

جودة المياه والتلوث

بروس ويب

الفصل الحادي عشر من كتاب

الجغرافيا التطبيقية : المبادئ والممارسة

أ.م. مانيون

ترجمة بتصرف

أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

للمياه في كل مرحلة من مراحل الدورة الهيدرولوجية ، بدءًا من هطول الأمطار ، مرورًا بأنظمة المياه السطحية والجوفية الأرضية ، وصولًا إلى البيئة البحرية ، يُعدّ نوعي وصفه بالرجوع إلى العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ، ويتحكم فيه عددٌ لا يُحصى من العوامل الطبيعية والتأثيرات البشرية . لجودة المياه أهمية أساسية في توفير إمدادات صالحة للشرب لاستدامة حياة الإنسان ، وفي صحة النظم البيئية المائية . كما أنها تؤثر بشكلٍ كبير على نطاقٍ واسع من الاستخدامات البشرية للمياه في الصناعة والزراعة والنقل والترفيه . في الوقت نفسه ، تُوفر هذه الاستخدامات وغيرها من الأنشطة البشرية ، بشكلٍ مباشر أو غير مباشر ، مصادرَ متعددة لتلوث المياه . عندما تؤدي عواقب أو آثار العادات البشرية العلمية والصناعية والاجتماعية إلى ظروفٍ ضارة أو غير سارة للحياة داخل البيئة المائية ، يُستخدم مصطلح "تلوث المياه" (سويتينغ، ١٩٩٤). ومع ذلك ، قد تنشأ أيضًا مشاكل حادة في جودة المياه نتيجة للظروف المناخية أو الجيولوجية الطبيعية .

لمشاكل تلوث المياه العذبة ، التي يركز عليها هذا الفصل ، تاريخ طويل ، وقد تغيرت طبيعتها مع نمو سكان العالم وتطور القدرات التكنولوجية البشرية وتعقيدها . وقد تم الاعتراف بالتلوث المحلي للبيئة المائية منذ ألفي عام على الأقل ، وفي بعض البلدان ، اتخذت إجراءات قانونية لمنع تلوث المياه منذ العصور الوسطى . ففي المملكة المتحدة ، على سبيل المثال ، سُنت قوانين في القرن الثالث عشر لحظر غسل نواتج حرق الفحم في نهر التايمز (المرجع نفسه) . وقد تسارع تلوث المياه ، وعواقبه الضارة على صحة الإنسان والنظام البيئي ، منذ القرن التاسع عشر مع تزايد التحضر والتصنيع في المجتمع البشري وتكثيف الزراعة لدعم النمو السكاني المستمر (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/منظمة الصحة العالمية، ١٩٨٨).

من أوائل الأمثلة الموثقة على الآثار الضارة لتردي جودة المياه تفشي وباء الكوليرا في لندن ، والذي عزاه جون سنو عام 1854 إلى التلوث الجسيم لنهر التايمز بمياه الصرف الصحي الخام . وقد حُلّت مشاكل تلوث الأنهار بالبراز ، المستخدمة في إمدادات المياه العامة في الاقتصادات المتقدمة ، إلى حد كبير من خلال اختراع الترشيح الرملي واستخدام الكلور . وقد تكرر تسلسل حدوث المشكلة وإدراكها ، ثم تطبيق تدابير المكافحة ، لا سيما خلال الخمسين عامًا الماضية (الشكل 11.1) . وخلال هذه الفترة ، تزامنت زيادة الوعي العام بالتلوث ، والقدرة على وضع تدابير علاجية ، والإرادة السياسية لتنفيذ استراتيجيات لمكافحة تلوث المياه ، إلى حد ما ، مع الظهور السريع لسلسلة من مشاكل جودة المياه . وقد اقترح ميبك وآخرون نموذجًا مفاهيميًا لحدوث تلوث المياه ومكافحته . (١٩٨٩) باستخدام مثال تاريخ تلوث مياه الصرف الصحي المنزلية في أوروبا الغربية على مدى القرنين الماضيين (الملحق 11.1). يمكن تطبيق هذا النموذج أيضًا على أنواع أخرى من التلوث وعلى البلدان التي لديها سياسات مختلفة ، أنماط التنمية الاقتصادية .

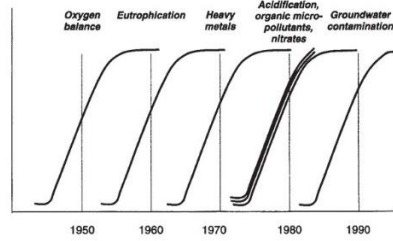


Figure 11.1 Sequence of occurrence and perception of severe water pollution problems in Europe.

Source: After Meybeck et al. 1989.

ومع ذلك ، في الحالة الأخيرة ، يختلف النطاق الزمني للمراحل عما شهدته أوروبا الغربية . ففي الدول سريعة النمو مثل البرازيل والصين والهند ، على سبيل المثال ، يحدث النمو السكاني والانتقال من مجتمع زراعي إلى مجتمع صناعي بمعدل أسرع بكثير مما حدث في أوروبا الغربية وأمريكا الشمالية . وقد تم تحديد أربع مراحل في نموذج التحكم المفاهيمي الذي وضعه ميبك وآخرون (1989) والذي يربط بين حدوث تلوث المياه والسيطرة عليه والتنمية الاقتصادية . المرحلة الأولى نموذجية للمجتمع الزراعي عندما تكون مستويات التلوث منخفضة وتميل إلى الزيادة خطياً مع النمو السكاني . في المرحلة الثانية ، التي تتميز البلدان الصناعية حديثاً ، يزداد التلوث بشكل كبير مع الإنتاج الصناعي واستهلاك الطاقة والتكثيف الزراعي . أما المرحلة الثالثة ، التي تحدث في البلدان الصناعية للغاية ، فتظهر في الشكل 11.1 تسلسل حدوث مشاكل تلوث المياه الخطيرة وإدراكها في أوروبا . المصدر: بعد ميبك وآخرون. ١٩٨٩.

طبيعة مشاكل جودة المياه

يلخص الجدول 11.1 القضايا الرئيسية المتعلقة بجودة المياه العذبة ، ويبرز التنوع الكبير في مشاكل التلوث التي تؤثر حالياً على المياه السطحية والجوفية للأرض . تتفاوت جودة المياه بشكل طبيعي مكانياً وزمانياً استجابةً للعوامل المناخية والجيولوجية والتربة والحيوية والهيدرولوجية (مثل والينغ 1980؛ والينغ وويب 1986؛ ميبك 1996) ، وقد تؤدي الظروف البيئية والمناخية الطبيعية إلى تلوث بالطفيليات والأملاح والمعادن ، وخاصةً في خزانات المياه الجوفية . ومع ذلك ، يرتبط عدد أكبر من مشاكل جودة المياه بالأنشطة البشرية ، والتي قد تُسبب تلوث المياه العذبة على نطاقات مكانية متفاوتة ، من المحلي (أقل من 104 كيلومترات مربعة) والإقليمي (105-106 كيلومترات مربعة) إلى العالمي (107-108 كيلومترات مربعة).

Table 11.1 Major water quality issues excluding ecological quality.

Major causes/issues	Major related issues ¹	Space scale	Time scale (years)		Major controlling factors	
			Contamination ²	Clean-up ³	Biophysical	Human
Population	Pathogens	Local	<1	<1	Density and treatment	
Water management ⁴	Eutrophication*	Regional	<1	1-100	Treatment	
	Micro-pollutants	Regional	<1	1-100	Miscellaneous	
	Eutrophication*	Regional	<1	10 > 100	Flow	
	Salinisation	Regional	10-100	10 > 100	Water balance	
Land use	Parasites	Regional	1-10	>100	Hydrology	
	Pesticides	Local-regional	<1	1-100	Agrochemicals	
	Nutrients (NO ₃ -)	Local-regional	10-100	>10	Fertiliser	
	Suspended solids*	Local-regional	1-10	10-100	Construction/clearing	
Long-range atmospheric transport	Physical changes	Local	<1-10	>100	Cultivation	
	Acidification*	Regional	>10	10	Cities	
	Micro-pollutants	Regional	>10	1-100	Smelting	
Concentrated pollutant sources					Fossil fuel emissions	
	Mega-cities	Local	<1		Population and treatment	
	Mines	Local-regional	<1		Types of mines	
	Salinisation	Local-regional	10-100			
Nuclear industry	Metals	Local-regional	<1		Waste management	
	Radionuclides	Local-global	<1		Fossil fuel emissions	
Global climate change	Salinisation	Global	>10	>100	Temperature and precipitation	
Natural ecological conditions	Parasites*	Regional	Permanent	Permanent	Climate and hydrology	
Natural geochemical conditions	Salts	Regional	Permanent	Permanent	Climate and hydrology	
	Fluoride**	Local-regional			Smelting	
	Arsenic**, metals**	Local-regional			Lithology	

Source: Peters et al. 1996.

Notes: * is relevant primarily to surface water and ** is relevant primarily to groundwater.

2 Space scales: local—<10,000 km²; regional—10⁵ to 10⁶ km²; and global—10⁷ to 10⁸ km².

3 Lag between cause and effect.

4 Longest time scale is for groundwater, followed by lakes, and shortest for rivers and streams.

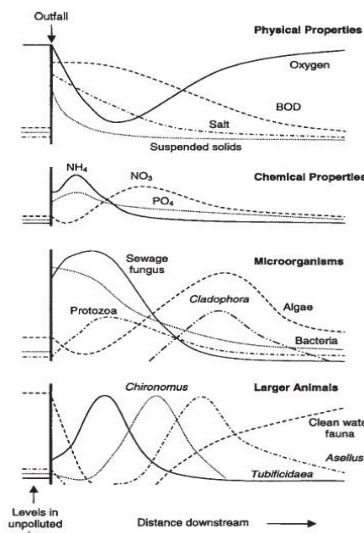
عادةً ما تتناسب شدة التلوث عكسيًا مع حجم المسطح المائي المتأثر . كما أن للنطاق الزمني أهمية بالغة في قضايا جودة المياه ، لأن الوقت الذي تستغرقه المياه العذبة حتى تتلوث والفترة اللازمة لمعالجة التلوث تختلف باختلاف مصدر المشكلة والبيئة الهيدرولوجية المتضررة (ينظر الجدول 11.1). وبالتالي ، فإن الانسكاب الكيميائي العرضي في النهر سيكون له تأثير شبه فوري ، لكن وقت انتقال الملوث من منابعه إلى مصب النظام ، حتى في الأنهار الرئيسية ، سيكون في حدود أسابيع أو أشهر ، وسيتعافى النظام بسرعة . في المقابل ، قد يستغرق انتقال ملوثات الأسمدة من التربة إلى طبقة المياه الجوفية الأساسية عدة عقود (بيرت وترودجيل 1993) ، في حين أن احتباس الملوث أو امتصاصه بواسطة التربة والصخور الأساسية قد يجعل فترة التنظيف أطول من مرحلة التلوث . يمكن تحديد عدد من المصادر الرئيسية لتلوث المياه العذبة .

التلوث العضوي

تُعد مياه الصرف الصحي المنزلية من أهم مصادر المواد العضوية المضافة إلى المياه العذبة وأكثرها انتشارًا نتيجةً للنشاط البشري ، وهي تُسبب تلوثًا على المستويات المحلية والإقليمية والقارية (برنامج الأمم المتحدة للبيئة / منظمة الصحة العالمية 1988) . وتشير التقديرات إلى أن النمو السكاني في الأنهار الأوروبية الرئيسية ، مثل نهر الراين ، منذ ما قبل العصر الصناعي ارتبط بزيادة قدرها ثلاثة أضعاف في عبء الكربون العضوي (زوبريست وستوم 1981) . واليوم ، ما تزال مياه الصرف الصحي المنزلية سببًا رئيسيًا لتلوث الأنهار في الدول المتقدمة (سويتينغ 1994) ، في حين أن نقص الصرف الصحي وعدم كفاية إدارة النفايات يُفاقمان هذه المشكلة بالنسبة لنسبة كبيرة من سكان العالم (بيترز وآخرون ، ١٩٩٨) .

قد تُدخل أيضًا النفايات السائلة الناتجة عن العمليات الصناعية ، مثل التعليب والطحن والدباغة وتصنيع المنسوجات والأدوية والقهوة ، كميات كبيرة من النفايات العضوية إلى المجاري المائية (مبيك وآخرون ، ١٩٨٩) . تتحلل مدخلات النفايات العضوية المنزلية والصناعية من المصدر المحدد في المجاري المائية بيولوجيًا ، مع عواقب معروفة على توازن الأكسجين المذاب في مجرى النهر ، وكيمياء المياه ، والكائنات المائية (الشكل 11.2) .

Figure 11.2 Effects of an organic effluent on the quality and ecology of a river.



قد تُوفّر الممارسات الزراعية أيضًا كميات كبيرة من المواد العضوية على شكل روث حيواني ، ومحلول السيلاج ، وحماة الصرف الصحي المنتشرة على الأراضي الزراعية ، والنفايات السائلة من مزارع الألبان ، والمسالخ ، ومصانع تجهيز الخضراوات (الهيئة الوطنية للأمن الغذائي ١٩٩٢) . غالبًا ما ترتبط حوادث التلوث الكبرى المتعلقة بنفايات المزارع العضوية بسوء احتواء الروث أو سوائل السيلاج ، والانسكاب بعد فشل مناطق التخزين . يمكن أن تكون هذه النفايات ضارة للغاية إذا دخلت المجاري المائية نظرًا لارتفاع الطلب الكيميائي الحيوي على الأكسجين (BOD) ، والذي يبلغ عادةً ٦٠٠٠٠ ملغم / لتر لمحلول السيلاج ، مقارنةً بـ ٣٥٠ ملغم / لتر لمياه الصرف الصحي البشرية غير المعالجة ، و >٥ ملغم/لتر لمياه النهر النظيفة.

مسببات الأمراض

لقد سلّط الضوء مؤخرًا على أن السلامة الميكروبيولوجية للمياه آخذة في التدهور عالميًا (فوردي وكولويل 1996) ، وأن الأمراض المرتبطة بالمياه تُعدّ من أهم المخاوف الصحية البشرية عالميًا من حيث معدلات الاعتلال والوفيات والتكلفة . على سبيل المثال ، يُعاني أكثر من نصف سكان العالم من أمراض ناتجة عن شرب مياه ملوثة (باراباس 1986) ، ويُسجّل أكثر من 10 ملايين حالة وفاة سنويًا بسبب الأمراض المرتبطة بالمياه . علاوة على ذلك ، فُدّرت التكلفة الاجتماعية لأمراض الجهاز الهضمي التي لا تتطلب استشارة طبية أو فترة إقامة في المستشفى بأكثر من 19.5 مليار دولار أمريكي في عام 1985 في الولايات المتحدة (غارثرايت وآخرون 1988) . تشمل عوامل الأمراض المنقولة بالمياه في المسطحات المائية العذبة بكتيريا مثل الشيغيلا والسالمونيلا ، وفيروسات مثل التهاب الكبد الوبائي أ والفيروس المعوي ، والطفيليات الأولية مثل الجيارديا والأميبا ، والديدان الطفيلية مثل الدودة الشريطية البقرية (الشريطية الساجيناتا) والديدان المتقوية الدموية (البلهارسيا) (ميبك وآخرون، 1989).

ويتم اكتشاف مسببات أمراض جديدة منقولة بالمياه باستمرار، مثل الملوية البوابية ، التي يُعتقد الآن أنها سبب العديد من أنواع القرحة (كلاين وآخرون، 1991) . المصدر الرئيسي لمسببات الأمراض في المياه العذبة هو تلوث البراز من البشر المصابين ، والحيوانات الأليفة ، وحيوانات المزارع ، والحياة البرية (جيلدريتش، 1997) . غالبًا ما تُدخل تصريفات مياه الصرف الصحي مجموعة متنوعة من مسببات الأمراض إلى المجاري المائية ، وحدثت... الفيضانات الكبرى ، التي تؤدي إلى تلوث شبكات مياه الشرب بمياه الصرف الصحي ، تزيد من التعرض لمسببات الأمراض . وقد أدى النمو السكاني ، وتركيز تربية الحيوانات الأليفة بشكل متزايد ، وتناقص إمدادات المياه إلى تفاقم انتشار الأمراض المنقولة بالمياه.

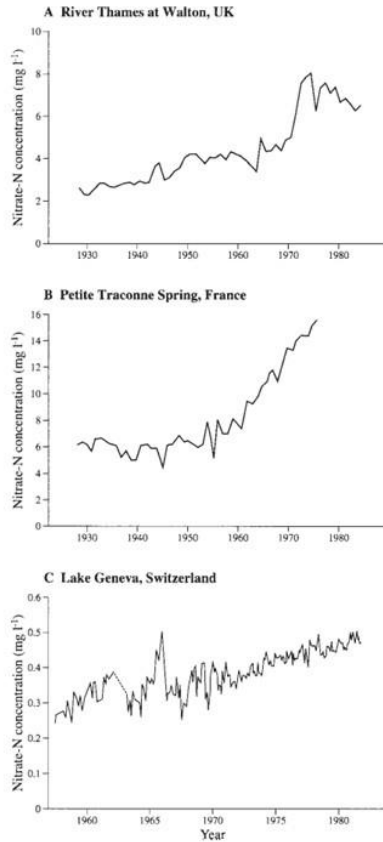
في المستقبل ، يمكن توقع حدوث تغيرات في توزيع مسببات الأمراض في المياه العذبة ونواقل أمراض الموائ المائية ، مثل القواقع والبعوض والذباب ، من خلال ارتفاع درجات حرارة المياه المرتبطة بالاحتباس الحراري العالمي في المستقبل (ويب 1997) ومن خلال اتجاهات أخرى في جودة المياه مثل زيادة المغذيات . يمكن مكافحة تلوث المياه العذبة بمسببات الأمراض من خلال معالجة مياه الصرف الصحي وإمدادات المياه ، كما أن المسطحات المائية لديها القدرة على التنقية الذاتية . ومع ذلك ، حتى في البلدان المتقدمة ، قد لا تقضي عمليات معالجة المياه التقليدية بفعالية على مسببات الأمراض المكتشفة حديثًا ، مثل الكريبتوسبورديوم (وزارة البيئة ووزارة الصحة 1990؛ 1995) ، والتي تسببت مؤخرًا في مشاكل صحية في المملكة المتحدة والولايات المتحدة . على سبيل المثال ، أفاد ماكنزي وآخرون (1994) أنه في عام 1993، أصيب أكثر من 400,000 شخص بداء الكريبتوسبورديوم في ميلووكي، ويسكونسن، نتيجة لتلوث

إمدادات مياه الشرب من بحيرة ميشيغان. وقد أدى تفشي المرض إلى وفاة أكثر من 100 شخص ودخول أكثر من 4000 آخرين إلى المستشفيات.

العناصر الغذائية

يُعد النيتروجين (N) والفوسفور (P) من العناصر الغذائية الرئيسية في المياه السطحية والجوفية (هيثويت وآخرون 1997). لقد زادت الأنشطة البشرية من تركيز هذه العناصر وحملت في المياه العذبة ، مما أدى إلى مشاكل تلوث على نطاقات إقليمية وربما أوسع نطاقًا . وقد تم التركيز بشكل كبير على النترات في السنوات الأخيرة (الجمعية الملكية 1983؛ بيرت وآخرون 1993) بسبب المخاوف من أن تكون التركيزات العالية في مياه الشرب مسؤولة عن ميثيموغلوبيين الدم (متلازمة الطفل الأزرق) وسرطان المعدة . وقد كشفت عمليات الرصد عن ارتفاع تركيزات النترات في الأنهار والمياه الجوفية والبحيرات في أوروبا وأمريكا الشمالية منذ ثلاثينيات القرن الماضي ، وخاصةً على مدى الثلاثين عامًا الماضية (الشكل 11.3).

Figure 11.3 Examples of rising nitrate concentrations in (A) rivers, (B) groundwaters and (C) lakes.



Sources: Roberts and Marsh 1987; CIPEL 1986.

وعلى الرغم من أن النفايات الصناعية ومياه الصرف الصحي يمكن أن تحتوي على تركيزات عالية من النترات ، إلا أن الكثير من النيتروجين الذي يصل إلى تنشأ المياه السطحية من مصادر منتشرة وليست نقطية . لذلك ، يُعتقد أن زيادة تركيزات النترات في المياه العذبة تعكس تكثيف الإنتاج الزراعي وتوسعه ، إلا

أن الروابط بين تغير استخدام الأراضي وزيادة استخدام الأسمدة وارتفاع مستويات النترات ليست مباشرة أو بسيطة دائماً (هيثويت وآخرون، 1993). تتوفر معلومات أقل حول إجمالي النيتروجين والأهمية النسبية لمختلف أنواع النيتروجين في المياه العذبة، وخاصةً بالنسبة لأنظمة الأنهار. أظهرت دراسة حديثة لأربعة أنهار متباينة في المملكة المتحدة (راسل وآخرون، 1998) أن إجمالي أحمال النيتروجين يهيمن عليه الجزء المؤكسد الكلي المذاب (النترات والنترت)، والذي مثل ما بين 76 و 82% من التدفق السنوي في عام 1995 (الجدول 11.2).

Table 11.2 The percentage contribution of individual fractions to nutrient fluxes in selected UK drainage basins.

River	% contribution of fraction to total nitrogen yield					% contribution of fraction to total phosphorus yield					
	TDN	NH ₄ -N	TON	DON	TPN	TDP	DIP	DOP	TPP	PIP	POP
Severn	96.7	1.1	80.4	15.2	3.3	56.8	50.6	6.2	43.2	27.5	15.7
Avon	95.4	0.3	82.0	13.1	4.6	73.7	70.3	3.4	26.3	20.3	6.0
Exe	92.2	1.2	77.1	13.9	7.8	32.2	25.9	6.3	67.8	43.1	24.7
Dart	92.0	0.6	75.7	15.7	8.0	24.6	15.4	9.2	75.3	47.1	28.2

Notes: TDN=total dissolved nitrogen; NH₄-N=dissolved ammoniacal nitrogen; TON=dissolved total oxidisable nitrogen (nitrate and nitrite); DON=dissolved organic nitrogen; TPN=total particulate nitrogen; TDP=total dissolved phosphorus; DIP=dissolved inorganic phosphorus; DOP=dissolved organic phosphorus; TPP=total particulate phosphorus; PIP=particulate inorganic phosphorus; POP=particulate organic phosphorus.

لم يساهم النيتروجين العضوي المذاب والنيتروجين الجزيئي بأكثر من 16% و 8% من الحمل السنوي، على التوالي، وكان النيتروجين غير العضوي المذاب على شكل أمونيوم مُكوّنًا ثانويًا من إجمالي النيتروجين في هذه الأنظمة الريفية وغير شديدة التلوث. في المقابل، تُظهر المعلومات المتعلقة ببحيرات المملكة المتحدة (هيثويت 1993) أن الجزء العضوي غالبًا ما يهيمن على المُكوّن المذاب من النيتروجين، وخاصةً في البيئات المرتفعة، حيث تكون المياه العُضوية فقيرة بالعناصر الغذائية وفي الحياة النباتية. ويُعدّ الجزء الجزيئي أكثر أهمية في نقل الفوسفور في أنظمة المياه العذبة، لأن تآكل الرواسب من الأراضي الزراعية يُوفر مسارًا مهمًا يُمكن من خلاله إدخال الفوسفور المُرتبط بمصفوفة التربة إلى أنظمة الأنهار.

في دراسة مستجمعات المياه الأربعة في المملكة المتحدة المذكورة أعلاه، شكّل إجمالي الفوسفور الجسيمي، الذي يشمل كلاً من الجزيئات العضوية وغير العضوية، ما بين 26% و 75% من إجمالي تدفق الفوسفور السنوي (ينظر الجدول 11.2). وقد أدى تزايد استخدام الأسمدة التي تحتوي على الفوسفور غير العضوي، والذي تضاعف ثلاث مرات على سبيل المثال في الولايات المتحدة الأمريكية بين عامي 1945 و 1993 (بوكت 1995)، وزيادة مدخلات الفوسفور المذاب من مياه الصرف الصحي ونفايات الماشية والمنظفات (وينرز 1994)، إلى زيادة تركيزات الفوسفور في أنهار وبحيرات أوروبا وأمريكا الشمالية على مدى الخمسين عامًا الماضية (هيثويت وآخرون 1997). ومع ذلك، فقد أدت التحسينات التي أُدخلت على مرافق معالجة مياه الصرف الصحي، وحظر المنظفات القائمة على الفوسفات، إلى انخفاض ملحوظ في تركيزات الفوسفور الكلية خلال السنوات الخمس عشرة الماضية في بعض الأنهار والبحيرات (مثل إدمونسون 1985؛ بوترز وآخرون 1997).

إن إثراء المسطحات المائية بالمغذيات النباتية، وخاصةً الفوسفور والنيتروجين، مما يؤدي إلى تغييرات في التركيب والوظيفة البيولوجية، هو عملية الإثراء الغذائي (فولينفايدر 1968؛ هاربر 1992؛ راست وثورنتون 1997). تحدث هذه العملية بشكل طبيعي على مدى الزمن الجيولوجي، ولكن قد تتسارع بشكل كبير بسبب اختلال الإنسان في دورات المغذيات في مستجمعات المياه. يحدث نمو مفرط للطحالب والنباتات ذات الجذور، مما يؤدي بدوره إلى تدهور جودة المياه، والإمكانات الترفيهية، ومصايد الأسماك

، وتدفق المسطح المائي المتأثر (مبييك وآخرون، 1989). تُشكل بعض الطحالب الخضراء المزرقّة ، وأبرزها طحالب مايكروسيستيس ، وأفانيزومينون ، وأنابينا ، وأوسيلاتوريا ، طحالب سامة ، قد تُسبب طفحًا جلديًا ، وتهيجًا في العين ، وقيئًا ، وإسهالًا ، وحمى ، وآلامًا في العضلات والمفاصل لدى البشر الذين يسبحون في المياه المتأثرة . كما يُمكن أن تُسبب السموم أمراضًا خطيرة ، ونفوقًا للحيوانات البرية ، وحيوانات المزارع ، والحيوانات الأليفة (وكالة البيئة، 1997). تجدر الإشارة إلى أن الإثراء الغذائي لا يُنظر إليه دائمًا على أنه مشكلة تلوث ، خاصةً عندما يُزيد إثراء المغذيات من الإنتاجية البيولوجية للمياه في البلدان النامية . تُوفر الغلات العالية الناتجة عن ذلك من الأسماك والقشريات مصدرًا قيمًا للبروتين والدخل (راست وثورنتون، 1997).

التملح

يُعدّ تزايد الملوحة أحد أهم أشكال تلوث المياه الجوفية وأكثرها انتشارًا (مبييك وآخرون، 1989)، وقد يؤدي تركيز الأملاح في التربة والمياه إلى جعل موارد الأرض والمياه غير صالحة للاستخدام . على الرغم من أن ارتفاع الملوحة قد ينشأ طبيعيًا من خلال التبخر، وذوبان المعادن ، وملح البحر المحمول جواً ، ومياه اليرقات والمتصلة ، إلا أن مجموعة من الأنشطة البشرية قد تُفاقم المشكلة بشكل كبير (الجدول 11.3).

Table 11.3 Principal sources of salinity caused by human activity.

Source	Rivers	Lakes and reservoirs	Groundwater
Irrigated agriculture			****
waterlogging and salinisation			***
irrigation return flows	**	*	*
excessive river water	**	***	
withdrawals			**
overpumping groundwater			****
Saline intrusion		*	**
Mining activities	**	*	**
Disposal of oilfield brines			**
Upconing of connate water			*
Highway de-icing	*		*
Landfill leachates	*		**
Leaking sewers			*

Source: Meybeck et al. 1989.

Notes: Blank space—unimportant as a source of salinity.

*, **, ***, ****—general assessment of relative importance of sources.

تُعدّ الزراعة المروية سببًا رئيسيًا للتملح ، والذي يؤثر بشكل خاص على المناطق المناخية شبه القاحلة والجافة (شاووني علياء وآخرون، 1997؛ ريمايوي والأنصاري، 1997). يؤدي تبخر المياه المُستخدمة في ري المحاصيل إلى تراكم الأملاح في التربة ، والتي قد تتسرب إلى المياه الجوفية . بالإضافة إلى ذلك ، يؤدي التشبع بالمياه الناتج عن ارتفاع منسوب المياه الجوفية في المناطق المروية إلى مزيد من تدهور الملوحة ، إما عن طريق تشجيع ذوبان الأملاح أو عن طريق تقريب المياه الجوفية المالحة بالفعل من سطح الأرض . قد يُسبب الري أيضًا مشاكل في مناطق مناخية أخرى ، مثل واشنطن ، غرب الولايات المتحدة الأمريكية ، حيث تشير التقديرات إلى أن تدفقات الري العائدة قد زادت تركيزات الصوديوم في نهر ياكима السفلي بمقدار خمسين ضعفًا (سيلفستر وسيللوم، 1963). كما يُعد الإفراط في استغلال احتياطيّات المياه الجوفية العذبة ، الذي يُعزز تسرب المياه الجوفية المالحة ، سببًا مهمًا . التملح ، وخاصة في البيئات الساحلية والجزرية المحيطية ، حيث يشكل تسرب مياه البحر تهديدًا لإمدادات مياه الشرب على سبيل المثال .

التحمض

أصبح ترسب مزيج من المركبات المُحمضة على البيئات الأرضية والمائية ، سواءً في صورة رطوبة مرتبطة بالمطر والتلج والضباب أو في صورة جافة على شكل غازات وجزيئات ، مصدر قلق عالمي

(1989. Meybeck et al. 1987 Park) في حين أن تحمض المياه العذبة قد ينشأ من خلال تشجير المرتفعات ، وتجديد الأراضي الحرجية ، وتصريف المناجم الحمضية ، إلا أن معظم الاهتمام قد تركز على تأثير زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين نتيجة لاحتراق الوقود الأحفوري في محطات الطاقة والمصانع والمنازل والمركبات . من الموثق جيداً أن التصنيع في أوروبا الغربية وأمريكا الشمالية خلال الـ 150 عامًا الماضية قد زاد من حموضة هطول الأمطار في الدول الإسكندنافية ، والعديد من الدول الأوروبية الأخرى ، وشمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية ، وشرق كندا (مثل: بريملكومب وستيدمان 1982؛ فارهيلي 1985). قد تسهم انبعاثات الأمونيا من المصادر الزراعية ، وخاصةً من نفايات الماشية (بويزمان وآخرون 1987) ، بشكل كبير في حموضة المياه العذبة ، لأن نترجة مركبات الأمونيوم تُؤدّ أيونات الهيدروجين (ميبك وآخرون 1989).

كشفت قياسات الرقم الهيدروجيني (pH) في العقود الثلاثة التي تلت الحرب العالمية الثانية عن حموضة كبيرة في البحيرات والأنهار في المناطق التي يُعرف أن هطول الأمطار فيها أصبح أكثر حموضة خلال الفترة نفسها (بارك 1987). على سبيل المثال ، تكشف قياسات 187 بحيرة في جنوب النرويج خلال الفترة 1923-1949 وفي سبعينيات القرن الماضي عن زيادة في الحموضة بمقدار عشرة أضعاف (رايت 1977)، بينما انخفض الرقم الهيدروجيني لنهر كلارالفين في السويد من 6.9 في عام 1965 إلى حوالي 6.4 في عام 1974 (أودن 1976) .

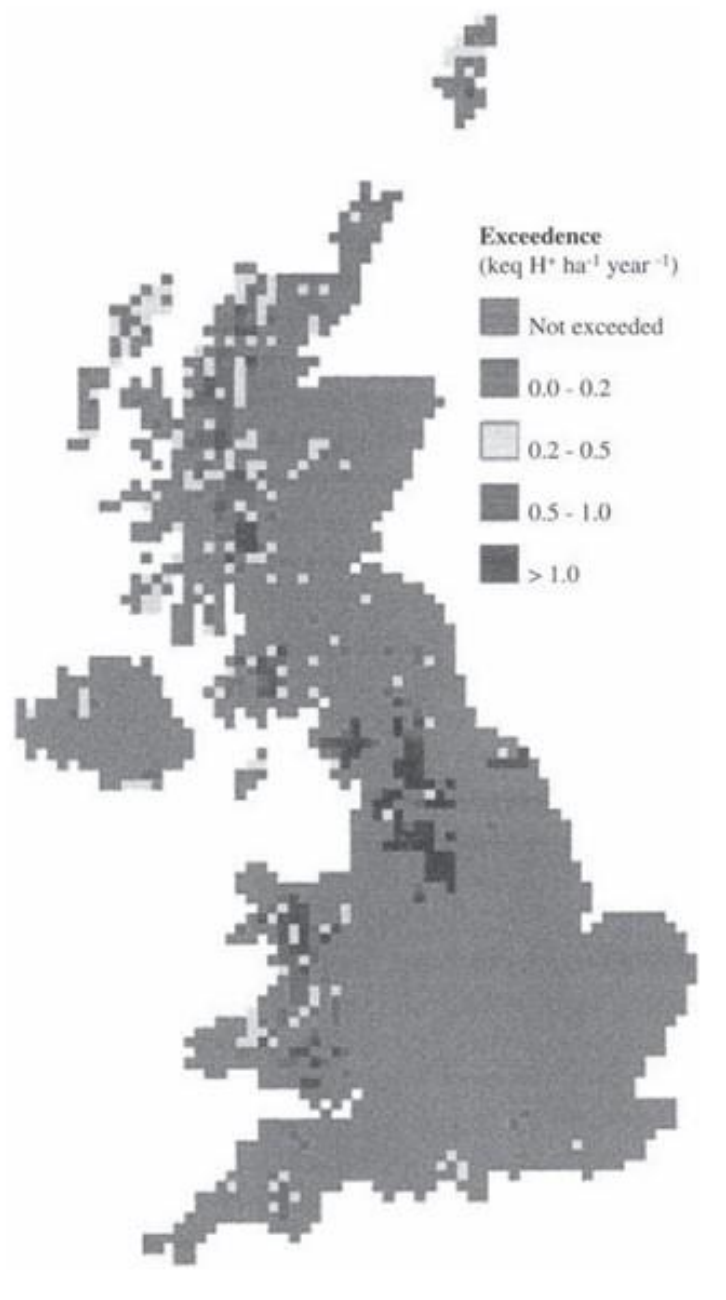
يمكن أن تحدث طفرات حمضية ، تتضمن انخفاضات مفاجئة وحادة في مستويات الرقم الهيدروجيني ، عندما يؤدي ذوبان الجليد ، أو أول هطول للأمطار بعد جفاف طويل ، إلى طرد مركبات الكبريت والنيتروجين المتراكمة من خلال الترسيب الجاف . تشهد أنظمة المياه العذبة الحمضية تغيرات بيولوجية غالباً ما تتضمن انخفاضاً في حجم وتنوع معظم الأنواع ، وتلفاً للنباتات الكبيرة ، وانخفاضاً في النباتات والحيوانات المجهرية (بارك 1987؛ ماسون 1991) . قد يكون سبب نفوق الأسماك أيضاً هو تحرك الألومنيوم والمعادن الثقيلة الأخرى من التربة عن طريق الترسيب الحمضي المتسرب .

يعكس تأثير الترسيب الحمضي قدرة التربة والصخور الأساسية لمستجمعات المياه المتأثرة على امتصاص الماء (جلاس وآخرون، 1982) . لن تتأثر المناطق التي تقع تحتها رواسب الطباشير أو الحجر الجيري أو غيرها من الرواسب الغنية بكاربونات الكالسيوم سلباً بالترسيب الحمضي ، بينما ستكون المناطق ذات الصخور النارية الحمضية أو الصخور الرسوبية الغنية بالكوارتز شديدة الحساسية للتحمض . من الممكن حساب "الحمل الحرج" للحموضة في أنواع مختلفة من النظم البيئية (المجموعة الاستشارية للأحمال الحرجة، 1994) وتحديد ما إذا كان هذا الحمل يتجاوز المعدلات الحالية للترسيب الحمضي .

حُسبت خرائط تجاوز الحمل الحرج للمياه العذبة في المملكة المتحدة ، وكشفت أن التحمض هو الأكثر إشكالية في مناطق محددة من جبال بينينز وغرب اسكتلندا و ويلز (الشكل 11.4). أدى القلق بشأن حموضة المياه السطحية في شمال غرب أوروبا إلى إبرام اتفاقيات دولية للحد من انبعاثات أكاسيد الكبريت والنيتروجين (اللجنة الاقتصادية لأوروبا التابعة للأمم المتحدة، 1994) من خلال تطبيق استراتيجيات المكافحة ، والتي بدأت في بعض البلدان في أوائل سبعينيات القرن الماضي . وتتضارب الأدلة الواردة من المملكة المتحدة بشأن استجابة المياه العذبة لانخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت خلال العقد الماضي . وتشير دراسات جبال كيرنجورم في اسكتلندا (سولسبي وآخرون، 1997) إلى انعكاس طفيف في الحموضة خلال الفترة 1983-1994. ومع ذلك ، لم يُقدم بحثٌ أُجري على مستجمعات المياه المرتفعة في وسط ويلز (روبسون ونيل، 1997) أي مؤشر على انخفاض معدلات ترسيب الأحماض أو انخفاض حموضة الجريان السطحي

خلال فترة زمنية مماثلة جداً (1983-1993) . وبغض النظر عن الآثار المباشرة للضوابط في البلدان المتقدمة ، ينبغي أن نتذكر أن انبعاثات الكبريت والنيتروجين مستمرة في الارتفاع في البلدان سريعة التصنيع في آسيا وأمريكا الجنوبية ، وتهدد بتوسيع نطاقها ليشمل مناطق العالم المتضررة من مشاكل الحموضة (مبييك وآخرون، 1989).

Figure 11.4 Exceedence of critical loads for acidity by deposition of sulphur and nitrogen to freshwater.



Source: Critical Loads Advisory Group 1994.

المعادن الثقيلة

قد يُشكل تلوث المياه العذبة بالمعادن مشاكل خطيرة ، لأن المعادن الثقيلة الذاتية ، مثل الزرنيخ والرصاص والزنك والكاديوم والسيلينيوم ، سامة للإنسان والحيوان بتركيزات منخفضة . تشمل المصادر الطبيعية للمعادن الثقيلة النشاط البركاني والحراري الأرضي والتجوية الجيولوجية ، إلا أن الأنشطة البشرية قد زادت هذه المصادر بشكل كبير، ويُقدّر أنها تسببت في زيادة عالمية في السيلينيوم والفضة والكاديوم والسيلينيوم والزنك بمقدار 2.8 و 3 و 7.6 و 11.3 و 24.1 مرة على التوالي (نريغو وديفيدسون 1986). يُعدّ صهر النحاس حوالي عام 7000 قبل الميلاد أحد أقدم الأمثلة على استغلال الإنسان للمعادن الثقيلة (رينفرو وباهن 1991) ، إلا أن استخراج ومعالجة المعادن الثقيلة شهدا أكبر زيادة منذ الثورة الصناعية ، وخاصة خلال القرن الحالي .

يرتبط الإطلاق البشري للمعادن الثقيلة بالنقل والصناعة والتعدين والنفايات البلدية والزراعة وتطوير الطاقة الحرارية الأرضية وتسرب النفايات (فoster وتشارلزورث 1997) . بالنسبة لبعض المعادن ، تغير المصدر الرئيسي للإثراء البشري خلال المنتي عام الماضية من استخراج المعادن ومعالجتها إلى الإطلاقات المرتبطة باحتراق الوقود الأحفوري واستخدام المنتجات (تار وأيرز 1990) . ويزداد فهم حركة وتخزين المعادن الثقيلة في الأنظمة النهرية تعقيدًا نظرًا لأن نسبة عالية جدًا من النقل النهرية للعديد من المعادن تتم بالاشتراك مع الجسيمات الرسوبية ، وخاصة كسور الطمي والطين . قد تكون تركيزات المعادن الثقيلة في الرواسب الدقيقة الحبيبات أكبر بخمس مراتب من التركيزات المذابة في عمود الماء (هورويتز 1991).

بالنسبة لبعض المعادن ، مثل الحديد ، فقد ثبت أن الجزء المرتبط بالجسيمات يُمثل أكثر من 99% من إجمالي النقل في الأنهار الرئيسية ، مثل الأمازون والمسيبي (سالومونز وفورستتر 1984). على المدى القصير، قد يؤدي شطف الرواسب والمعادن الثقيلة في مجاري الصرف الصحي الحضرية خلال الجزء المبكر من العواصف إلى تركيزات عالية من المعادن ، حيث تتم إزالة الملوثات المتراكمة على الأسطح ، وفي مصارف مياه الأمطار، وخاصة على أسطح الطرق (الجدول 11.4) (على سبيل المثال، إليس وآخرون 1986؛ زانثوبولوس وهان 1993). على المدى الطويل، قد تنتقل الرواسب الدقيقة ذات التركيزات العالية من المعادن الثقيلة إلى السهول الفيضية من خلال الترسيب فوق الضفاف وتراكم القنوات ، أو تترسب في البحيرات أو الخزانات أو بينات مصبات الأنهار . ومع ذلك ، فإن هذه المادة قد تُعاد تعبئة المعادن الثقيلة في النظام النهرية لاحقًا ، على سبيل المثال ، عن طريق إعادة تشكيل قنوات رواسب السهول الفيضية (مثل برادلي، 1995).

Table 11.4 Concentrations ($\mu\text{g/l}$) of selected metals in roof, street and stormwater runoff recorded in the Karlsruhe/Waldstadt region of Germany.

Metal	Runoff		
	Roof	Street	Stormwater
Lead	104	311	5
Cadmium	1.0	6.4	1.5
Zinc	24	603	5
Copper	235	108	1.5
Nickel	—	57	5

Source: Xanthopoulos and Hahn 1993.

لا تُجمع البيانات المتعلقة بالمعادن الثقيلة في المياه العذبة بشكل روتيني في العديد من البلدان (ميبيك وآخرون، 1989) ، ولا توجد سوى سجلات طويلة الأجل لتركيزات الأنهار . تكشف المعلومات المتعلقة بتركيزات المعادن المرتبطة بالرواسب في مواقع أخذ العينات على نهر الراين والأنهار الأخرى في هولندا (سالومونز وفورستتر، 1984) عن زيادة مطردة خلال القرن العشرين حتى عام 1975 ، عندما أدت الضوابط المفروضة على مدخلات المعادن في مياه الصرف الصحي إلى انخفاضها . قد يكون انخفاض انبعاثات المعادن الثقيلة في الغلاف الجوي من محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم وغيرها من المصادر على مدى السنوات الخمس عشرة الماضية في المملكة المتحدة وأماكن أخرى (مثل مجموعة جودة الهواء الحضري 1993) سبباً مهماً لانخفاض تركيزات المياه العذبة في السنوات الأخيرة في بعض الأنظمة.

الملوثات العضوية الدقيقة

تُقدر أعداد المركبات الكيميائية الموجودة بحوالي 4 ملايين (ميبيك وآخرون 1989) ، وأكثر من 100,000 مادة كيميائية تجارية معروفة أو يُشتبه في أنها تسبب مشاكل صحية لدى البشر والحيوانات والنباتات (بيترز وآخرون 1998) . في الآونة الأخيرة ، تزايد القلق من أن بعض المواد الكيميائية الموجودة في مياه الأنهار ومياه الشرب قد تسبب خللاً هرمونياً في الحياة البرية المائية وتؤثر سلباً على الصحة الإنجابية للبشر (وكالة البيئة 1997) . تم تحديد مواد كيميائية عضوية خطيرة بشكل خاص في قوائم وضعتها منظمة الصحة العالمية ، و وكالة حماية البيئة الأمريكية ، والجماعة الأوروبية ، بناءً على سميتها ، وثباتها ، وتراكمها البيولوجي ، ووجودها في البيئة (مثل EEC 1982؛ WHO 1984).

تدخل المواد العضوية السامة إلى المياه العذبة من خلال مدخلات المصادر النقطية والمنتشرة . تشمل الأولى النفايات السائلة الناتجة عن الأنشطة الصناعية الرئيسية ، مثل تكرير البترول ، وتعبئة الفحم ، وتصنيع المنتجات الاصطناعية ، بينما تشمل الثانية الملوثات العضوية المحمولة في مياه الصرف من المناطق الحضرية والزراعية ، وغالباً ما تكون مرتبطة بالرواسب . تشمل الملوثات العضوية الدقيقة الناتجة عن الاستخدام المنزلي والصناعي المواد العضوية المتطايرة المستخدمة كمذيبات للاستخلاص وإزالة الشحوم والتنظيف الجاف ، وكمواد دافعة للهباء الجوي ، والمشتقات الهالوجينية من الميثان والإيثان والإيثيلين، والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (PAHs) الناتجة عن المنتجات البترولية واحتراقها.

تتميز هذه المواد بمعدل انتشار بيئي مرتفع مقارنةً بالكمية المنتجة (ميبيك وآخرون، 1989) . أما الملوثات العضوية الدقيقة الأخرى الناتجة بشكل رئيسي عن العمليات الصناعية ، فتتميز بمعدلات انتشار بيئي منخفضة ، وتشمل المشتقات المكلورة من البنزين والنفثالين والفينول والأنيلين ، والتي تُستخدم في تصنيع الأصباغ ، وثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs)، وهي مكونات لسوائل التبادل الحراري والمواد العازلة . المبيدات العضوية الاصطناعية المستخدمة في الزراعة والبستنة لها قدرة عالية على تلويث المياه من خلال الجريان السطحي المباشر، وانجراف الرذاذ ، وتخزينها، وتداولها، والتخلص منها (وكالة البيئة 1997). تُستخدم مجموعة واسعة من المواد الكيميائية في المبيدات . على سبيل المثال ، تمت الموافقة حالياً على استخدام حوالي 450 مكوّن نشطاً في المملكة المتحدة ، وتختلف هذه المكونات اختلافاً كبيراً في خصائصها الفيزيائية والكيميائية ، بما في ذلك قابليتها للذوبان في الماء.

تُصنف المبيدات إلى مبيدات حشرية عضوية كلورية ، ومبيدات حشرية عضوية فوسفاتية ، ومبيدات أعشاب من نوع هرمون النبات ، ومبيدات تريازين ، وبيوريا بديلة ، وغيرها (ميبيك وآخرون 1989) . تحظر العديد من الدول أو التحكم في استخدام معظم مركبات الكلور العضوية ، مثل الـ دي. دي. تي ، نظراً

لسميتها وثباتها البيئي . أدرجت ثمانية مبيدات حشرية في القائمة الأولى (القائمة السوداء) لتوجيه المواد الخطرة الصادر عن المفوضية الأوروبية 464/76(EEC)، وعلى الرغم من أن استخدام ستة منها لم يعد معتمدًا في المملكة المتحدة (الجدول 11.5) ، فإن الرصد طويل الأمد لمواقع الأنهار في إنجلترا وويلز يُظهر أن المواد الكيميائية القديمة ، مثل مبيد الحشرات الديلدرين ، شديدة الثبات في البيئة النهرية (وكالة البيئة 1997أ).

Table 11.5 Pesticides on list I (Black List) of the EC Dangerous Substances Directive (76/464/EEC).

List I Pesticide	Use approved
Hexachlorocyclohexane (HCH) (lindane)	Yes
DDT	No
Pentachlorophenol (PCP)	Yes
Aldrin	No
Dieldrin	No
Endrin	No
Isodrin	No
Hexachlorobenzene	No

ملوثات أخرى

قد تُسبب مجموعة من الملوثات الأخرى أيضًا مشاكل في جودة المياه . تشمل هذه الملوثات الملوثات السائلة الساخنة ، وخاصةً من منشآت توليد الطاقة (لانغفورد 1990)، وانسكابات النفط ، مثل حادثة نهر مونونغاهيلا ، بنسلفانيا ، الولايات المتحدة الأمريكية ، التي أسفرت عن تسرب 3.5 مليون لتر من وقود الديزل من خزان على ضفة النهر في يناير 1988، وتسببت في انقطاع كبير في إمدادات المياه ، وإغلاق المصانع ، وتوقف حركة المرور النهرية ، وارتفاع معدلات نفوق الحيوانات البرية (ماسون 1991) . قد تضاف المواد المشعة إلى المياه العذبة عن طريق تبريد المياه والملوثات السائلة الأخرى من محطات الطاقة النووية ومنشآت إعادة المعالجة ، وهناك مخاوف بشأن التلوث المستقبلي الناجم عن التسرب من مواقع التخلص من النفايات الأرضية ، وفيما يتعلق بإيقاف تشغيل محطات الطاقة النووية الفائضة عن الحاجة. يرتبط خطر التلوث الإشعاعي الأكبر بكثير بالحوادث النووية ، مثل الحادث الذي وقع في محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية في أبريل 1986، والذي أطلق 1018×2 بيكريل من المواد المشعة في الغلاف الجوي ، وأدى لاحقًا إلى تلوث المياه العذبة والرواسب النهرية بالسييزيوم المشع في مناطق واسعة من أوروبا وخارجها (على سبيل المثال، والينغ وآخرون، 1992). قد يتسبب انتقال الرواسب في الأنهار، وخاصةً في شكلها المعلق ، في مشاكل خطيرة في جودة المياه (والينغ، 1988). وقد أدى تسارع تدهور التربة وفقدان الأراضي الزراعية إلى زيادة إنتاج الرواسب في العديد من أنظمة الأنهار (والينغ، 1995)، مما يؤدي غالبًا إلى آثار "داخل المجرى المائي" و"خارج المجرى المائي" (كلارك وآخرون، 1985؛ تيم وجولي، 1994). تشمل الأولى التأثيرات البيولوجية ، على سبيل المثال ، من خلال تسرب الرواسب الدقيقة إلى حصى التكاثر، والتأثيرات الترفيهية التي تؤدي إلى قيود على السباحة وركوب القوارب وصيد الأسماك ، وتأثيرات الترسيب التي تسبب انخفاضًا في سعة الخزانات ومشاكل الملاحة ، وتأثيرات التآكل المتعلقة بأضرار توربينات الطاقة الكهرومائية ، والتأثيرات الجمالية من خلال تدهور جودة الرؤية في بيئة النهر. أما الثانية فتشمل أضرار الفيضانات عندما لا تتمكن مياه الفيضانات من المرور عبر قنوات الأنهار المتراكمة والمتداخلة ، ومشاكل الترسيب في قنوات الري والصرف ، وزيادة تكاليف معالجة المياه نظرًا لطول الوقت اللازم لتصفية المياه العكرة ، ومشاكل الاستخدام الصناعي لمياه الأنهار لأن التدفقات المحملة بالرواسب أقل كفاءة في التبريد

وتؤدي إلى تآكل النباتات . بالإضافة إلى الآثار الفيزيائية للمياه العكرة ، يتم امتصاص العديد من الملوثات الكيميائية بواسطة الطمي والطين من رواسب الأنهار، ويتم نقلها عبر النظام النهري على شكل جسيمات مرتبطة .

أنماط واتجاهات الحماية والمعالجة - مثال إنجلترا وويلز

توفر البيانات التي جمعتها وكالة البيئة في إنجلترا وويلز والهيئات القانونية التي سبقت تشكيلها معلومات لدراسة أجراها مجتمع أوروبا الغربية حول التباين في جودة المياه بين المناطق الحضرية والريفية ، والأهمية النسبية لمختلف أنواع التلوث ومصادره ، والتغيرات في حالة التلوث خلال العقود الأخيرة . تُصنف الأنهار والقنوات في إنجلترا وويلز حاليًا ضمن نظام التقييم الكيميائي العام للجودة ، الذي يستند إلى قياسات الأكسجين المذاب ، والطلب الكيميائي الحيوي للأكسجين ، والأومنيا على مدى ثلاث سنوات ، إلى ست فئات من جيد جدًا (الفئة أ) إلى سيئ (الفئة و). تُظهر نتائج الفترة 1994-1996 أنه بالنسبة لإنجلترا وويلز ككل ، كان ما يقرب من 60% من الأنهار ذات جودة كيميائية جيدة أو جيدة جدًا ، بينما صُنف ما يقرب من 10% من المجاري المائية على أنها سيئة أو رديئة (الجدول 11.6).

Table 11.6 Percentage length of rivers in different chemical quality classes in England and Wales and regions, 1994-6.

	Chemical Quality Class					
	(A) Very good	(B) Good	(C) Fairly good	(D) Fair	(E) Poor	(F) Bad
Northeast	28.6	29.2	17.0	10.7	12.4	2.1
Anglian	5.6	31.6	31.1	18.9	12.2	0.6
Thames	13.1	35.8	26.9	15.3	8.6	0.2
Southern	14.2	40.2	26.0	10.0	9.0	0.6
Northwest	20.2	32.3	21.0	10.7	13.1	2.7
Southwest	40.4	36.1	15.5	4.4	3.3	0.3
Welsh	73.0	18.5	5.2	1.6	1.6	0.1
Midlands	12.6	32.9	30.9	12.9	9.9	0.9
England and Wales	27.1	31.5	21.2	10.3	8.8	1.0

Source: Environment Agency 1997a.

ومع ذلك ، تُخفي المتوسطات الوطنية تباينات إقليمية كبيرة في جودة المياه داخل إنجلترا وويلز . توجد أعلى نسبة من الأنهار ذات الجودة العالية جدًا في المناطق ذات الغالبية المرتفعة ، ذات الزراعة الأقل كثافة ، وذات الجريان السطحي العالي في ويلز والجنوب الغربي ، بينما توجد أعلى نسب من الأنهار ذات الجودة الرديئة في المناطق الصناعية في الشمال الغربي والشمال الشرقي (الجدول 11.6). تميل الأنهار إلى أن تكون ذات جودة كيميائية جيدة أو مقبولة إلى حد ما في منطقة إنجلترا ذات الزراعة المكثفة وذات الجريان السطحي المنخفض ، وفي منطقتي ميدلاندز والتايمز المكتظتين بالسكان .

تُظهر سجلات وكالة البيئة أن إجمالي عدد حوادث التلوث المُبلغ عنها في إنجلترا وويلز قد ارتفع من حوالي 13,000 حادثة في أوائل الثمانينيات إلى أكثر من 30,000 حادثة في أواخر التسعينيات (الشكل 11.5). يعكس هذا الارتفاع ، إلى حد ما ، زيادة الوعي العام بقضايا جودة المياه . علاوة على ذلك ، فإن العديد من الحوادث طفيفة نسبيًا ولا يمكن إثباتها لاحقًا ، وقد ارتفعت نسبة التقارير التي لم يُعثر فيها على أي تلوث بعد إجراء مزيد من التحقيقات من حوالي 25% في أوائل التسعينيات إلى أكثر من 35% في عامي 1996 و1997 (الشكل 11.5) . تُصنف الحوادث المثبتة إلى ثلاث فئات حسب شدتها (الجدول 11.7). أظهر تحليل جميع الحوادث المثبتة في عام 1997 حسب نوع التلوث (الشكل 11.5 ب) أن أكثر الملوثات شيوعًا كانت النفط ومياه الصرف الصحي ، بينما كانت النفايات العضوية ، وخاصةً على شكل روث الماشية ، والمواد الكيميائية من الدهانات والأصبغ ، والطين ، مسؤولة عن أقل من 10% من الحوادث . ومع ذلك ،

بالنسبة للحوادث الكبرى (الفئة 1)، كانت مياه الصرف الصحي أقل أهمية من التلوث بالنفط أو المواد الكيميائية (الشكل 11.5 ب). أظهر تصنيف التلوث حسب المصدر (الشكل 11.5 ج) أن قطاع الصرف الصحي والمياه، وخاصة نتيجة للتصريفات غير المنضبطة من شبكات الصرف الصحي، يُمثل أعلى نسبة من جميع الحوادث المُثبتة، إلا أن هذا القطاع كان مسؤولاً عن أكبر نسبة من التلوث من الفئة 1.

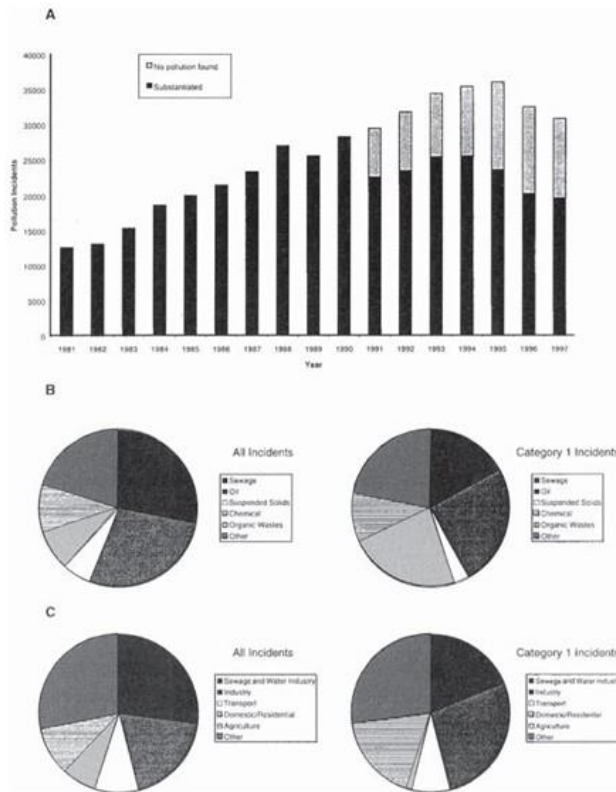


Figure 11.5 Total number of water pollution incidents in England and Wales, 1981-97: (A) and distribution of substantiated pollution incidents in 1997 classified by type (B) and by source (C).

Source: Environment Agency 1997a, b.

Table 11.7 Definition of pollution incident categories.

Category 1

A major incident involving one or more of the following:

- potential or actual persistent effect on water quality or aquatic life
- closure of potable water, industrial or agricultural abstraction necessary
- extensive fish kill
- excessive breaches of consent conditions
- extensive remedial measures necessary
- major effect on amenity value

Category 2

A significant pollution which involves one or more of the following:

- notification to abstracters necessary
- significant fish kill
- measurable effect on invertebrate life
- water unfit for stock
- bed of watercourse contaminated
- amenity value to the public, owners or users reduced by odour or appearance

Category 3

Minor suspected or probable pollution that, on investigation, proves unlikely to be capable of substantiation or to have no notable effect

Source: National Rivers Authority 1993.

تؤثر مجموعة من التشريعات البريطانية والأوروبية على سياسة المياه في إنجلترا وويلز، وتحمي بيئة الأنهار من التلوث (الجدول 11.8). يُعد التسبب في دخول مواد ملوثة ، أو السماح عمدًا بدخولها إلى الأنهار والمياه الجوفية والمساحات المائية الأخرى دون إذن ، جريمة (وزارة البيئة والنقل والمناطق البريطانية، 1998). تمنح الموافقات، التي تحدد شروطًا تتعلق بالتركيز والحجم وجوانب أخرى ، من أجل التحكم في تصريف النفايات السائلة في النظام النهري ومنع التلوث . في حالة حدوث تلوث ، بما في ذلك انتهاك موافقة التصريف ، يجوز مقاضاة الملوث وتغريمه وإجباره على تنظيف التلوث . في عام 1997، على سبيل المثال ، رفعت هيئة البيئة دعاوى قضائية تتعلق بسبعة وستين حادثة ، وخلال العام ، نُظر أيضًا في 104 قضايا أخرى من عام 1996، وكانت أعلى غرامة فُرِضت 12,000 جنيه إسترليني . كما تبذل هيئة البيئة وجهات أخرى جهودًا كبيرة لمنع حدوث التلوث في المقام الأول.

Table 11.8 Recent legislation affecting water policy in England and Wales.

Legislation	Effect
The Environmental Protection Act 1990	Established statutory provisions for a range of environmental protection purposes, including integrated pollution control for dangerous processes.
The Water Resources Act 1991	Consolidated previous water legislation in respect of both the quality and quantity of water resources.
The Water Industry Act 1991	Consolidated legislation relating to the supply of water and the provision of sewerage services.
The Environment Act 1995	Established the Environment Agency and introduced measures to enhance protection of the environment, including further powers for the prevention and remediation of water pollution.
The EC Urban Waste Water Treatment Directive	Sets requirements for the provision of collecting systems and the treatment of sewage according to the size of discharge and the nature of the receiving water.
The EC Dangerous Substances Directive	Together with the Water Resources Act 1991, requires control over inputs of dangerous substances into water.
The EC Groundwater Directive	Related to the Dangerous Substances Directive and applies to groundwater protection.
The EC Freshwater Fish Directive	Aimed at protecting the health of freshwater fish by designating waters in need of protection and setting standards for those waters.
The EC Nitrate Directive	Requires member states to reduce the nitrate pollution in waters that arises from agricultural inputs.
The EC Surface Water Abstraction Directives	Set quality objectives for the surface water sources from which drinking water is taken.

Source: UK Department of the Environment, Transport and the Regions 1998.

وشملت هذه الجهود تقديم المشورة من خلال مدونات قواعد الممارسة ، مذكرات إرشادية ، وحملات لمنع التلوث ، وزيارات ميدانية ؛ ووضع لوائح مصممة لمنع التلوث ، مثل وضع معايير دنيا لبناء مخازن لتخزين النفايات الزراعية ؛ وتوجيه إشعارات إلى أصحاب الموافقات تطالب باتخاذ إجراءات لمنع أي انتهاك للموافقة . كما تراعي التراخيص الصادرة عن وكالة البيئة بشأن سحب المياه السطحية جودة حجم التدفق المنخفض الناتج . وقد اتخذت مبادرات مالية وتشريعية وغيرها لتحسين جودة المياه في إنجلترا وويلز . على سبيل المثال ، تشمل حزمة التدابير الرامية إلى تقليل مدخلات المغذيات في البيئة المائية :

- تحسين معالجة مياه الصرف الصحي.
- تشجيع المزارعين على اتباع قواعد الممارسات الجيدة.
- تحديد تسع وستين منطقة معرضة لتلوث النترات ، حيث سيُطلب من المزارعين الحد من تسرب النترات.
- إعلان اثنتين وثلاثين منطقة حساسة للنترات لتشجيع المزيد من التخفيضات في ترشيح النترات (الملحق 11.2).

• تحديد ثلاثة وثلاثين مجرى نهر وبحيرة كمناطق حساسة للتغذية ، حيث سيُطلب من قطاع المياه تركيب أنظمة إزالة الفوسفور في محطات معالجة مياه الصرف الصحي المؤهلة.

التوجهات المستقبلية والاستنتاجات

تُعَد جودة المياه والتلوث قضيتين متعددتي الأوجه ومعقدتين ، وتزدادان أهمية اجتماعيًا واقتصاديًا على المستويين الوطني والدولي . في حين بُذلت جهودٌ هائلة لرصد ونمذجة وإدارة تلوث المياه العذبة ، وخاصةً في البلدان المتقدمة ، ما تزال العديد من مشاكل تلوث المياه بحاجة إلى حل . وقد اقترح بعض الخبراء (مثل أونجلي 1994) أنه ، وخاصةً في الدول النامية ، بل وحتى في الدول المتقدمة ، تفشل برامج الرصد الحالية ، مع التركيز على الدقة التحليلية للتحديدات الكيميائية ، في توفير معلومات مناسبة عن جودة المياه لتفسير آثار النظام البيئي والصحة العامة ، ولتحديد وجود العديد من المواد الكيميائية السامة الحرجة وتقييم مستويات السمية ، ولدعم الفهم العلمي أو قرارات الإدارة . العديد من الدول النامية غير قادرة على وضع برامج موثوقة لرصد جودة المياه .

لذلك، هناك هناك نقص حاد في البيانات ، ليس فقط لتوجيه تخطيط الحد من التلوث والاستثمار فيه في بعض البلدان (أونجلي وكاندياه 1998) ، بل أيضًا لإعداد تجميعات دولية لمعالجة المشكلات العالمية المتعلقة، على سبيل المثال، بالتنوع البيولوجي والتلوث الناتج عن النقل الجوي لمسافات طويلة (أونجلي 1999). ولمواجهة أزمة البيانات وتعزيز فهم تلوث المياه ، وخاصة على المستوى العالمي ، ثمة حاجة عامة في العديد من البلدان إلى تعزيز الوعي السياسي بقضايا جودة المياه ، وتحديث الجوانب الفنية والمؤسسية والقانونية والتدريبية والدعمية لبرامج جودة المياه (أونجلي 1997) ، وبناء القدرات البشرية والمؤسسية لتطبيق هذه البرامج على مشاكل الإدارة الواقعية (أونجلي 1997؛ بيترز وآخرون 1998).

الملحق 11.1

نموذج مفاهيمي لحدوث تلوث المياه والسيطرة عليه

تم تحديد أربع مراحل في نموذج التحكم المفاهيمي الذي وضعه ميبك وآخرون (1989) والذي يربط بين حدوث تلوث المياه والسيطرة عليه والتنمية الاقتصادية . المرحلة الأولى نموذجية للمجتمع الزراعي عندما تكون مستويات التلوث منخفضة وتميل إلى الزيادة خطيًا مع النمو السكاني. في المرحلة الثانية، التي تميز البلدان الصناعية حديثًا، يزداد التلوث بشكل كبير مع الإنتاج الصناعي واستهلاك الطاقة والتكثيف الزراعي. المرحلة الثالثة، التي تحدث في البلدان الصناعية للغاية، توضح الشكل 11.1 تسلسل حدوث مشاكل تلوث المياه الخطيرة وإدراكها في أوروبا. المصدر: بعد ميبك وآخرون. ١٩٨٩.

الملحق 11.2

تفاصيل مخطط المناطق الحساسة للنترات في إنجلترا

يُتيح مخطط المناطق الحساسة للنترات (NSA) للمزارعين في مناطق مختارة من إنجلترا اختيار تلقي مدفوعات مقابل تغيير ممارساتهم الزراعية طواعيةً ، وذلك بهدف تثبيت مستويات النترات المرتفعة و/أو المتزايدة في المصادر الرئيسية لإمدادات المياه العامة . يوجد اثنان وثلاثون منطقة حساسة للنترات، تُغطي مساحة إجمالية تُقارب ٣٥٠٠٠ هكتار من الأراضي الزراعية المؤهلة ، وجميعها مُصنفة كمناطق معرضة لخطر النترات بموجب توجيه الاتحاد الأوروبي بشأن النترات (EEC/٦٧٦/٩١) . ويُقدم ثلاثة أنواع مختلفة

من التدابير الطوعية . يتضمن مخطط الأراضي الصالحة للزراعة الممتاز تحويل الأراضي الصالحة للزراعة إلى أعشاب كثيفة ، ولكن هناك خيارات مختلفة فيما يتعلق بالتسميد والرعي واستخدام الغابات . يتضمن برنامج العشب الممتاز توسيع نطاق العشب المدار بكثافة ، بينما يُطوّر البرنامج الأساسي محاصيل زراعية منخفضة النيتروجين على أساس دورات زراعية مفيدة وقياسية .

يُدخل المزارعون الأراضي في البرنامج لمدة خمس سنوات على أساس كل حقل على حدة ، وتتراوح المدفوعات بين 590 و 80 جنيهًا إسترلينيًا للهكتار، حسب موقع منطقة المساحة غير الزراعية (NSA) والبرنامج والخيار المُختار . في عام 1996، شارك 359 مزارعًا في برنامج منطقة المساحة غير الزراعية (NSA) ، حيث بلغت مساحات البرامج الأساسية ، ومشاريع العشب الممتاز ، ومشاريع الأراضي الصالحة للزراعة الممتازة 15,529 و 460 و 3,622 هكتارًا على التوالي (MAFF، 1998).

دليل لمزيد من القراءة

بارك، سي. سي. (1987) خطاب المطر الحمضي والواقع. لندن ونيويورك: ميثوين. نظرة عامة شاملة على القضايا العلمية والاجتماعية وغيرها المرتبطة بمصدر رئيسي لتلوث المياه. ميبك، م.، تشابمان، د.، وهيلم، ر. (1989) جودة المياه العذبة العالمية. تقييم أولي. أكسفورد: باسل بلاكويل. دراسة عالمية شاملة لحالة جودة المياه وتلوث الأنهار.

بيرت، ت. ب.، هيثويت، أ. ل.، وتروودجيل، س. ت. (1993) النترات: العمليات والأنماط والإدارة. تشيتشستر، المملكة المتحدة: جون وايلي وأولاده. يقدم هذا الكتاب دراسة ممتازة للعمليات التي تؤثر على دورة النيتروجين في مستجمعات الأنهار، والأنماط المكانية والاتجاهات الزمنية لتلوث المياه التي نشأت بسبب هذا العنصر الغذائي الرئيسي ، والوسائل التشريعية وغيرها من الوسائل التي يمكن من خلالها تحسين مشاكل النترات.

ويب، ب. و. (1997) تلوث المياه العذبة.

وقائع ندوة راباي، المجلد الرابع، أبريل/مايو 1997، منشور الرابطة الدولية لعلوم الصحة البيئية رقم 243. أبرز الأبحاث الحالية، من خلال مجموعة من أوراق المؤتمرات، في مجموعة واسعة من مجالات تلوث المياه.

وكالة البيئة (1997) حالة البيئة.

<http://www.environment-agency.gov.uk/gui/> هو مصدر معلومات غني، مُقدم بشكل جذاب، وسهل الوصول إليه على الإنترنت ، يتعلق بمجموعة واسعة من قضايا جودة المياه والتلوث في المملكة المتحدة.

بيترز، ن. إي.، بريكر، أو. بي.، وكينيدي، م. م. (1997) اتجاهات جودة المياه وتوازن الكتلة الجيوكيميائية. تشيتشستر، المملكة المتحدة: جون وايلي وأولاده. يجمع هذا الموقع أحدث الأبحاث حول اتجاهات جودة المياه الماضية والمستقبلية.