepatitis VH

التهاب الكبد الألفي hepatitis A virus A: مرض يتميز بحمّى وغثيان وانزعاج بطني يبدأ عادة فجأة، ويعقب ذلك يرقان خلال بضعة أيام، كثيراً ما يكون دون أعراض ويصيب الأطفال، وتزداد شدته مع تقدم العمر، العامل الخامج: فيروس التهاب الكبد

الألفي، المستودع: الإنسان المريض والحامل، طرائق الانتقال: من إنسان لآخر عن الطريق البرازي الفموي أو تناول ماء أو طعام ملوث.

التهاب الكبد البائي hepatitis B virus B: مرض يتميز بغثيان وإقياء وألم بطني ثم يظهر اليرقان، الحرارة غائبة أو خفيفة، تتراوح شدة المرض من حالات غير متظاهرة سريرياً إلى حالات شديدة ومميتة من النخر الكبدي الحاد، العامل الخامج: فيروس التهاب الكبد البائي، المستودع: الإنسان المريض والحامل.

التهاب الكبد سي hepatitis C virus C: مرض يتميز بغثيان وإقياء وانزعاج بطني، ثم يتطور اليرقان، وهو أقل شيوعاً من التهاب الكبد البائي، تتراوح شدة المرض من خمج غير متظاهر سريرياً إلى خمج صاعق ومميت، العامل الخامج: فيروس التهاب الكبد، المستودع: الإنسان المريض أو الحامل، طرائق الانتقال: كما في التهاب الكبد البائي، ولكنه شائع الانتقال بنقل الدم.

التهاب الكبد الدلتاوي D: مرض يبدأ عادة فجأة، تتشابه الأعراض والتظاهرات السريرية فيه مع التهاب الكبد البائي. وهناك النمط E أيضاً.

ويمكن أن تسبب الصفات الكيميائية للمياه بعض الأمراض للإنسان، مثل: تسوس الأسنان، وتآكل ميناء الأسنان، وتورم الغدة الدرقية، واضطرابات معوية وغيرها.

الفلوريد fluoride

يوجد الفلوريد طبيعياً في أغلب المصادر المائية، وهو عنصر أساسي في مياه الشرب، ويُضاف إلى مياه الشرب لتعديل التركيز ومنع تسوس الأسنان عند استهلاكه خلال مرحلة تطور الإسنان ونموها، ويسبب نقصه عن 0.5 ملغ/ل تسوس الأسنان.



الشكل 11-2 التسمّم بالفُلُور (دَغْموس) Fluorosis.

يجب ألا يتجاوز الفلوريد 0.7 – 1.2 جزءاً في المليون (محسوبة كعنصر الفلور)، فلئن زاد على التركيز المسموح به حتى 1.5 ملغ/ل يسبب ظهور البقع البنية أو تفتّت الأسنان (الشكل 11-2)، وعند وجوده بتراكيز عالية جداً يمكن أن يؤدي في النهاية إلى تسمّم تراكمي تنتج عنه أضرار في الهيكل العظمي عند البالغين والأطفال.

اليود iodine

يسبب نقص تركيز اليود في المياه تورّم الغدة الدرقية.

الكلوريد chloride

تؤدي زيادة نسب الكلوريد في المياه إلى تفاعل المركبات العضوية معه وتكوين مركبات أخرى تزيد معها احتمالات الإصابة بأمراض السرطان، ووجود الكلوريد بنسبة عالية يؤثر في الإنسان والحيوانات، يجب ألا يتجاوز تركيزه 200 ملغ/ل، وتجعل التراكيز المرتفعة المياه غير مستساغة للاستعمال المنزلي والصناعي والزراعي.

النترات Nitrate

النترات ضارة بالصحة ولاسيما بالأطفال الرضع، فزيادة تركيزها على 45 ملغ/ل تسبب متلازمة زرقة الأطفال blue babies إذ تتحول إلى نتريت في الجهاز الهضمي يرتبط مع الأكسجين في الدم حتى الاختناق، ويؤدي إلى سرطان المعدة، وتظهر سمية النترات في الحيوان في الكبد، والجرعة أعلى بكثير مما هي للإنسان، هناك ارتباط مباشر بين زيادة مستوى النترات في المياه وحالات مرض السكري لدى الأطفال، كما تسبب أمراض الغدة وحالات السرطان والأمراض الخلقية.

كربونات وكبريتات الكلسيوم والمغنزيوم

تتصف قساوة المياه بقدرتها على خفض درجة تركيز العناصر السامة كالزئبق والرصاص والزنك، وتسبب ازدياد استهلاك الصابون، وتكوين رسوبات في أجهزة وتوصيلات المياه الساخنة، تؤدي زيادة تركيز كربونات وكبريتات الكلسيوم والمغنزيوم في المياه إلى نشوء الاضطرابات المعوية، وتعمل كمادة ملينة ومسهلة للمستهلكين الجدد للمياه، وتسبب إصابات جلدية ومعوية أحياناً.

الصوديوم Na

له تأثيرات سلبية في الري، ولا توجد له مخاطر صحية في مياه الشرب.

الحديد

إن تركيزه الزائد على 0.3 جزء في المليون في المياه غير مرغوب فيه في كثير من الاستعمالات المنزلية والصناعية، فتأثيره سيء في الرائحة والملابس وفي أدوات

وأجهزة الطبخ، تؤدى زيادة تركيز الحديد إلى عسر الهضم عند الإنسان، يظهر التسمم الحاد بمركباته في الأطفال، وأعراضه تقرّح ونزيف حاد في القناة الهضمية والكبد.

الزنك Zn

الزنك غير ضار ولكن طعمه السيئ جعل منظمة الصحة العالمية تنزع إلى تحديد نسبة وجوده في المياه في حدود 5 مغ/ل.

الأمونيوم NH_4^+

ضعيفة السمية في المياه المعتدلة أو القاعدية الخفيفة، ولكنها شديدة السمية في المياه القاعدية، وأي زيادة بتركيزها على 0.05 مغ/ل خطر على الصحة العامة.

الكبريتات Sulfates

تميل المياه الحاوية أملاح الكبريتات للمرارة في طعمها، وتوجد عند مرور المياه خلال الطبقات الصخرية الحاوية الجبس الذوَّاب، وزيادة تركيز شاردة الكبريتات في مياه الشرب على 400 ملغ/ل تسبب الإسهال عند الأطفال، والتراكيز العالية خطرة على المصابين بأمراض الكلى والقلب.

الرصاص

تتراوح نسبة الرصاص في الأغذية النباتية بين 300 – 400 جزء في البليون، وفي الأغذية الحيوانية بين 100 – 300 جزء في البليون، والزيادة على 0.1 ملغ/ل تسبب التسمم بالرصاص، أما الأعراض المتأخرة للتسمم بالرصاص فهي: مشكلات الذاكرة والدوران والغثيان، مشكلات الكلى وفقد الوزن والإمساك، ضعف الرسغ أو الكاحل.

الكادميوم

تظهر أعراض التسمم بعد تراكم كميات منه في الجسم خلال الزمن، وأهم أعراض التسمم بالكادميوم اضطراب وظائف الكليتين، وفي الحالات المتقدّمة لين العظام نتيجة اضطراب دورة الكلسيوم في الجسم.

الزئبق

يؤدي تراكم كميات كبيرة منه في الجسم وفي الدماغ إلى اضطراب عصبي، وفقدان الذاكرة، ومن أعراض التسمم تنميل في الأطراف والشفاه واللسان، وضعف التحكم في

الحركة، والعمى، وتغير في المورثات وولادة أطفال مصابين بالشلل، يعد الزئبق على صورته العضوية أكثر سمية، ومركبات الزئبق اللاعضوية منها الزئبق نفسه، يخرب الكلى والكبد وغيرها، ثابت في البيئة ويبقى خطراً.

الزرنيخ

كان الزرنيخ متاحاً للإنسان منذ القدم، ويستعمل حتى اليوم، ولاسيما في العراق، لإزالة الشعر في الحمامات العامة ولإزالة شعر رؤوس الخراف وأرجلها قبل طهوها، ومركبات الزرنيخ مروّعة، ولاسيما الزرنيخ ثلاثي الأكسيد، لا طعم له ولا رائحة.

الزرنيخ متحرك في المياه الجوفية مسؤول عن الموت أو التأثيرات الصحية غير الملائمة، حتى أصبح بؤساً ولاسيما في بنغلادش وبعض الأجزاء في البنغال الغربي في الهند، إذ يتأثر 40 مليوناً في بنغلادش (Karim, 2000)، وفي الهند أكثر من 1.5 مليون شخص يشربون مياهاً ملوثة بالزرنيخ (Mandal *et al.*, 1998)، ويقدر أن ملايين الناس يشربون مياهاً ملوثة بالزرنيخ بين 0.05 – 0.04 ملغ/ل ويتعرّضون للخطر (Anawar *et al.*, 2002, Das *et al.*, 1996)، يصل إلى مياه الشـرب من المبيدات الحشرية أو من مخلفات المصانع، ويؤدى إلى إصابة الإنسان بسرطان الكبد أو الرئة والموت (الشكل 11–3)، له حالات أكسدة عدة (-3، 0، +3، +5) والصيغة الغالبة الثلاثية As^{III} أو الخماسية As^{V} (Yan *et al.*, 2000, Smedley and Kinniburgh 2002, Tareq *et al.*, 2003)، يكفي 130 ملغ من الزرنيخ لقتل إنسان فوراً، أما تركيز 4 ملغ/ل فيؤدي إلى قتل الجراثيم المسؤولة عن التنقية.



الشكل 11–3 التسمم بالزِرنيخ Arsenicosis.

عموماً، تظهر غالبية المعادن الثقيلة منحلة كشرجبات (Pb^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Cd^{2+}, Co^{2+}, Zn^{2+})، وتصبح غير منحلة على نحو متزايد في رقم هدروجيني قلوي وقريب من الاعتدال، ويبين الجدول 11–15 القيم الحدية لمحتوى المياه الشروبة.

الجدول 11-15 القيم الحدية لمحتوى المياه الشروبة، الدول، ملغ/م^3.

الشاردة		منظمة الصحة العالمية	الاتحاد الأوروبي	سويسرا	فرنسا	الولايات المتحدة	ألمانيا
الألمنيوم	Al	-	50	500	-	-	200
الزرنيخ	As	50	50	-	5	50	40
الباريوم	Ba	-	100	-	-	1000	-
الرصاص	Pb	100	50	50	50	50	40
الكادميوم	Cd	10	5	10	5	10	6
الكروم	Cr	-	50	20 (كروم+6)	50 (كروم+6)	500 (كروم+6)	50 (كروم+6)
الحديد	Fe	*100/1000	300	100	100	50-300	200
الفلور	F	*600/1700	1500-700	1500	1500	2400-1400	1500
النحاس	Cu	*50/1500	50	1500	50	1000-200	-
المنغنيز	Mn	50/500	50	50	50	50-10	100
النترات	NO_3	45	50	40	50/100	45	90-50
النتريت	NO_2	-	1	-	-	-	-
الزئبق	Hg	1	1	3	1	2	4
السلينيوم	Se	10	10	-	10	10	8
الفضة	Ag	-	10	200		50	100
الزنك/توتياء	Zn	*5/15 ألف	100/2000	1500		5000	100/200

* القيمة الموصى بها/ القيمة الحدية

4. **الأحياء المؤذية** Nuisance Organisms

هناك مجموعة من الأحياء المؤذية، مثل: الجراثيم الزرقاء، وجراثيم الحديد، والشُّعِّيات، والفطريات، والطحالب، والقشريات crustacea، والحيوانات الأوالي، يحدث تراكم طبيعي لزج بفعل جراثيم الحديد والمنغنيز، ويحدث الصدأ الحيوي بفعل جراثيم الحديد والكبريت، وهناك مشكلات تنشأ عن العدد الهائل للأحياء الدقيقة.

أسئلة للمناقشة



- عرّف التحليل الحيوي لمياه الشرب.
- قارن بين الترسيب الطبيعي والترسيب الكيميائي.
- تتميز طرائق الاعتيان بوجود مراحل متتابعة كالآتي: ...
- لماذا تختلف نوعية مياه الشرب باختلاف مصدرها؟.
- عدد مخاطر تلوث مياه الشرب.
- أوضح بذكر ثلاثة أمثلة مخاطر مياه الشرب المحتملة.
- ارسم مخططاً توضيحياً لتلوث المياه الطبيعية وتلوث مياه الشرب.

المراجع References

درويش، عبد الكريم (1997). معالجة المياه. دار المعرفة، الطبعة الأولى، دمشق.

الدليل الفني للعاملين في إدارة ومراقبة جودة مياه الشرب (2000). وزارة الإسكان والمرافق بالتعاون مع منظمة الأمم المتحدة للطفولة، يونيسيف، دمشق.

شاغوري، غاليا – كرباج، هيثم – سنو، عدنان (2010). التراكم الحيوي لبعض العناصر المعدنية الثقيلة في سمك البوري Liza abu (Heckle, 1843) في سبخة الجبول – سورية، مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة العلوم الأساسية، العدد 71.

عساف، هدى – المصري، محمد سعيد (2007). مصادر تلوث المياه الجوفية، هيئة الطاقة الذرية السورية، هـ ط ذ س . و/ ت د ع 749 أيلول 2007، تقرير عن دراسة علمية مكتبية، قسم الوقاية والأمان.

عوض، عادل (2008). المسرطنات المائية، قسم الهندسة البيئية – جامعة تشرين – سورية

لحام، هاني (2011). الترصد الوبائي هو ممارسة التفحص المستمر والمراقبة لتوزع وانتشار الأخماج أو العوامل الممرضة أو لعوامل البيئة التي تؤثر في توزع وانتشار الأخماج أو العوامل الممرضة من أجل اتخاذ إجراءات المكافحة المناسبة والفعالة.

منظمة الصحة العالمية (2004). دلائل جودة مياه الشرب، المجلد 1، الطبعة الثالثة (مترجمة)، المنشورات، جنيف.

المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب (جودة المياه) رقم 45 لعام 2007، المراجعة الثانية، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، وزارة الصناعة سورية، رقم قرار الاعتماد 104، تاريخ الاعتماد 7 / 5 / 2007.

Anawar H. M. Akai J., Mostofa K. M. G., Safiullah S., Tareq S. M. (2002). Arsenic poisoning in groundwater: Health risk and geochemical sources in Bangladesh. Enviorn. Int., 27: 597–604.

APHA, AWWA,WPCE(1995). Standard methods for examination of water and waste water, Washington, American public health association, 18th ed. USA.

Cabral João P. S. (2010). Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. Int. J. of Environ. Research and Public Health. 7, 3657-3703; doi:10.3390/ijerph7103657. www.mdpi.com/journal/ijerph

Das D., Samanta G., Mandal B. K., Roy Chowdhury T., Chanda C. R., Chowdhury P. P., Bose G. K., Chakraborti D. (1996). Arsenic in groundwater in six districts of West Bengal, India. Environ. Geochem. Health, 18: 5-15.

Karim M. M. (2000). Arsenic in groundwater and health problems in Bangladesh, Water Res., 14: 1304-1310.

Mandal B. K., Chowdhury T. R., Samanta G., Mukherjee D. P., Chanda C., Saha K., Chakraborti D. (1998). Impact of safe water for drinking and cooking on five arsenic-affected families for 2 years in West Bengal, India. Sci. Total Environ., 218: 185-201.

Smedley P. L., KinniBurgh D.G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, 17: 517-568.

Smith H.V. (1992). Cryptosporiuidium and water: A review. J. Inst. Water Engineering and management. 6 (avg), p. 443 – 450 .

Source: After Department of Health and Social Security, 1982

WHO World Health Organization (1971). International Standard for Drinking Water, 3rd. Ed. Genva.

WHO World Health Organization (2004). Guidelines for Drinking-water Quality. Third Edition, Geneva.

Yan X.-P., Kerrich R., Hendry M. J. (2000). Distribution of the arsenic (III), arsenic (V) and total inorganic arsenic in pore-waters from the thick till and clayrich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada. Geochem. Cosmicha. Acta., 64: 2637-2648.

WHO (1993). "Guidelines for drinking water quality". Second Edition, Vol. 1, Recommendation.

http://www.who.int/pcs/index.htm.

http://www.epa.gov.waterscience

http://www.krg.org/articles/article_print.asp?ArticleNr=10329 – 27k

http://www.raya.com/.../article.asp?cu_no2&item_no=178045&version=1&template_id114&parent_id=54 – 70k

http://www.reefnet.gov.sy/phpBB2/viewtopic.php?t=26709&sid=195d4a3f8dd200776843bb8a5d9353c – 11k

الفصل الثاني عشر

ميكروبيولوجيا معالجة المخلفات السائلة



تصوير د. عدنان

يتوقع من المتعلم في نهاية الفصل أن يكون قادراً على أن:

- يُحدد مرحلة المعالجة الحيوية في طرائق معالجة المخلفات السائلة.
- يستنتج أهمية معالجة الحمأة.
- يقارن بين معالجة المخلفات السائلة المنزلية والصناعية.
- يربط بين التنمية ومعالجة المخلفات السائلة.
- يفهم الأسباب الكامنة لمخاطر المخلفات السائلة.
- يصف المراحل الأساسية لمعالجة المخلفات السائلة
- يقدّر أهمية معالجة المخلفات السائلة بالطرائق المتقدمة.

مفاهيم مفتاحية

□ **المخلفات السائلة** Wastewater

تتكون أساساً من الماء، ومواد صلبة عضوية ولاعضوية ينظر إليها كملوثات منحلة أو رسوبة، بعض مكوّناتها قابلة للترسيب أو التفكك أو غير قابلة، مفيدة أو سامّة، وهي ثلاثة أقسام: المنزلية والصناعية والزراعية.

□ **الحمأة** Sludge

مادة صلبة تنتج عند معالجة مياه الصرف، خطرة ولكنها مادة سمادية بعد معالجتها، وقد تُستعمل لإنتاج الغاز الحيوي وجزئياً في المعالجة.

□ **المعالجة** Treatment

عملية يجري تطبيقها على المخلفات تتكوّن من مراحل وفقاً لخصائصها والغرض من استعمالها، وتفيد في النهاية في تحسين البيئة والصحة.

□ **طريقة الأراضي الرطبة** Wetlands

هي محطات ومواضع لمعالجة المخلفات السائلة باستعمال النباتات المائية الراقية، ولا ريب في أن الأحياء الدقيقة عماد عملية المعالجة.

□ **إزالة السمية** Detoxification

عملية التخلص من السموم الكيميائية، كالفينولات والهدروكربونات والذيفانات والعناصر الثقيلة، باستعمال الأحياء الدقيقة و/أو تطبيق الطرائق الكيميائية.

□ **المعالجة الثانوية** Secondary Treatment

عملية يجري تطبيقها على المخلفات المعالَجة أوليّاً بهدف التخلص من معظم المواد العضوية باستعمال الجراثيم وغيرها من الأحياء الدقيقة، من أهم مراحل معالجة مياه المخلفات.

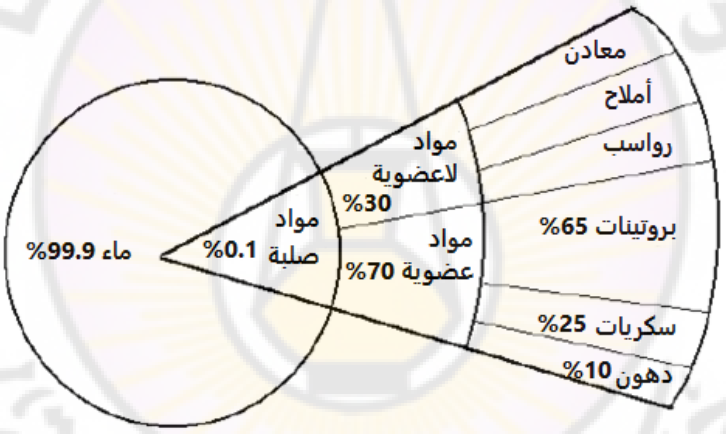
□ **المعايير والمواصفات القياسية** Standards

مجموعة المواصفات والمقاييس التي وضعت على مستوى عالمي أو وطني أو محلّي، تتضمن القيم المسموح بها لمادة محدّدة أو دالة معيّنة، أو سامّة.

أولاً. معالجة المخلفات السائلة المنزلية

Municipal (Domestic) Wastewater Treatment

تحتوي مياه الصرف المنزلي (الحضري) 99.9% من الماء والباقي مواد عضوية ولاعضوية أُضيفت إلى المياه نتيجة استعمالها أو ما أضيف إليها عند الاستعمال، ومصادر هذه الملوثات هي الإنسان والحيوانات والنباتات والأحياء الدقيقة، تكوّن المواد العضوية 70% من إجمالي المواد والباقي مواد لاعضوية، وتتكوّن المواد العضوية من البروتينات 65% والكربوهدرات 25% والدهون، أما المواد اللاعضوية فمكوّنة من الكبريتات والكلوريدات والفسفور والمعادن الثقيلة (الشكل 12-1).



الشكل 12-1 مكونات مياه الصرف المنزلي وتراكيزها ومصادرها المختلفة.

تعدّ مواد مياه الصرف الحضري ملوثات، وهي على هيئة مواد عالقة سهلة الإزالة بالترسيب، أما المواد المذابة العضوية أو اللاعضوية فإزالتها أكثر صعوبة، وهناك جزء كبير من المواد العضوية قابلة للتحلل، مثل: السكريات والكحولات، وتمثّل مصدراً غذائياً للجراثيم والأحياء الدقيقة. وبناء عليه، فإن محطات المعالجة تُصمَّم لإزالة أقل من غرام واحد من الملوثات في اللتر الواحد من المياه، والغرض من ذلك هو:

- ✓ الحد من انتشار الأمراض والأوبئة الناتجة من وجود المُمرضات والسُّموم.
- ✓ حماية المياه السطحية والجوفية وعناصر البيئة عموماً من التلوث.
- ✓ إعادة استعمال مياه الصرف بعد المعالجة.

تتكون مياه الصرف المنزلي من: مخلفات بشرية (وحيوانية أحياناً)، ومخلفات منزلية، ومياه المطر وما يرتشح منه، ومخلفات صناعية. تبدو على هيئة سائل عكِر يحتوي كثيراً من المواد العالقة الصلبة، لونها رمادي عندما تكون حديثة، وتنبعث منها رائحة كريهة، وتحمل كثيراً من المواد الطافية والصلبة الناتجة عن حياة الإنسان ومخلّفات الأغذية وما يصل إلى شبكة الصرف من مواد صلبة كالورق وغيرها، ومع مرور الوقت يتحوّل لونها من الرمادي إلى الأسود وتصبح ذات رائحة كريهة منفّرة.

تُصنّف مياه الصرف من حيث التركيز إلى (الجدول 12-1): مخلفات شديدة ومتوسطة وضعيفة، وتتصف المخلفات الشديدة باحتوائها تراكيز عالية من المواد الصلبة ولاسيما العضوية، والضعيفة بخلاف ذلك، يختلف مقدار التراكيز المعتمدة لتصنيف مياه الصرف على أساسه باختلاف الأماكن، فقد تعدّ مياهٌ شديدة التركيز في بعض الأماكن متوسطةَ التركيز في الوقت نفسه في أماكن أخرى، فمثلاً:

تتحكّم عوامل مختلفة في درجة المعالجة المطلوبة، مثل: كمية مياه الصرف وخصائصها، والهدف النهائي للمعالجة وفق اختلاف مواضع الصرف واستعماله، ويرافق عملية إزالة المواد الصلبة وتفكّك المواد العضوية تكوّن مواد صلبة تسمى الحمأة sludge التي يجب التخلّص منها بطريقة لا تضرّ بالبيئة والصحة، أما المعايير التي تحدّد اختيار نظام المعالجة فهي: BOD، COD، pH، ودرجة الحرارة ومقدار المواد الصلبة غير القابلة للتفكك وسمية المنظومة ومقاومة التفكك الحيوي.

تخضع مياه الصرف في محطات المعالجة لأربع مراحل من المعالجة عادة، هي: المعالجة التمهيدية، والمعالجة الأولية، والمعالجة الثانوية، والمعالجة الثالثية.

1. المعالجة التمهيدية Preliminary Treatment

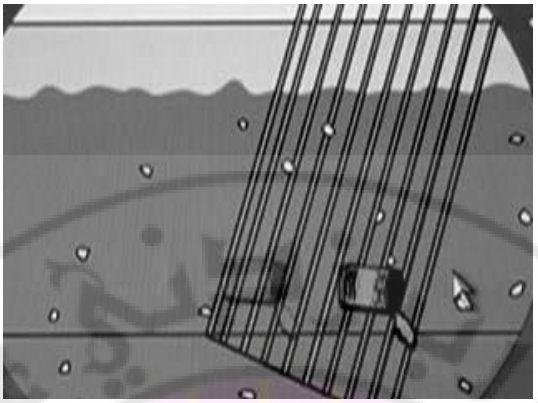
تفيد المعالجة التمهيدية في منع دخول المواد الصلبة الكبيرة وغير القابلة للتفكك إلى وحدات المعالجة الحيوية؛ ما يؤثّر في كفاءة المعالجة فيها، ويزيد من كلفة التشغيل والصيانة، وتفادي خطر انسداد المضخات، والحد من تآكل جدرانها وجدران الأنابيب.

الجدول 12-1 أصناف مياه الصرف بناء على تركيز الملوثات (ملغ/ل) باستثناء المواد الصلبة المترسبة (مل/ل).

المكوّن	التصنيف		
	شديدة التركيز	متوسطة	ضعيفة التركيز
المواد الصلبة الكلية	1200	720	350
المواد المذابة الكلية	850	500	250
المواد العالقة	350	220	100
المواد الصلبة المترسبة مل/ل	20	10	5
الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين	400	220	110
الطلب الكيميائي على الأكسجين	1000	500	250
النتروجين الكلي	85	40	20
الفسفور الكلي	15	8	4
القلوية/ممثّلة بكربونات الكلسيوم	200	100	50
الدهون	150	100	50

ومن مرافقِها:

- ✓ المصافي Screens، هي الشبكة أو الصفيحة المثقبة ذات القضبان المتوازية الرأسية أو المائلة عن الأفق كالأمشاط racks، تزيل المواد الصلبة الكبيرة من المياه (الشكل 12-2)، والساحنات comminutors أحياناً لطحن المواد الصلبة المتبقية في المياه بعد الغربلة.
- ✓ غُرفة مصايد الرمل grit chamber (المهواة) تزيل الحصى والرمل من المياه.
- ✓ غرفة التعويم flotation تزيل الدهون والزيوت.
- ✓ أجهزة قياس التدفق.
- ✓ وبرك الموازنة equalization.



الشكل 12-2 المصافي Screens.

2. المعالجة الأولية Primary Treatment

تفيد المعالجة الأولية في إزالة المواد الطافية والمواد القابلة للترسيب خلال فترة معينة من الزمن، ومن مرافقِها:

- خزانات الترسيب الأولي primary sedimentation التي تزيل 50% من BOD في المعالجة الأولية إضافة إلى 60% من المواد العالقة الكلية.
- أحواض إمهوف Imhoff tanks التي تتكوّن من قسم علوي للترسيب وآخر سفلي لتخزين الرَّسوبات، قلّما تزيل هذه الطريقة المواد العالقة غير القابلة للترسيب والمواد المنحلة والأحياء الدقيقة لكنها تزيل بعض النتروجين والفسفور، إذ إنها:

- تزيل نحو 40% عادة من المواد العضوية فتنخفض BOD نحو 25 – 50% (20-40%) عما في المخلفات السائلة الخام قبل هذه المرحلة من المعالجة.
- تزيل نحو 70% (40-60%) من المواد الصلبة الكلية.
- تزيل نحو ثلثي الزيوت والشحوم.

- المرقِّدات settlers حيث يجري الترسيب والترويق clarification الأولي، وهي على أنواع، مثل:

- المرقِّدات ذات الصفيحة المتطبِّقة lamella plate.
- المرقدات الأنبوبية tubular settlers، وهذه الطريقة أكثر حداثة وكفاءة.

3. المعالجة الثانوية Secondary Treatment (الحيوية Biological)

تقوم المعالجة الثانوية على تفكيك معظم المواد العضوية والتخلص منها بفعل الجراثيم والأحياء الدقيقة أو بالعمليات الكيميائية، وهي من أهم مراحل معالجة المخلفات السائلة إذ يمكنها إزالة 85% من BOD، وإزالة 95% من المواد الصلبة العالقة من المياه الداخلة إليها.

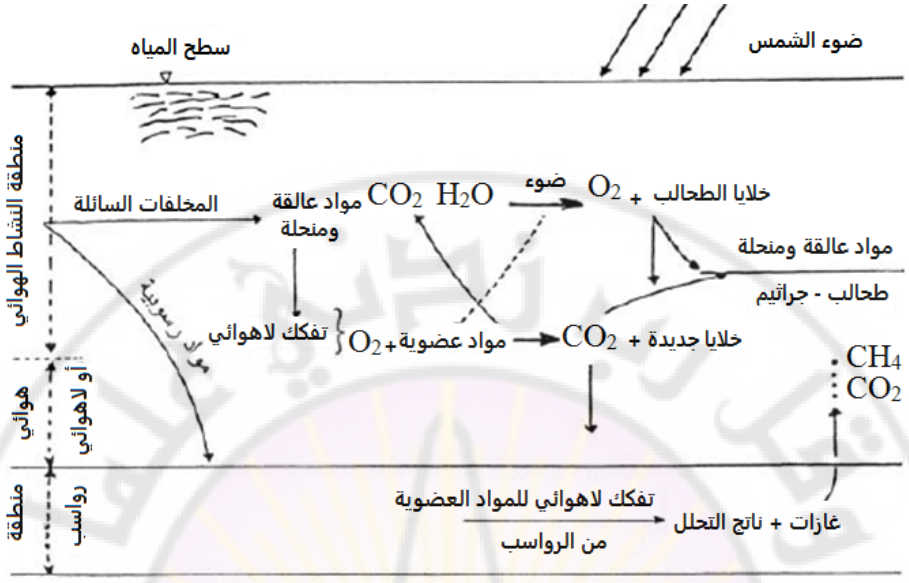
1.3 برك الاستقرار (الموازنة) stabilization ponds، وهي على ثلاثة أنماط:

- البرك اللاهوائية anaerobic ponds
- البرك الاختيارية facultative ponds
- البرك الهوائية أو الإنضاج aerobic or maturation ponds

تفيد الطحالب في المعالجة إذ إن سيادتها في البركة تسمح بالقيام بوظيفتين أساسيتين:

- ✓ الأولى إنتاج المواد العضوية الضرورية لحياة ونمو مختلف الأحياء المائية الأخرى نظراً إلى مقدرتها الرائعة على تحقيق التركيب الضوئي.
- ✓ الثانية توليد الأكسجين الضروري لحياة الأحياء المائية الأخرى عموماً ولإنجاز عمليات التنقية الذاتية للمياه على وجه الخصوص، فالمياه الملوثة الخالية من الطحالب يعوزها الأكسجين حتماً، فالطحالبُ تحرّض الجراثيم على تفكيك المخلفات العضوية والتخلص منها، وتبقى في علاقة تعايش تساعد في عملية المعالجة (الشكل 12-3)، ولا تتحقق التنقية الذاتية في البيئة المائية عموماً في غياب الطحالب التي تتميز بمرونة من النواحي الفيزيولوجية.

ففي دراسة على محطة معالجة مياه الصرف المنزلي بالسلمية (حماة) تبين أن مجموعة من الطحالب والجراثيم الزرقاء تسود في أحواض المعالجة (الجدول 12-2)، ففي أحواض الأكسدة تسود الطحالب الخضراء على طول العام في درجة حرارة ملائمة تقع بين 9.5 – 29 س، وتسود الجراثيم الزرقاء في الأحواض الأولى من المحطة مقارنة بالأخيرة نظراً إلى إمكانات تحمُّلها وفرة المواد العضوية وقلة الأكسجين المنحل، وتسود *Spirulina* في حوض الإنضاج مقارنة بالطحالب الأخرى بسبب ارتفاع pH.



الشكل 12-3 التآثرات بين الطحالب والجراثيم في عملية المعالجة.

الجدول 12-2 الطحالب والجراثيم الزرقاء في محطة معالجة السلمية (عوض وآخرون 2000).

الجنس	المجموعة	الجنس	المجموعة
Chlorella	الطحالب الخضراء	*Spirulina*	الجراثيم الزرقاء
Microactinium		*Oscillatoria*	
Scenedesmus		*Anabaena*	
Chlamydomonas		*Nostoc*	
Chlorococcum		*Navicula*	المشطورات
Cladophora		*Pinnularia*	
Closterium		*Hantzschia*	
Oocystis		*Euglena*	اليوغلينات
Pediastrum		*Phacus*	
Eudorina			
Pandorina			

تنخفض الشفافية في الأحواض الأولى بوجود مواد عالقة؛ ولا تتمكن الطحالب من القيام بالتركيب الضوئي الفعال بعيداً عن السطح، ويزداد عدد الأنواع في الفترة الباردة، أي يزداد التنوّع وتزداد الغزارة بمعنى عدد الخلايا في المليلتر الواحد، وقلة الأنواع في الفترة الحارة، مع ملاحظة نقصان نسبة الطحالب اليوغلينية مع ازدياد الرقم الهدروجيني على القيمة 8، ولاسيما في الأحواض الأخيرة، وتتميز أحواض المعالجة في النهاية بوجود ذروتين الأولى ربيعية والأخرى خريفية.

تزيد دورة حياة الطحالب الخضراء على 18 يوماً، فبعد 18 – 20 يوماً يسود اللون الأخضر في حوض الإنضاج التجريبي، وينمو بعض الطحالب الخيطية في أحواض المرحلة الثالثة وفي حوض الإنضاج التجريبي، مثل: الكلادوفورا *Cladophora*؛ ما يدل على أن هذه المياه ذات تركيز مرتفع من الأكسجين.

وتعدّ محطة عدرا من أكبر محطات المعالجة في المنطقة العربية حيث صممت أساساً لمعالجة 485 ألف م^3 يومياً (وكمية عظمى 970 ألف م^3 يومياً في الشتاء) من مياه الصرف الصحي المنزلي بطريقة الحمأة المنشَّطة؛ فتعمل على تخفيض دالات التلوث BOD وSS إلى 20 ملغ/ل و30 ملغ/ل تباعاً، وكان لها التأثير الأكبر في الحفاظ على مصادر المياه ورفع التلوث عن نهر بردى.

تقع المحطة شمال شرقي دمشق على مساحة 600 ألف م^2، ويمكن استعمال المياه المعالجة لري 18 ألف هكتار من أراضي الغوطة الشرقية فيما لو عملت المحطة بكامل طاقتها، وتقوم المحطة بمعالجة مياه شبكة صرف المدينة المكونة من: مياه الصرف المنزلية، وبعض الصناعات الخفيفة بعد معالجة أولية، ومياه المطر الملوثة بمخلفات الطرق وسطوح الأبنية، والمواد الملوثة الناتجة عن الصرف الزراعي، وتنتج الحمأة عن عملية معالجة المياه، وتجري معالجتها حتى تصبح آمنة للاستعمال في تخصيب التربة، ويمكن أن تفيد في توليد كمية من الغاز الحيوي تلبي جزءاً من احتياجات المحطة من الكهرباء.

ويمكن تحديد كفاءة وعمل محطة عدرا كالآتي:

BOD	إزالة جيدة ونسبتها 94.7%
COD	الإزالة جيدة ونسبتها 89.7%
TSS	إزالة جيدة ونسبتها 94.2%

يقع تركيز الحمأة المرسلة من الترسيب الأولي بحدود 35 – 45 غ/ل، وكمية المادة العضوية الفعالة بحدود 50 – 60%، وتتحرر الطاقة في الهواضم وفي أثناء عملية التحليل الحيوي للمواد العضوية لاهوائياً: الميتان 60 – 70%، وثنائي أكسيد الكربون 30 – 40%، والماء.

2.3 نُظم النمو العالق suspended growth systems

– الحمأة المنشَّطة activated sludge

– مفاعل الدفعة المتتابعة sequential batch reactor

– الأحواض الضحلة المهواة aerated lagoons

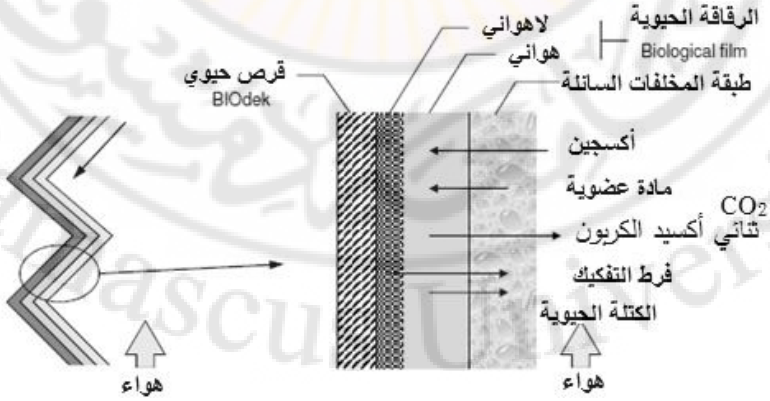
في طريقة التهوية المديدة التقليدية، وهي إحدى طرائق الحمأة المنشَّطة، يُهمل الترسيب الأولي، وتجري معالجة التراكيز العالية للمواد العضوية حيوياً، وتصبح فيها أحواض التهوية أكبر بثلاث مرات تقريباً مما في طريقة الحمأة المنشطة التقليدية، وهي تستنزف طاقة كبيرة، ولكنها تنتج حمأة أقل ورائحة أقل، قابلة للتطبيق في المحطات صغير الحجم، سهلة التشغيل والصيانة نسبياً.

3.3 نظم الرقاقات المثبَّتة fixed film systems

Δ المرشحات الحيوية العادية conventional biofilters

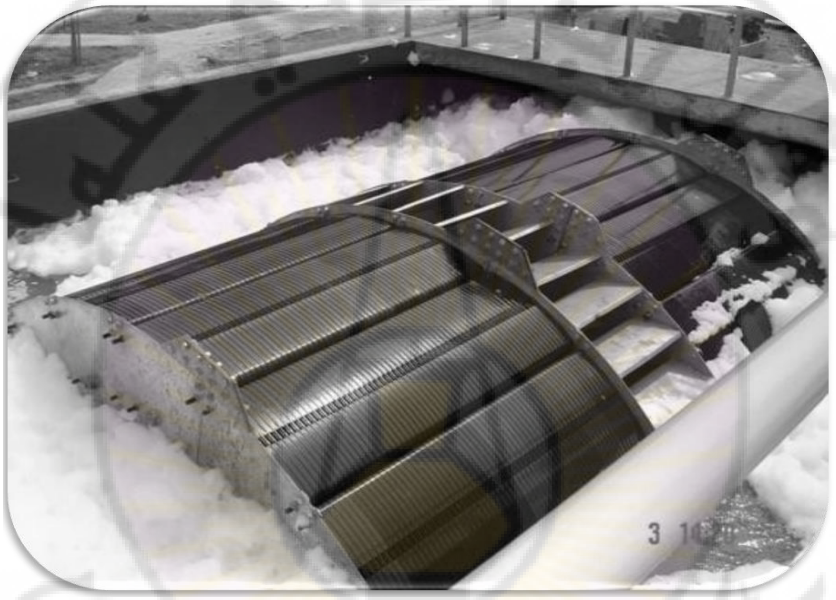
Δ المرشحة النضاحة (المهواة) trickling filter (aerated)

يتراكم الهلام اللزج نتيجة تنامي الأحياء الدقيقة على الوسائط الحجرية أو غيرها، وتقوم العملية على رش مياه الصرف على السطح (ضخ الأكسجين) فتجري المعالجة على سطوح المادة الراشحة (الشكل 12–4) بفعل الأحياء الدقيقة إضافة إلى المعالجة بالترشيح وفق مكونات المادة المرشحة وأحجامها.



الشكل 12–4 بنية المرشحة النضاحة trickling filter، مقطع عرضي في الطبقة السطحية. المخلفات السائلة التي تخضع للمعالجة في TF يجب أن تُعالج أولياً لتفادي: مشكلات الرقاقات الحيوية، وانسداد المرشحة (GEA Heat Exchangers).

Δ الملامسات الحيوية الدورانية rotating biological contactors RBCs: تعمل على معالجة المخلفات السائلة المنزلية أو الصناعية القابلة للتفكك، وتتكوّن من محور دوراني محاط بالوسائط، وتسمى الوسائط والمحور معاً الأسطوانة (البلاستيكية)، وعلى سطوح الوسائط يتكوم الهلام اللزج في الظروف الملائمة (الشكل 12-5)، وتشبه هذه العمليات ما يجري في المرشحات النضَّاحة.



الشكل 12-5 الملامسات الحيوية الدورانية Rotating biological contactors RBCs.

□ الترسيب الثانوي secondary sedimentation: تستعمل أحواض قبل بدء المعالجة الحيوية – فتسمى أحواض الترسيب الأولي أو بعد المعالجة الحيوية المفككة للمواد الصلبة العضوية – وتسمى أحواض الترسيب الثانوي، ويتمكّن حوض الترسيب الأولي عادة من إزالة 50 – 70% من المواد الصلبة العالقة، ومن 25 – 40% من BOD، وهذه الأحواض لا تختلف في طبيعة عملها في الترسيب الأولي أو الثانوي (الشكل 12-6)، وهي تصمّم عادة بناء على فترات حجز تتراوح بين 30 – 60 دقيقة تكون كميات المواد المترسبة فيها أقل، أو 90 – 150 دقيقة عند التصريف المتوسط، ويجري كشط الزبد من على السطح والتخلص منه.



الشكل 12-6 خزان الترسيب النهائي.

ووفقاً لتقرير مديرية الصرف الصحي بوزرة الإسكان فإن عدد محطات المعالجة في سورية (خليل 2011) يقدر كالآتي:

السنة	2010	2011	2012	2013	2014	2015
عدد محطات المعالجة	33	71	112	113	222	276

4. المعالجة المتقدمة Advanced Treatment

المعالجة الثالثية tertiary treatment: تستعمل للتخلص من المواد العالقة وبقايا المواد الصلبة وجراثيم الأشكال المعوية التي بقيت بعد المعالجة الثانوية، وتشمل عمليات التخلص من الغُذيّات كالنتروجين والفسفور والمواد العالقة وغيرها، تستعمل في المعالجة الثالثية المرشحات الرملية والحصوية والتي تعمل بالضغط والثقالة، وإضافة المخثرات، وتتألف مرافقها من وحدات معالجة فيزيائية وكيميائية وحيوية.

ويجب الأخذ في الحسبان أن استعمال المخثّرات الكيميائية للتخلّص من مواد صلبة إضافية يحتّم في النهاية التخلّص من حمأة إضافية، وإن أي جرعة زائدة قد تسبب السُمية في نظم المعالجة الثانوية وقد تقتل الأحياء أو تحدّ من نشاطها، ويمكن استعمال مادة معينة أو خلطة من المركبات، بجرعة محددة سائلة أو صلبة، وتحدّد الجرعة وفقاً للشروط الآتية:

- ✓ تحديد كمية المواد الصلبة في التصريف الداخل والخارج.
- ✓ احتساب كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة.
- ✓ اختبار الكفاءة بالتصريف الخارج.
- ✓ المراقبة البصرية لمظهر التصريف الخارج.
- ✓ تحديد الجرعة باختبار الجرة Jar test في المختبر.

◊ إزالة الفسفور phosphorus removal: بالترسيب باستعمال الجير والترشيح بعد إجراء التنديف بكبريتات الألمنيوم فتتكوّن نُدف فسفات الألمنيوم التي تميل للترسيب، وعندئذ تجري إزالة خليط كبريتات الألمنيوم والفسفور والمواد الصلبة، وتفيد مرشحة رملية لتحقيق الغرض، وتنحصر المعالجة الحيوية في: التفكيك الحيوي للمواد العضوية المنحلة والغروانية غير القابلة للترسيب، وتحويل الأمونيا أو النتروجين العضوي إلى النترات، ونزع النتروجين، وهضم الحمأة.

◊ النترجة ونزع النتروجين nitrification and denitrification: يمكن استعمال الجراثيم ذاتية الاغتذاء الملتصقة على حامل، يجري التخلص من النترات بوجود الهدروجين أو الكبريت، كالآتي:

$$2NO_3^- + 5H_2 \rightarrow N_2 + 4H_2O + 2OH^-$$

$$6NO_3^- + 5S + 2H_2O \rightarrow 3N_2 + 5SO_4^{2-} + 4H^+$$

والجراثيم غيرية الاغتذاء الملتصقة على حاملٍ تستعمل الكربونَ والنتروجين، مثل: الإتِانول والمِتانول وحمض الخل والمولاس والغلوكوز، ويكون الوسط منقوص الأكسجين anoxic، فترجع النترات إلى نتريت ثم إلى أكسيد نتريك nitric oxide وأكسيد النتروز وغاز النتروجين كالآتي:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

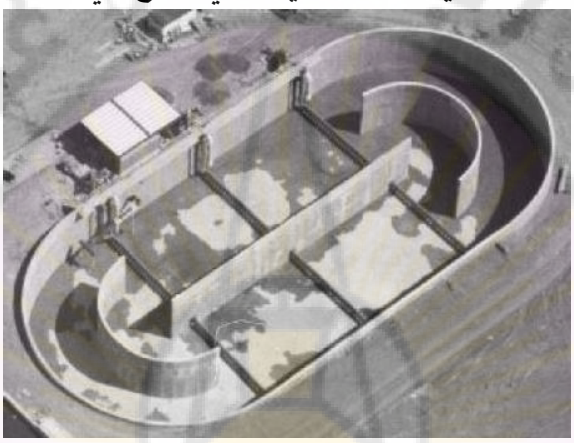
يمكن أن تنطلق المركبات الأخيرة في الجو، ويجري التفاعل بوجود الإتانول كالآتي:

$$12NO_3^- + 5C_2H_5OH \rightarrow 6N_2 + 10CO_2 + 9H_2O + 12OH^-$$

وتساهم أنواع الجراثيم غيرية الاغتذاء الآتية في نقل نتروجين النترات إلى نتروجين غازي:

Alcaligenes, Aerobacter, Achromobacter, Lactobacillus, Flavobacterium, Brevibacterium, Bacillus, Spirillum, Pseudomonas, Proteus, Micrococcus.

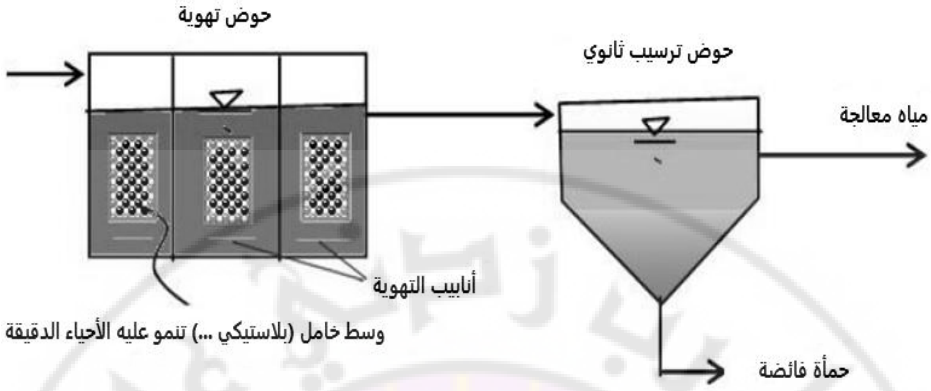
المعالجة الرابعية quaternary treatment: تستعمل للتخلص من الأحياء الدقيقة وبقايا المواد المنحلة والعالقة، عن طريق: الامتزاز والتبادل الشاردي والتناضح العكسي، وتطهير المخلفات السائلة بالكلورين، وثنائي أكسيد الكلورين، والأوزون، والأشعة الفَوْبنفسجية، وكذلك خنادق الأكسدة oxidation ditches التي تتألف من قناة على هيئة حلقة عمقها 1 – 1.5 م (الشكل 12–7)، توضع على امتداد عرضها فرشاة أو أداة تعمل على تدوير المياه وتهويتها، في الواقع هي عملية تهوية موسعة.



الشكل 12–7 صورة جوية لمحطة معالجة تعمل بطريقة خنادق الأكسدة.

ويمكن استبدال خنادق الأكسدة بطريقة النمو المتصل attached growth، يُستعمل فيها وسط (غالباً بلاستيكي) على هيئة شبك وقطع متصلة متداخلة تنمو عليها الأحياء الدقيقة عند مرور المخلفات السائلة مكونة رقاقة حيوية في خزان التهوية تتعرض المواد العضوية للأكسدة على سطحها، قابلة للتطبيق في المواقع الصغيرة، ويمكن تشغيلها بسهولة من غير خبرة، وتتميز هذه الطريقة (الشكل 12–8) بالآتي:

- ✓ سهولة التشغيل والصيانة؛ فهي لا تتطلب استعادة الحمأة المنشَّطة.
- ✓ قادرة على إزالة النتروجين.
- ✓ ملائمة لتذبذب تدفُّق مياه الصرف الواردة والحمل العضوي.
- ✓ كمية الحمأة الفائضة صغيرة جداً وذات ثباتية في تخمر المواد العضوية.
- ✓ يمكن حذف عملية التصفية الأولية في محطّات المعالجة الصغيرة كما في المعالجة الفردية.



الشكل 12-8 طريقة النمو المتصل المغمور.

وتفيد محطات النباتات المائية aquatic plants في تقييم تركيز العناصر الثقيلة، ففي نهر النيل استعملت النباتات المائية لتقدير العناصر الثقيلة كالحديد والكادميوم والنحاس والمنغنيز والرصاص والزنك، ويبين الجدول 12-3 تراكيزها في المياه والنبات (Ali and Soltan 1999)، مثل:

الطافية الحرة free-floating: *Eichhornia crassipes*.

المغمورة غير المتجذرة: *Ceratophyllum demersum*.

المغمورة المتجذرة: *Potamogeton crispus*.

وقد تبين أن النباتات المائية تمتز الرصاص عند تعرّضها لمقدار 20 جزءاً في البليون (Gupta and Chandra 1994)، ويمكن استعمال بعض الأنواع كدالات بيئية، وتبين أن المعادن الأساسية كالزئبق والرصاص والكادميوم والنحاس توجد في جميع عينات المياه من نهر إبرو (الجدول 12-4)، وتباينها غير معنوي من موقع لآخر (Ramos *et al.*, 1999).

ويجري تقييم محطات المعالجة عادة على أساس الصحة العامة وصون البيئة أكثر من تقييمها على الأهمية الاقتصادية، وهذا لا يعفينا من البحث عن أسلوب المعالجة الأكثر اقتصادية الذي يحقق المعايير البيئية المطلوبة، توجد في سورية اليوم محطات لمعالجة الصرف المنزلي، وإن كانت تعاني مشكلات في التشغيل والصيانة والمشكلة الأهم هي عدم وجود حلول علمية لمعالجة الحمأة.

الجدول 12-3 تراكيز المعادن الثقيلة في المياه والنبات المائي *Ceratophyllum demersum* من محطات متباينة على طول نهر النيل (Ali and Soltan 1999).

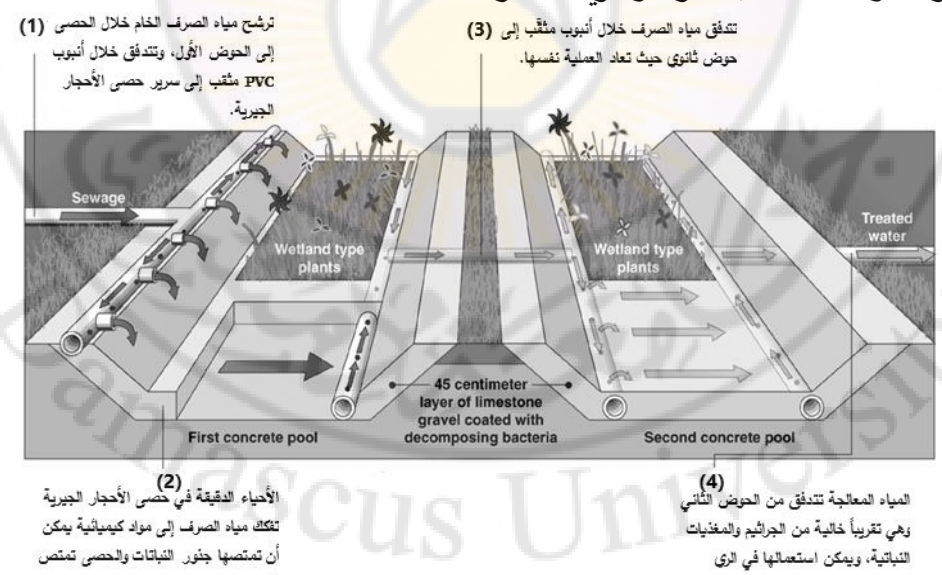
المعدن	المادة: ماء ملغ/ل، نبات ملغ/كغ	أسوان	المنصورة	دمياط	راس البر
الكادميوم	ماء	0.001	0.002	0.003	0.003
	نبات	0.02	0.05	0.35	0.25
النحاس	ماء	2.03	0.78	1.82	0.89
	نبات	69.5	63.3	169	118
الحديد	ماء	0.30	0.29	0.38	0.08
	نبات	5527	4520	2200	380
المنغنيز	ماء	0.036	0.042	0.092	0.08
	نبات	4314	3010	1800	379
النيكل	ماء	0.042	0.053	0.129	0.08
	نبات	15.2	12.1	46.9	14.2
الرصاص	ماء	0.003	0.018	0.003	0.009
	نبات	38.2	7.1	55.7	1.20
الزنك	ماء	0.095	0.137	0.448	0.128
	نبات	100	118	160	67.2

الجدول 12-4 المعادن الثقيلة في المياه (ملغ/ل) والنباتات المائية (ملغ/كغ) من مواقع مختلفة على نهر إبرو Ebro، إسبانيا.

الموقع		الزئبق	الرصاص	الكادميوم	النحاس	الزنك
Banos	ماء	ND	4.5	0.45	2.20	99.1
	نبات	NA	NA	0.76	0.35	93.9
Mendavia	ماء	ND	3.33	0.50	1.5	94.1
	نبات	NA	NA	0.91	0.83	89
Gallur	ماء	ND	1.7	0.40	2.28	11.84
	نبات	0.13	ND	0.23	2.09	84.1

NA غير مسموح به، ND غير محدد

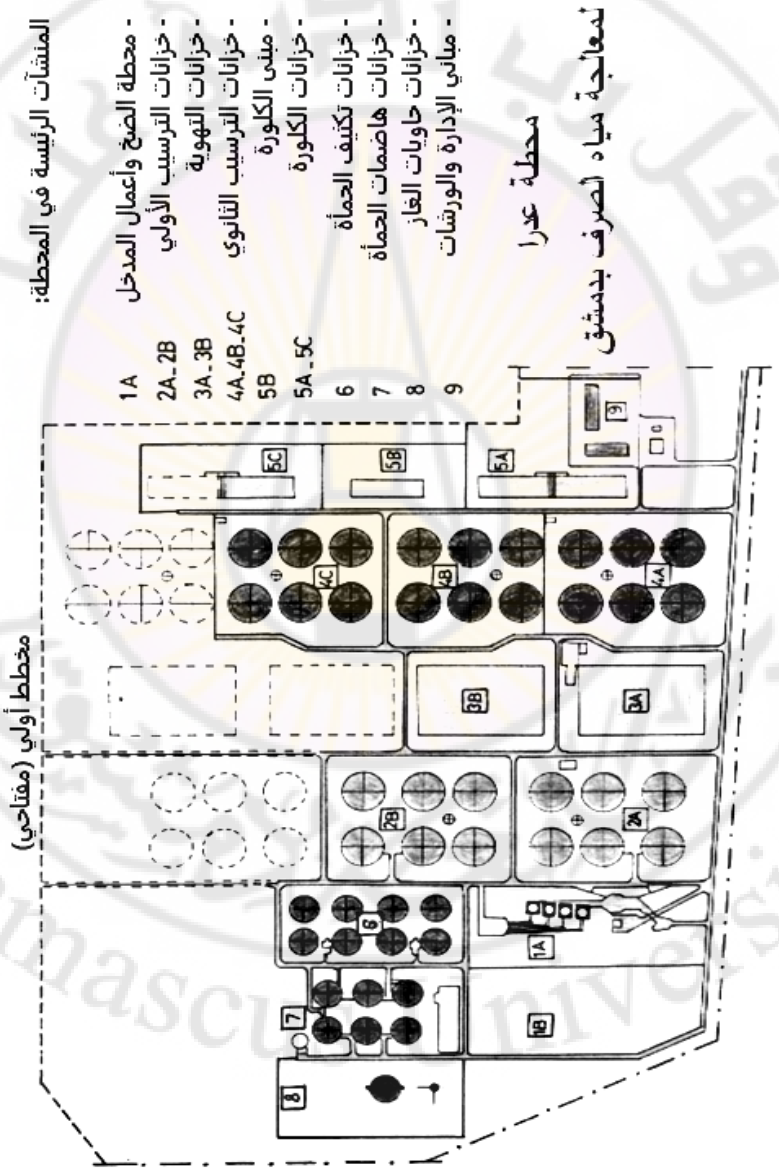
تعتمد معالجة المخلفات السائلة المنزلية بالنباتات على تقنية طبيعية جرى تطويرها علمياً على مبدأ مساعدة "النباتات" في إزالة المواد المتحللة والبقايا العالقة بالمياه، فهي بسيطة وسهلة التشغيل والصيانة وصديقة للبيئة (الشكل 12-9) بكلفة إنشاء منخفضة، ولا تحتاج إلى تجهيزات آلية، إذ لا ينتج عن عمليات تصفية المياه ومعالجتها أي مخلفات أو ملوثات سائلة أو صلبة أو غازية، تعمل بمبدأ بسيط بإدخال المياه الملوثة بعد تصفيتها من الأوساخ الكبيرة في خزان ترسيب أولي يخفّف الحِمْل على أحواض واسعة مزروعة بالقصب المائي مثلاً، مقدرته هائلة على امتصاص المعادن الثقيلة والطفيليات والملوثات الصغيرة في المياه ويساعده نحو 500 نوع من الجراثيم الموجودة على الجذور التي تؤمّن أقنية خاصة للأكسجين اللازم للمعالجة، في أسفل الحوض توجد مرشحات رملية تمرّر المياه فيها بعد أن تهضم الجراثيم المواد الموجودة فتخرج نظيفة وصالحة للري، يتطلب كل "شخص" وجود نصف متر مربع مزروع بالنبات لمعالجة ما يستهلكه "الفرد" من المياه في يوم واحد، ولكنها تتطلب أرضاً واسعة، تناسب القرى والأرياف أكثر.



الشكل 12-9 حديقة الصرف المنزلي (Brook/Cole – Thomson 2005).

تسمى طريقة المعالجة بالنباتات طريقة الأراضي الرطبة wetlands، وهي مطبّقة في حرّان العواميد وغيرها بدمشق، وفي الرقة وحمص وحماة، ويتوقع ازدياد عددها كثيراً خلال وقت قريب، ولها إنتاجية جيدة.

يبين الشكل 12-10 مخططاً لمحطة عدرا لمعالجة مياه الصرف المنزلي بدمشق.



الشكل 12-10 مخطط محطة عدرا لمعالجة مياه الصرف بدمشق.

برك الأكسدة Oxidation Ponds: هي برك للتنقية الطبيعية تهدف إلى الاحتفاظ بمياه الصرف مدة زمنية كافية تسمح بمعالجة المياه؛ ويجب أن تكون البركة ذات نفاذية ضعيفة أو معدومة؛ ولذلك يجري تبطينها بالطين أو الخزف أو البلاستيك أو الإسمنت أو الأسفلت، والبركة مستطيل بعمق 1 – 5 م وجوانبها مغطاة بطبقة إسمنتية أو مرصوفة بالحجارة، وتنفذ الأرصفة بعرض لا يقل عن ثلاثة أمتار لتسهيل التنقل حول البركة.

تعدّ برك الأكسدة أبسط الطرائق لمعالجة المخلفات السائلة المنزلية والصناعية على الإطلاق (الشكلان 12-11، 12-12)، ويجري استعمالها في معظم دول العالم، وقد يجري إنشاؤها ببساطة على هيئة حفر وتمهيد وتسوية إذا كانت التربة قوية متماسكة بعمق تبعاً لنوعيتها ومساحتها، تحدث المعالجة بطريقة طبيعية تعتمد على تآثر الطحالب والجراثيم بوجود الإشعاع الشمسي وعناصر موجودة أصلاً في المياه.

تستعمل بحيرات الأكسدة عادة للتصريف القليل، ولكن لا يمنع استعمالها للتصريف الكبير عند وجود مساحات كافية من الأرض بسعر مناسب، وعموماً، يمكن استعمال برك الأكسدة بعد مرحلة أو أكثر من المعالجة الآتية: استعمال المصافي لحجز المواد الطافية، وحجز الرمل في أحواض منفصلة، وأحواض التحليل، وأحواض الترسيب التمهيدي، وأحواض إمهوف، وبحيرات لاهوائية، وأحواض حجز الزيوت والشحوم.



الشكل 12-11 بركة أكسدة طبيعية في مدينة القصير، حمص (سورية).



الشكل 12-12 استعمالات برك الأكسدة.

تُستعمل برك الأكسدة اليوم لمعالجة المخلفات السائلة في المناطق الصحراوية وشبه الجافة والحارّة خصوصاً، إذ تساعد درجات الحرارة والإشعاع الشمسي على نمو الطحالب، وهذه الطريقة فريدة، إذ يمكن تشغيلها بطرائق كثيرة وتغيير طريقة التشغيل، وعند وجود مساحات واسعة من الأراضي بسعر رخيص، وغياب الخبرة والعمالة المدرّبة لتشغيل الطرائق الآلية الأخرى، تفيد في المعالجة الأولية أو الثانوية أو معالجة الحمأة الزائدة، وكلفة الإنشاء والتشغيل والصيانة بأقل التكاليف، وهي فعّالة في القضاء على الجراثيم والفيروسات وبيوض الديدان الممرضة، وزمن التخزين طويل، تأثير الظروف البيئية وتنافس الأحياء، تأثير الإشعاع الشمسي، ارتفاع الرقم الهدروجيني نتيجة استهلاك الطحالب لثنائي أكسيد الكربون، المواد السامة التي تفرزها الطحالب المؤثرة في الأحياء الضارة، استنفاد غُذيَّات الجراثيم، استيعاب التغيرات الفجائية في الأحمال الهدروليكية والعضوية، تناسب معالجة أنواع كثيرة من المخلفات الصناعية، وتزيل السموم.

ثانياً. معالجة المخلفات السائلة الصناعية والزراعية
Industrial and Agricultural Wastewater Treatment

تتباين خصائص المخلفات السائلة الصناعية باختلاف الصناعات وتطوّر التقانات ومجال اعتمادها على استعمال المياه أو كمية المياه التي تصرفها، وتختلف خصائص المخلفات السائلة الزراعية باختلاف المنطقة وطبيعة التربة والمساحات ومجال الاعتماد على الري وتكراريته ونوعية الأسمدة والمبيدات وكميتها المستعملة.

1. **التخثير** Coagulation

يمكن استعمال المخثرات كمرحلة أولية للتخفيف من الحمولة العضوية واللاعضوية التي تساعد كثيراً في معالجة المخلفات السائلة لاحقاً بأي طريقة كانت.

2. **المعالجة الحيوية** Biological Treatment

تُستعمل أنواع معينة من الأحياء الدقيقة لمعالجة المخلفات السائلة الصناعية أو الزراعية أو لتفكيك مركبات معينة فيها، كالعناصر الثقيلة أو الصباغ أو غيرها، وقد نجحت بعض الطرائق، وهناك طرائق حيوية تعتمد على جماعات من الأحياء الدقيقة تعمل معاً أيضاً، والجراثيم أهم وسيلة لمكافحة التلوث البيئي في جميع صوره في الوقت الحاضر، إذ تتصف أنواع منها بقدرة على تقويض أكثر الملوثات خطورة كالنفط والمشتقات النفطية والمعادن الثقيلة والمطاط، حتى المواد المشعة.

تستأثر مجموعات الأعفان والخمائر باهتمام خاص في مجال المعالجة الحيوية للمياه بما تتميز به من ارتباط بعملية امتزاز العناصر المعدنية، فالكيتين chitin يوجد بنسبة عالية في جُدُرها الخلوية؛ وهو نشط جداً يمتز العناصر المعدنية والمواد المشعة، ويمكن ترسيب طبقات من اليورانيوم على الجدر الخلوية لخميرة الخباز *Saccharomyces serevisiae* حتى 50% من الوزن الجاف للخلية.

وتتميز الأحياء الدقيقة المستحدثة بالطرائق الوراثية بقدرة مميزة على إزالة الملوثات (Kosba and Zaied 1998)، كالعناصر الكيميائية، مثل: النتريت والنترات

والكادميوم والكوبالت والزرنيخ من المخلفات السائلة الصناعية الناتجة عن مصانع الأسمدة الكيميائية، وتتمكن إنزيمات اللاكاز التي توجد في بعض الفطريات الخيطية من معالجة المياه الملوثة بالمبيدات الحشرية، وهناك محاولات جادة لتطويع الإنزيمات الفطرية وجعلها نشطة على عدد أكبر من الملوثات (AFP Sciences 1996).

ويمكن استعمال البوليمرات العضوية في الترشيح الغشائي النانوي الفائق المتتابع من رتبة 10 µ لفصل الخمائر، ومن رتبة 0.1 µ لفصل الغروانيات وغبار الطلع وكريات الدم الحمراء، ومن رتبة 0.01 µ تفصل الفيروسات والجزيئات العضوية الكبيرة، ومن رتبة 0.001 µ تفصل المبيدات والمذيبات العضوية والأملاح ثنائية التكافؤ مثل الكبريتات والكربونات والكلسيوم والمنغنيز والحديد، وتفصل الأغشية من رتبة 0.0001 µ الأملاح المذابة أحادية التكافؤ كالنترات (CIRSEE World Media)، وفي مجمل عمليات التنقية تشارك جراثيم *Pseudomonas diminula* وغيرها، ولكن كثيراً ما لا تُستعمل عملية الترشيح بمفردها.

3. **إزالة السمية** Detoxification

يمكن استعمال الطرائق التقليدية والمتقدمة لغرض تفكيك الجفت والفينولات والهدروكربونات وتحويل العناصر الثقيلة وغيرها باستعمال الطحالب الدقيقة والجراثيم الزرقاء وغيرها، إذ تتراكم المعادن في خلايا الأحياء الدقيقة بنسبة تزيد على 10% من الوزن الجاف لها، معطية بذلك كفاءة عالية في إزالة العناصر الثقيلة تزيد على 99%، فيصبح تركيزها في حدود 10 – 50 جزءاً في البليون.

وتُنتج جراثيم *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*، الإمولسان Emulsan (مكوِّن أساسي في عديدات السكر) ومشتقاته التي تفيد في إزالة اليورانيوم من المياه، فالبلاسميدات الموجودة في الخلايا الجرثومية متخصصة في التقويض التدريجي للمركبات الكيميائية الصناعية.

هناك سلالات جرثومية من الأجناس *Micrococcus* و *Bacilllus* تتميز بقدرتها على امتصاص الملوثات كالزرنيخ (Kosba and Zaied 1998).

هناك أنماط من الطحالب الدقيقة قادرة على تفكيك النفط الخام (El-Sheekh *et al.*, 2013)، وقد تبين إمكان تحفيز نمو الطحالب الحساسة للنفط بوجود الجراثيم ذات الاغتذاء بالألكانات alcanotrophic bacteria، ومن أهم الطحالب والجراثيم الزرقاء المقاومة للوسط النفطي أجناس:

Stichcoccus, Nostoc, Microcystis, Chlorella, Phormidium.

ويبدي بعض العينات حساسة للوسط النفطي، مثل:

Chlorella, Pleurochloris, Glocobotrys, Nostoc, Lyngbya.

ويكفي 1 كغ من المادة الحيوية لمعالجة أكثر من 100 م^3/يوم، وهي ذات كفاءة عالية في إزالة الملوثات بتكاليف منخفضة، وفي معظم الحالات تتفق مقاومة الطحالب للنفط مع المقاومة الموجودة مسبقاً للمنظفات والهدروكربونات العطرية.

4. **تفكيك المواد الغريبة** Xenobiotics

يمكن تفكيك المبيدات والبلاستيك وإزالة العناصر الثقيلة باستعمال الأحياء الدقيقة، وهذه يمكن استعمالها لاختبارات السمية في محطات معالجة المخلفات السائلة.

ثالثاً. المخاطر الصحية لتدبير المخلفات وإعادة استعمالها
Health Risks of Wastes Management and Reuse

يمكن أن تجلب التدابير المتّبعة في التخلص من المخلفات السائلة والمخلفات الصلبة الحيوية، وإعادة استعمالها بعد المعالجة أو من دونها كثيراً من المشكلات الصحية للبيئة والإنسان، فعلى الرغم من أن المخلفات السائلة المنزلية غنية بالغُذيات، فإن هذه المخلفات تحمل كثيراً من المواد الضارة وتجلب المخاطر عند استعمالها، أو عند وصولها بأي طريقة كانت إلى المياه السطحية والجوفية والتربة. إذ إن معدل الطرح السنوي للشخص: نتروجين 4.5 كغ، فسفور 0.6 كغ، بوتاسيوم 1.0 كغ، مواد عضوية 35 كغ. لذلك وُضعت المواصفات والقوانين الناظمة للاستعمالات وصون البيئة والصحة، ويجب في مرحلة التخطيط والتنمية إعطاء أولوية قصوى لمعايير صون الأرض والموارد المائية وحماية الصحة العامة (الجدول 12-5).

الجدول 12-5 متوسط حمل التلوث ونوعية المياه التصميمية للشخص باليوم (التركماني 2009).

	حمل التلوث عندما يكون متوسط استهلاك الماء (g/d/c)	نوعية مياه الصرف المحسوبة (mg/l)	نوعية مياه الصرف التصميمية (mg/l)
BOD	38.4	307	310
SS	45.3	362	360
T-N	9.3	74	74
T-P	3.0	24	24

تعدّ قيمة BOD 310 ملغ/ل مناسبة لتصميم منشآت الصرف الصحي بما فيها محطات المعالجة في سورية، على الرغم من زيادتها في التجمعات الصغيرة بسبب قلة التصريف، ويعتمد اختيار الطرائق على الدراسات الحالية والشروط الملازمة للتصميم (التركماني 2009)، وهي كالآتي:

- طريقة خنادق الأكسدة.
- طريقة الأرض الرطبة (محطات المعالجة بالنباتات).
- أنظمة النمو المتصل المغمورة الهوائية.
- طريقة الحمأة المنشطة التقليدية.
- المرشحات الحيوية.
- طريقة التهوية المديدة التقليدية.
- برك الأكسدة (هوائية، لاهوائية، اختيارية).
- طريقة المعالجة اللاهوائية باستعمال أحواض إمهوف أو ذات السرير المغمور.

1. أوجه الصحة العامة لتدبير المخلفات السائلة والصلبة الحيوية

Public Health Aspects of Wastewater and Biosolids Disposal

كثيراً ما جرى التخلص من المخلفات السائلة والصلبة الحيوية في بلدان كثيرة على الأرض، وفي البيئة البحرية، ولكن المخلفات تحتوي مستويات متباينة من العوامل الممرضة وتبقى مصدراً للمخاطر الصحية باستمرار، وتبقى موضعاً كامناً لنقل الأخماج (الجداول 12-6، 12-7، 12-8، 12-9، 12-10).

الجدول 12–6 بعض المستويات المحتملة للجراثيم الممرضة في المخلفات السائلة المنزلية (Feachem 1983).

الأجناس الجرثومية الممرضة		التركيز في اللتر*
الإشريكية المعوية	*E. coli*	؟ (غير أكيد)
السلمونيلة	*Salmonella*	7000
الشيغلة	*Shigella*	7000
الضمة الهيضية	*Vibrio cholerae*	1000

*** مبني على 100 لتر للفرد / يوم من المخلفات السائلة، و 90 % من الجراثيم المطروحة خاملة.**

الجدول 12–7 زمن بقاء الجراثيم الممرضة في البيئة في الدرجة 20 – 30 c° (Feachem 1983, Straus *et al.*, 1994).

الجراثيم الممرضة	زمن البقاء والعيش، يوم			
	في البراز والأوساخ	في المياه العذبة والمخلفات السائلة	في التربة	على المزروعات
faecal coliforms	< 90 (=> 50)	< 60 (=> 30)	< 70 (=> 20)	< 30 (=> 15)
Salmonella	< 60 (=> 30)	< 60 (=> 30)	< 70 (=> 20)	< 30 (=> 15)
Shigella	< 30 (=> 10)	< 30 (=> 10)	—	< 10 (=> 5)
Vibrio cholerae	< 30 (=> 5)	< 30 (=> 10)	< 20 (=> 10)	< 5 (=> 2)

*** القيم بين الأقواس تمثل زمن البقاء العادي للجراثيم.**

الجدول 12–8 زمن بقاء الفيروسات في البيئة في الدرجة 20 – 30 c° (Feachem 1983, Straus *et al.*, 1994).

الفيروسات	زمن البقاء والعيش، يوم			
	في البراز والأوساخ	في المياه العذبة والمخلفات السائلة	في التربة	على المزروعات
الفيروسات المعوية * Enteroviruses	< 100 (=> 20)	< 120 (=> 50)	< 100 (=> 20)	< 60 (=> 15)

*** القيم بين الأقواس تمثل زمن البقاء العادي للفيروسات، وتشمل:**

Polio – Echo – and Coxackie Viruses

الجدول 12-9 بعض المستويات المحتملة للطفيليات المعوية في المخلفات السائلة المنزلية (Feachem 1983).

الطفيلي	الأنواع	التركيز في اللتر *
الحيوانات الأوالي Protozoa	*Entamoeba histolytica*	4500
الديدان الطفيلية Helminthes	*Ascaris lubricoides*	600
	Hookworm larvae	32
	Schistoma masoni	1
	Taenia saginata	10
	Trichuris trichura	120

*** مبني على 100 لتر للفرد/ يوم من المخلفات السائلة، و90% من الجراثيم المطروحة خاملة.**

الجدول 12-10 زمن بقاء الطفيليات المعوية في البيئة في الدرجة 20 – 30 c° (Feachem 1983, Straus *et al.*, 1994).

العامل الممرض	زمن البقاء والعيش، يوم			
	في البراز والأوساخ	في المياه العذبة والمخلفات السائلة	في التربة	على المزروعات
وحيدات الخلية الحيوانية أكياس المتحولة الزحارية ***E. histolytica* cysts**	(15 >) 30>	(15 >) 30>	(10 >) 20>	(2 >) 10 >
الديدان "بيوض" ***Ascaris lubricoides*** ***Hookwarm larvae*** ***Taenia saginata*** ***Trichuris trichura***	بضعة أشهر --- --- ---	بضعة أشهر --- --- ---	بضعة أشهر (30 >) 30> بضعة أشهر بضعة أشهر	(30 >) 6 > (10>) 3 > (30 >) 6 > (30 >) 60 >

*** القيم بين الأقواس تمثل زمن البقاء العادي للطفيليات**

2. معالجة الحمأة Treatment of Sludge

تكثيف الحمأة sludge thickenings، عملية تجرى عادة قبل أي معالجة لاحقة أو قبل التخلص النهائي منها، تتكوّن منطقة التكثيف من مجموعة من الأحواض، وزمن البقاء الأمثل يومان فقط، يجري تخفيض الرطوبة لمساعدة الهواضم على تحقيق الهضم اللاهوائي بفعل الجراثيم وإنتاج الميتان، ويتطلب ذلك وجود درجة حرارة 35 – 37 س ورقم هدروجيني بين 6.8 – 7.3 وخلط مستمر.

- هضم الحمأة sludge digestion، يؤخذ في الحسبان خزان الغاز ومجموعة التوليد، يتألف خزان الغاز من جزء ثابت خرساني مسلح وجزء آخر معدني متحرك ومتصل بشعلة لحرق الغاز الزائد من حاجة المحطة، تفيد في مد المحطة بالكهرباء.
- التجفيف drying في ساحات مستوية بمساحة إجمالية هائلة، تستقبل المادة الصلبة الناتجة عن الهضم، ويجري نشرها لتجف ثم تُجمع، تُعرَّض للشمس 6 أشهر على الأقل لخفض الحمل الجرثومي ثم تستعمل كمحسِّن عضوي للتربة.
- الطرد المركزي: مساحة صغيرة، تسمح بتحكم أكثر في إزالة المياه، تمكّن من التعامل مع أنواع مختلفة من الحمأة، ذات كلفة عالية وصيانة وتحكم مرتفعة، وصعوبة التشغيل، والحاجة إلى عمالة فنية مدرَّبة.
- المرشحات الضاغطة filter press: تعمل على إزالة المياه بضغط الحمأة بعكس المرشحة فتحجز المواد الصلبة حتى 40 – 50% خلف طبقات القماش وتضغط المياه خارجها، يجب إزالة جزء منها يدوياً، ولا يمكن تشغيلها باستمرار.
- التجفيف تحت الإشعاع الشمسي، وإضافة الكلس، ويمكن تحويل الحمأة إلى أسمدة، بخلط الحمأة مع عامل يزيد من كتلتها مثل رقائق الخشب لتشجيع التحلل الهوائي الذي يولد الحرارة، التحريك أو التهوية بالهواء المضغوط، ربما تحتاج هذه العلمية أن تكون في مبنى مغلق للحد من تأثير المناخ أو انبعاث الرائحة.

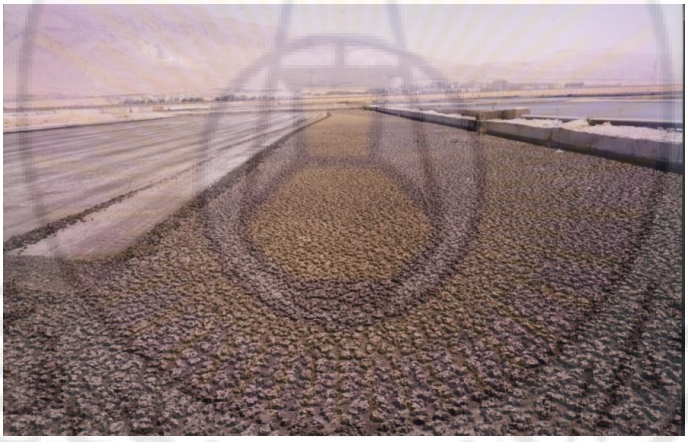
محطة عدرا لمعالجة المخلفات السائلة المنزلية بدمشق: تُنتج نحو 90 م^3 من الحمأة الجافة يومياً بنوعية جيدة، وهي من النمط مقيد الاستعمال، الحمأة المنتجة تحتوي عصيات السلمونيلة والكوليفورم بمعدل 1000 عصية/ غ قبل ستة أشهر، ويؤدي خلط الحمأة مع التربة إلى خفض العدد (الشكلان 12-13، 12-14).

الهضم اللاهوائي anaerobic digestion: يؤدي تخمير الحمأة إلى إنتاج مادة قابلة لنزح المياه، وتخفيض الروائح وأعداد المُمرضات، وتخفيض حجم المواد الصلبة، وتفكيك وهضم جزء من المواد العضوية (الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين)، ويشارك في هذه المنظومة نمطان من الجراثيم:



تصوير د عدنان

الشكل 12-13 وحدات التخمير (لإنتاج الميتان) في محطة عدرا لمعالجة مياه الصرف بدمشق.



تصوير د عدنان

الشكل 12-14 تجفيف الحمأة في محطة معالجة مياه الصرف المنزلي بدمشق.

- ✓ الجراثيم المكوّنة للحموض: تهضم المادة العضوية في الحمأة، وتستمر في النمو وإنتاج الحموض العضوية البسيطة مادام الوسط يزوّدها بالغُذيّات.
- ✓ الجراثيم المكوّنة للميتان: تعمل على معادلة الحموض الناتجة عن الجراثيم السابقة فهي تتغذّى على الحموض المنتَجة وتؤدي إلى استمرار عمل المنظومة؛ لأن ازدياد الحموضة يؤدّي إلى توقُّف نظام العمليات.

إن النمط المكوّن للحموض العضوية يستمر في النشاط ما دامت الغُذيات وافرة، ولكن الجراثيم المكونة للميتان حساسة ولا يمكنها العمل إلا في جو لاهوائي، إضافة إلى أنها تتأثر بتغير الرقم الهدروجيني ودرجة الحرارة، وتكون كفاءتها أفضل في درجة حرارة بين 32 – 37 س، وهي حساسة لتغيّر درجة الحرارة حتى درجة واحدة، ويؤدي توقّفها عن العمل إلى ازدياد الحموض في المخمّر وتحوُّل لون الحمأة إلى بني وسخ وتأخذ الحمأة رائحة حمضية قوية.

وهكذا، فمسألة التوازن بين نمطي الجراثيم تُعدّ مهمة جداً، فازدياد الحمل العضوي ينشط الجراثيم المكونة للحمض التي تعمل على إنتاج كمية مفرطة من الحموض تعجز الجراثيم المكونة للميتان عن استيعابها؛ ما يؤدي إلى انخفاض الرقم الهدروجيني وفشل المنظومة، وبالمقابل، يؤدي الحمل العضوي المنخفض إلى نقص الحموضة وانخفاض أعداد الجراثيم المكوّنة للميتان، وأي زيادة، مهما كانت خفيفة للحمل العضوي، تكون أكبر من طاقة تحمّل الجراثيم المنتجة للميتان؛ ما يؤدي أيضاً إلى فشل المنظومة. تتكوّن الغازات في المخمر من: 65% ميتان، 30% ثنائي أكسيد الكربون، و5% من غازات مختلفة كالنتروجين.

3. **استعمال الحمأة في الأراضي** Application of Sludge to the land

تقدر كميات الحمأة بنحو 25 – 40 كغ/السنة لكل شخص، وفي البلدان العربية تقدر بنحو 5 ملايين طن في العام، وقد بلغت كميات الحمأة الجافة المنتجة في سورية نحو 200 ألف طن سنوياً في العام 2000 (هيئة الطاقة الذرية السورية 2001)، وقد وصلت في نهاية عام 2011 إلى نحو 550 ألف طن سنوياً نتيجة توسّع محطات معالجة مياه الصرف المنزلي (خليل 2011).

عموماً، تتكوّن الحمأة من 40 – 60% مادة عضوية، أحياء متنوعة جداً، مركبات لاعضوية تختلف نسبتها وفق المصدر، بعض العناصر المعدنية التي يمكن أن تستفيد منها النباتات كالنتروجين والفسفور والبوتاسيوم والغُذيات الأخرى، وبعض العناصر المعدنية الثقيلة الضارة والسامة إذا ما وجدت بتراكيز مرتفعة.

تزود الحمأة الترب الزراعية بالمادة العضوية ففيها الغُذيات الأساسية كالنتروجين والفسفور والبوتاسيوم وغيرها، وتعمل على تحسين خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والهدروفيزيائية (الجدول 12-11)، وزيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية.

الجدول 12-11 الخصائص الكيميائية والخصوبية لأنواع الحمأة في بعض المحافظات السورية (هيئة الطاقة الذرية السورية 2001، هيئة المواصفات والمقاييس السورية 2002)

مصدر الحمأة	الكثافة غ/سم^3	pH	EC	OM	T.N	K_2O	P	نتروجين N	الرطوبة
			ds/m	%			ملغ/كغ		%
دمشق	0.83	6.92	2.13	47.3	3.20	0.17	103	7.10	4.9
حمص	0.81	6.50	1.80	29.7	2.46	0.24	128	235	39.5
حلب	0.86	6.37	3.38	40.5	3.70	0.14	132	8.49	6.5
السلمية	0.85	6.18	2.47	37.4	1.87	0.15	351	675.8	8.5

إن تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة تقع ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفة القياسية السورية رقم 2665 لعام 2002 في المصادر السابقة.

تبعاً لتركيز العناصر المعدنية الثقيلة في الحمأة يمكن تصنيف الحمأة حسب المواصفة القياسية السورية 2665 لعام 2002، كالآتي (الجدول 12-12):

الجدول 12-12 تصنيف الحمأة تبعاً لتركيز العناصر المعدنية الثقيلة فيها (مغ/كغ).

العنصر	الدرجة			
	A	B	C	D
الزرنيخ	20	20	20	30
الكادميوم	3	5	20	32
الكروم	100	250	500	600
النحاس	100	375	1500	1500
الرصاص	150	150	300	400
الزئبق	1	4	15	19
النيكل	60	125	270	300
السلينيوم	5	8	50	90
الزنك	200	700	2500	2800

يمكن إضافة الحمأة إلى الترب الزراعية، أو التخلص منها بالحرق، والطمر الصحي في التربة، واستعمالها في استصلاح الأراضي، والرمي في البحار والمجاري المائية، وتحويلها إلى مادة خصوبية (تورب)، واستعمال رماد الحمأة كمادة مالئة في صناعة الأسلفت، واستعمالها في صناعة الإسمنت، وفي إنتاج الغاز الحيوي.

يمكن أن توجد المعادن الثقيلة في الحمأة فتجلب المخاطر، مثل: الزنك والنحاس والنيكل والكادميوم والرصاص والكروم والزئبق على الرغم من أن عناصر أخرى ربما تكون سامة قد تكون ذات أهمية كالسلينيوم والموليبدن والزرنيخ والفلوريد.

4. الانتفاش والرغو في محطات الحمأة المنشَّطة

Bulking and Foaming in Activated Sludge Plants

يمكن أن تتكوّن الضبوبيات aerosols الحيوية والروائح الحيوية bioodors في محطات معالجة المخلفات السائلة، يجب تلافي حدوث ذلك أو التخلص منها بالطرائق الممكنة.

رابعاً. المواصفات القياسية للمخلفات السائلة المعالجة

Standards of Wastewater Treatment

تُتخذ إجراءات في محطات معالجة الصرف المنزلي تهدف للحد من الأخطار البيئية بعد المعالجة والتقليل من التأثيرات الضارة بصحة العاملين والمجتمع، وتُحدد درجة المعالجة المطلوبة من خلال أهداف المعالجة وفق متطلبات القوانين والمعايير، وكذلك يجب تحديد البدائل المتاحة وإعادة الاستعمال وتقييمها والتخلص من الملوثات.

1. معايير صرف المخلفات السائلة المنزلية في المياه السطحية

وفقاً لهيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية 2580/ 2002 فإن الاشتراطات والخواص التي يجب أن تتوافر في المخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف العامة بهدف الحفاظ عليها، والتشغيل الأمثل لمحطات معالجة مياه الصرف والحصول على نواتج آمنة بيئياً (الجدول 12-13).

الجدول 12-13 المخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف المنزلي.

العنصر	الحد الأقصى المسموح به		العنصر	الحد الأقصى المسموح به
درجة الحرارة	35 س		المواد الصلبة القابلة للترسيب SS	10 مل/ل بعد 30 د
الرقم الهدروجيني	9.5 – 6.5		مجموع المواد العالقة TSS	500 ملغ/ل
الكبريتيد S	2.0 ملغ/ل		الزيوت والشحوم القابلة للتصبن والراتنج	100
الكبريتات	1000		الزيوت والشحوم المعدنية	10
الفسفات	20		الأمونيا/الأمونيوم	100
الباريوم	3.0		البورون	1.0
الكادميوم	0.1		النحاس	1.0
الكروم السداسي	0.1		الكروم الكلي	2.0
الرصاص	1.0		الزئبق	0.01
النيكل	2.0		السلينيوم	1.0
الفضة	1.0		الزرنيخ	0.1
الزنك/التوتياء	4.0		مركبات الفينول	2.0
السيانيد	0.5		الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين	800
الفلوريد	8.0		الطلب الكيميائي على الأكسجين	1600
الكلوريد	600		الأملاح الكلية المذابة	2000
المبيدات	0.005		المركبات العضوية الهالوجينية	0.1
المنظفات	5			

2. معايير صرف المخلفات السائلة المنزلية في شبكة الصرف

تتباين خواص مياه الصرف المنزلي غير المعالجة وفق المكان والزمان ومستوى الحياة ونمط شبكة الصرف ووفرة المياه، ولكنها تبدي خواص عامة تتراوح قيمُها في مجال محدد (الجدول 12-14).

الجدول 12-14 التركيب النموذجي لمياه الصرف المنزلي غير المعالجة، ملغ/ل.

الكمية Q_m	150 – 250 ل		الكلوريد	30 – 100
TS	100 – 300		SS	100 – 350
BOD	100 – 400		الكبريتات	20 – 50
النتروجين الكلي	20 – 85		الفسفور الكلي	5 – 15
النتروجين العضوي	8 – 35		الفسفور العضوي	1 – 5
النتروجين النشادري	12 – 50		الفسفور اللاعضوي	4 – 10
إجمالي العصيات المعوية	10^6 – 10^9 / 100 مل			

3. المعايير النوعية للمخلفات السائلة المنزلية المعاد استعمالها في الري

يبيّن الجدولان 12-15، 12-16 خواص المخلفات المعاد استعمالها في الري.

الجدول 12-15 الحدود المسموح بها والمحتوى الطبيعي من بعض العناصر المعدنية الثقيلة في مياه الري والتربة والنسج النباتية (Adriano 1986, Prost 1997, Kalra 1998).

مياه الري على المدى: مغ/ل			التربة	النسج النباتية
العنصر	البعيد	القريب	مغ/كغ	
الزرنيخ			1.1 و 80	0.02 – 10
الكادميوم	0.01	0.05	0.01 – 2.0	0.02 – *1.2
الكروم	0.10	1.0	10 – 150	0.5 – 2
النيكل	0.20	0.2	5 – 500	0 – *4
الرصاص	5.00	10.0	2 – 200	3 – 20

* الحدود القصوى المسموح بها من المعادن الثقيلة في مياه الري والمحتوى الطبيعي لتركيز في التربة والنسيج، إذا تجاوز الكروم 5 مغ/كغ فيعد ساماً (Pescod 1991, Kalra 1998).

الجدول 20-16 الحدود العليا لبعض العناصر النادرة والثقيلة في مياه الري والأخطار الناشئة عنها (الأكاديمية الأمريكية للعلوم 1972، National Academy of Sciences 1973).

العنصر	استعمال قريب المدى مغ/ل	استعمال بعيد المدى مغ/ل	ملاحظات
Al	20.0	5.0	لا تظهر سميته بوضوح في الترب الحمضية بل في القلوية.
As	2.0	0.1	سام للعديد من النباتات، سام بتركيز 12 مغ/ل للفول السوداني إلى أقل من 0.5 مغ/ل للرز.
Be	0.5	0.1	سام في النباتات على نحو واسع من 5 مغ/ل في الكرمب حتى 0.5 مغ/ل في بذور العليق.
Co	5.0	0.05	سام للبندورة بتركيز 0.1 مغ/ل في المحلول المغذي ويكون غير فعال في الترب الطبيعية والقلوية.
F	15.0	1.0	غير فعال في الترب الطبيعية والقلوية.
Fe	20.0	5.0	غير سام للنباتات في الترب المهواة.
Cd	0.05	0.01	سام للفاصولياء والشوندر واللفت بتركيز منخفض 0.1 مغ/ل في المحلول المغذي، التراكيز المسموح بها ضئيلة لأنه يتراكم في النباتات والتربة ما قد يؤذي الإنسان.
Cr	1.0	0.1	لا يعد كعامل نمو أساسي ويعود انخفاض التركيز المسموح به منه لعدم معرفة درجة سميته على النباتات.
Cu	5.0	0.2	سام لعدد من النباتات بتركيز 0.1 – 1 مغ/ل في المحلول المغذي.
Li	2.5	2.5	يحمله عدد من المحاصيل حتى 5 مغ/ل، متحرك في التربة وسام للحمضيات بتراكيز ضعيفة دون 0.075 مغ/ل.
Mn	10.0	0.2	سام لعدد من المحاصيل بأجزاء من مغ عادة في الترب الحمضية فقط.
Mo	0.05	0.01	ليس ساماً للنباتات بتراكيز عادية في الترب والمياه، سام في الأغنام التي تناولت علفاً نما في ترب ذات تراكيز عالية منه.
Ni	2.0	0.2	سام لعدد من النباتات من 0.5 – 1 مغ/ل وتنخفض سميته في رقم هدروجيني قلوي ومعتدل.
Pb	10.0	5.0	يعوق نمو خلايا النباتات في التراكيز العالية.

يتبع الجدول 12-16

Se	0.02	0.02	سام للنباتات بالتركيز 0.025 مغ/ل سام للأغنام التي تناولت علفاً نما في ترب ذات محتوى عال منه عنصر أساسي لنمو النباتات ولكن بتراكيز ضعيفة جداً.
Zn	10.0	2.0	سام للعديد من النباتات بتراكيز مختلفة وهو يحدث السمية في رقم هدروجيني فوق 6 وفي الترب ذات البنية الدقيقة أو المحتوى العضوي المرتفع.
B	2.0	0.75	سام لأنواع الحمضيات.

تبين الجداول 12-17، 12-18، 12-19 خواص مياه الصرف للري ومجالات الاستعمال الزراعي ومؤشرات التلوث لمياه الصرف المعالجة ثالثياً.

الجدول 12-17 المواصفات الكيميائية لمياه الصرف المنزلي المستعملة في الري (التراكيز القصوى المسموح بها ملغ/ل).

العامل	مواصفات EPA 1992 FAO 2000	الخضار والفواكه المحتمل أكلها طازجة خلال أسبوعين من الري	الخضار المطبوخة والفواكه المحتمل إذا لم يتم ريها خلال أسبوعين من حصادها، الأعلاف، الغلال، الحبوب
BOD	-	15	20
COD	-	150	200
الفينولات الكلية	-	0.001	0.002
PO4	-	30	30
SO4-	-	400	400
Al	20	5	5
As	2	0.1	0.1
Ba	-	1	2
B	2	0.5	1
Cd	0.05	0.01	0.01
Co	5	0.05	0.05
Cr	1	0.05	0.05
Cu	5	0.5	1
Hg	-	0.001	0.001
Li	0.075	0.07	0.07
Mo	0.05	0.01	0.05
Ni	2	0.1	0.1
Pb	0.075	0.1	0.2
Zn	10	5	5

يتبع الجدول 12-17

V	1	0.1	0.1
Se	0.02	0.02	0.02
F	15	1	2
Na	-	200	300
CN	-	0.05	0.1
N-NO3-	-	50	50
N-NH4+	-	5	10
إجمالي الزيت المستخلص	-	0.5	0.5
TDS	2000	1500	2000
pH	-	9 – 6	9 – 6

الجدول 12-18 مجالات الاستعمالات الزراعية للنوعيات المختلفة من مياه الصرف الصحي المعالجة.

مجالات الاستعمال	نوعية المياه المعالجة			
	ثالثية	ثانوية مع تطهير فعال	ثانوية مع تطهير عادي	ثانوية دون تطهير
ري المروج الخضراء المخصصة لاستجمام العامة	مسموح (ري تحت سطحي وتنقيط)	غير مسموح	غير مسموح	غير مسموح
ري المروج الخضراء غير المخصصة لاستجمام العامة	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	غير مسموح	غير مسموح	غير مسموح
ري المروج غير المخصصة للأكل التي لا تلامس الناس	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	غير مسموح
ري نباتات الزينة التجارية	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	غير مسموح	غير مسموح
ري المحاصيل الغذائية التي لا تؤكل نيئة	مسموح (ري سطحي وتنقيط)	غير مسموح	غير مسموح	غير مسموح
ري المحاصيل الغذائية التي تنمو فوق سطح الأرض ولا تلامس مياه الري	مسموح (ري سطحي وتنقيط)	مسموح (ري سطحي وتنقيط)	غير مسموح	غير مسموح

يتبع الجدول 12-18

ري المراعي	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	غير مسموح
ري المحاصيل الصناعية	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط)
ري الأشجار المثمرة	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)	مسموح (ري سطحي وتنقيط)	مسموح (ري سطحي وتنقيط)	مسموح (ري سطحي وتنقيط)
ري الأشجار المثمرة المخصصة للتصنيع	مسموح (ري سطحي وتنقيط ورش)			مسموح (ري سطحي وتنقيط)

يجب أن تكون المياه العادمة المعالجة المستعملة للري غير المقيد معالجة ثالثية، وألا يزيد تركيز الأملاح المذابة الكلية بالمياه TDS على ملغ/ل، وأن تحقق المعايير المبينة بالجدول 12-19.

الجدول 12-19 مؤشرات التلوث لمياه الصرف الصحي المعالجة ثالثياً.

الخواص		الحدود القصوى المسموح بها
الخواص الفيزيائية	المواد الطافية	خالية
	المواد الصلبة العالقة TSS	10 ملغ/ل
	pH	8.4 – 6
الخواص الكيميائية	BOD	10 ملغ/ل
	العكارة	5 وحدة عكارة
	الزيوت والشحوم	لا يوجد
	الفينول	0.002 ملغ/ل
الخواص الميكروبيولوجية	عدد عصيات القولون البرازية	22 خلية/ل
	عدد بيوض الديدان المعوية	1 بيضة /ل
خواص المركبات الكيميائية ملغ/ل	N-NO3-	10.0
	N-NH3	5.0

يتبع الجدول 12-19

الخواص الكيميائية ملغ/ل	الألمنيوم، الحديد	5.0
	الزرنيخ، الرصاص	0.1
	البورون B	0.75
	الكادميوم، الكروم	0.01
	الكلورين الحر Cl2	0.5 (+)
	الكوبالت	0.05
	النحاس	0.4
	الفلوريد	1.0
	الليتيوم	2.5
	المنغنيز	0.2
	الزئبق	0.001

يجب تحقيق المواصفة القياسية السورية رقم 2752 للعام 2008 الخاصة بمياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري (الجدول 12-20).

الجدول 12-20 الحدود القصوى المسموح بها في المياه العادمة المعالجة لأغراض الري حسب المواصفة القياسية السورية رقم 2752 لعام 2008.

المؤشر ملغ/ل	الخضار المطبوخة المتنزهات وجوانب طرق المدينة الملاعب الرياضية	الأشجار المثمرة جوانب الطرق الخارجية المسطحات الخضراء الحبوب والمحاصيل العلفية	المحاصيل الصناعية الأشجار الحراجية
TDS	1500	1500	-
SS	50	150	150
NO3-	20	25	25
NH4+	3	5	-
SO4-2	300	500	500
PO4-2	20	20	20
HCO3-	520	520	520
Cl-	350	350	350
Na	230	230	230
Mg	60	60	60
Ca	400	400	400

يبين الجدول 12-21 الخصائص الميكروبيولوجية لاستعمال الصرف المنزلي في الري.

الجدول 12-21 الضوابط المقترحة للخصائص الميكروبيولوجية عند استعمال المخلفات السائلة المنزلية في الري [1](WHO 1989)

الفئة	ظروف إعادة الاستعمال	المجموعة المعرضة	الديدان المعوية[2] وعدد البيوض في اللتر [3]	الجراثيم البرازية (العدد/ 100 مل)[3]	المعالجة اللازمة للمياه العادمة لتحقيق النوعية الميكروبيولوجية المطلوبة
I	ري المحاصيل المحتمل استهلاكها نيئة، والملاعب الرياضية والمتنزهات	العمال المستهلكون والعامة	واحد أو أقل	1000 أو أقل[4]	مجموعة من أحواض الترسيب مصممة لتحقيق النوعية الميكروبيولوجية المحددة أو استعمال أنماط مكافئة
II	ري محاصيل التصنيع والحبوب والعلف والمراعي والأشجار [5]	العمال	واحد أو أقل	لا يوجد معيار واحد	الحجز في أحواض الترسيب لفترة 8 – 10 أيام أو ما يعادلها من معالجة لإزالة الديدان المعوية والجراثيم البرازية
III	ري محاصيل الفئة II إذا أمكن تجنب تعرض العمال والعامة للمياه	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	معالجة المياه وفق متطلبات نظام الري المستعمل بما لا يقل عن أحواض الترسيب المبدئي

المفتاح :

(1) في حالات خاصة، تعدل هذه التوصيات الإرشادية وفق المعايير الوبائية، والظروف الاجتماعية والثقافية والبيئية السائدة.

(2) تشمل ديدان الأسكاريس Ascaris والتريكيورس Trichuris والديدان الشوكية Echinococcus.

(3) خلال فترة الري.

(4) يستحسن تطبيق شروط أشد عند ري المسطحات الخضراء، كما في الفنادق والمتنزهات نظراً إلى تعرض العامة لذلك بصورة مباشرة/ ألا يزيد على 200 من الجراثيم البرازية لكل مئة مليلتر.

(5) يجب إيقاف ري الأشجار المثمرة مدة أسبوعين قبل جني الثمار، إضافة إلى عدم التقاط الثمار الساقطة على الأرض، وكذلك ضرورة تجنب طريقة الري بالرش.

يبين الجدول 12-22 المواصفات الكيميائية للمخلفات السائلة المنزلية المستعملة في الري.

الجدول 12-22 المواصفات الكيميائية للمخلفات السائلة المنزلية المستعملة في الري.

(تمثل جميع القيم التراكيز القصوى المسموح بها، ملغ / ل ما لم يذكر غير ذلك)

المعامل	مواصفات وكالة حماية البيئة (USA, 1992) (FAO, 1992)	الخضار والفواكه المحتمل استهلاكها نيئة خلال أسبوعين من الري	الخضار المطبوخة والفواكه إذا لم يتم ريها خلال 14 يوماً من جنيها. الأعلاف. الغلال. الحبوب
BOD	-	15	20
COD	-	150	200
الفينولات الكلية	-	0.001	0.002
فوسفات كلي P	-	30	30
الكبريتات $SO4^{--}$	-	400	400
الألمنيوم Al	20	5	5
الزرنيخ As	2	0.1	0.1
الباريوم Ba	-	1	2
البورون B	2	0.5	1
الكادميوم Cd	0.05	0.01	0.01
لكوبالت Co	5	0.05	0.05
الكروم Cr	1	0.05	0.05
النحاس Cu	5	0.5	1
الزئبق Hg	-	0.001	0.001
الليتيوم Li	0.075	0.07	0.07
الموليبدن Mo	0.05	0.01	0.05
النيكل Ni	2	0.1	0.1
الرصاص Pb	0.075	0.1	0.2
الزنك Zn	10	5	5
الفاناديوم V	1	0.1	0.1
السلينيوم Se	0.02	0.02	0.02
الحديد F	15	1	2
الصوديوم Na	-	200	300

يتبع الجدول 12-22

السيانيد Cn	-	0.05	0.1
النترات N-NO3-	-	50	50
النتروجين النشادري N	-	5	10
إجمالي الزيت المستخلص	-	0.5	0.5
مجموع الأملاح المذابة	2000	1500	2000
دالة الهدروجين pH	-	9-6	9-6
عدد العصيات المعوية البرازية في 100 مل	-	200	1000
عدد بيوض الديدان/ ل	-	1>	1>

ويبين الجدول 12-23 الخصائص الكيميائية والخصوبية للمياه المعالجة في محطة عدرا بدمشق، أما تركيز بعض العناصر الثقيلة فيوضحها الجدول 12-24.

الجدول 12-23 متوسط قيم الخصائص الكيميائية والخصوبية للمياه المعالجة في محطة عدرا بدمشق

نوع المياه	pH	EC_w	ملغ/ل				
		ds/m	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{--}	B	BOD
معالجة	7.40	0.91	0.40	1.30	8.73	0.63	55
عادمة	7.07	1.07	0.26	6.41	9.95	0.92	122.5

نوع المياه	شحنة مليمول/ل						
	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{-2}	Na^{+2}	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}
معالجة	3.27	4.96	0.15	1.49	1.28	3.26	2.19
عادمة	3.45	6.10	0.17	1.53	1.32	3.95	3.03

تتميز المياه المعالجة في محطة عدرا بأنها ذات pH معتدل تقريباً (7.40)، وملوحة خفيفة أقل من 1 ds/m ومحتوى من النترات 0.40 مغ/ل والأمونيوم 8.73 مغ/ل، وقيمها من الفسفات والبوتاسيوم منخفضة تقريباً، وتبدو قيمة BOD مرتفعة قليلاً (55 مغ/ل)، واستناداً إلى المواصفة القياسية السورية رقم 2752 لعام 2008 يمكن القول إن الخصائص الكيميائية والخصوبية للمياه المعالجة في محطة عدرا بدمشق تقع ضمن المواصفة والمعايير والحدود المسموح بها لأغراض الري الزراعي.

الجدول 12-24 قيمة EC، TDS، pH، والمحتوى من المعادن في رشاحة الحمأة بتركيز 100% (علي نظام وآخرون 2012).

الرقم الهدروجيني pH	8.7
TDS (g/l)	14.49
EC (ms)	28.833
Ca^{2+}	90.78
Mg^{2+}	69.90
Fe	76.64
Pb^{2+}	2.49
Ni^{2+}	6.20
Cd^{2+}	0.231
Cu^{2+}	4.884
Co^{2+}	1.36
Mn^{2+}	2.262
Zn^{2+}	28.60

ويبين الجدول 12-25 الحدود القصوى لبعض العناصر المعدنية الثقيلة المسموح بها في المياه المعالجة وفق المواصفات السورية.

الجدول 12-25 الحدود القصوى لبعض العناصر المعدنية الثقيلة المسموح بها في المياه المعالجة حسب المواصفة القياسية السورية رقم 2752 لعام 2008.

العنصر	الاستعمال طويل الأجل	الاستعمال قصير الأمد
مغ/ل	(بشكل دائم)	(حتى 20 سنة كحد أقصى)
Al	5	20
As	0.1	2
B	0.75	2
Cd	0.01	0.02
Cr	0.1	1
Co	0.05	5
Cu	0.2	5
F	1	15
Mo	0.01	0.5
Ni	0.2	2

أما المواصفات الحيوية فتبينها الجداول 12-26، 12-27، 12-28.

الجدول 12-26 الفيروسات الموجودة في مياه الصرف الصحي.

الفيروسات	المرض
Adenovirus	مشكلات تنفسية
Coxsackievirus	التهاب بلعوم مع قشعريرة
Enterovirus	مشكلات تنفسية والتهاب أمعاء
Hepatitis	التهاب الكبد
HIV	الإيدز
Influenza	أُنفلونزا
Norwalk	التهاب أمعاء
Poliovirus	شلل الأطفال
Reovirus	مشكلات تنفسية والتهاب أمعاء
Rotavirus	التهاب أمعاء

الجدول 12-27 الجراثيم الممرضة الموجودة في مياه الصرف الصحي.

الجراثيم	المرض
Bacillus anthracis	الجمرة الخبيثة
Brucella spp.	الحمى المتموجة
Campylobacter jejuni	التهاب أمعاء
Clostridium spp.	غرغرينا
Enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC)	التهاب أمعاء وإسهال
Leptospira interrogans icterohemorrhagiae	داء اللوبية النحيفة
Mycobacterium tuberculosis	السل
Salmonella enteric paratyphi	التيفود
Salmonella spp.	التسمم الغذائي
Salmonella typhi	حمى التيفود
Shigella spp.	الزحار
Vibrio cholerae	الهيضة
Vibrio parahaemolyticus	التهاب أمعاء
Yersinia enterococolitica	التهاب أمعاء

الجدول 12-28 الحيوانات الأوالي والديدان الطفيلية الممرضة الموجودة في مياه الصرف الصحي.

الأوليات	المرض
Cryptosporidium parvum	إسهال
Entamoeba coli	قرحة، إسهال
Entamoeba histolytica	الزحار الأميبي
Giardia lamblia	إسهال وسوء امتصاص
الدودة	المرض
الدودة الشريطية	الإسهال وألم البطن
الأنكلوستوما	أنيميا
الأسكاريس	آلام بطن وإسهال العصبية والخمول وفقدان ذاكرة وفقر دم
الدودة الشوكية	مرض الأكياس المائية
الدودة الفتاكة	مرض دودة الأنسيلوستوما (أنيميا)

4. معايير صرف المخلفات السائلة الصناعية

يجب أن تخضع مياه الصرف الصناعي الناتجة عن عمل المنشآت الصناعية إلى معالجة منفصلة ونوعية، حتى لا تصبُّ في شبكات الصرف الصحي ثم محطة المعالجة إذ كانت تؤذي شبكة الصرف بالانسدادات أو تكوين الخمائر أو بالمشتقات النفطية أو المواد الأكالة، أو تحتوي مواد سامة أو معادن، أو تسبب زيادة تحميل محطة المعالجة، أو ذات تأثيرات سلبية في الحياة النباتية.

وغالباً ما تهتم المعالجة الثانوية بالتخلص من المواد العضوية القابلة للتحلل والمواد العالقة والجراثيم الممرضة، وقد وضعت معايير أكثر تشدّداً للغُذيَّات والملوثات الرئيسة قبل الصرف.

يبيّن الجدول 12-29 أهم الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصناعي، ويبين الجدول 12-30 التراكيز المختلفة لمياه الصرف الصحي والصناعي.

الجدول 12-29 أهم الملوثات في المخلفات السائلة الصناعية.

الملوث	الأهمية
المواد العالقة	تزيد ترسيب الحمأة وتكوين ظروف لاهوائية في البيئة المائية عند صرفها.
المواد المغذية	الغذيات الأساسية هي النتروجين والفسفات التي يؤدي صرفها إلى البيئة المائية إلى نمو الأحياء المائية غير المرغوب فيها، وعند صرفها على الأرض بكميات كبيرة يؤدي ذلك إلى تلوث المياه الجوفية.
الملوثات شديدة الخطر والضرر	مركبات عضوية ولاعضوية هي مواد مسرطنة أو تسبب التشوهات الخلقية أو تغير المورثات أو شديدة السمية، والعديد منها يوجد في مياه الصرف.
المعادن الثقيلة	تصرف إلى المياه عن طريق الأنشطة التجارية والصناعية وفي حال استعمال المياه يجب إزالتها تماماً.
المواد العضوية صعبة التفكك	يمكن لهذه المواد مقاومة طرائق المعالجة التقليدية مثل المنظفات الصناعية والفينول والمبيدات الزراعية.
الأملاح اللاعضوية المذابة	مثل أملاح الكلسيوم والصوديوم والكبريتات، وفي حال استعمال المياه يجب إزالتها تماماً.

درجة الحرارة هي درجة سلسيوس C^o degrees Celsius

الجدول 12-30 التراكيز المختلفة (قيم مثالية) لمياه الصرف الصحي والصناعي.

المصدر	pH	الطلب على الأكسجين ملغ/ل		المواد الصلبة الكلية ملغ/ل		زيوت وشحوم ملغ/ل
		BOD	COD	العالقة	المنحلة	
الصرف الصحي	7	250	500	220	500	-
صناعة الألبان	4	14000	21100	12150	19000	320
صناعة الخميرة	5.3	2100	3400	540	3500	9
صناعة حفظ وتعليب الفواكه والخضراوات	5,5	800	1400	2200	1270	94
صناعة الغزل والنسيج	6.5	840	1500	1800	17000	155
صناعة الورق واللب	8	360	2300	1640	1980	-
صناعة المشروبات	9	620	1150	760	1290	-
صناعة دباغة الجلود	10	2370	4950	2600	8500	115
صناعة تعليب الأسماك	11	890	2350	565	8218	290

أسئلة للمناقشة



- عرّف الحمأة، المعالجة الثانوية، محطات المعالجة بالنباتات.
- قارن بين المخلفات السائلة المنزلية والصناعية.
- تتميز معالجة المخلفات السائلة بتتابع المراحل الأساسية الآتية: ...
- لماذا تستأثر الجراثيم بأهمية كبيرة في معالجة المخلفات السائلة؟.
- اربط بين أحواض الترسيب ومعالجة المخلفات السائلة المنزلية.
- أوضح فوائد ومخاطر استعمال الحمأة.
- ارسم مخططاً توضيحياً لمعالجة الصرف المنزلي لغرض تربية الأسماك.

المراجع References

بارسباي، عامر – عمر الكيالي – مهند كيالي – جورج حداد – أحمد عبد الوهاب – عاصم شحادة – سيزار كريم – إيمان منذر – عبد الرحمن المقداد (2003). الشركة العامة للصرف الصحي بدمشق، تقييم عمل محطة مياه مجاري دمشق.

التركماني، عبد الرزاق (2009). الخطة الوطنية لإدارة مياه الصرف الصحي في سورية المحاور الإقليمية ومحطات المعالجة، استراتيجية وطنية غائبة وهدر للأموال، على الموقع www.4enveng.com

خليل، محمد بشار (2011). تقرير مديرية الصرف الصحي بوزرة الإسكان في سورية، الشركة العامة للصرف الصحي.

علي نظام، عدنان – ابراهيم، وفيقة – الخلف، بسمة محمد الخلف (2012). تأثيرات رشاحة الحمأة في إنبات البذور وبادرات الرشاد المزروع (Lepidium sativum). مجلة بحوث جامعة حلب، سلسلة العلوم الأساسية، العدد 82.

عوض، عادل، حمود، نديم، شاهين، هيثم (2000). دراسة تطور أجناس الطحالب في بحيرات الأكسدة للمعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في مدينة السلمية، حماة. مجلة جامعة دمشق، المجلد 16، العدد الثاني.

محاضرات تدريبية لمشغلي محطات معالجة مياه الفضلات، المكتب الإقليمي لشرقي المتوسط، المركز الإقليمي لأنشطة عمان 2001

المواصفة القياسية السورية رقم 2580 – 2008 الخاصة بالمخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف العامة.

المواصفة القياسية السورية رقم 2665 (2002). إعادة الاستعمال الآمن للحمأة الناتجة عن محطات المعالجة.

المواصفة القياسية السورية رقم 2752 (2008). معايير ومواصفات مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري.

المواصفة القياسية السورية رقم 3474 – 2009 الخاصة بالمياه المعالجة المسموح بصرفها إلى البيئة المائية.

هيئة الطاقة الذرية السورية (2001). دراسة إمكان استعمال الحمأة في الزراعة في سورية، هـ ط ذ س . ش / ت د ع 386.

وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA (1992)، نوعية مياه الري المستعملة في الزراعة.

Adriano D. C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment, springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. 536 p.

AFP Sciences (1996). La Biodépollution, Nouvelles Scientifi. - Juillet.

Ali M. M., Soltan M. E. (1999). Heavy metals in aquatic macrophytes, water and hydrosoils from the river Nile, Egypt. J. Union Arab. Biol, Cairo 9(B), 99-115.

APHA, AWWA,WPCE(1995).Standard methods for examination of water and waste water, Washington, American public health association, 18th ed. USA.

Brook/Cole – Thomson 2005

Chapman H. D., Pratt P. F. (1961). Method of analysis for soils, plants, and waters, Agr.Pupl., Univ. of Calif., Reverside.

CIRSEE (Centre de Recherches des Lyonnaises des Eaux- Dumez- France. World Media. H. Deguine, M. Hurtrez, P. Vallee.

El-Sheekh M., Hamouda R.A., A. Nizam A. (2013). Biodegradation of crude oil by Scenedesmus obliquus and Chlorella vulgaris growing under heterotrophic conditions. International biodeterioration & Biodegradation journal homepage: www.elsevier.com/locate/ibiod

FAO 1992. Wastewater treatment and use in agriculture.

FAO 2000. User manual for irrigation with treated wastewater. FAO regional office for the near east, Cairo, Egypt.

Feachem R. G., Bradley D., Garslick H., *et al.*, (1983). Sanitation and disease: Health aspects of excreta and Waste water management. World Bank Studies in water and sanitation, 3, J. Wiley.
GEA Heat Exchangers/ GEA 2H Water Technologies GMbH
Gupta M., Chandra P. (1994). Lead accumulation and toxicity in Vallisneria spirallis (L.) and Hydrilla verticillata (F.) J. Environ. Sci. Health A 29:504-516.
Kalra, P.Y., 1998. Reference Methods for plant analysis CRC Press, Boca Rotan, D.C.
Kosba, Z.A., Zaied, K. A., (1998). Selective Accumulation of Pollutants Produced from Chemical Fertilizer Industry by Genetic Construction of new Microbial Strains. J. Env. Sci. Mans. Univ. Vol. (1): 1 – 28.
Pescod M. B. (1991). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 47, food and agricultural organization FAO, Rome.
Prost R., (ed). 1997. Contamination soils, proceeding of the 3ed. International conference on the biogeochemistry of trace elements, May 15 – 19, 1995, INRA – Paris, Versailles 78026, France.
Ramos L., Fernaudez M. A., Gonzalez M. J., Hernandez L. M. (1999). Heavy metal pollution in water, sediments and earthworms from the Ebro River, Spain. Bull. Envir on. Contam. Toxicol. 63:305-311.
Straus M., Blumenthal V., (1994). Health implications of excreta and wastewater use, Huber Environmental Sanitation Study, 2nd. Workshop, Wahan, March 3 – 4.
WHO (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, world health organization, Geneva.
www.krg.org/articles/article_print.asp?ArticleNr=10329 – 27k
www.raya.com/.../article.asp?cu_no2&item_no=178045&version=1&template_id114&parent_id=54 – 70k
www.reefnet.gov.sy/phpBB2/viewtopic.php?t=26709&sid=195d4a3f8dd200776843bb8a5d9353c – 11k

ВОДНАЯ МИКРОБИОЛГИЯ
ДР.АДНАН АЛИ НИЗАМ, 01/2004, 02/2007, 03/2017

المصطلحات

T e r m s

◄A►

ability	قُدرة	abundance	وفرة
abyssal	سحيق (عميق جداً)	acid	حمض، حمضي
acidophilous	أليف الحموضة	acidity	حموضة
acidophile	أليف الحموضة	Actinomycetes (actinobacteria)	شعّيات، جراثيم شعاعية
activated	منشَّط	activities	نشاطات
advanced	متقدّم	adverse	غير الملائم
aerobic	هوائي	aerosols	ضبوبيات
aerated	مهوّى	aesthetic	جمالي
age	عمْر	aggregate	كُداسة
agricultural	زراعي	air	هواء
alkalibiontic	قلويــة	alkaliphilous	أليف القلويـة
annelid worms	ديدان حلقية	alcanotrophic	ذو تغذية بالألكانات
algae	طحالب	algal	طحلبي، ...طحالب
alkalinity	قلوية	alkali (alkalies)	قلوي (قلويات)
allochthonous	دَخيل (غريب)	alluvial	طميي
alum	كبريتات الألمنيوم (الشبة)	amictic	عديم الطبقات
ammonification	نشدرة	anaerobic	لاهوائي
anaerobiosis	ظاهرة الحياة اللاهوائية	analysis	تحليل
anionic	شرسبي (مصعدي)	anoxic	منقوص الأكسجين
anoxygenic	لاأكسجيني	antagonism	تضاد

antibiotics	صادات حيوية	antimicrobials	مضادات الجراثيم
aphotic	مظلم	appendages	ملحقات
application	استعمال، تطبيق	appllied	تطبيقي
aquatic	مائي	aquifer	صخور خازنة للماء
arsenicosis	تسمم بالزِرنيخ	artesian	أرتوزاي
artificial	مُستحْدث	aspect (+s)	مظهر (أوجه)
association	تجمُّع، ارتباط	atmospheric	جوي
water	مياه، المياه	attached	متصل
autochthonous	أصيل	autotroph	ذاتي الاغتذاء (أحياء)
available	متاح	availability	متاحية

◄B►

bacteria	جراثيم	bacterial	جرثومي
bacterioneuston	طافيات جرثومية	bacteriology	الجُرثوميات، علم الجراثيم
bacteriophages	عاثيات الجراثيم	bacterioplankton	عوالق جرثومية
barophilic	أليف الضغط	barophiles	أليفات الضغط
barotolerant	متحمل الضغط	basic	أساسي
batch	دفعة	bathometer	مِعْماق (جهاز أخذ العينات من الأعماق)
bathyal	أعماق البحار	behavior	سلوك
benefit	منفعة	benthic	قاعي
benthos	قاعيات	bioaccumulation	تراكم حيوي
biochemical	حيوي كيميائي	biocorrosion	صدأ حيوي
biocides	مبيدات حيوية	biodiversity	تنوع حيوي
biofilms	رقاقات حيوية	biofilters	مرشحات حيوية
biofouling	أوحال حيوية	biogeochemical	حيوي أرضي كيميائي
bioindicators	مُشْعِرات (دالات) حيوية	biological	حيوي، حياتي
bioluminescent	وامض	bioluminescence	وَمضان حيوي
biomagnification	تضخم حيوي	biomass	كتلة حيوية

biomonitoring	رصد حيوي	biosphere	غلاف حيوي
biotechnological	... التقانة الحيوية	biotechnology	تقانات حيوية
biosolids	مخلفات صلبة حيوية	biotope	موقع حيوي
blooms	ازدهار	blue babies	متلازمة زرقة الأطفال
bromine	بروم	brown	سمراء
bulking	انتفاش	buoyancy	طفو

◄C►

calcification	تكلُّس	catheters	أنابيب القسطرة
cationic	مهبطي (شرجبي)	cellulose	سليلوز
centric	مركزي	chain	سلسلة
change	تغيُّر	chemical	كيميائي
chemicals	مركبات كيميائية	chemosynthetic	كيميائي الاغتذاء
chitin	كيتين	chlorination	كلورة
chloride	كلوريد	chlorine	غاز الكلور (الكلورين)
cholera	هيضة	circadian	سنوي
clarification	ترويق	clarity	شفافية
clay	غضار	clean water	مياه نظيفة
coagulants	مخثرات	coagulation	تخثير، تخثر
coccolithes	حُبيبات حجريّة	cold	بارد
coliforms	أشكال معوية	collecting	... جمع
colonies	مستعمرات	colour	لون
communities	مجتمعات	comminutors	ساحنات
compensation	تعويض	competition	تنافس
compounds	مركبات	composition	تركيب
compression	الانضغاط	concentration	تركيز
concretions	تحجرات	conductivity	ناقلية
connections	ارتباطات	conserve	صون
consumer	مستهلك	consumption	استهلاك
constituents	مكوّنات	contactors	ملامِسات
contaminants	ملوِّثات	contaminated	ملوَّث

contamination	تلوُّث	continuous	مستمر
control	تحقُّق، ضبط	controlling	ضبط
counting	...العد	counts	أعداد
conventional	عادي	cosmopolitan	عالمي الانتشار
crops	محاصيل	culture	مزرعة
cyanophages	عاثيات الجراثيم الزرقاء	cyanobacteria	جراثيم زرقاء
cycle	دورة	cycling	تدوير
cyst – like	شبه متحوصل	cytology	علم الخلية

◄D►

dead	الميت	decay	تآكل
decomposer	مفكِّك (أحياء)	decomposing	تحلل، تفكك
deep	أعماق، عميق	degradation	تفكك، هدم
demand	طلب على (الاحتياج)	denitrification	نزع النتروجين
dense	مكثّف	density	كثافة
depth	عمق	degree	درجة
deprivation	حرمان	desiccation	تجفاف
destruction	تفكك، تخريب	detergents	منظفات
detoxification	إزالة السمية	detritus	فُتات
development	تنمية، تطور	diatomaceous	المشطورات
diatomite	صخور الدياتوميت	diatoms	مشطورات
diffusion	انتشار	diffusivity	انتشارية
digestion	هضم	dimictic	ثنائي الطبقات
dinoflagellates	سوطيات داينوية (ثنائية السياط)	dioxide	ثنائي أُكسيد
diseases	أمراض	disinfection	تطهير (تعقيم)
disk	قرص	dispersal	منتشر
distribution	توزُّع	dissolved	منحل
ditches	خنادق (قنوات)	diurnal	نهاري
diversity	تنوُّع	domains	مجالات

domestic	منزلي	dominant	سائد (كثيف)
drinking	... شرب	drying	تجفيف
dwarf	قزم	dynamic	حركي

◄E►

ecological	بيئي	ecosystem	نظام بيئي
effect	تأثير	electrical	كهربائي
endemic	متوطن	endemism	توطن
epidemiology	وبائي	enteric	معوي
enteroviruses	الحُمَات (الفيروسات) المعوية	environment	بيئة
environmental	بيئي	enzyme	إنزيم
epilimnion	الطبقة العليا (السطحية)	epilithon	فوْصخري
epiphytic	فَوْنباتي (ملتصق)	epiphyton	فَوْنباتية
erosion	حَتّ	essential	أساسي
estimation	تقييم	estuary	مصب (مصب نهري)
eukarya	حقيقيات النواة	euphotic	مضاء، وافر الضوء
euryhaline	واسع تحمّل الملوحة	eutrophication	إثراء غذائي
eutrophic	جيد الاغتذاء	evaporation	تبخُّر
evapotranspiration	تبخُّر كلي	evolution	تطوُّر
evolutionary	... التطوري	evolved	نشوئي، متعلق بالتطور والنشوء
equalization	موازنة	exchange	تبادل
exudation	استحلاب	excretion	إفراز
existence	وجود	extreme	مفرط، شديد، قاس

◄F►

factor	عامل	facultative	المخيَّر، الاختياري
faecal	برازي	fate	مصير

features	طبيعة (قانونية)	fermentation	تخمُّر
fertilizers	أسمدة	fever	حُمّى
field	حقل	filter	مرشحة
filter-feeding	تغذية بعملية الترشيح	filtration	ترشيح
fixed	مُثبَّت	fixing	مثبِّت
Flashlight fish	أسماك ذات ومضان	flocculation	تندُّف (تلبُّد)
flocs	النُّدَف	flotation	تعويم، طفو
fluoride	الفلوريد	fluorosis	التسمّم بالفُلُور (دَغْموس)
flow	تدفق	flowing	جريان
fluidity	سيولة	foaming	الرغو
food	غذائي	formation	تكوين (تشكيل)
forms	أشكال	free-floating	طاف حر
freshwater	مياه عذبة	freezing	متجمِّد
friction	احتكاك	fruit bodies	أجسام ثمرية

◄G►

gasses	غازات	gas vacuoles	فجوات غازية
gas vesicles	حُبابة غازية	general	عامّ
generation	جيل، نشوء	genetics	علم الوراثة
geographic	جغرافي	geological	جيولوجي
geothermal	حراري أرضي	global	شامل
golden	ذهبي	gravity	جاذبية
gravel	حصى	grazing	رعي
green	أخضر	grit	الرمل
grit chamber	غُرفة مصايد الرمل	gross	إجمالي
growth	نمو	groundwater	مياه جوفية
groups	مجموعات		

◄H►

habitat	موئل (موائل)	halo-obligate	بيئة مالحة فقط
haloresistant	مقاوم للملوحة	halotolerant	متحمل للملوحة
hard	عسِر	hardness	قساوة
harmful	ضارّ	hazard	ضرر
health	صحي، ... الصحة	heating	تسخين
heavy	ثقيل	hepatitis	التهاب الكبد
herbivorous	عاشب	heterocyst	حويصل مغاير
heterotrophic	غيري الاغتذاء	high	عالٍ
holdfasts	مواسك	horizontal	أفقي
hot	حارّ	household	أجهزة منزلية
humic	دبالي	humification	تدبُّل
humus	دبال	hydrosphere	غلاف مائي
hydrothermal	حارّ (حراري مائي)	hyperthermophiles	أليف الحرارة المفرطة
hypereutrophic	مفرط الاغتذاء	hypnospores	أبوغ ساكنة
hypolimnion	طبقة سفلى	hypoxic	عِوَز للأكسجين

◄I►

identification	تعريف	immunology	مناعيات
implants	الغِرْسات	index	مَنْسَب
indicators	مُشعِرات، دالات	indices	استدلالات، دالات
indifferent	غير المميز	individuals	الأفراد
industrial	صناعي	infections	الأخماج
infectious	معدي	infiltration	ارتشاح
inflow	تدفق في المصب	infrared	تحت الحمراء
inoculation	تَلْقيح	inorganic	لاعضوي
insects	حشرات	interactions	تآثرات
internal	داخلي	ions	شوارد (إيونات)
iron	حديد	isotopes	نظائر
isolates	عَزْلات	isolation	عزْل

◄K►

katarobic	... النظيف (من حيث التفكيك)

◄L►

lagoon (+s)	الأحواض الضحلة	lake	بحيرة
lamella plate	ذو الصفيحة المتطبقة	landfills	مطامر
large	كبير	layer	طبقة
leaching	غسل	legnin	لغنين، خشبين
lentic	راكد	lethal	القاتل
level	مستوى	light	ضوء
limestone	حجر الجير	limiting factor	العامل المحدد
limits	محدّدات	limnetic	مضاء، أعلى
limnology	علم المياه العذبة	ligiud	سائل
lithoautotrophic	ذاتي الاغتذاء اللاعضوية	littoral	شاطئي
loop	حلقة	lotic	جارٍ
luminous	وَامض (جراثيم)	luxury	رفاهيّة

◄M►

magma	مُهل ناري	marine	البحر، بحري ..
marine snow	الثلج البحري	marsh	مستنقع
mat	حصيرة	matter	مادة
maturation	إنضاج	measurement	قياس
mesotrophic	معتدل الاغتذاء	mesosaprobic	المياه معتدلة التفكك
metabolites	مُسْتَقْلَبات	metals	معادن (فلزات)
method	طريقة (طرائق)	methylotrophs	مِتيلي الاغتذاء
microalgae	طحالب دقيقة	microbial	... الأحياء الدقيقة
microbiology	علم الأحياء الدقيقة، ميكروبيولوجيا	microbiological	... الأحياء الدقيقة، ميكروبيولوجي
microcolony	جماعة صغيرة	microfiltration	الترشيح الصِغري

microorganisms	أحياء دقيقة	microscopic	مجهري
migration	هجرة	mineral	معدني
mineralization	معدنة	minibacteria	جراثيم صغيرة
mixed	مختلط	mixing	مزج، خلط
mixotrophy	تغذية مختلطة	molds	أعفان
molecule	جزيئة	monitoring	رصد
monomictic	وحيد الطبقة	monomixis	مزج وحيد
moor	سَبْخة	movement	انتقال
multimedia	عديد الوسط	municipal	حضري
mudflats	مسطحات طينية	mycelium	أفطورة، خيوط فطرية
mycology	علم الفطريات	mycoviruses	عاثيات الفطريات

◄N►

nanoplankton	عوالق نانوية	nanofiltration	ترشيح نانوي
natural	طبيعي	nekton	سابحات
net	شبكة ، (2) صاف	neuston	طافٍ
niche	موطئ	nitrate	نترات
nitrification	نترجة	nitrogen	نتروجين
nitrogenase	نتروجيناز	nodule	عقدة صغيرة (عُقيدة)
nonionic	لاشاردي	nonpoint source	غير محدَّد المصدر
nonsulfur	لاكبريتي	nuisance	أذى، المؤذي
nutrients	غُذيَّات، مغذيات	nutrition	تغذية

◄O►

observe	فحص	oceanography	علم المحيطات
odour	رائحة	oligocarbophil	قليل الألفة للكربون
oligonitrophilous	أليف قلة النتروجين	oligotroph	قليل الاغتذاء
oligotrophic	... قليل الاغتذاء	olive mill	عصر الزيتون
organic	عضوي	organism (+s)	حي (أحياء)
origin	نشوء	outbreak	انفجار

oxic waters	مياه أكسجينية	oxide	أكسيد
oxidation	أكسدة	oxygen	أكسجين، أكسجيني
oxycline	منحدر أكسجيني	ozone	أوزون

◄P►

paralytic	شللي	parameters	معاير
parasite	طفيلي (طفيليات)	parasitic	... طفيلي
particulate	دقائقي	pasteurization	بسترة
pathogenicity	إمراضي	pelagic	.. المياه المفتوحة، البيلاجية
pennate	الريشي	perennation	تعمير
periodic	دوري	periodicity	دورية
periphyton	الطحالب الركيزية	pesticide	مبيد
petroleum	نِفْط	phagotrophic	تغذية بلعمية
phase	طور	phosphorus	الفسفور
photogenic	منتج للضوء	photoinhibition	تثبيط ضوئي
photophilic	أليف الضوء	photoprotectants	واقيات ضوئية
photosynthesis	تركيب ضوئي	photosynthetic	... التركيب الضوئي
phototrophic	ذاتي الاغتذاء الضوئي	phycology	علم الطحالب
phylogenetic tree	شجرة تطوّر السلالات	phycosphere	محيط طحلبي
phycoviruses	عاثيات الطحالب	physical	فيزيائي
physiological	وظيفي	picoplankton	عوالق بيكية
piezophiles	أليف الضغط	pits	نُقَر
plants	نباتات، محطات (تقنية)	point source	محدَّد المصدر
pollutants	ملوِّث	pollution	تلوُّث
polluted	ملوَّث	polymictic	عديدة الطبقات
poliomyelitis	شلل الأطفال (التهاب سنجابية النخاع)	pond	بركة (برك)
pores	ثقوب	porosity	مسامية

position	مكانة	potable	شروب
potential	الكامن	precise	دقيق، مضبوط
predation	افتراس	predatory	...المفترس
preliminary	تمهيدي	press	ضاغط، ضغط
pressure	ضغط	prevalence	انتشار
primary	أولي	probable	احتمالي
process	عملية	producers	منتِجات
production	إنتاج	productivity	إنتاجية
productive	... المنتِج، الإنتاجي	profundal	...الأعماق
properties	صفات	protista (protist)	الأوّلانيات
protozoa	الحيوانات الأوالي	psychrophilic	أليف القر أو البرودة
psychrophiles	أليفة القرّ	public	عام، جماهيري
punctae	تَثْقِير	pure	نقي
purity	نظافة، نقاء، نقاوة	purification	تنقية
purple	أرجواني	pyramid	هرَم

◄Q►

quality	جودة (نوعية)	quaternary	رابعية

◄R►

radiation	إشعاع	radiological	مشعّ
radioactive	مشعّ	radioactivity	نشاط إشعاعي
racks	أمشاط	rain	مطر
rainjars	مياه تُجمع في جرار	raintanks	أحواض
ranges	مجالات	rapid	سريع
rays	أشعة	reach	مُنبَسط مائي
reactor	مفاعل	reaction	تفاعل
reactive	متفاعل	recovery	الشفاء
red	أحمر	reducing	مرجِع
reduction	إرجاع	removal	إزالة

renewable	متجدد	resistant	مقاوم
reservoirs	البحيرات المستحدثة، أحواض	resource	مصدر
richness	غنى	rising	صعود
risks	مخاطر	river	نهر
role	دور	rotating	دوراني
rule	أسلوب	runoff	صبيب، جريان

◄S►

safe	آمن	saline	مالح
salinity	ملوحة	sampling	اعتيان
sand	رمل	sandstone	حجر رملي
saprobity	تفكيك	sciaphilic	أليف الظلام
screen (+s)	مصفاة (مصاف)	screening	غربلة، تصفية
scums	زبَد	sea	بحر
seasonal	فصلي	secondary	ثانوي
sedimentation	ترسيب	sediments	رَسُوبات
self	ذاتي	self-purification	التنقية الذاتية
senescent	هرِم	sequential	متتابع
settling	ترقيد	settlers	مرقدات
siderophores	حوامل الحديد	sinking	غوص
sludge	حمأة	silt	طمي، غرين
slime	لزج	slow	بطيء
soil	تربة	soft	يسِر
softening	تطرية المياه	source	مصدر
species	نوع	space	فضاء
specification	مواصفات	specific	نوعي
spines	أشواك	spontaneous generation	نشوء تلقائي
spring outbursts	انفجارات ربيعية	spring	نبع (ينابيع)

ضيق تحمُّل الملوحة	stenohaline	المعايير والمواصفات القياسية	standards
تعقيم	sterilization	ضيق التحمل الحراري	stenothermal
الاستقرار (الموازنة)	stabilization	مستقر	stable
مياه مخزونة	stored water	حالة	status
إجهاد	stress	تطبُّق	stratification
بنية	structure	دروز	striae
تحتأرضي	subterranean	تعاقب	succession
تحت سطحي	subsurface	مركب	substance
كبريتات، سُلفات	sulfates	صلاحية	suitability
إشعاع شمسي	sun (the sun)	كبريت	sulfur
عالق	suspended	سطحي	surface
تعايش	symbiosis	أراض غدقة	swamps
نُظم	systems	تعايشي	symbiotic

◄T►

قلاح	tartar	حوض	tank
تقاني	technological	طَعْم	taste
درجة الحرارة	temperature	معتدل	temperate
أرضي، بري	terrestrial	توتر	tension
اختبارات	tests, testing	ثالثي	tertiary
حراري	thermal	مد	tide
أليف الحر	thermophilic	منحدر حراري	thermocline
إجمالي	total	تكثيف	thickenings
سمية	toxicity	سام	toxic
صِغْري (آثاري)	trace	سموم، ذيفانات	toxins
شفافية	transparency	مسار	tracking
نَتْح	transpiration	نفاذية	transmissivity
تريكوم (نامية شعرية)	trichome	معالجة	treatment
اغتذاء	trophic	نضّاحة	trickling

trophogenic	اغتذائي	trophy	اغتذائية
tubular	أنبوبي	turbidimeter	جهاز العكر

◄U►

ultra-	فائق، فوق	uniform	منتظم
unique	فريد	universal	مشترك

◄V►

vaccines	لقاحات	vents	منافس
vertical	شاقولي	virulence	فوعة
viruses	الحُمات (الفيروسات)	viscosity	لزوجة

◄W►

warming (global warming)	احتباس حراري	wastewater	مخلفات سائلة
waterborne	منقول بالمياه	wetlands	الأراضي الرطبة

◄X►

xenobiotics	مواد غريبة

◄Y►

yeasts	خمائر

◄Z►

zonation	تمنطق	zone	منطقة
zooplankton	عوالق حيوانية		

List of Organisms قائمة الأحياء

◀▶

Achnanthes lanceolata, A. microcephyl, A. minutissima, A. exigua, A. affinis, A. ventricosa, Achromobacter, Acidilobus aceticus, Acidophilium, Acinetobacter, Actinomadura, Aerobacter, Aeromonas, Agmenellum quadriduplicatum, Alatospora: A. acuminate, Alcaligenes, Alexandrium tamarens, A. minutum, Amphora uvalis, A. ovalis, Anabaena: A. lemmermannii, A. sircinalis, A. constricta, A. flos-aquae, Anabaenopsis, Anacystis: A. cyanea, Ancalomicrobium, Anguillospora: A. crassa, Ankistrodesmus: A. falactus var. acicularis, Anomooeoneis, Aphanizomenon: Aph. flos-aquae, Aphanothece, Aponia, Aquaspirillum magnetotacticum, Arthrobacter: A. parvulus, A. butyri, Articulospora: A. tetracladia, Aspergillus, Asterionella: A. gracillima, A. formosa, A. japonica, Asticcacaulis, Aureobasidium, Aureococcus, Aureoumbra.

◀▶

Bacillus: B. mesentericus, B. cereus, B. mycoides, B. subtilis, B. hexcarbovorum, B. anthracis, B. esterificans, B. polymyxa, B. pumilis, B. brevis, B. coccoides, Bacterium: Bac. agile, Batrachospermum, Betrachosperm vajum, Bdellovibrio, Beggeatoa, Borzia, Botryococcus braunii, Brachysira, Brevibacterium, Brucella.

◀▶

Caloneis, Calothrix braunii, C. parietina, Campylobacter: C. jejuni, Candida: C. humicola, C. scotti, C. aquatic, C. parapsilosis, Capartogramma, Caulobacter: C. bacteroids, C. crescentus, Cellulophaga, Ceratium: C. hirundinella, C. fusus, C. hirundinella, C. lineatum, C. furca, C. carriense, C. trichocerus, C. massiliense, Ceriosporopsis, Chaetoceros: Ch. decipiens, Ch. laciniosus, Ch. lauderi, Chaetophora, Chladpphora, Chlamydomonas: Ch. reinhardi, Ch. globosa, Chlorella: Ch. variegata, Ch. vulgaris, Chlorobium: Chb. limicola, Chlorococcum: Ch. botryoides, Chromatium: Ch. vinosum, Chromobacterium, Chromonas: Ch. nordsteti, Ch. cytonensis, Chromulina: Ch. rosanovi, Ch. ovalis, Chrysococcus: Ch. major, Chr. uvalis, Chr. revnisensis, Chrysosphaerella: Ch. longispina, Citromicrobium: C. bathyomarinum, Cladophora: C. glomerata, Clavatospora: C. longibrachiata, C. stellate, Clonothrix, Closterium: C. microporum, C. acerosum, Clostridium: Cl. oceanicum, Cl. perfringens, Coccochloris (Synedchcoccus): C. stagnina, Coccolithus, Cocconeis: C. placentula, Coelastrum, Corethron, Corynebacterium, Coscinodiscus, Cosmarium: Cos. Pseudobroomi, Crenothrix, Cristispira, Cryptococcus: Cr. gastricus, Cr. luteolus, Cr. bidusal, Cr. hungaricus, Cr. albicus var. albidus, Cr. infirmo-miniatus, Cr. laurentti, Cr. flavus, Cryptomonas: C. erosa, Cryptosporidium: C. parvum, Cyclotella: C. memeghiniana, C. bodanica, C. kutzingiana, C. comta,

Cylindrospermopsis, Cylindrospermum: C. muscicola, Cymbella: C. sisati, C. ventricosa, C. tirgida, C. lanceolata, Cytophaga, Dactylococcopsis: D. smithii, Debaryomyces: D. hansenii, Denticula, Desmidium, Desulfotomaculatum, Desulfovibrio: D. reduces, D. desulfuricans, Desulfurococcus: D. fermentans, Diatoma: D. vulgare, Dictyocha, Dinobryon: D. divergens, Dinophysis: D. acute, D. acuminuta, D. fortii, Diplococcus: D. pneumonia, Diploneis, Ditylum: D. brightwellii, Dunaliella, Dynobryon: D. stepitatum.

◀▶

Eichhornia: E. crassipes, Entamoeba: E. coli, E. histolytica, Enterobacter: E. cloacae, Enterococcus, Epithemia: E. sorex, Erythrobacter: E. longus, Escherichia: E. coli, Eucampia, Eudorina, Euglena: E. viridis, E. acus, E. gracilis, E. spirogyra, E. sanguinea, mutabilis, E. stellate, E. oxyuris, Eunotia, Exophiala.

◀▶

Flavobacterium, Flectobacillus, Flexibacter, Fragilaria: F. virescens, F. construens, Frustulia.

◀▶

Gaffkya, Galionella: G. ferruginea, Gelatinosa, Giardia: G. lamblia, Glaucospira, Glenodinium: G. palustre, Gloeocapsa, Gloeothrichia: G. natans, Gomphonema: G. parvulum, G. herculaneum, G. acuminatum, G. olivaceum, Gomphosphaera, Gonium, Gonyaulax: G. catenla, G . tamarinsis, Gymnodinium: G. veneficum, G. brevis, Gymnodynium, Gyrodinium, Gyrosigma.

◀▶

Haematococcus, Hantzschia, Helicobacter: Hb. pylori, Heliobacterium, Heliscus: H. lungdunensis, Heterocapsa, Heterosigma, Hydrodictyon, Hyphomicrobium.

◀▶

Katodinium, Klebsiella pneumonia, Komvophoron, Kusnezovia.

◀▶

Labyrinthula macrocystis, Lemania: L. anolata, Lemonniera: L. aquatica, L. terrestris, Leptospira: L. interrogans icterohemorrhagiae, Leptothrix: L. cholodnii, Lieskeella, Ligionella, Limnothrix: Limnothrix (Oscillatoria) redekei, Lyngbya: L. eastuarii, L. majuscule, L. limnetica, L. wollei, L. kuetzingii.

◀▶

Mallomonas caudata, M. alpine, M. caudate, Margaritispora: M. aquatic, Marinospirillum, Mastigocladus: M. laminosus, Mastogloia, Melioribacter roseus, Melosira: M. varians, Mesotaenium, Metallogenium, Methanobacterium, Methanococcus, Methanomonas: M. methanica,

Methanopyrus: M. kandleri, Methanosarcina, Methanospirillum, Micrasterias: M. trucata, Microactinium, Microbispora, Microcloeus: M. soptorolosus, Microcoleus, Micrococcus: M. luteus, Microcyclus, Microcystis: M. aeruginosa, Micromonospora: M. echinospora, Microtetraspora, Microvibrio, Moraxella, Mougeotia, Mycobacterium: M. tuberculosis, Mycosphaerella, Myxobacteria.

◀▶

Naumanniella, Navicula: N. grasilis, N. bryophila, N. minima, N. roteana, N. viridis, N. cryptocephalla, N. viridula, N. palea, N. radiosa, N. atomus, Neidium, Nitrobacter, Nitrosomonas, Nitzschia: N. lenearis, N. filiformis, N. palea, Nodularia: N. spumigena, Nostoc.

◀▶

Oceanospirillum, Ochrobium, Odontella, Oedogonium tapcin, Olithodiscus, Oocystis, Oscillatoria curviceps, O. limosa, O. tenuis, O. formosa, O. filiformis, O. chalybea, O. erythraeum, O. erythraea.

◀▶

Palmella, Pandorina: P. morum, Pediastrum: P. boryanum, Pediococcus, Pedomicrobium, Pelodictyon clathratiforme, Penicillium, Peridinium: P. cinctum, Pfiesteria: P. piscicida, Phacus: Ph. leticularis, Ph. Longicoda, Phaeocystis, Phormidium: Ph. unicinatum, Ph. autumnale, Ph. unicinatum, Ph. anondatum, Ph. tenue, Photobacterium: Ph. phosphoreum, Photoblepharon: Phb. palpebratus, Pichia: P. etchelsii, Pinnularia: P. nobilis, P. acoricola, P. microstauron, P. borealis, P. subcapitata, Planktothrix: P. (Oscillatoria) agardhii, P. rubescens, P. viridins, Prochlorococcus, Prorocentrum lima, Prostecomicrobium, Prosthecochloris aestuarii, Proteus vulgaris, Protoperidinium: P. pellucidum, P. depressum, Prymnesium: P. parvum, Pseudomonas: P. aeruginosa, P. putida, P. fluorescens, P. cohaerens, P. oleovorans, P. diminula, P. halodenitrification, P. alcaligenes, P. mendocina, P. fluorescens, P. stutzeri, P. fragi, Pseudo-nitzschia: P-n australis, Pyrococcus: P. abysii, Pyrocystis: P. pseudonoctiluca, Pyrodictium: P. occultum, Pyrodinium, Pyrolobus: P. fumarii.

◀▶

Rhaffia, Rhizoclonium: Rh. hieroglyphicum, Rhizosolenia: Rh. alata, Rh. hebetata, Rh. setigera, Rhodobacter: Rhb. phaeroides, Rhodomicrobium: Rhm. vannielii, Rhodomonas: Rh. lacostris, Rhodospirillum: Rhs. rubrum, Rhodotorula: Rh. pallida, Rh. rubra, Rh. glutinis, Rhodotorula: Rh. rubra, Rh. glutinis, var. glutinis, Rh. Glutinis, var. dairenesis, Rhoicosphenia, Rivularia: R. hamatites, Romeria, Roseobacter.

◀▶

Saccharomonospora, Saccharomyces: S. serevisiae, Saccharopolyspora, Salmonella: S. paratyphi, S. typhi, S. enteritidis, Sarcina: S. ventriculi, Scenedesmus: S. obliquus, Scytonema: S. coactile, Shigella, Siderocapsa, Siderococcus, Skeletonema: S. costatum, Snowella, Sphaerotilus: S. natans,

Spirillum, Spirogyra: S. Crassa, Spirulina, Sporobolomyces: Sp. salmonicolor, Sp. gracilis, Sp. roseus, Staphylococcus: S. aureus, Staurastrum: S. punctulatum, Stauroneis, Stephanodiscus: S. niagarea, S. hantzschii, Stigeochlonium: S. tenue, Stigeoclonium: S. nanum, S. tenue, Stigonema, Streptococcus: S. lactis, Streptomyces: S. globisporus, S. viridogenes, S. chrysomallus, S. helvaticus, S. longisporoflavus, S. pluricolorescens, S. flavofuscus, Surirella: S. splendida, S. ovata, S. linearis, S. molteriana, Symbella: S. naviculiformis, Symploca: S. muscorum, S. erecta, Synechococcus: S. elongatus, Synechocystis: S. aquatilis, Synedra: S. acus, S. ulna, Synura: S. uvella, S. acus.

◄►

Tabellaria flocculosa, T. fenestrate, Tetraspora, Thalassiosira, Thalassiothrix, Thermoactinomyces, Thermococcus: Th. Sibiricus, Thermomonospora, Thermopolyspora, Thiobacillus ferrooxidans, Thb. denitrificans, Thb. novellus, Thb. thiooxidans, Thiocapsa, Thiomicrospira, Thioplaca, Thiosphaera, Thiospira, Thiospirillum: Ths. Jenense, Thiothrix, Thiovulum, Thipedia: Th. rosea, Torulopsis: T. ingeniosa, T. candida, T. haemulonii, T. stellate, T. inconspicua, T. ingeniosa, T. famata, Toxothrix, Tribonema, Trichodesmium, Trichosporon: Tr. cutanium, Tr. Capitatum, Tricladium: T. splendens, Trigonopsis, Tumularia: T. aquatic.

◄►

Ulothrix aequalis, U. tenuissima, U. zonata, Ureglena, Uroglenopsis: U. americana.

◄►

Vibrio cholerae, V. parahaemolyticus, V. pierantonii, Volucrispora, Volvox: V. aureus.

◄►

Woronichinia, Xanthidium antilopaeum, Yersinia: Y. enterococolitica, Zygnema.

اللجنة العلميّة

الأستاذ الدكتور	الأستاذ الدكتور	الأستاذ المساعد الدكتور
غسَّـــان عيَّاش	**عبد الوهاب مرعي**	**كمال الأشقر**

التدقيق اللغويّ

الدكتورة

منـــــى طعمـــــة

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديريّة الكتب والمطبوعات

وقل رب زدني علما
Damascus University