الموارد والبيئة الساحلية

زئيف شتاسيل
ليليت زريهان
أيليت فاينسمان

الجامعة العبرية في القدس مركز تدريس العلوم
وزارة التربية، الثقافة والرياضة، مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية
משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים
المركز الاسرائيلي للتربية العلمية والتكنولوجية على اسم هاروي دي-شابط
2004

الموارد والبيئة المحيطة (المحيط)

زئيف شتاسيل

ليليت زريهان

أيليت أيتسمان

صدر بتمويل مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية في وزارة التربية
ومركز التربية العامية – التكنولوجية على اسم عاموس دي شاليط

© جميع الحقوق محفوظة لوزارة التربية 2004

الجامعة العبرية في القدس، مركز تدريس العلوم

وزارة التربية، السكرتارية التربوية، مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية

المركز الاسرائيلي للتربية العلمية – التكنولوجية على اسم عاموس دي-شاليط

2004

المسؤول الأكاديمي: بروفيسور ارئيل كوهين

الإستشارة العلمية
في مجال الماء: بروفيسور موشيه جيفن، د. اريه بن تسفي، د. دافيد روبين، كوبي هروسي
في مجال الهواء: بروفيسور ارئيل كوهين، د. روديت بيلد، عنات آيزن، افي موشيل، كامل كزامل
في مجال مواد يستعملها الإنسان: ياعيل اورن، العاد عميحاي

قرأ وأبدى ملاحظاته: د. نيطع عرابي

الرسومات والتصميم: جدعون دان، الياهو راتنر، بيجا زسلبسكي، يوليا اجرونوبيش – ستوديو دان

النسخة العربية:
أشرف على إعداد الطبعة العربية: د. عوني جبارة – مفتش المناهج والمواد التعليمية في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، مركز تخطيط وتطوير المناهج التعليمية.
نقل المادة الى العربية: علي ياسين
مراجعة لغوية: فراس باسم عبد
مراجعة علمية: د. عوني جبارة
نشكر الدكتور **شداد ابو قول**، مفتش علوم البيئة المحيطة (المحيط) على مراجعته المصطلحات العلمية

© جميع الحقوق محفوظة لوزارة التربية 2004
الترقيم الدولي ISBN 965-295-027-0

محتويات الكتاب

القسم الأول : الماء

الحياة والماء 9

- توافر المياه في العالَم 10
- تأثير الإنسان على دورة المياه 11
- استهلاك وتزويد المياه في العالَم 13
- مقاييس جودة المياه 15

– مقاييس فيزيائية 16
– مقاييس كيميائية 17
– مقاييس بيولوجية 26
– مقاييس إشعاعية 28

المياه في إسرائيل 31

- العرض والطلب على المياه 32
- المياه الجوفية 41

– النظام الطبيعي 41
– تأثير الإنسان 48
– المياه الجوفية في إسرائيل 52

- بحيرة طبريا 55

– موازنة المياه 56
– ملوحة المياه 59
– عمليات بيولوجية في بحيرة طبريا 62
– تأثير حوض التجميع 68

- أودية إسرائيل 74

– ترميم الأودية 74
– قصة وادي اسكندر 75

3

مواجهة مشاكل المياه 81

- مياه الشرب 82
  - معالجة المياه 82
  - رصد مياه الشرب 84
- مياه مجاري بيتية 86
  - الأخطار الصحية في البيئة المحيطة (المحيط) الناجمة عن مياه المجاري 87
  - عمليات تطهير مياه المجاري البيتية 87
  - استعمال مياه مجار مكررة 98
- مياه مجار صناعية 101
- مياه مجاري زراعية 103
- تجميع مياه فيضانا 104
- التحلية 105
  - طرق التحلية 105
  - حسنات وصعوبات تحلية المياه 109
- زيادة الرواسب 111
- التوفير 113
- استيراد المياه 116
- تشريع وإدارة كميات المياه في البلاد 116
  - نشاطات مديرية المياه لمواجهة النقص في المياه 117

القسم الثاني : الهواء

4

الغلاف الجوي 125

- مكونات الغلاف الجوي 126
- طبقات الغلاف الجوي 128
- الغيوم والرواسب 130
  - تكوين الغيوم 130
  - رواسب: مطر، ثلج وبَرَد 131

5

جودة الهواء 135

- مصادر تلوث الهواء 136
- العمليات التي تؤدي الى تلوث الهواء 137
  - ملوثات اولية 137
  - ملوثات ثانوية 140

- إبعاد، تحليل وبعثرة ملوثات الهواء 143
  - إبعاد وتحليل الملوثات 143
  - بعثرة الملوثات 143
- ملوثات الهواء وتأثيرها على الانسان والبيئة المحيطة (النحيط) 155
  - تأثير على صحة الانسان 156
  - تدخين سجائر 161
  - تأثير تلوث الهواء على النباتات 164
  - تأثير تلوث الهواء على المواد 165
- المواصلات وتلوث الهواء 167
  - محرك السيارة 169
  - العمليات التي تؤدي الى تلوث من السيارة 171
  - مواجهة مشكلة التلوث الناجمة من السيارات 174
- ملوثات هواء من الصناعة 182
  - تلوث الهواء خلال عملية إنتاج الطاقة الكهربائية 183
  - عمليات صناعية أخرى 184
  - مواجهة مشاكل تلوث هواء مصدرها من الصناعة 185
- تلوث الهواء في المباني 189
  - ملوثات ومصادر ملوثات في مبان 189
  - مواجهة التلوث في مبان 190
- جودة الهواء في اسرائيل – الوضع القائم وطرق العلاج 193
  - نظام المؤسسات التي تعالج موضوع جودة الهواء 193

6

تأثير الانسان على المناخ والغلاف الجوي العالمي 199

- تأثير الإنسان على الاحتباس الحراري (تأثير دفيئة) 200
  - ما هو تأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري)؟ 200
  - تأثير الإنسان 204
  - طرق المواجهة 207
- تأثير الإنسان على المناخ المحلي 213
  - جزيرة الحرارة داخل المدينة 213
  - تأثير على كمية الغيوم والرواسب 215
- تناقص الأوزون في الستراتوسفيرا 216
  - عمليات طبيعية في طبقة الاوزون 217
  - كيف تتناقص طبقة الاوزون؟ 217
  - تأثير تناقص طبقة الاوزون 219
  - طرق المواجهة 220
- رواسب حامضية 222

القسم الثالث : مواد يستعملها الانسان

7 المواد كمورد للإنسان **229**

- دورة المواد في النظام التكنولوجي 229
- تأثير مستوى الحياة وتعداد السكان على إنتاج منتجات ونفايات 232

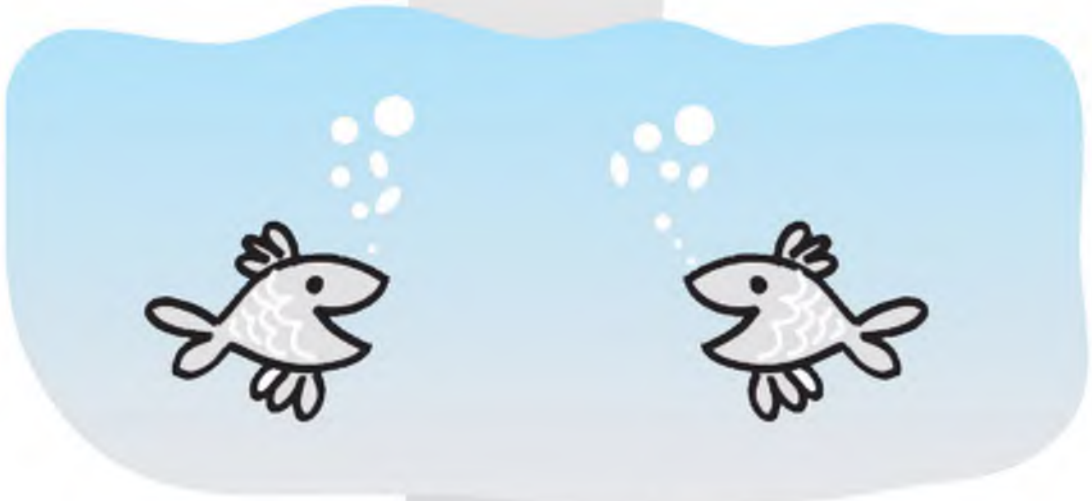
8 مشكلة النفايات **237**

- مصادر النفايات ومكوناتها 238
- عمليات تحليل النفايات 244
- النفايات كمضرة 246
  - مضرات في المزابل 247
  - مضرات نابعة من القاء النفايات في الأماكن العامة 248

9 مواجهة مشكلة النفايات **251**

- وسائل لمعالجة النفايات 251
  - تقليل مصدر النفايات 251
  - استعمال متكرر للمنتجات 252
  - مدورة (استرجاع) 253
  - الكومبوست – من النفايات إلى الأسمدة 255
  - الطمر 260
  - إنتاج الطاقة من النفايات 261
- معالجة نفايات خطيرة 265
- اختيار طريقة لمعالجة النفايات 267
  - المعالجة المدمجة 270
- سياسة طرق معالجة النفايات في اسرائيل 273

ملحق – ذوبان الأكسجين في الماء 277
دليل المصطلحات 278
اختصارات ووحدات قياس 283



القسم الأول الماء

الفصل الأول

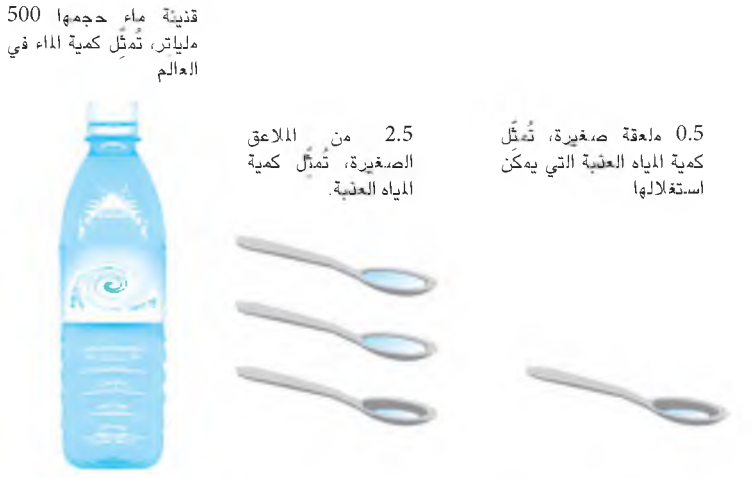
الحياة والماء

منذ قديم الزمان، كان الماء موردًا مهمًا لبقاء حياة الإنسان، وقد حَدد الماء نهج وأسلوب حياة الإنسان. وفي الفترات القديمة، كان استيطان الإنسان بالقرب من الأماكن التي توجد فيها مصادر للمياه، فقد عاش الإنسان على امتداد أنهار كبيرة، مثل:النيل والفرات، حيث تطورت وازدهرت ثقافات وحضارات في تلك الفترة القديمة. وفي هذه المناطق بدأت تتطور تكنولوجيا مختلفة، لكي ينقلوا المياه من مكان إلى آخر، ولكي يستغلوا المياه الجوفية. بفضل هذه التكنولوجيا، استطاع الإنسان أن يطور الزراعة بالري، وأن يستوطن في أماكن واسعة. في يومنا هذا أيضًا، يُعتبر تزويد المياه من أحد التحديات المهمة التي تواجه بني البشر.

إن الزيادة الهائلة في تعداد السكان في العالم، تؤدي إلى ازدياد استهلاك الماء، وفي نفس الوقت، تؤدي إلى تلوث مصادر المياه. لذلك التحدي الذي تواجهه دول العالم ليس بتلبية الطلب على الماء فقط، بل هناك حاجة لإيجاد طرق للمحافظة على جودة الماء. في هذا الفصل، سنتعرف وسنفحص موضوع المياه من وجهة نظر عالمية عامة، وسنتعرف على المقاييس التي تحدد جودة المياه.

توافر المياه في العالم

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى الماء، لكي تقوم بعمليات الحياة، ومعظمها تحتاج إلى مياه عذبة.
97.5% من مياه العالم، هي مياه مالحة، وهي موجودة في المحيطات المائية، ولا توجد إمكانية لاستغلالها. فقط 2.5% من المياه هي مياه عذبة، لكن معظمها غير متوافرة للاستعمال.
قسم كبير منها موجود في الكتل الجليدية والباقي في الهواء، والتربة، والمياه الجوفية العميقة التي يكلف استخراجها مبالغ طائلة جدًا.
فقط 0.75% من مجموع المياه في العالم، هي مياه عذبة متوافرة للإنسان ولسائر الكائنات الحية على اليابسة.



الرسمة 1.1: عرض توزيع المياه في العالم

كمية المياه التي يمكن استغلالها، والمتوافرة للاستعمال، ليست متساوية في كل مكان في العالم. تؤدي ظروف المناخ في أماكن مختلفة في العالم إلى وجود مناطق كثيرة تكون فيها كمية الرواسب قليلة، ومصادر المياه ضئيلة. يُعرِّف المختصون الدولة على أنها تعاني من مشكلة النقص في المياه، عندما تكون كمية الماء المتاحة للشخص الواحد أقل من 1000 متر مكعب في السنة. لكن هناك 26 دولة في العالم، ومن بينها إسرائيل التي تستطيع أن توفر 292 مترًا مكعبًا من الماء الفرد الواحد (في سنة 2000)، وهذه الكمية أقل من الكمية التي يجب أن تتوفر لكل فرد، لذلك يمكننا القول بأنه لا توجد مياه كافية لتلبية جميع الاحتياجات.
في أعقاب ازدياد تعداد السكان في العالم، يتوقع المختصون أنه حتى سنة 2050 سيتضاعف عدد الدول التي ستعاني من نقص في المياه.

تأثير الإنسان على دورة المياه

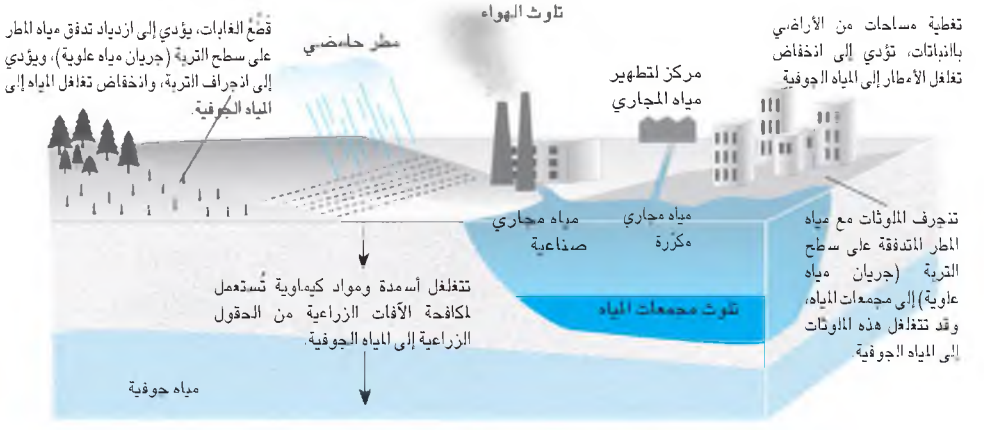
المياه هي مورد متجدد. معظم المياه التي تستهلكها الكائنات الحية، ومعظم المياه التي نستخدمها للاحتياجات الأخرى، تعود ثانيةً إلى البيئة المحيطة (المحيط)، حيث يكون ذلك عادةً، بعد أن أُضيفت إليها مواد مختلفة تؤدي إلى انخفاض جودتها. تساهم عمليتان أساسيتان في دورة المياه لتجديد المياه كمياه نقية.

العملية الأولى، هي عملية التبخر – تتبخر المياه من الأنهار، البحيرات، المحيطات، التربة والنباتات، وتبقى في هذه الأماكن معظم المواد الصلبة، والمواد التي كانت مذابة فيها. فعندما تسقط الرواسب، تعود المياه إلى التربة كمياه نقية.

العملية الثانية، هي عملية تطهير طبيعية للمياه في البحيرات، الوديان، الأنهر والبحار، حيث تقوم بذلك، مجموعة من المحللات. تستهلك المحللات النفايات كغذاء لأجسامها، وتحوّلها إلى مركبات غير ضارة (بالأساس ماء وثاني أكسيد الكربون)، وهكذا يتم تطهير المياه.

التأثيرات المختلفة للإنسان على دورة المياه، وعلى الأماكن التي تتواجد فيها المياه، تمس بقدرة تجديد مورد المياه كمياه نقية. تصف الرسمة 1.2، التأثيرات الأساسية للإنسان على دورة المياه. نلاحظ أن كل ملوث يُطلق إلى البيئة المحيطة (المحيط)، يؤدي في نهاية الأمر إلى تلوث المياه بطريقة مباشرة (مثلاً: تدفق مياه المجاري إلى مصدر مائي)، أو من خلال سلسة عمليات (مثلاً: عندما يؤدي تلوث الهواء إلى إنتاج مطر حامضي، فإن هذا المطر يؤدي إلى تلوث مجمعات المياه التي يصل إليها).

التلوث المستمر في مصادر المياه، يمس بقدرة الأنظمة البيئية على القيام بعمليات التطهير الطبيعية في الأماكن التي تتواجد فيها المياه.



الرسمة 1.2: *تأثيرات الإنسان على دورة المياه*

تأثير الإنسان على نهر الجنجس

تختلف شدة تأثير الإنسان على دورة المياه من مكان إلى مكان، فالوضع سيء جدًا بشكل خاص في الدول النامية، لأن معالجة مشاكل البيئة المحيطة (المحيط) لا تتم بالشكل الصحيح. فمشكلة نهر الجنجس، هي مثال التأثير السلبي على دورة المياه. إنّ مصادر هذا النهر تنبع من جبال الهملايا، فنهر الجنجس يتدفق إلى البحر عبر الهند وبنغلادش. لكنّ قطع الغابات في جبال هملايا، الهند، ونيبال، أدى إلى زيادة تدفق المياه العلوية (مياه الأمطار على سطح التربة)، لأنه لا توجد أشجار تكبح حركة المياه. ونتيجةً لذلك، يزداد انجراف التربة وتزداد كمية المياه التي تصل إلى الجنجس. وبالتالي فإنّ التربة المنجرفة تُقال من عمق النهر، وتؤدي إلى انتشار النهر على مساحة واسعة. في أعقاب ذلك، تحدث فيضانات خطيرة – أثناء هطول الأمطار– بشكل خاص في منطقة مصب النهر في البحر الموجود في نفوذ دولة بنغلادش. وخلال هذه الفيضانات راح ضحيتها آلاف الأشخاص. إن زيادة تدفق مياه الأمطار على سطح التربة، تؤدي إلى زيادة تلوث المياه، لأن الانجراف الكبير ينقل معه كمية ملوثات كبيرة إلى النهر. وذلك إضافةً إلى كميات مياه المجاري الكبيرة التي تتدفق إلى النهر بسبب النقص في الأجهزة المعدّة لتطهير مياه المجاري في المدن التي تقع على طول النهر. في أعقاب ذلك، يحصل ملايين المواطنين في الهند وبنغلادش على مياه ذات جودة منخفضة جدًا.

يتلوث النهر بسبب تدفق مياه المجاري إليه

أسئلة

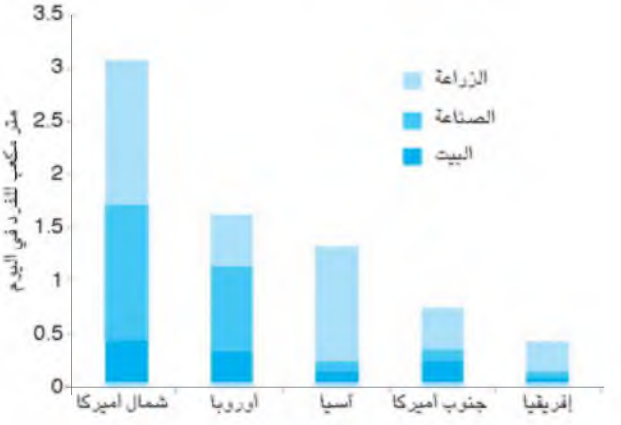
1. حضّروا رسمًا تخطيطيًا، بحيث يصف العمليات المختلفة التي تمس نهر الجنجس.

[1] جريان مياه علوية – مياه الأمطار التي تتدفق على سطح التربة.

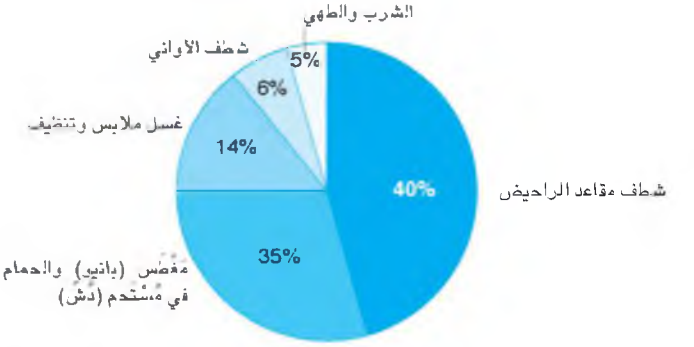
استهلاك وتزويد المياه في العالم

ثلاثة اترات ونصف من المياه النقية في اليوم، هي الكمية الدنيا التي يحتجها الشخص لكي يقوم باحتياجاته الأساسية. استهلاك المياه للاستحمام ولشطف الأواني، ولتنظيف البيت، تؤدي جميعها إلى استهلاك 50 اترًا للشخص في اليوم الواحد، وهذا هو الاستهلاك الضروري في الحد الأدنى، وهو معدل الاستهلاك البيتي في الدول النامية.

يزداد استهلاك المياه عندما يرتفع مستوى الحياة. استعمال المياه في مقاعد المراحيض، والغسالات، والجلايات، والحدائق وبرك السباحة، تؤدي جميعها إلى زيادة الاستهلاك بشكل ملحوظ، مثلاً: الفرد الواحد في الولايات المتحدة يستهلك 450 اترًا في اليوم، وفي إسرائيل 130 اترًا في اليوم. وكلما كانت الدولة أكثر تطورًا، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع استهلاك المياه في الصناعة أيضًا.



الرسمة 1.3: استهلاك المياه في العالم في سنة 2000 (بحسب World resources)



الرسمة 1.4: توزيع استعمالات المياه للاحتياجات البيتية في إسرائيل في سنة 2000 (بحسب شركة مكوروت)

معظم مواطني العالَم، وبالأساس في الدول النامية، لا يوجد ماء في بيوتهم. هنالك أماكن في العالَم، يضطر فيها الناس أن يسيروا ساعات كثيرة، لكي يصلوا مصدر الماء، وليضخوا الماء منه لينقلوه إلى بيوتهم. في حالات كثيرة، لا تكون المياه آمنة من ناحية صحية. يقدر الباحثون أنه في سنة 2003، لم يحصل مليارد شخص على مياه آمنة من ناحية صحية، ومليارات (ثلث سكان العالَم) من بني البشر، لم يكونوا مرتبطين بشبكة المجاري.

في دول كثيرة، يعاني في كل سنة ملايين الأشخاص من الأمراض المختلفة التي تحدث بسبب استعمال المياه الملوثة. ويقدر الباحثون أن مليونَيْ شخص يموتون في كل سنة بسبب الإسهال.

كما أنّ لتلوث المياه انعكاسات سلبية على الزراعة وإنتاج الغذاء، وعلى التطور الاقتصادي والأنظمة البيئية.

نساء من إفريقيا، يُحضرن المياه إلى بيوتهن من آبار بعيدة

أسئلة

1. لماذا معظم المياه العذبة في العالَم غير متوافرة للاستعمال؟ اشرحوا.
2. لماذا تعتبر المياه موردًا متجددًا؟ علّلوا إجاباتكم.
3. تمعنوا في الرسمة 1.2، ثم اكتبوا تأثيرات الإنسان على دورة المياه.
4. تمعنوا في الرسمة 1.3، ثم اشرحوا الأسباب التي تؤدي إلى فروق في استهلاك المياه في مناطق مختلفة في العالَم.
5. تصف الرسمة 1.4 توزيع استخدام المياه في الاستهلاك البيتي في إسرائيل. كيف ستبدو هذه الرسمة التي تصف هذا التوزيع في الدول النامية؟
6. أ. لماذا في أماكن كثير في العالَم، لا يستطيع المواطنون الحصول على مياه آمنة للاستخدام من ناحية صحية؟

   ب. كيف – بحسب رأيكم – يجب مواجهة هذه المشكلة؟

مقاييس جودة المياه

يوجد للمياه استعمالات كثيرة ومتنوعة: يستعملها الإنسان والحيوان للشرب، وهي تستعمل لري النباتات، وكموطن (بيت تنمية) للكائنات الحية المختلفة، وكمادة للتبريد في الصناعة وغير ذلك.

يتغيّر مصطلح "جودة المياه" ويعرّف بحسب استعمال المياه، فالمياه المناسبة لاستخدام معين، قد لا تكون مناسبة بالضرورة لاستعمال آخر.

مثال على ذلك: المياه التي تحتوي حتى 300 ملغم كلوريد لكل لتر (مقياس ملوحة الماء) تكون مياه صالحة للشرب[1]. لكنها غير صالحة لري أشجار الأفوكادو. أما المياه التي تحتوي على 800 ملغم كلوريد لكل لتر، فهي غير صالحة للشرب، لكن يمكن استعمالها لري النخيل.

المياه التي تحتوي على 2000 ملغم كلوريد لكل لتر، يمكن استعمالها للتبريد في محطة توليد الكهرباء، لكنها غير صالحة للشرب أو للري.

يُشير المختصون في "جودة المياه" إلى مدى "تلوث المياه". ويُعَرّف قانون المياه (لعام 1959) "تلوث المياه" على أنه تغيّر في صفات المياه .... من الناحية الفيزيائية، البيولوجية، الميكروبية والنشاط الراديواكتيفي (النشاط الإشعاعي)، أو غير ذلك، والذي يؤدي إلى خطورة على الجمهور، كما أنها قد تؤذي الحيوان، أو النبات، أو أنها قد تصبح أقل صلاحية للهدف الذي أُعدت له للاستعمال.

المياه الموجودة في الطبيعة – ومن بينها مياه المطر – غير نقية. مياه المطر التي تسقط، تضم وتُذيب في طريقها إلى التربة مواد مختلفة من الهواء، مثل: حبيبات السناج، غازات أُطلقت إلى الهواء، حبيبا غبار وأملاح مختلفة. وعندما تتلامس مياه الأمطار مع التربة، تُضاف لها مواد مصدرها من التربة.

المواد التي تُضاف إلى الماء، يمكن تقسيمها إلى مجموعتين أساسيتين:

المجموعة الأولى التي تشمل المواد الصلبة التي لا تذوب في الماء، مثل: حبيبات السناج، الرمل وبقايا المواد العضوية. هذه المواد تعوم في الماء ونسميها **مواد صلبة عائمة**.

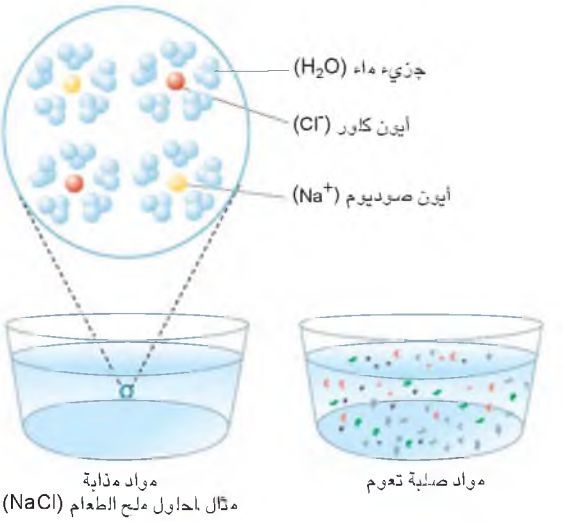
المياه التي تحتوي على كميات كبيرة من المواد الصلبة العائمة، فإنها تكون عكرة، لأن هذه الجسيمات تبتلع قسمًا من أشعة الشمس التي تسقط على الماء.

المجموعة الثانية التي تشمل **المواد المذابة** في الماء. الماء مذيب جيد لمواد كثيرة، وهو يكوّن معها محاليل. ففي هذه المحاليل، تنفصل المواد المذابة إلى أيونات، وهذه الأيونات تكون بين فراغات جزيئات الماء. توزيع جزيئات المواد المذابة بين جزيئات الماء، يؤدي إلى أن تبقى المياه صافية.

الأكسجين، ثاني أكسيد الكربون وملح الطعام، هي أمثلة لمواد تذوب في الماء. يتغيّر مدى ذوبان المواد بحسب صفاتها. ذوبان الأكسجين – على سبيل المثال – أقل من ذوبان ثاني أكسيد الكربون.

---

1 في صفحة 87، تظهر المواصفات القياسية (المعايير) لمياه الشرب في إسرائيل.



الرسمة 1.5: مواد صلبة تعوم ومواد ذائبة في الماء

أنواع المواد – التي تُضاف إلى المياه – وتركيزها تحدد جودة المياه. تحدث أحيانًا تفاعلات بين مواد مختلفة في الماء، ونتيجةً لذلك يزداد تأثير مادة معينة بسبب وجود مادة أخرى. يمكن أن نقسّم مقاييس جودة المياه إلى مقاييس فيزيائية، كيماوية، بيولوجية، ونشاط راديواكتيفي[1].

سنعرض الآن باختصار هذه المقاييس.

مقاييس فيزيائية

درجة الحرارة: تؤثر درجة الحرارة بالأساس على عمليات بيولوجية تحدث في الماء. فكلما ارتفعت درجة الحرارة، يقل تركيز الأكسجين المذاب في الماء (صفحة 21). ورويدًا رويدًا، ترتفع وتيرة العمليات الأيضية (تبادل المواد) عند الكائنات الحية، وهذا يؤدي إلى ارتفاع وتيرة تكاثرها ونموها.

التلوث الحراري، هو مثال لتغيّر درجة الحرارة، وهو يحدث بسبب نشاطات الإنسان. تستخدم محطات توليد الطاقة الكهربائية ومصانع أخرى المياه للتبريد، وهذه المياه الساخنة تعود بعد الاستعمال إلى المصدر الذي ضُخت منه، حيث يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة المصدر الذي أُعيدت إليه.

في أعقاب ارتفاع درجة الحرارة، الكائنات الحية[2] التي لا تلائمها درجات حرارة عالية، قد تموت، أو تهاجر، والكائنات الحية الأخرى التي تناسبها هذه الظروف، فإنها تستوطن وتسيطر على المكان.

---

[1] صفات الإشعاع الراديواكتيفي

[2] الكائنات الحية: حيوانات، نباتات، فقريات، طحالب، خلايا أحادية الخلية وبكتيريا.

المواد التي كانت من قبل في الماء بشكل طبيعي، أو التي أدخلها الإنسان إلى الماء، قد تمر بعمليات كيماوية في أعقاب ارتفاع درجة الحرارة، ونتيجةً لذلك، قد تَنتُج مواد ثانوية ضارة في الماء.

تَعَكُّر: عبارة عن مواد صلبة تعوم في الماء، مثل: جسيمات الطين، مواد عضوية، طحالب ونفايات تؤدي إلى تعكر المياه. تُشير المياه العكرة إلى تركيز عالٍ من المواد الصلبة.
تَعَكُّر عالٍ في مجمع المياه، يؤدي إلى تقليل نفاذية الماء للضوء، وفي أعقاب ذلك، تنخفض وتيرة عملية التركيب الضوئي التي تقوم بها الطحالب في أعماق المياه، وينخفض تركيز الأكسجين في الماء، ويرتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون. وهذه العملية تؤذي كائنات حية كثيرة تعيش في الماء.

اللون: يُشير ظهور اللون إلى وجود مواد مختلفة، حيث يكون قسمٌ منها مُلَوِّثًا الماء، فمثلاً يتغيّر لون الماء بسبب وجود أيونات معادن، مثل: الحديد والمنغنيز، أو بسبب وجود مواد مختلفة تُطلقها طحالب معينة.

أسئلة

1. أ. لماذا يُعتبر المصطلح "جودة المياه" متعلقًا باستخدام الماء الذي نستعمله؟ اشرحوا.
   ب. أعطوا – من عندكم – مثالاً لحالة تكون جودة المياه فيها منخفضة لاستعمال معين، لكنها جيدة لاستعمال آخر.
2. ما هو الفرق بين مواد صلبة تعوم في الماء وبين مواد صلبة مذابة في الماء؟
3. صفوا – بواسطة رسمة – سلسلة التغيّرات التي تحدث في مجمع ماء عندما ترتفع درجة حرارة الماء.
4. كيف يمكن أن يؤثر التغيّر في تَعَكُّر المياه على الكائنات الحية التي تعيش في الماء؟

مقاييس كيميائية

يتم التعبير عن المقاييس الكيميائية بتركيز المواد المختلفة الموجودة في الماء، مثل: تركيز الأملاح، تركيز مركبات النترات، ومركبات الفوسفات، وتركيز الأكسجين.

الملوحة: الأملاح المذابة في الماء، نجدها كأيونات ذات شحنة كهربائية موجبة أو سالبة. الملح الشائع الموجود في الماء، هو ملح الطعام ($NaCl$). اذا تُستخدم أيونات الكلور (Cl^-) المسماة كلوريد، كمقياس لفحص تركيز الأملاح.
المصدر الأساسي للأملاح الموجودة في الماء، يأتي من ذوبان الأملاح الموجودة في التربة والصخور التي تلامسها المياه.
اذا ستكون قيم الملوحة مختلفة في المناطق المختلفة بحسب مكونات التربة، مكونات الصخور وكمية

مواد افحص الماء

المياه في المنطقة. يمكن أن ترتفع الملوحة في مصادر المياه القريبة من البحر، بسبب تغلغل مياه البحر إلى طبقة المياه الجوفية.

الملوحة المناسبة والثابتة في الماء، تُتيح الكائنات الحية أن تحافظ على موازنة سليمة للأملاح في أجسامها. إذا تغيّرت ملوحة الماء، فإن ذلك يمس في هذه الموازنة. اذا لا نستطيع أن نشرب مياهًا ذات ملوحة عالية جدًا. عند استخدام المياه للري، فإن درجة الملوحة تحدد أنواع النباتات التي يمكن أن نسقيها من هذه المياه.

مركبات النترات ومركبات الفوسفات: تتكون مركبات النترات ومركبات الفوسفات في مجمعات المياه، من خلال عمليات طبيعية، تتم أثناء دورتيْ النيتروجين والفوسفور.

تُضاف هذه المواد إلى مجمعات المياه بواسطة مياه المطر التي تتدفق على سطح التربة، والتي تَجْرُفُ في طريقها بقايا كائنات حية (مثل: أوراق الأشجار وجيف الحيوانات)، وبقايا مواد من الحقول الزراعية، ومن المجاري الزراعية (مثل: مجاري الحظائر، والأقنان)، ومن مجاري البلدية.

مصدران إضافيان آخران لهذه المواد هما:

الرماد الناتج من حرق الغابات، والغبار المنطلق من جبال البركان.

مركبات الفوسفات موجودة أيضًا في مواد التنظيف المذابة في الماء. التركيز العالي لمركبات النترات ومركبات الفوسفات، يؤدي إلى فائض مواد تغذية في الماء، وقد يؤدي ذلك إلى سلسلة عمليات، من خلالها تتناقص كمية الأكسجين في الماء.

الكائنات الحية الهوائية تنقرض وتسيطر كائنات حية لا هوائية على المياه. أثناء العمليات الحيوية الكائنات الحية اللاهوائية، فإنها تُطلق غازات ذات رائحة نتنة إلى الماء، ويتحول لون الماء في هذه الحالة إلى بني عكر ويصبح مجمع الماء غير صالح.

هذه العملية نسميها **الإثراء الغذائي**.

التراكيز العالية لمركبات النترات في مياه الشرب تشكل خطرًا على صحة الإنسان.

إذا شرب أطفال صغار مياهًا تحتوي على تركيز عالٍ لمركبات النترات، فإن ذلك يؤدي إلى مرض

"الزراق". وهذا المرض يؤدي إلى اضطرابات في نقل الأكسجين داخل الجسم، مما يؤدي إلى صعوبات في التنفس، وإلى الزراق والاختناق.

يحدث هذا المرض عند الأطفال الصغار، لأن جهازهم الهضمي فيه عشيرة بكتيريا خاصة، وهذه البكتيريا تقوم في ظروف معينة بتحويل نيترات (NO_3^-) إلى نيتريت (NO_2^-) ترتبط بالهيموغلوبين[1] الموجود في الدم وتمنعه من أن يرتبط بالأكسجين. إذا كان مستوى مركبات النترات في مياه الشرب عالٍ، فإن ذلك يزيد من احتمال الإصابة بأمراض السرطان المختلفة عند البالغين.

المزيد عن الإثراء الغذائي

عندما تدخل كمية كبيرة من المواد الغذائية إلى الماء (بالأساس مركبات النترات ومركبات الفوسفات)، فإن ذلك يؤدي – في المرحلة الأولى – إلى تكاثر كبير في الطحالب، وهذا التكاثر نسميه "إزدهار الطحالب". وفيما بعد، عندما تنخفض كمية المواد الغذائية في أعقاب استهلاكها على يد الطحالب، أو في أعقاب عدم تدفقها إلى مجمّع الماء، فإن ذلك يؤدي إلى موت الطحالب.

تُستخدم الطحالب الميتة كغذاء للمحللات، وتزداد عشيرة المحللات بشكل كبير جدًا. وتستهلك المحللات كمية كبيرة من الأكسجين، وفي أعقاب ذلك، تنخفض كمية الأكسجين في مجمّع الماء إلى مستوى لا تستطيع أن تعيش فيه كائنات حية هوائية، مثل: الأسماك، عوالق حيوانية، ومحللات هوائية. "وتحتل" المحللات اللاهوائية مكان المحللات الهوائية، وهي تقوم بتحليل لا هوائي بطيء جدًا، وتكون نواتج تنفسها الميثان (CH_4) وغازات تُطلق روائح نتنة، مثلاً: كبريتيد الهيدروجين (H_2S).

هذا الوضع هو ذروة عملية الإثراء الغذائي، ومجمّع الماء الذي يصل إلى هذا الوضع تكون مياهه عكرة جدًا وغير صالحة الشرب[2].

وإذا لم تتدفق مواد غذائية إلى مجمّع الماء، فإن ذلك يؤدي مع الوقت إلى تَحَلُّل المواد العضوية في الماء، وعندما تقل كميتها، فإن ذلك يؤدي مرة ثانية إلى ظروف يكون فيها الأكسجين مذابًا في الماء. وفي هذه الحالة تعود كائنات حية هوائية إلى الماء، ومجمّع الماء يعود إلى وضعه البدائي.

[1] الهيموغلوبين – هو عبارة عن بروتين، يقوم بنقل الأكسجين في الدم.

[2] في صفحة 88، يوجد رسم تخطيطي، وهو يصف تغيّر مستوى الأكسجين في مجمع ماء ملوث.

1

مياه نقية

2

عندما تتدفق مياه المجاري إلى مجمّع الماء، فإن ذلك يؤدي إلى فائض في المواد الغذائية

3

تؤدي المواد الغذائية إلى إزهار الطحالب

4

عندما تنخفض كمية المواد الغذائية، فإن ذلك يؤدي إلى موت الطحالب بشكل كبير

5

عندما تقوم المحللات الهوائية بتحليل الطحالب الميتة، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض كمية الأكسجين، وإلى بداية موت الأسماك والكائنات الحية الأخرى التي تستهلك الأكسجين

6

لا يوجد أكسجين في الماء، لذا تموت الأسماك وباقي الكائنات الحية التي تستهلك الأكسجين

الرسمة 1.6: عملية الإثراء الغذائي في أعقاب تدفق مياه المجاري إلى مجمّع الماء.

1

بعد أن يتحلل قسم من الكائنات الحية الميتة، من خلال عمليات لا هوائية، فإن ذلك يؤدي إلى عودة ظروف الماء الذي يوجد فيه أكسجين. وتعود إلى الماء الكائنات الحية التي تستهلك الأكسجين، ويتم استمرار تحليل الكائنات الحية الميتة على يد كائنات حية هوائية.

2

يعود مجمّع المياه ويصبح نقيًا

الرسمة 1.7: *انتعاش مجمع الماء الذي حدث فيه الإثراء الغذائي. تحدث عملية الانتعاش، إذا توقفت عملية تلوّث الماء، وإذا لم تبقى مواد سامة غير قابلة للتّحلل.*

أسئلة

1. ما هي الفروق بين عملية التحليل الهوائية وبين عملية التحليل اللاهوائية؟
2. لماذا تَنْتُج روائح نتنة في مجمّع ماء حدثت فيه عملية الإثراء الغذائي؟
3. عملية الإثراء الغذائي، هي عملية يحدث من خلالها خلل في توازن النظام البيئي في الماء.
   أ) ما هي العوامل الأحيائية والعوامل اللا أحيائية التي تتغيّر؟ وكيف؟
   ب) كيف تتم المحافظة على التوازن بين العوامل – التي ذكرتموها في بند أ – قبل ازدياد المواد الغذائية في مجمّع الماء؟
4. إذا لم يتواجد مواد سامة في مجمّع الماء، فإن عملية الإثراء الغذائي هي عملية عكسية. لماذا يجب الحذر ومنع تلوّث مجمعات المياه؟

الأكسجين: تحتاج الكائنات الحية الهوائية التي تعيش في الماء إلى أكسجين. وجميعها لا تستطيع الابقاء في بيئة محيطة (محيط) فيها تركيز الأكسجين أقل من 4 ملغم في الالتر. معظم مصدر الأكسجين الموجود في الماء، يأتي من ذوبان الأكسجين الموجود في الهواء الذي يقع فوق سطح الماء. المياه التي يوجد فيها نباتات، يوجد فيها أيضًا أكسجين مصدره من عملية التركيب الضوئي التي تقوم بها النباتات.

تركيز الأكسجين الذي نقيسه بالقرب من سطح ماء نقي غير متحرك نسميه **تركيزًا مشبعًا**.

يختلف هذا التركيز في الظروف المختلفة لدرجة الحرارة والضغط الجوي: كلما كانت درجة حرارة الماء عالية، فإن ذلك يؤدي إلى تركيز مشبع منخفض،لأن ارتفاع درجة الحرارة، يؤدي إلى زيادة طاقة حركة جزيئات الأكسجين، ونتيجةً لذلك يزداد انتقال الأكسجين من الماء إلى الهواء. الضغط الجوي العالي، يؤدي إلى ارتفاع التركيز المشبع، لأنه يقلل من عدد جزيئات الأكسجين التي تنتقل من الماء إلى الهواء.

نُشيرُ أحيانًا إلى تركيز الأكسجين – الذي تمّ قياسه بشكل عملي – كنسبة مئوية من التركيز المشبع المناسب لدرجة الحرارة وللضغط السائدين أثناء القياس[1].

فيما يلي العوامل التي تؤثر على تركيز الأكسجين في الماء:

عمق الماء: يذوب الأكسجين الجوي في الماء الذي يتلامس معه، لذا كلما نزلنا في أعماق الماء، يقل تركيز الأكسجين. وعندما يمر الماء في عملية خلط، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع تركيز الأكسجين في أعماق الماء.

[1] في الملحق، في صفحة 277، يظهر جدول التراكيز المشبعة في الظروف المختلفة.

سرعة التدفق – في المياه المتدفقة، يوجد عمليات خلط طيلة الوقت، وتوجد كمية كبيرة من الماء الذي يلامس الأكسجين الجوي. اذا كان التدفق سريعًا والمياه تختلط بشكل كبير، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع تركيز الأكسجين.

ساعات اليوم – يرتفع تركيز الأكسجين في ساعات الضوء بسبب التركيب الضوئي الذي تقوم به الطحالب وباقي النباتات الموجودة في الماء.

أما في الساعات التي تنخفض فيها هذه العملية، فإن تركيز الأكسجين ينخفض.

التقلب في تركيز الأكسجين – المتعلق بمجرى ساعات اليوم – يميّز بالأساس مصادر المياه الساكنة، أو المياه التي تدفقها قليل.

تركيز المواد العضوية – المواد العضوية التي مصدرها من إفراز الحيوانات وبقايا الحيوانات والنباتات الميتة، تؤدي إلى انخفاض تركيز الأكسجين في الماء. وهذا ينبع من الحقيقة أن البكتيريا الهوائية – التي تحلل المواد العضوية – تستهلك الأكسجين.

كلما ازدادت كمية المواد العضوية في الماء، فإن ذلك يؤدي إلى تكاثر المحللات الهوائية، وإلى انخفاض كمية الأكسجين، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى الإثراء الغذائي.

قيمة التفاعل (pH): تعبر هذه القيمة عن مستوى الحامضية، أو القاعدية في الماء. وهي تتأثر من عوامل مختلفة. أحد العوامل، هو تركيز ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء. يصل ثاني أكسيد الكربون

التدفق السريع في النهر، يزيد من كمية الأكسجين في الماء

إلى الماء، من الهواء ومن الكائنات الحية التي تطلقه إلى الماء خلال عملية التنفس. كلما ارتفعت درجة الحرارة، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء. ويؤدي وجود ثاني أكسيد الكربون في الماء إلى تفاعل بينه وبين جزيئات الماء، ومن خلال هذه العملية، يُنتَج حامض الكربونيك (H_2CO_3) الذي يؤدي إلى ارتفاع حامضية الماء (pH منخفض).

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$$

تتأثر قيمة التفاعل من الأمطار الحامضية ومن الثلج الحامضي أيضًا. تَنتُج الرواسب الحامضية في أعقاب تفاعل يتم بين ملوثات الهواء (أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين) وبين الماء الموجود في الغيوم.
عامل آخر يؤثر على قيمة التفاعل، هو نوع الأملاح المعدنية التي تصل الماء من التربة. الصخور الجيرية – على سبيل المثال – تزيد من كمية الأملاح المعدنية التي ترفع ال pH. الماء الحامضي، أو القاعدي جدًا يؤذي الكائنات الحية الموجودة فيها.

ما هي قيمة التفاعل (pH)

تَنتُج أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الهيدروكسيل (OH^-) في المحاليل المختلفة، وبمستوى قليل في الماء "النقي". المحاليل الحامضية، هي المحاليل التي يكون فيها تركيز أيونات الهيدروجين أكثر من تركيز أيونات الهيدروكسيل. أما المحاليل القاعدية، فهي المحاليل التي يكون فيها تركيز أيونات الهيدروكسيل أكثر من تركيز أيونات الهيدروجين. نقيس مدى حامضية أو قاعدية المحاول من خلال سُلم الـ pH الذي يُعبّر عن تركيز أيونات الهيدروجين في المحاول. تتراوح قيم هذا السلم من 1–14. المحاليل التي يوجد لها pH أقل من 7، نسميها حوامض، والمحاليل التي يوجد لها pH أعلى من 7، نسميها قواعد. أما السائل الذي يوجد له pH 7، فهو متعادل. كل انخفاض بمقدار درجة واحدة في سُلم ال pH معناه تغيّر بمقدار 10 أضعاف في قيمة التفاعل، وهذا يعني أن محاولاً ذا pH 4 يكون أكثر حامضيةً بمقدار 10 أضعاف من محاول ذي pH يساوي 5.

العسر – معرّف على أنه مجموع تركيزي أيونات الكالسيوم (Ca^{++}) وأيونات المغنيزيوم (Mg^{++}) في الماء. كلما احتوى الماء على أيونات كثيرة من هذا النوع، فإنه يكون أكثر "عُسرًا".
تؤدي المياه العسرة إلى تراكم الكلس في الأنابيب، وفي الأجهزة المختلفة في الصناعة، مما يؤدي ذلك إلى انخفاض نجاعة الصابون وقلة رغوته. قيمة التفاعل المياه العسرة عالية، لأن هذه الأيونات تُنتِج محاولاً يميل إلى أن يكون قاعديًا. توجد مياه عسرة في مناطق كثيرة في البلاد، لأن مياه الأمطار تتلامس مع صخور جيرية مختلفة، وهكذا تتكون محاليل تحتوي على أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم.

معادن ومواد اصطناعية: وجود المعادن الثقيلة[1] والمواد الاصطناعية المختلفة في الماء، قد يؤذي الكائنات الحية التي تعيش في الماء، وقد تصبح مياه الشرب خطيرة. يمكن أن يكون مصدر هذه المواد طبيعي (التربة)، لكن معظمها تصل إلى المياه من المجاري الصناعية، ومن المواد التي تُستعمل لمكافحة الآفات الزراعية، ومن تغلغل المياه عبر مواقع نفايات، وكنواتج إضافية لعملية تعقيم المياه[2].

كلما ازداد تركيز هذه المواد في أجسام الكائنات الحية وفي السلسلة الغذائية، فإن ذلك يؤدي إلى ازدياد الضرر للصحة والبيئة المحيطة (المحيط).

هذه الظاهرة، نسميها **الازدياد البيولوجي**، وهي تحدث بالطريقة الآتية: تدخل المعادن الثقيلة والمواد الاصطناعية إلى أجسام الكائنات الحية من خلال الماء. يتغيّر قسم قليل من هذه المواد وتشترك في بناء المواد التي تُبنى في أجسام الكائنات الحية، وقسم قليل منها تدخل إلى الخلايا، وتتحول إلى جزء من سائل الخلية. بما أن الكائنات الحية لا تملك آليات لإخراج هذه المواد إلى البيئة المحيطة (المحيط)، فهي تبقى في الجسم. وهكذا يتحول هذا الجسم إلى مصفاة تؤدي إلى تراكم معادن ثقيلة ومواد اصطناعية في الجسم. عندما تُؤكل هذه الكائنات الحية، فإن المعادن الثقيلة والمواد الاصطناعية تنتقل إلى الكائنات الحية العليا في السلسلة الغذائية، وتتراكم فيها أيضًا. اذا كلما صعدنا في السلسلة الغذائية إلى أعلى، فإن تركيز هذه المواد يزداد حتى يصل تركيزها إلى درجة سمومية عالية، مثال على ذلك: البحث الذي أُجري في الولايا المتحدة على تركيز المادة DTT التي تُستعمل لمكافحة الآفات الزراعية. فقد وجد الباحثون ارتفاعات في تركيز هذه المادة في الكائنات الحية المختلفة: كان تركيز هذه المادة في الماء 0.000003 ppm، وقد ارتفع تركيزها في العوالق النباتية (الطحالب) الموجودة في الماء إلى 0.04 ppm، وفي العوالق الحيوانية (الحيوانات الصغيرة جدًا الموجودة في الماء) إلى 0.2 ppm، وفي الطيور والأسماك إلى 20 ppm. الضرر الذي يحدث بسبب تلوث مصادر المياه من المعادن الثقيلة والمواد الاصطناعية، يكون ضررًا طويل الأمد، وبعد التلوث تبقى المواد سنوات كثيرة في البيئة المحيطة. مثال على ذلك: في سنوات الستينيات والسبعينيات، تلوثت بحيرات كبيرة في الولايات المتحدة بكميات كبيرة من المعادن والمواد الاصطناعية، وقد أدى هذا التلوث إلى موت معظم الأسماك التي كانت تعيش في البحيرات. على الرغم من إجراء عمليات تطهير لهذه البحيرات منذ سنوات الثمانينيات، وعلى الرغم من القيام بنشاطات مختلفة لمنع تلوث إضافي، إلا أن مستوى التلوث في هذه البحيرات بقي عاليًا، وحتى يومنا هذا، لا زالت معظم الأسماك التي تعيش في هذه البحيرات غير صالحة للأكل.

[1] معادن ثقيلة: هي معادن ذات كتلة ذرية عالية (مثل: الرصاص، الزئبق، النيكل وغير ذلك).

[2] عند تعقيم المياه، نستعمل الكلور لكي نُبطل تأثير البكتيريا. يؤدي الكلور إلى إنتاج مركّبات ضارة مختلفة (انظروا إلى صفحة 84).

تلوث كبير بالزئبق- قصة القرية ميناماطة في اليابان

في سنة 1953، بدأ سكان قرية الصيادين – ميناماطة في اليابان – يمرضون بطريقة غير اعتيادية. فقد عانى الكثير منهم من أمراض أعصاب مختلفة، ومن عمى، ومن ارتجاجات وأضرار في المخ، وخلال 13 سنة، مات 43 شخصًا من الذين ظهر عندهم هذه العوارض، وأصبح 68 شخصًا معاقًا. اتضح أن المصنع الذي أُقيم بالقرب من مياه الخليج، كان يضخ إلى البحر مياه مجارٍ تحتوي على زئبق، وعلى مركبات زئبق سامة، وقد تراكمت هذه المواد في الأسماك التي استُخدمت كمواد غذائية أساسية لسكان القرية. إنّ تناول هذه الأسماك بشكل منتظم، أدى إلى تراكم الزئبق في الدم بتركيز خطير، وفي أعقاب ذلك حدث الوباء.

في سنة 1966، توقف ضخ الزئبق إلى الخليج، لكن منذ ذلك الحين وحتى سنة 1983، مات 300 شخص إضافيّ نتيجةً للتسمم، وعانى 1500 شخص إضافيّ من العوارض المختلفة نتيجةً للتسمم بالزئبق.

أسئلة

1. في حالات كثيرة، في مناطق صحراوية تكون مياه الينابيع والمياه الجوفية ذات تركيز أملاح عالٍ. اشرحوا السبب.
2. ما هي أهمية مركبات النترات ومركبات الفوسفات في الماء؟ في أي الحالات يعتبر التركيز العالي لهذه المركبات ضارًا؟
3. صفوا الظروف التي تظهر في الماء عندما يكون:
   أ. تركيز الأكسجين عالٍ بشكل خاص.
   ب. تركيز الأكسجين منخفض بشكل خاص.
4. تمعنوا في جدول ذوبان الأكسجين في الماء (في الملحق الذي ورد في صفحة 277).
   أ. في أي ظروف – بحسب الجدول – من المتوقع أن يكون التركيز الأعلى للأكسجين؟
   ب. في أي نوع مجمّع ماء، وفي أي ظروف تكون كمية الأكسجين في الماء قريبة، أو مساوية التركيز المشبع؟
5. ما هي العمليات البيولوجية التي تحدث في مجمّع الماء، والتي قد تؤدي إلى ارتفاع حامضية الماء؟ صفوا، كيف يحدث ذلك؟
6. كيف يمكن أن يؤثر التغيّر في حالة الطقس على قيمة التفاعل (pH) الماء في مجمّع الماء؟
7. لماذا من الصعب أن نظهّر مجمّع ماء ملوث بمعادن ثقيلة؟ اشرحوا.
8. اشرحوا، لماذا قد تؤدي تراكيز منخفضة جدًا من المعادن الثقيلة والمواد الاصطناعية إلى أضرار في النظام البيئي؟

مقاييس بيولوجية

تركيز المادة العضوية في الماء: المواد العضوية في الماء، تشمل ما يلي: كائنات حية، إفرازات كائنات حية، كائنات حية ميتة لم تمر بعملية التحلّل، والمركبات العضوية الناتجة من عملية التحلّل. إضافةً إلى ذلك، يمكن أن يشمل الماء مركبات عضوية اصطناعية، مثل: الوقود والزيوت.

تُشير الكمية الكبيرة للمواد العضوية في الماء إلى مستوى تلوث عالٍ، وهذا التلوث يمنعنا من استخدام الماء في مجالات مختلفة، مثل: الشرب، الريّ والنظافة.

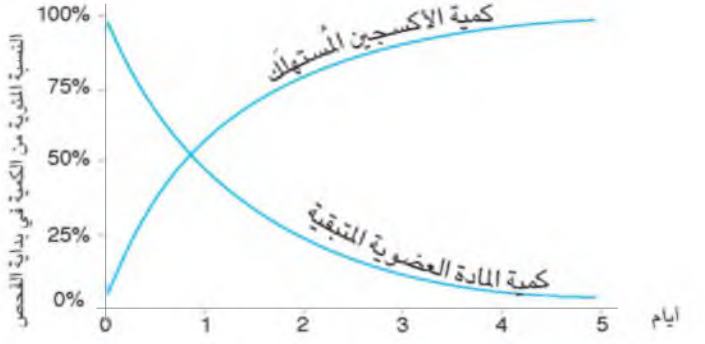
طوّرت طريقتان مختلفتان لقياس كمية المادة العضوية في الماء. الطريقتان هما: **استهلاك الأكسجين البيولوجي** BOD **واستهلاك الأكسجين الكيميائي** COD.

عند فحص الـ BOD ، فإننا نقيس كمية الأكسجين التي تُستهلك في عملية التنفس، التي تقوم بها الكائنات الحية في الماء (بالأساس البكتريا). تتغذى البكتيريا على المواد العضوية الموجودة في الماء وتستغلها في عملية التنفس. اذا تُعبّر كمية الأكسجين – التي تستهلكها البكتيريا – بطريقة غير مباشرة عن كمية المادة العضوية الموجودة في الماء.

تتم العملية المعيارية لفحص الـ BOD بالطريقة الآتية:

نملأ القنينة بعينة من الماء المراد فحصه، ونفحص تركيز الأكسجين في الماء، ثم نغلق القنينة بشكل محكم، لكي لا يدخل الهواء إلى داخلها، ونضعها لمدة خمسة أيام في الظلام، في درجة حرارة 20°C. وبعد خمسة أيام، نفحص مرة أخرى تركيز الأكسجين في الماء. قيمة الـ BOD (التي نُعبّر عنها بملغم أكسجين في الليتر)، هي الفرق في تركيز الأكسجين بين تركيزه في الفحص الأول، وبين تركيزه في الفحص الثاني. مثال على ذلك: إذا كان تركيز الأكسجين في الفحص الأول 6 ملغم في الليتر، وبعد 5 أيام، انخفض تركيزه إلى 2 ملغم في الليتر، فإن قيمة الـ BOD تساوي 4 ملغم في الليتر (6–2=4).

BOD = (تركيز الأكسجين في الفحص الثاني) – (تركيز الأكسجين في الفحص الأول)
بعد 5 أيام — في اليوم الذي أخذت فيه العينة



الرسمة 1.8: تغيّر في مستوى الأكسجين وكمية المادة العضوية أثناء إجراء فحص الـ BOD

في الحالات التي تكون فيها كمية المادة العضوية في الماء عالية يُسْتَغَلُّ كل الأكسجين الموجود في الماء الفحوص قبل أن تتحلل كل المادة العضوية. اذا عندما نأخذ عينة ماء ذات قيمة BOD عالية (مثلاً: مياه المجاري)، فيجب أن نخففها قبل إجراء الفحص1. نقيس كمية تركيز الأكسجين مباشرةً بعد التخفيف، ونقيسه مرة أخرى بعد 5 أيام. ويجب أن نضرب قيمة الـ BOD الذي نحصل عليه بقيمة التخفيف.

مثال على ذلك: إذا خففنا عينة بـ 100 ضعف (وهذا يعني، أننا نضيف 99 مل ماء نقيًا إلى 1 مل ماء من العينة)، وكان الفرق في التركيز بين القياسين 4 ملغم في الالتر، فإننا نضرب النتيجة بـ 100، لكي نحصل على قيمة الـ BOD في الماء. في هذه الحالة، تكون قيمة الـ BOD مساوية لِـ 400 ملغم في الالتر، وهذه القيمة مناسبة لمياه المجاري.

إنّ فحص الـ BOD، يُمثّل جيدًا كمية المادة العضوية التي تحللها البكتيريا بسهولة، لكن عندما يحتوي الماء على مواد عضوية لا تتحلل بسهولة، مثل: النفط والزيوت، أو عندما يحتوي الماء على مواد سامة لا تُتيح للبكتيريا تحليل المادة العضوية، فيجب أن نفحص كمية الأكسجين الكيماوي (COD). في هذا الفحص، نضيف – إلى الماء – مادة تتفاعل مع جميع المواد العضوية الموجودة في الماء ونقوم بتحليلها. كمية المادة المُستهلكة والتي تُستخدم في عملية تحليل المواد العضوية تشكل مقياسًا لكمية المادة العضوية الموجودة في الماء. نحوّل القيمة التي نحصل عليها بواسطة قاعدة إلى وحدات لاستهلاك الأكسجين، وهكذا نستطيع أن نقارن بين الفحصين BOD وَ COD.

وجود عوامل مسببة للأمراض: تحتوي المياه الطبيعية دائمًا على كمية معينة من الكائنات الحية الدقيقة، وهي بالأساس بكتيريا مصدرها من التربة، ولا تسبب أمراضًا صحيةً. التلوث الناتج من الكائنات الحية الدقيقة، يمكن أن يحدث بسبب إفرازات الحيوانات والإنسان التي تحتوي على بكتيريا، فيروسات وطفيليات تؤدي إلى أمراض. إنّ شرب وملس مياه ملوثة، يؤدي إلى وباء مباشر يشمل أمراض متنوعة، مثل: يرقان الكبد، الكوليرا، أمراض في الأمعاء، أمراض في الجلد (مثلاً: الصرع) وأمراض في العينين (مثلاً: التهاب صديدي). تُشير معطيات منظمة الصحة العالمية إلى أن ملايين الأشخاص يموتون بسبب هذه الأمراض في كل سنة، وثُلث الأموات هم أطفال.

الطرق المعدّة لعزل وتمييز قسم كبير من البكتيريا التي تؤدي إلى أمراض، هي طرق معقدة، بطيئة وباهظة الثمن. اذا يتم فحص وجود هذه البكتيريا في الماء بطرق غير مباشرة وبسيطة، ومن خلال عدّ بكتيريا الـ E. coli الذي من السهل تمييزه. هذه البكتيريا من مجموعة القولونيات (الكوليفورميم)، وهي موجودة بشكل ثابت في جهاز هضم الإنسان والحيوانات، وهي غير ضارة. يُشير وجود هذه البكتيريا في الماء إلى أن الماء يحتوي على إفرازات مصدرها من الإنسان و/أو الحيوانات، اذا فهي على ما يبدو تشمل أيضًا بكتيريا تؤدي إلى أمراض.

[1] بما أننا لا نعرف مسبقًا قيمة الـ BOD الذي سنحصل عليه، لذا يجب أن نقوم بعدة تخفيفات (مثالان: 10 أضعاف و 100 ضعف). نحسب قيمة الـ BOD من خلال العينة التي يوجد فيها تركيز أكسجين أكبر من صفر، في نهاية 5 أيام.

تُستخدم بكتيريا الـ E. coli **كمؤشرات** تُشير إلى مياه قد تكون ملوثة بمسببات أمراض. تسمح معايير وزارة الصحة إلى وجود تراكيز مختلفة لبكتيريا القولونيات (الكوليفورميم) – التي مصدرها من البراز – بحسب نوع استعمال المياه.

مقاييس إشعاعية[1]

استعمال الماء	التركيز الأكبر المسموح للبكتيريا القولونية التي مصدرها من البراز في 100 مل ماء
مياه الشرب	0
مياه الاستحمام في برك السباحة	100
مياه الاستحمام في شواطئ البحر	200
المياه المستعملة للصيد والاستحمام دون أن يلامسها إنسان	1000

جدول 1.1: *التركيز المسموح لبكتيريا القولونيات (الكوليفورميم) التي مصدرها من البراز، بحسب معايير وزارة الصحة*

قد تكون المياه ملوثة **بأشعة راديواكتيفية** (أشعة ذات نشاط إشعاعي). قد يكون مصدر هذه الأشعة طبيعي، أو بسبب نشاط الإنسان.

الإشعاع الراديواكتيفي الذي مصدره من الطبيعة، يمكن أن نجده – على سبيل المثال – في المياه الجوفية التي نضخها من الصخور التي تحتوي على عناصر تُطلق أشعة. توجد أنواع مختلفة من النفايات السامة، مثل: النفايات التي تَنْتُج في المستشفيات، وفي المصانع الصناعية، ويمكن أن تحوي مواد تُطلق أشعة راديواكتيفية. إذا كانت الأشعة الراديواكتيفية أكثر من عتبة معينة، فإنها تؤدي إلى تغييرات في مبنى جزيء الـ DNA وإلى خلل وراثي. خطر آخر، هو تطور مرض السرطان. يمكن أن نتعرض لهذه الأشعة إذا شربنا ماءً ملوثًا بهذه المواد، أو إذا تناولنا مواد غذائية تمّ ريها بماء ملوث.

[1] وجود أشعة راديواكتيفية.

أسئلة

1. تمعنوا في الرسمة 1.8، ثم اكتبوا، لماذا – بحسب رأيكم – تمّ تحديد خمسة أيام لتنفيذ فحص الـ BOD؟
2. عندما نريد أن نفحص قيمة الـ BOD في مياه فيها كمية المواد العضوية عالية، فإننا نحتاج إلى تخفيفها. اشرحوا السبب.
3. احسبوا قيمة الـ BOD لعينات الماء الآتية:

أ. في الفحص الأول، كان تركيز الأكسجين 7 ملغم في اللتر. وفي الفحص الذي تمّ بعد 5 أيام، فقد كان تركيز الأكسجين 2 ملغم في اللتر.

ب. في الفحص الأول، كان تركيز الأكسجين 6 ملغم في اللتر، في العينة التي تمّ تخفيفها 10 أضعاف. وفي الفحص الثاني الذي تمّ بعد 5 أيام، فقد كان تركيز الأكسجين 1 ملغم في اللتر.

4. ما هي الصفات المطلوبة من البكتيريا، لكي نستخدمها كمؤشر لفحص وجود مسببات أمراض؟
5. ما هي الفروق بين تأثير تلوث المياه بالبكتيريا مقارنة مع تلوثها بمواد اصطناعية ومعادن ثقيلة؟

أسئلة للتلخيص

6. أ. اختاروا خمسة مقاييس لجودة الماء، ثم سجلوها في دفاتركم في جدول، كما ورد في الجدول الآتي.

ب. اكتبوا في الجدول مدى أهمية كل مقياس (قليلة، متوسطة، أو كبيرة) بحسب نوع استخدام المياه.

ج. اختاروا نوع استعمال واحد، ثم عالوا واشرحوا الطريقة التي استعملتموها لإكمال الجدول.

استخدام الماء / مقياس جودة الماء	مياه الشرب	بركة أسماك	منشأة للتبريد في الصناعة	الري في الزراعة

تلخيص

الماء هو مصدر ضروري لجميع الكائنات الحية. معظم المياه في العالَم هي مياه مالحة موجودة في المحيطات. تشكل المياه العذبة 2.5% فقط من مجموع المياه في العالَم، ومعظمها ليست متوافرة لاستعمالات الإنسان. توجد فروق كثيرة بين المناطق المختلفة في العالَم، من حيث كمية المياه المتوافرة لاستعمالات الإنسان. بسبب زيادة تعداد السكان ومستوى الحياة، يتوقع العلماء أن يرتفع عدد الدول في العالَم التي ستعاني من النقص في الماء.

الماء مورد متجدد. تستخدم الكائنات الحية والإنسان الماء، وبعد استعماله يعود إلى البيئة المحيطة (المحيط). عند استعمال الماء، تُضاف إليه عادةً مواد مختلفة تؤدي إلى انخفاض جودة المياه. تُساهم عمليتان أساسيتان في تجدد المياه كمياه نقية، وهاتان العمليتان هما: التبخر الذي خلال حدوثه، يتحول الماء إلى بخار ماء نقي، أما المواد التي كانت فيه فتبقى في مصدر الماء الذي حدث فيه التبخر. العملية الثانية، هي عملية التطهير الطبيعي الذي خلال حدوثه، تستهلك كائنات حية محلّلة قسمًا من المواد التي أُضيفت إلى الماء، وهكذا تتحسن جودة الماء.

كلما ارتفع مستوى الحياة، فإن استهلاك الماء يزيد.

في دول كثيرة، بالأساس في الدول النامية، يؤدي تلوث مصادر الماء إلى انخفاض في جودة الماء لدرجة أن الماء المعدّ لخدمة المواطنين، قد يشكل خطرًا على صحتهم. يتم تحديد جودة الماء بحسب أنواع المواد التي أُضيفت إليه، وبحسب تراكيز هذه المواد.

يتغيّر المصطلح "جودة الماء الجيد" بحسب الاستهلاك الذي من أجله يُستخدم الماء.

يمكن تقسيم مقاييس جودة الماء بالطريقة الآتية:

- مقاييس فيزيائية: درجة الحرارة، التعكير، اللون.
- مقاييس كيميائية: ملوحة، مركبات النترات، مركبات الفوسفات، الأكسجين، قيمة التفاعل (pH)، عسر الماء، المعادن والمواد الاصطناعية.
- مقاييس بيولوجية: المواد العضوية ومسببات الأمراض.
- مقاييس إشعاعية: أشعة راديواكتيفية.

الفصل الثاني

المياه في إسرائيل

إنَّ موسم سنة 2/1991، كان موسم الرواسب الأكثر في البلاد، في القرن العشرين. في كل أنحاء البلاد، كانت كميات الرواسب أعلى من المعدل متعدد سنوات، وفي أماكن كثيرة، هطلت أمطار بكميات كبيرة وقد كانت أكبر من ضعفي المعدل. أما السنة السابقة، فكانت سنة قحط. في بحيرة طبريا، انخفض منسوب المياه حتى وصل قريبًا من الخط الأحمر، وفي مجمعا المياه الجوفية كان منسوب المياه منخفضًا مقارنة مع السنوات الأخرى.

وفي أماكن تنقيب كثيرة، انخفض ارتفاع منسوب المياه إلى أسفل الخط الأحمر، وقد شكّل هذا الانخفاض خطورة على جودة الماء.

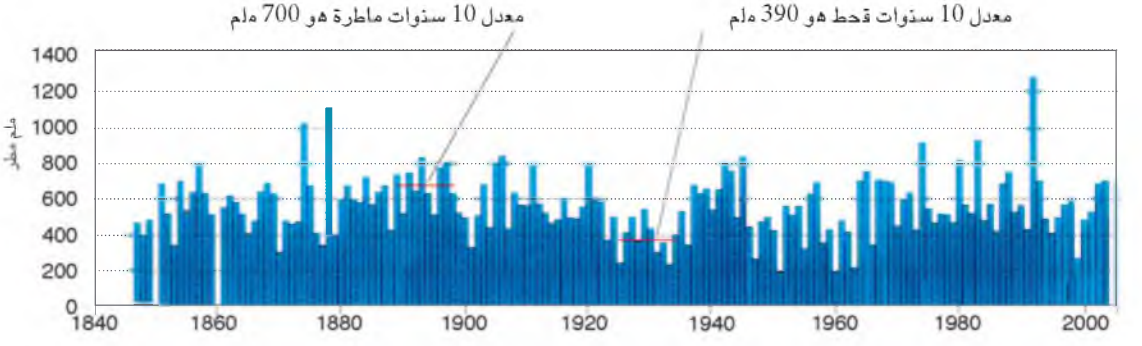
في سنة 1991، أصدر وزير الزراعة – المسؤول عن المياه – أوامر خاصة تهدف إلى التوفير في المياه، وقد منع ري الحدائق، ومنع استخدام المياه في برك السباحة الخاصة. السنة الماطرة في موسم 2/1991، كانت هدية من السماء، وبمساعدتها طرأ تحسن في وضع المياه في البلاد، حيث امتلأت مجمعات المياه، وتقلص بشكل ملحوظ العجز الكبير في الماء الذي تراكم لعدة سنوات، لكن هذه الهدية كانت شاذة جدًا، وخلال عدة سنوات، عاد الأمر لما كان عليه في السنوات السابقة، وفي أعقاب سنوات قحط إضافية خلال سنوات التسعينيات، شعرنا مرة أخرى في النقص في المياه، وتفاقمت مشاكل مختلفة متعلقة بجودة المياه.

سنوات القحط، هي موضوع واحد من بين المواضيع المتعلقة بالمياه في إسرائيل. سنتعرف في هذا الفصل على هذه المواضيع بتوسع. وسنتعرف على مصادر المياه الموجودة، وسنركّز على بعض المشاكل المركزية المتعلقة بالمياه في إسرائيل.

العرض والطلب على المياه

منذ القدم، اضطر السكان في أرض إسرائيل أن يبذلوا جهودًا كثيرة، لكي يزودوا أنفسهم بالماء. على الرغم من أن معدل كمية الرواسب السنوية في منطقة مناخ البحر الأبيض المتوسط في إسرائيل لا تختلف بشكل ملحوظ عن كمية المياه في مناطق كثيرة في العالَم (مثلاً: في أوروبا)، إلا أن توافر المياه في إسرائيل أقل بكثير مقارنةً مع المناطق الأخرى في العالَم. ينبع ذلك بالأساس من الحقيقة أن الأمطار تسقط في منطقتنا في موسم الشتاء فقط، ويكون تبخر المياه خلال كل مواسم السنة عاليًا جدًا. إضافةً إلى ذلك، توجد فروق كبيرة في كميات الرواسب من سنة إلى أخرى. كما وصفنا في مقدمة هذا الفصل، فإنه إلى جانب السنوات الماطرة التي معدلها أكثر من المعدل متعدد السنوات، فهناك سنوات قحط في منطقتنا، وتتميز هذه السنوات بكميات رواسب أقل من المعدل بشكل ملحوظ.

هذه المعطيات، تخلق مشاكل الجهات المسؤولة عن تزويد المياه، وتُلزمها بمواجهتها، كما سنشاهد ذلك لاحقًا في هذا الفصل.



الرسمة 2.1: *الرواسب في القدس*

(بحسب خدمات دائرة عام الماء، ودائرة الاحصاء المركزية)

إدارة مجمعات المياه: يعتمد تزويد المياه في إسرائيل على مصدرين:

ضخ المياه الجوفية، وضخ المياه العلوية من بحيرة طبريا. ففي هذه المصادر توجد كميات كبيرة جدًا من المياه العذبة، لكن استعمالها محدود، لأنه يوجد خوف من انخفاض ارتفاع منسوب المياه في هذه المجمعات، وهذا الانخفاض في المنسوب يؤدي إلى انخفاض في جودة المياه (سنفصل لاحقًا العمليات المتعلقة بكل مجمع).

تُشير الأبحاث في مجال عام الماء إلى أنه يجب أن تبقى مياه في مجمع طبيعي، أو اصطناعي، لكي لا تؤثر سلبًا على جودة المياه، وهذه المياه نسمّيها **خزانًا غير فعّال**. ارتفاع منسوب المياه في مخزن

[1] مياه علوية: هي مياه موجودة على سطح الأرض.
[2] مياه نظيفة: هي مياه صالحة للاستعمال.

غير فعّال، هو **الخط الأحمر السفلي** في المجمّع. وهذا يعني أنه أثناء ضخ المياه من المجمع، يجب أن لا نضخ مياهًا من أسفل هذا المنسوب. المياه المتوافرة للضخ، هي المياه الموجودة فوق الخط الأحمر السفلي ونسميها **الخزان الفعّال** المجمع. لقد عرّفنا أيضًا **الخط الأحمر العلوي** لقسم من المجمعات، وهذا يعني إذا تجاوزت مياه المجمع هذا الخط، فإنها تؤدي إلى أضرار. إذا ارتفع منسوب المياه في بحيرة طبريا إلى أكثر من الخط الأحمر العلوي، فإن ذلك يؤدي إلى غمر البادان التي تقع على الشاطئ. وإذا ارتفع منسوب المياه في اكفيفر[1] (مجمّع مياه أحفورية) الجبل إلى أكثر من الخط الأحمر العلوي، فإن ذلك يؤدي إلى تجدد التدفق في ينابيع اليركون وإلى خسارة في الماء.

الرسمة 2.2: مصطلحات متعلقة بإدارة مجمع الماء

إذا كُنّا لا نريد أن نضخ مياهًا من أسفل الخط الأحمر السفلي للمجمّع، فيجب على المسؤولين عن هذا المجمع أن يسمحوا بضخ سنوي لكمية الماء التي عادت في نفس السنة إلى المجمّع، من خلال الأمطار. بما أن هذه الطريقة لا تُتيح تخطيط إدارة المياه، ولا تُتيح تخطيط اقتصادي، فمن المعتاد أن يتم ضخ المياه – في كل سنة من هذه المجمعات بكميات الماء – التي عادت إلى المجمّع، والتي تساوي المعدل متعدد السنوات للمياه التي عادت إلى المجمّع. في سنوات القحط، قد يؤدي ذلك إلى تجاوز الخط الأحمر السفلي. لذا يجب أن نحافظ بشكل ثابت على فائض من المياه في المخزن الفعّال، وهذا يعني أن نحافظ على ارتفاع منسوب مياه أعلى من الخط الأحمر السفلي للمجمّع.

موازنة المياه في إسرائيل – معدل كمية التعبئة السنوية العائدة إلى مجمعات المياه – والتي نستطيع أن نستخدمها – هو 150 مليون متر مكعب. وهذا يعني أن هذه هي الكمية المسموح استعمالها في كل سنة، بشرط أن تبقى مياه كافية في مخزن المياه الفعّال، لكي لا نضطر في سنوات القحط أن نضخ مياهًا من أسفل الخط الأحمر السفلي. في قسم من مجمعات المياه الجوفية، وفي بحيرة طبريا، قاموا عدة سنوات بضخ المياه من أسفل الخطوط الحمراء، وهذا يعني أنه لم يتبقى فائض ماء في

[1] اكفيفر: مجمّع مياه جوفية (اقرأوا عن ذلك لاحقًا في التوسع الذي ورد خلال هذا الفصل).

مخزن الماء الفعّال، لأنهم قاموا بضخ مياهًا من مخزن المياه غير الفعّال. (إنّ تجاوز الخطوط الحمراء، يشبه سحب النقود الزائد من حسابنا في البنك، ففي البنك، ندفع الربى على السحب الزائد، أما في إدارة شؤون الماء، فإنّ ذلك يؤدي إلى خطورة في جودة الماء).

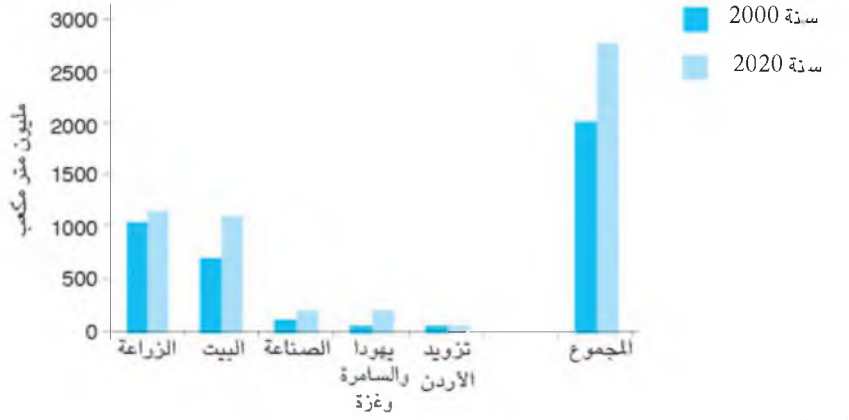
سنعرض كمثال الأمور التي حدثت في إدارة المياه في سنة 2000. لكن بودنا أن نُشير في البداية إلى أن السنوات 1998–1999، كانت سنوات قحط، وفي أعقاب ذلك تمّ ضخ زائد للمياه في هذه السنوات، وفي السنوات السابقة لها، مما أدى ذلك إلى ارتفاع منسوب مياه – في قسم من الأكفيفرات – أقل من الخطوط الحمراء، وقد كان هذا الانخفاض قبل بدء موسم الأمطار (وهذا يعني أنه كان هناك نقص في مخزن المياه غير الفعّال). وقد كانت سنة 2000، سنة قحط أيضًا. وكان مجموع استهلاك المياه في هذه السنة 2032 مليون متر مكعب تقريبًا، وهذا الاستهلاك أكثر بكثير من التعبئة العائدة الماء إلى المجمع. تمّ تزويد قسم من الطلب على الماء من خلال مياه المجاري المكرَّرة[1] التي تُستخدم في الزراعة (270 مليون متر مكعب تقريبًا)، ومن خلال استغلال مياه الفيضانا (50 مليون متر مكعب)، أما باقي المياه فقد تمّ تزويدها من خلال ضخ المياه من بحيرة طبريا، ومن الأكفيفرات. ومعنى ذلك أنه كان هناك استمرار في تجاوز الخطوط الحمراء في الإكفيفرات وفي زيادة العجز في مخزن المياه غير الفعّال. في نهاية موسم أمطار سنة 2000، كان التقدير أننا بحاجة إلى 1400 مليون متر مكعب تقريبًا، لكي نغطي العجز في الإكفيفرات، ولكي نعود إلى الفائض المطلوب في مخزن المياه الفعّال، وهذا يعني أننا نحتاج إلى كمية ماء تساوي تقريبًا كمية رواسب سنة واحدة.

مصدر المياه	كمية المياه بالمليون متر مكعب	النسبة المئوية من المجموع
إكفيفر الجبل	330	19%
إكفيفر الساحل	250	14%
إكفيفرات أخرى	270	15%
مجموع المياه الجوفية	850	48%
مياه البحيرة	600	34%
مياه الفيضانات	50	3%
مياه مجاري مكرّرة	270	15%
مجموع المصادر	1770	100%

جدول 2.1: *معدل نسبة المساهمة السنوية المصادر المختلفة في إدارة المياه في إسرائيل (بحسب مديرية المياه لسنة 2000)*

[1] مياه مجاري مكرّرة: مياه مجاري مطهرة

من الواضح في هذه الحالة أن العرض المياه التي بحوزتنا أقل بكثير من الاستهلاك الذي يزداد من سنة إلى أخرى. يقدر الباحثون أنه في سنة 2020 سيكون تعداد السكان في إسرائيل 8.6 مليون نسمة، وفي أعقاب ذلك، يزداد الطلب على المياه المعدّة للاستعمالات البيتية التي من الواجب تزويدها. ومع النمو الاقتصادي، يزداد الطلب على المياه المعدّة للاستعمالات الصناعية التي من خلالها تُنْتَج مُنْتَجات ذات قيمة إضافية عالية (وهذا يعني، يمكن أن نربح مبالغ نقود كبيرة مقارنة مع الاستثمار)، اذا يجب أن نقوم بتزويدها أيضًا. سيبذل القطاع الزراعي جهده ليحافظ على استهلاك المياه، على الأقل في مستوى الاستهلاك الحالي. بالموازاة مع الزيادة في الطلب على المياه في إسرائيل، سيزداد بشكل ملحوظ الطلب على المياه عند الفلسطينيين أيضًا.



ملاحظات

1. في سنة 2000، بلغ تعداد السكان في إسرائيل 6.2 مليون نسمة، أما في سنة 2020 فسيكون تعداد السكان في إسرائيل 8.6 مليون نسمة تقريبًا.
2. في سنة 2000، كان تعداد السكان في يهودا والسامرة وغزة 1.6 مليون نسمة، ومعدل استهلاك المياه السنوي للفرد 35 مترًا مكعبًا من الماء. أما في سنة 2020، فسيكون تعداد السكان في هذه المناطق 3.0 ملايين نسمة تقريبًا، ومعدل استهلاك المياه السنوي للفرد 70 مترًا مكعبًا من الماء.
3. في إطار معاهدة السلام، سنزوّد الأردن في كل سنة، بـ 55 مليون متر مكعب من الماء.

الرسمة 2.3: استهلاك المياه في سنة 2000 والاستهلاك المتوقع في سنة 2020
(بحسب مديرية المياه)

أسئلة

1. ما هي الصعوبات في تنظيم تزويد المياه التي تنبع من ظروف المناخ في إسرائيل؟
2. أ. تمعنوا في الرسمة 2.1، وجدوا سنوات قحط متتالية.
   ب. كيف تؤثر سنوات قحط متتالية على المياه في إسرائيل؟
3. اشرحوا، كيف يحدث عجز في المياه؟ استخدموا المصطلحات الآتية: تعبئة سنوية متكررة، مخزن مياه فعّال، مخزن مياه غير فعّال وخط أحمر.

4. بحوزتنا مصادر مياه طبيعية، ومصادر مياه يُنتجها الإنسان.
أ. صنفوا مصادر المياه التي تظهر في جدول 2.1 بحسب التقسيم أعلاه.
ب. قارنوا بين كميات الماء المُستخرجة من هذين المصدرين. ماذا يمكن أن نستنتج من هذه المقارنة؟
ج. هل يمكن – بحسب رأيكم – أن نرفع كمية المياه الموجودة عندنا؟ اشرحوا.
5. إذا أردنا أن نستخدم في كل سنة مجمّع ماء بشكل ثابت، فيجب أن نحافظ على ارتفاع منسوب مياه أعلى من الخط الأحمر السفلي. اشرحوا السبب.
6. ما هي أهمية مخزن المياه غير الفعّال في مجمع المياه؟
7. تمعنوا في الرسمة 2.3.
أ. صفوا واشرحوا التغيّرات المتوقعة في استهلاك المياه في سنة 2020.
ب. ما هو الفرق بين كمية المياه التي سنستهلكها في سنة 2020، وبين كمية المياه التي يمكن تزويدها من المصادر الطبيعية؟ ماذا يمكن أن نعمل، لكي نقلص هذا الفرق؟

وضع المياه في الشرق الأوسط[1]

تعاني دول كثيرة في الشرق الأوسط من النقص في المياه. ذكرنا الحقيقة أن كمية 1000 متر مكعب ماء للشخص الواحد في السنة، هي الكمية المطلوبة، لكي لا يكون هناك نقص في تزويد الماء في الدول العصرية. نلاحظ في جدول 2.2 أنه في دول كثيرة في الشرق الأوسط، الكميات المتوافرة لاستعمال السكان أقل من 1000 متر مكعب.

هناك مشكلة أخرى في دول كثيرة، وهي حقيقة أن مصادر المياه غير متجددة في مناطق الدولة. وهذا يعني أن قسمًا من المياه – التي تجدد مصادر المياه – تسقط في مناطق دول مجاورة وتصل إلى الدولة الأخرى من خلال الأنهار، أو مجمعات المياه الجوفية التي تكون عبر الحدود.

مصادر المياه المشتركة لعدة دول، يمكن أن تؤدي إلى نزاعات وصراعات بين الدول حول استخدام المياه. وعندما يكون الحديث عن **أنهار دولية**، فإنها تبدأ تدفقها من دولة معينة وتستمر في أراضي الدول الأخرى، وهذه **الدول العليا** توجد لها أفضلية، لأن النهر يتدفق من أرضها إلى الدولة الأخرى (**الدولة السفلية**).

نهر النيل، هو مثال على ذلك، فمعظم المياه الموجودة فيه مصدرها من أثيوبيا، وهي تتدفق عبر السودان إلى مصر. في هذا الوضع، تنشب خلافات حول السيادة على الماء، ويُطرح دائمًا السؤال الآتي: هل يُسمح لدولة أثيوبيا أن تستخدم المياه دون أن تأخذ بالحسبان جاراتها؟

[1] يمكنكم القراءة في صفحة 119 عن مواجهة مشاكل المياه التي تقوم بها دول الشرق الأوسط.

الدولة	أ	ب
	كمية الماء بالمتر المكعب التي يستغلها الفرد الواحد بشكل عملي خلال سنة واحدة، من جميع المصادر. هذا المعطى يشمل المياه من المصادر الآتية: المياه المتجددة في مناطق الدولة، المياه التي تصل من خلال الأنهار من الدول الأخرى، مياه بحر محلية، ومياه جوفية غير متجددة.	كمية الماء بالمتر المكعب التي يمكن أن يستغلها الفرد الواحد خلال سنة واحدة من مصادر مياه متجددة في مناطق الدولة[1].
مصر	920	26
إيران	1165	1898
العراق	2368	1523
إسرائيل	292	312
الأردن	187	102
الكويت	307	0
لبنان	444	1463
ليبيا	486	143
عُمان	658	388
المملكة العربية السعودية	1002	11
سوريا	1069	434
تركيا	560	2943
الإمارات العربية	954	61
اليمن	253	225

جدول 2.2: *العرض واستغلال المياه في دول الشرق الأوسط*
بحسب (world resources)

سؤال آخر: ما هو مدى التزام الدول العليا في الحفاظ على جودة المياه التي تتدفق منها إلى الدول المجاورة؟

تُشير وثيقة هيلسينكي (1966) إلى المبادئ التي يجب أن تسلكها الدول التي تتقاسم مصدر مياه مشترك. يركّز المبدأ المركزي في هذه الوثيقة، على الحقوق التاريخية للدول السفلية بالنسبة لاستعمال الماء، وهذا يعني أنه غير مسموح للدولة العليا أن تزيد من استهلاكها الماء بشكل يؤدي إلى عدم استمرار الدولة السفلية باستعمال المياه كما كان في السابق.

في حالة أثيوبيا ومصر، لم تستخدم أثيوبيا أبدًا مياه نهر النيل، لأن الزراعة في أثيوبيا اعتمدت على مياه الأمطار الكثيرة التي تهطل في تلك المنطقة. مقارنة مع ذلك، فإن مياه النيل بالنسبة لمصر، هي مصدر المياه الأساسي الذي يستعمله الشعب المصري منذ آلاف السنين.

[1] عند المقارنة مع عمود أ، انتبهوا إلى أن هناك دولاً لا تستغل كل قدرة الماء التي بحوزتها.

النيل

اذا فبحسب مبدأ الحقوق التاريخية لمصر، لا تستطيع أثيوبيا أن تخل بتزويد الماء الذي يصل مصر منذ آلاف السنين، وهذا على الرغم من حاجة أثيوبيا في السنوات الأخيرة إلى تطوير زراعة الري[1]، لكي تواجه الزيادة السكانية، والقحط الذي تعاني منه في السنوات الأخيرة.

يركّز مبدأ مهم آخر على أن جميع الدول التي تشترك في حوض تجميع[2] الماء لنهر معين، بوجوب أن تقوم تلك الدول بالتنسيق فيما بينها حول المشاريع المتعلقة بالمياه، ويجب أن لا تستخدم النهر بطريقة تؤدي إلى ضرر لإحدى الدول.

وثيقة هيلسينكي، ليست قانونًا دوليًا ملزمًا، لكن تعترف جميع دول العالَم بهذه الوثيقة، وتعتبرها قاعدة للاتفاقات بينها حول استخدام مصادر المياه المشتركة.

في حالات كثيرة، توجد دول مرتفعة تواجه ازديادًا في تعداد السكان، وهي تسعى إلى زيادة استغلال المياه والطاقة.

تقوم هذه الدول بتخطيط وتطوير مشاريع متعلقة بالمياه، وقد تؤذي هذه المشاريع الدول المنخفضة، مثلاً يوجد خلاف بين تركيا وسوريا حول بناء السدود التي تقوم بها تركيا على نهري دجلة والفرات.

هذه السدود، تقلل من كميات المياه التي تصل سوريا، وفيما بعد العراق.

يقع قسم من مصادر مياه إسرائيل خارج حدودها.

---

[1] الزراعة بالري – زراعة تعتمد على الري.

[2] حوض التجميع: الأراضي التي منها يتم تصريف مياه الأمطار إلى النهر أو البحيرة.

الرسمة 2.4: أنهار مشتركة في الشرق الأوسط

يدور الحديث حول نهر الحصباني الذي مصدره في لبنان، والذي يُغذي نهر الأردن، ونهر اليرموك المشترك بين إسرائيل، سوريا والأردن.

إضافةً إلى ذلك، فإن إسرائيل تتقاسم مع الفلسطينيين المياه الجوفية الموجودة في إكفيفر الجبل، في يهودا والسامرة. في إطار معاهدة السلام مع الأردن، تمّ الاتفاق على توزيع مياه اليرموك بين الدول (معظم المياه بقيت تحت سلطة الأردن، ويعتبر نهر اليرموك مصدر المياه الأساس لها).

وتمّ الاتفاق مع الأردنيين أيضًا، أن تُجَمِّع إسرائيل في بحيرة طبريا، مياه الفيضانا التي تتدفق

في نهر اليرموك في فصل الشتاء، وأن تزوّد الأردنيين بها كل سنة، وذلك بمقدار 55 مليون متر مكعب ماء. والأردنيون من ناحيتهم، يسمحون لإسرائيل أن تستغل العربة – الموجودة في أراضي الأردن – للتنقيب. التعاون بين الدول، يُتيح إمكانية مواجهة مشكلة المياه بشكل جيد، مثلاً: تستطيع الدول التي يوجد لديها فائض في المياه أن تبيعه إلى الدول التي تعاني من نقص في الماء. الوضع السياسي القائم بين دول المنطقة، لا يسمح في كثير من الحالات أن تتعاون هذه الدول فيما بينها من خلال هذا النوع من التعاون.

أسئلة

1. تمعنوا في جدول 2.2 واشرحوا ما يلي:
   أ. إذا كان في دولة معينة كمية الماء في عمود أ أكثر من كمية الماء في عمود ب، فما معنى ذلك؟
   ب. إذا كان في دولة معينة كمية الماء في عمود ب أكثر من كمية الماء في عمود أ، فما معنى ذلك؟
2. أ. اكتبوا أسماء الدول التي يوجد فيها نقص في المياه (أقل من 1000 متر مكعب في السنة).
   ب. في أي دول من بين الدول التي وجدتموها يمكن أن نزيد من استهلاك المياه من المصادر الطبيعية؟
3. أ. ما هي الأفضلية للدولة التي تكون في مكان مرتفع؟
   ب. ما هي واجباتها بحسب وثيقة هلسينكي؟
4. توجد حقوق تاريخية على المياه للدول التي تقع في أماكن منخفضة.
   أ. ما هو – بحسب رأيكم – التبرير لتحقيق هذا الحق؟
   ب. ما هو المبدأ الآخر المتعارف عليه في العلاقات الدولية، والذي يتناقض مع مبدأ الحق التاريخي على المياه؟
5. لماذا من المهم أن يكون هناك تعاون بين الدول التي يوجد بينها مصادر مياه مشتركة؟

المياه الجوفية

في سنة 1999، نشر مراقب الدولة في تقريره الأمور الآتية عن وضع المياه:

"استمرت عملية الضخ الزائدة من مجمعات المياه الجوفية سنوات كثيرة، ونتيجةً لذلك انخفض ارتفاع منسوب المياه في المجمعات، وتناقص فائض المياه الذي أُعد للتزويد في سنوات القحط، وتدهورت جودة المياه ....."

"..... في مجمّع مياه الشاطئ، تتقدم مياه البحر المالحة بشكل مستمر، وهي تتغلغل إلى المجمّع بوتيرة 20–60م في السنة. في الأماكن التي كان فيها عملية ضخ زائدة بشكل ملحوظ، لا يوجد اليوم ارتفاع جيد في منسوب المياه العذبة، لكي يشكل حاجزًا لدخول مياه البحر المالحة إلى المجمّع ....."

"..... ازداد معدل تركيز الكلوريدات في مجمّع الشاطئ، وهو يعتبر مقياسًا لجودة مياه الريّ، وقد ازداد معدل هذا التركيز خلال الثلاثين سنة الأخيرة من 100 ملغم إلى 155 ملغم في الاتر الواحد. ازداد معدل تركيز مركبات النترات في مجمّع المياه، وهو يعتبر مقياسًا لمستوى تلوث المياه الجوفية، ولإمكانية استخدامها كمياه الشرب، وقد ازداد معدل هذا التركيز خلال الثلاثين سنة الأخيرة من 25 ملغم في الاتر إلى 50 ملغم في الاتر تقريبًا. قسم من مياه مجمع الشاطئ لا يفي اليوم بالمعايير المطلوبة لاستخدامها كمياه الشرب أو الريّ ....."

مضت سنين كثيرة، منذ سُجّلت هذه الأشياء، ووضع الإكفيفرات أصبح أسوء مما كان عليه في الماضي.

نصف المياه التي نستخدمها في إسرائيل مصدرها من المياه الجوفية. اذا طريقة استخدام هذا المورد مهمة جدًا، وأيضًا الطريقة التي من خلالها نحافظ عليه.

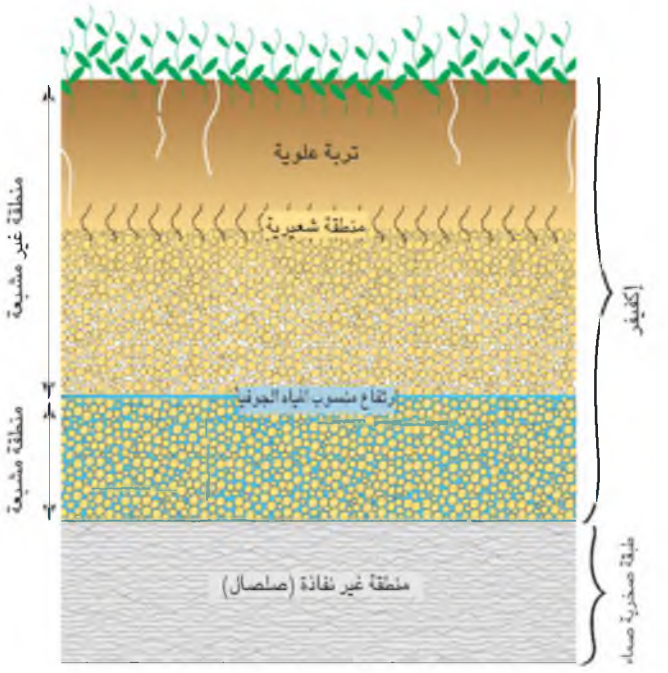
سنتعرف الآن على المصطلحات الأساسية المتعلقة بالمياه الجوفية، وسنتعرف أيضًا على الأخطار التي تمس بجودة المياه، وسنفحص الطرق التي من خلالها نستطيع أن نحافظ على هذا المورد المهم.

النظام الطبيعي

المياه الجوفية، هي مياه تتجمع في الصخور المسامية نتيجةً لقوة الجذب التثاقلية، ويتم ذلك عندما تكون تحتها صخور صماء لا تسمح باستمرار تغلغل المياه إلى الأسفل.

طبقة الصخور المسامية التي تستطيع أن تحمل في داخلها مياهًا نسمّيها **إكفيفر**، وطبقة الصخور الصماء التي تمنع استمرار تغلغل المياه نسميها **طبقة صخرية صماء**. في القسم العلوي من الإكفيفر تكون مسامات الصخور مليئة بالهواء، وهذا القسم نسميه **بالمنطقة غير المشبعة**، وفي القسم السفلي من الإكفيفر، نجد المياه، وهذا القسم نسميه **بالمنطقة المشبعة**.

ارتفاع منسوب المياه الجوفية، هو الحد الذي يقع بين المنطقة التي يوجد فيها هواء والمنطقة المشبعة بالماء. عندما ننظر داخل بئر ماء، ونلاحظ المكان الذي يوجد فيه تلامس بين الماء والهواء، فإن هذا المكان هو ارتفاع منسوب المياه الجوفية.



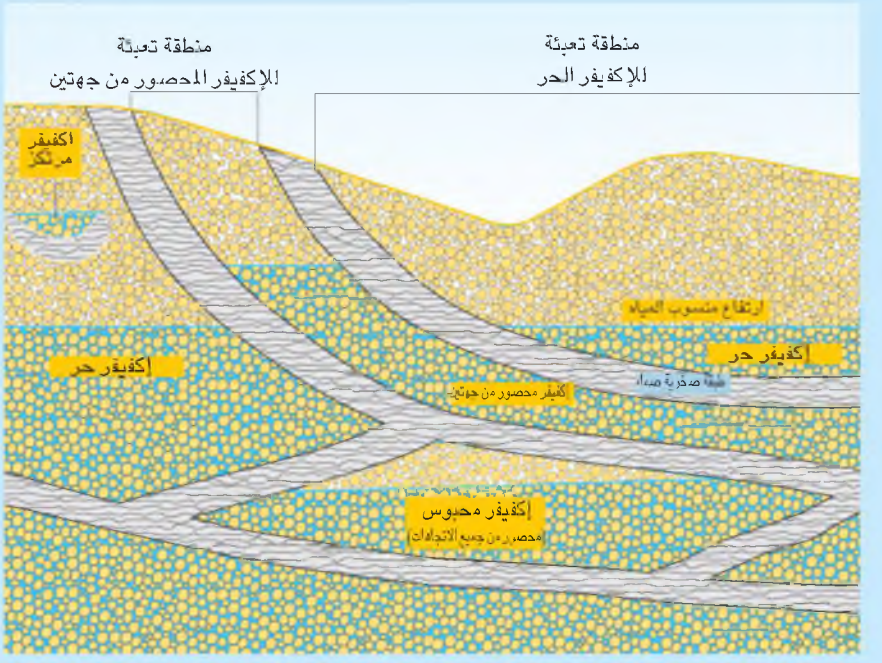
الرسمة 2.5: توزيع المياه في مقطع من سطح التربة إلى المياه الجوفية

أنواع الإكفيفرات

المبنى المختلف لطبقات الصخور، يؤدي إلى تكوين إكفيفرات من أنواع مختلفة. المبنى البسيط جدًا، هو الإكفيفر الذي يمتلىء بمياه الأمطار التي تسقط على كل السطح الذي يقع فوقه، ونسمي هذا الإكفيفر **بالإكفيفر الحر**. توجد مياه جيواوجية، يكون فيها الإكفيفر محصورًا بين طبقتين صخريتين صمائيتين ، وهذا الإكفيفر يمتلئ بالمياه فقط في المكان الذي انكشفت فيه طبقة الإكفيفر إلى السطح.

عندما نقوم بالتنقيب لحفر بئر في القسم المحصور في **الإكفيفر المحصور** من جهتين، فإن المياه ترتفع في البئر، وأحيانًا تتدفق إلى السطح بقوة الضغط الذي ينبع من قانون الأواني المستطرقة. وهذه البئر نسميها **بئرًا ارتوزيةً**. في حالات أخرى، تكون المياه الجوفية في الإكفيفر محاطة من جميع الجوانب بصخور صماء، وهذا الإكفيفر نسميه **إكفيفر محبوس**، وقد تجمعت فيه المياه الجوفية قبل مدة زمنية طويلة (منذ آلاف السنين وحتى عشرات ملايين السنين)، ونتيجةً لعمليا جيواوجية مختلفة تكونت – فوق المياه – صخور صماء، لا تسمح بتغذية الإكفيفر من جديد.

نوع إضافي من الإكفيفرات، هو **إكفيفر مرتكز**، وهذا الإكفيفر يرتكز على صخرة صغيرة من طبقة الصخور الصماء الموجودة عادةً فوق الإكفيفر الرئيسي.



الرسمة 2.6: أنواع إكفيفرات مختلفة.

أسئلة

1. كيف تعمل البئر الارتوازية؟
2. ما هي حسنات وسيئات استعمال المياه من الإكفيفر المحبوس (محصور من جميع الاتجاهات)؟

أنواع الصخور ومعناها بالنسبة للمياه الجوفية – إنّ قدرة الصخور على تمرير الماء، تُحدد وظيفتها في نظام المياه الجوفية.

الصخور التي قدرتها على تمرير المياه بشكل جيد نسمِّيها **صخورًا نفاذية** ومنها تُبنى الإكفيفرات. واكي يكون الصخر نفاذًا، يجب أن يكون هناك ربط بين المسمات (الفراغ) الموجودة في الصخور، ويجب أن لا يكون كِبر الفراغات صغيرًا جدًا.

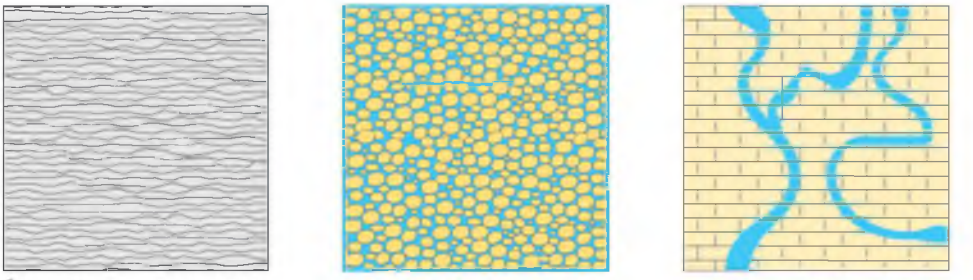
عندما تكون المسمات صغيرة جدًا، فإن المياه تلتصق بجسيمات الصخور بسبب قوى الجذب الكهربائية الموجودة بين جزيئات الماء وبين جسيمات الصخور، وهكذا تمتلئ الصخور وتمنع مرور الماء.

هذا النوع من الصخور شائع في بناء طبقة صخرية صماء.

صخور الصلصال، هي مثال لصخور صماء. وهذه الصخور يوجد فيها عدد كبير جدًا من المسمات،

اكن حبيبات الصلصال التي تكوّن الصخور، والصغيرة جدًا، هي التي تلتصق بالمياه وبذلك تصبح الصخور صماء. اذا تعتبر صخور الصلصال طبقات صخرية صماء ممتازة. أما في الرمل، فيكون عدد المسمات أصغر من عدد مسمات الصلصال، اكن تكون المسمات كبيرة. اذا تكون نفاذية الصخور عالية، وتعتبر هذه الصخور إكفيفرًا ممتازًا.

توجد صخور أخرى ذات نفاذية عالية وهي الجير والدولوميت. في هذه الصخور، تُذيب مياه الأمطار الصخور وتكوّن جحورًا وشقوقًا واسعة. نسمي هذه الظاهرة **كيرست**، وهي التي تكوّن مغارة الشموع كمغارة الشموع في جبال يهودا. تؤدي الشقوق الواسعة إلى سرعة تدفق عالية المياه في إكفيفر الكيرست، وبسبب التواء الجحور والشقوق يكون من الصعب معرفة المكان الذي تغلغل إليه المياه.



إكفيفر في صخور كيراستية (جير ودولايت)، والمياه موجودة في شقوق الصخور

إكفيفر في الرمل، والمياه موجودة بين حبيبات الرمل

طبقة صخرية صماء (تكون عادةً من صلصال)، لا تسمح بمرور الماء

الرسمة 2.7: *نماذج من الصخور والمياه الجوفية*

نوع الصخور	صفات الصخور والمياه الجوفية
صلصال	التغلغل قليل جدًا، ويمنع مرور المياه وهو طبقة صخرية صماء ممتازة جدًا
حِوار	التغلغل بطيء، وهو يُبْطئ مرور المياه بشكل كبير جدًا
كيرتون	التغلغل محدود، وهو يتم عبر الشقوق
بازلت	تتغلغل المياه عبر الشقوق ويمكن أن يكون إكفيفر
جير	تتغلغل المياه عبر الشقوق، وهو إكفيفر جيد
دولوميت	تتغلغل المياه عبر الشقوق، وهو إكفيفر جيد
حجر رملي	التغلغل سريع، وهو إكفيفر ممتاز

الجدول 2.3: *صفات الصخور المختلفة والمياه الجوفية*

صخور كيراستية

رمال

المياه في التربة والصخور – عندما تصل المياه إلى التربة من الرواسب، أو من الري، فإن قسمًا منها، وأحيانًا كلها لا يتغلغل إلى المياه الجوفية. قسم من هذه المياه تلتصق بجسيمات التربة والصخور، والقسم الآخر يعود إلى الغلاف الجوي في أعقاب التبخر المباشر، أو في أعقاب عملية النتح (تبخر المياه في النباتات).

تتم عملية التبخر بالأساس في القسم العلوي التربة. لكن عندما تجف تربة مروية بالمياه، فإنها تجف في القسم العلوي، وتصعد المياه إلى أعلى من الطبقات العميقة التي ما زالت مرتوية، وهذه المياه التي صعدت تتبخر أيضًا. هذه الظاهرة التي تصعد فيها المياه إلى أعلى نسميها شعيرية، وهي تتم بسبب الفراغات الضيقة الموجودة بين جسيمات التربة.

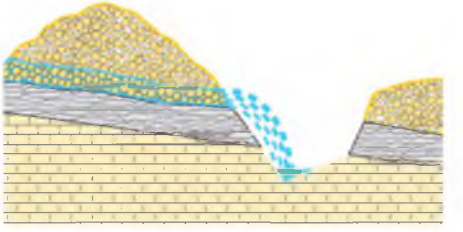
وهذا الأمر، يشبه صعود الماء في ورق ماص عندما يكون قسم منه مغمور في الماء. عندما تكون الطبقات العلوية التربة مرتوية بالماء، فإن ذلك يؤدي إلى فقدان إضافي الماء.

الماء الذي نضيفه في هذه الحالة لا يتغلغل إلى التربة، بل يتحول إلى **جريان علوي**، وهذا يعني أن الماء يتدفق على سطح التربة. المياه التي تغلغلت بشكل كافٍ إلى العمق، ولم تلتصق بجسيمات الصخور، فإنها تصل إلى المياه الجوفية.

تتدفق المياه الجوفية داخل الإكفيفرات. في الإكفيفر الحر، تتدفق المياه على الطبقات الصماء من الأماكن المرتفعة إلى الأماكن المنخفضة، وهذا يشبه تدفق المياه على سطح التربة. أما في الإكفيفر المحصور من جهتين، فإن المياه تكون تحت ضغط، كما هو الأمر في أنابيب المياه.

ففي هذه الحالة يكون تدفق المياه فوق الطبقات الصماء في جميع الاتجاهات بسبب الضغط وإلى الأعلى أيضًا.

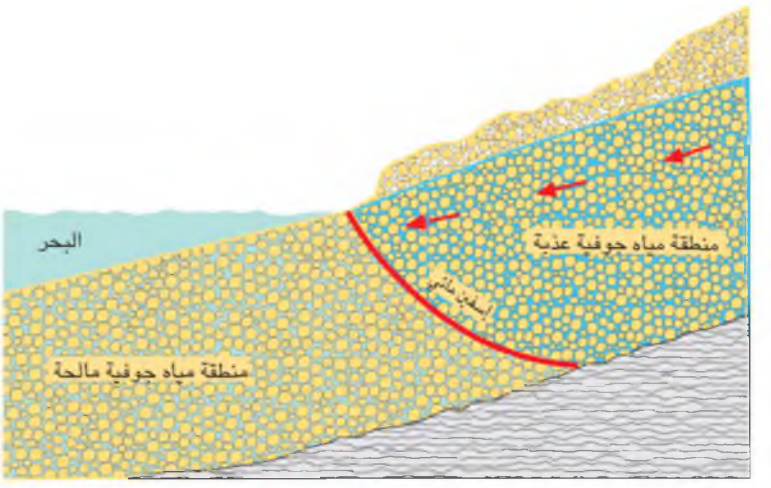
بطريقة طبيعية، تستطيع المياه الجوفية أن تغادر مكانها بعدة طرق: عندما يصل مسار تدفق المياه الجوفية إلى سطح التربة، يتكون نبع من خلاله تنبع المياه الجوفية إلى الخارج.



الرسمة 2.8: نبع

طريقة أخرى، هي تصريف المياه الجوفية إلى البحر. إذا كان مسار المياه الجوفية باتجاه البحر، فإن هذه المياه تلتقي مع مياه البحر. وبما أن المياه الجوفية العذبة أخف من مياه البحر المالحة، فإن المياه العذبة تطفو فوق مياه البحر المالحة. السطح الذي يفصل بين نوعي الماء نسميه إسفين مائي. ارتفاع منسوب المياه الجوفية، هو الذي يحدد مكان الإسفين المائي. وكلما كان منسوب المياه مرتفعًا، فإن وزن المياه العذبة يكون كبيرًا، وهي تدفع الإسفين المائي إلى أسفل.

من المهم أن نذكر، أنه لا يوجد فصل مطلق بين نوعي الماء، بل توجد بينهما طبقة مخلوطة، قد يصل سمكها إلى عدة أمتار ومن خلالها نخسر مياهًا عذبة إلى البحر.



الرسمة 2.9: إسفين مائي

جودة المياه الجوفية: تكون عادةً جودة المياه الجوفية جيدة جدًا. تتغلغل المياه عبر منطقة التهوية في الإكفيفر، وعبر طبقات الصخور التي تبني الإكفيفر، وهذه الطبقات تعمل كالمصفاة التي تقوم بترشيح المياه من الجسيمات الموجودة فيها. التهوية في هذا المكان، تتيح أيضًا حدوث عمليات تأكسد وتحليل بيولوجي للمواد العضوية. إضافةً إلى ذلك، فإن مناطق الإكفيفر المشبعة، موجودة في ظلام ودرجة حرارتها منخفضة، وهذه الظروف تحد من النشاط البيولوجي.

يحدث الانخفاض في جودة المياه بالأساس بسبب المواد المذابة في الماء.

في النظام الطبيعي ودون تدخُّل الإنسان، تكون الملوحة هي المشكلة الأساسية.

تحتوي مياه الأمطار على تركيز أملاح قليل جدًا، لكن كما ذكرنا، قسم من هذه المياه تتغلغل داخل التربة وتتبخر، أما الملح الذي كان مذابًا فيها، فإنه يرسب في التربة.

عندما تصل مياه إضافية إلى التربة، فإنها تُذيب من جديد الملح الذي رسب في التربة، وهكذا ترتفع ملوحة الماء. وهكذا فإنَّ ملوحة المياه – التي تصل في نهاية الأمر إلى المياه الجوفية – تكون أعلى من ملوحة مياه الأمطار.

يمكن أن ترتفع ملوحة المياه الجوفية بسبب تغلغل مياه البحر في منطقة الإسفين المائي، كما سنشرح ذلك لاحقًا. يمكن أن تتكون مياه جوفية مالحة بسبب إذابة الأملاح الموجودة في الصخور التي عبرها تتغلغل المياه.

ويمكن أن ترتفع ملوحة المياه الجوفية بسبب مسار تدفق المياه الجوفية نفسها، التي تلتقي أثناء مسارها مع مياه مالحة تجمعت في الأرض، خلال فترات جيولوجية قديمة.

عندما يتم تصريف المياه الجوفية إلى البحر، أو عندما تتدفق من الينابيع إلى السطح، فإن الأملاح المذابة تخرج معها، وهكذا نمنع من ارتفاع مستمر في تركيز الأملاح في المياه الجوفية.

أسئلة

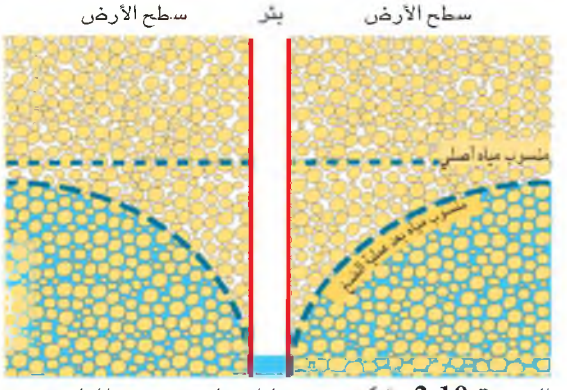
1. ما هي صفات الصخور التي تبني الإكفيفر، وما هي صفات الصخور التي تبني الطبقة الصخرية الصماء؟
2. ما هي انعكاسات الشعيرية على ملوحة الأرض؟ فكروا بما يحدث عندما تتبخر المياه.
3. كيف يتكون الإسفين المائي وما الذي يحدد مكانه؟ وما هي العوامل التي يمكن أن تغيّر مكانه؟
4. أ. ما هو الجريان العلوي؟
   ب. كيف يتكوّن؟
   ج. ما هي العوامل التي تؤثر على كمية الجريان العلوي؟
5. لماذا تكون جودة المياه الجوفية – عادةً – أعلى من جودة مياه الجريان العلوية؟
6. لماذا تكون المياه الجوفية – دائمًا – أكثر ملوحةً من مياه المطر؟ اشرحوا.
7. لماذا في المناطق الحارة تكون المياه الجوفية أكثر ملوحة من المناطق الماطرة؟
8. في النظام الطبيعي ودون تدخُّل الإنسان، يمكن أن تبقى ملوحة المياه الجوفية ثابتة لمدة زمنية طويلة. اشرحوا السبب.

تأثير الإنسان

منذ القدم، يستخدم الإنسان المياه الجوفية. تعلّم الإنسان قبل 4000 سنة أن يحفر الآبار ومن خلالها وصل إلى المياه الجوفية. الآبار شائعة بالأساس في المناطق الحارة التي تعاني من نقص شديد في المياه العلوية. استعملوا الدلاء في الزراعة القديمة، لكي يرفعوا المياه إلى سطح الأرض، أما في الآبار الحديثة اليوم، فإنهم يستعملون مضخات.

بئر

تأثير الضخ: إنّ ضخ المياه من بئر محفورة في إكفيفر حر، يؤدي إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية في منطقة البئر، ويتكون من حولها مخروط محلي – في منسوب المياه – نسميه **مخروط ارتفاع منسوب المياه**. إذا تمّ ضخ المياه من عدة آبار، فإن مخروط ارتفاع منسوب المياه يتوسع، وينخفض المنسوب العام للمياه الجوفية في المنطقة. أما إذا كان ضخ المياه من إكفيفر محصور من جهتين، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض في ضغط الماء في الإكفيفر، ويؤدي في نهاية الأمر إلى جفاف الينابيع، أو الآبار التي تتغذى من هذا الإكفيفر.



الرسمة 2.10: تكوّن مخروط ارتفاع منسوب المياه في أعقاب عملية الضخ من البئر

يمكن أن تؤثر عملية ضخ المياه على جودة المياه نفسها أيضًا. إذا كانت البئر موجودة بالقرب من البحر (حتى بُعد 5 كلم تقريبًا)، ينخفض ضغط المياه العذبة على مياه البحر، والإسفين المائي يتقدم باتجاه اليابسة (انظروا إلى الرسمة في الصفحة القادمة). إذا كان انخفاض منسوب المياه كبيرًا (ضخ مياه زائد)، فمن المتوقع أن تنتقل مياه البحر إلى الآبار الموجودة في نفس المنطقة. في هذه الحالة، لا يمكن استخدام هذه المياه، إلا إذا توقفت عملية الضخ لعدة سنوات، وتعود المياه العذبة، وتدفع مياه البحر. حدثت هذه الظاهرة مرات عديدة في إكفيفر الشاطئ في إسرائيل. في مناطق بعيدة عن البحر، توجد أماكن في الإكفيفر التي تطفو فيها مياه عذبة على المياه المالحة[1]، وقد تجمعت هذه المياه في الإكفيفر في فترات جيولوجية قديمة.

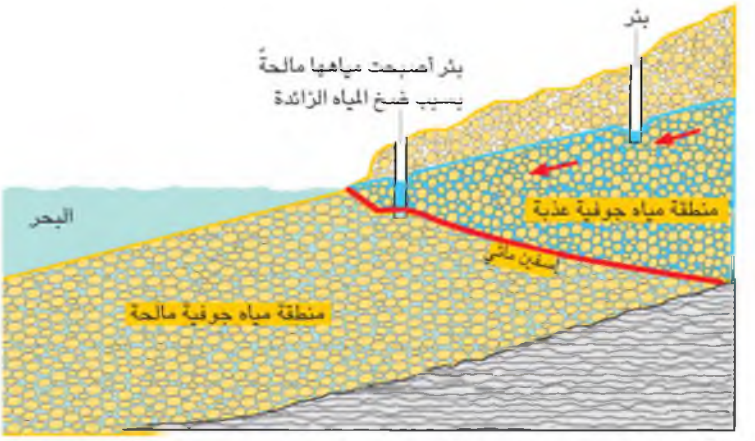
إنّ ضخ المياه الزائد من بئر في هذه المنطقة، يؤدي إلى انخفاض ضغط المياه العذبة، ويؤدي أيضًا إلى دخول المياه المالحة الموجودة حول البئر إلى المياه العذبة التي تصبح مالحة.

شُوهدت هذه الظاهرة في البلاد، في عدة آبار تقع شرق إكفيفر الشاطئ، وفي أماكن أخرى.

من المهم أن نذكر، أنه إذا لم تحدث الظواهر التي وصفناها أعلاه، فإنّ ضخ المياه الجوفية لا يؤدي إلى المالحة، بل يشكل طريقة إضافية (إضافةً إلى تصريف المياه الجوفية إلى البحر، وإلى خروج الذبع من المياه الجوفية) لإخراج أملاح وملوثات من المياه الجوفية.

تأثير الري: المياه التي نستخدمها في الري مصدرها من المياه الجوفية، أو المياه العلوية. وهذه المياه – كما شرحنا سابقًا – تكون دائمًا مالحة أكثر من مياه المطر. إضافةً إلى ذلك، كما هو الأمر مع

[1] المياه المالحة: هي المياه التي تحتوي على 1000 – 10000 ملغم كلوريد في اللتر. هذه الملوحة أكثر من ملوحة مياه الشرب، وأقل من ملوحة مياه البحر.



الرسمة 2.11: تأثير ضخ المياه على الإسفين المائي (قارنوا مع الرسمة 2.9 في صفحة 47)

مياه المطر، فإن ذلك يحدث أيضًا مع مياه الري الموجودة في التربة، إذ تمر مياه الري في عمليات تؤدي إلى زيادة الملوحة فيها.

لهذا السبب، يؤدي الري إلى إدخال أملاح كثيرة إلى المياه الجوفية، ويكون ذلك أكثر من الأملاح التي تدخلها مياه المطر. اذا تستمر الأملاح بالدخول إلى المياه الجوفية من خلال عملية معينة تحت حقول زراعية.

تأثير استخدام التربة: يغير نشاط الإنسان من السطح الخارجي الطبيعي للتربة، ويؤثر على المياه الجوفية.

تؤدي عمليات مختلفة، مثل: البناء، وقطع الأشجار إلى الجريان العلوي للمياه، وإلى انخفاض تغلغل هذه المياه إلى المياه الجوفية. في إسرائيل، وفي منطقة المركز بالأساس، نلاحظ أن هناك مساحات واسعة مغطاة بالبنايات والشوارع، وهي تقع فوق إكفيفر الشاطئ، ففي أعقاب ذلك، تكون إعادة الامتلاء لإكفيفر الشاطئ – في هذه الأيام – أقل مما كان في الماضي.

تلوث المياه الجوفية: تستطيع المياه الملوثة أن تتغلغل إلى المياه الجوفية، وأن تلوثها. ويمكن أن تمر من التربة إلى الإكفيفر مواد سائلة أخرى، مثلاً: الوقود المتسرب من المجمعات والأنابيب.

لا توجد اليوم تكنولوجيا ناجعة لتنظيف وترميم الإكفيفرات الملوثة. بما أن حركة المياه في التربة – في حالات كثيرة – بطيئة، اذا نحتاج إلى سنوات كثيرة لا يحدث خلالها تلوّث، اكي نُتيح تصريف الملوثات التي تراكمت في المياه الجوفية إلى البحر. الطريقة الوحيدة الحفاظ على المياه الجوفية من التلوث، هي أن نمنع مسبقًا تكوّن أشياء ضارة، قد تؤذي المياه الجوفية. اذا من المهم أن نطهر مياه المجاري، وأن نمنع تدفقها إلى الأودية، وأن نشدد على صلاحية أنابيب المجاري لكي نمنع من تسرب مياهها.

في مناطق حساسة (مثلاً: القريبة من التنقيب)، يجب أن يكون هناك محدودية في استخدام الأرض، مثلاً: عدم بناء مبانٍ، أو منشآت، لأنها تُشكل خطرًا على جودة المياه الجوفية.

قصة تلة حبيبة

أُختيرت رمات حوفاف التي تقع جنوب بئر السبع لتكون موقعًا لطمر النفايات السامة من كل أنحاء البلاد.

عند تحديد مكان الموقع، أُخذت بالحسبان الاعتبارات الآتية المتعلقة بالمحافظة على المياه:

- المنطقة مبنية من صخور كيرتونية ذات قدرة تغلغل قليلة جدًا.
- المنطقة جافة، لذا قدرة إعادة الامتلاء للمياه الجوفية قليلة جدًا ومهملة.
- لا يوجد استعمال للإكفيفرات في هذه المنطقة.

اعتمدت تكنولوجيا معالجة المواد التي أُحضرت إلى الموقع على تجفيفها بمساعدة التبخر في برك مغلقة بإحكام، والحفاظ على المادة الجافة على سطح التربة.

اتضح مع مرور الوقت أن هذه الطريقة غير ناجعة، لأن البرك لم تكن مغلقة بشكل مطلق، والمجاري السامة تسربت من البرك إلى البيئة المحيطة (المحيط). إضافةً إلى ذلك، أذابت مياه الأمطار من جديد، قسمًا من المواد الصلبة التي تراكمت في الموقع، وهذه المياه انضمت إلى مياه الجريان العلوية التي تدفقت من الموقع. نلاحظ اليوم نتائج تفعيل موقع تلة حبيبة وتأثيره على المنطقة. اتضح أنه على الرغم من أن صخور الكيرتون صماء، إلا أن هناك تغلغل معين، ويوجد شقوق في هذه الصخور. إضافةً إلى ذلك، تتدفق مياه المجاري من الموقع على سطح التربة، وقد أدى ذلك إلى رطوبة التربة وحوّل ظروف المناخ الصحراوي إلى ظروف منطقة ماطرة. وقد أدت هذه الظروف إلى تدفق مياه المجاري السامة إلى الوادان المجاورة لمنخفض التدفق العلوي من الموقع، ووجدوا تلوثًا عند التنقيب عن المياه الجوفية التي تقع في محيط الموقع.

في السنوات الأخيرة، تمّت في الموقع عمليات مختلفة لترميم البرك وإغلاقها بشكل محكم، لكي يمنعوا من تسرب المواد السامة.

أسئلة

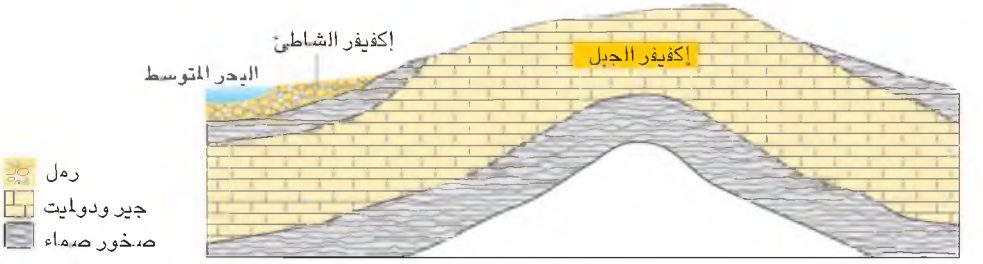
1. كيف – بحسب رأيكم – يمكن أن نخطط بناء موقع نفايات سامة، بحيث نمنع من حدوث الظواهر الآتية:
   أ. إيذاء المياه الجوفية.
   ب. تكوين جريان علوي يحمل ملوثات من الموقع.

أسئلة

1. هل الري من المياه الجوفية فقط (الموجودة تحت الأرض التي نسقيها)، يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع ملوحة المياه الجوفية؟ اشرحوا.
2. لخصوا العوامل التي تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية. ما هي النشاطات التي يمكن تنفيذها لكي نمنع من التلوث؟
3. ماذا يحدث للبئر التي تقع بالقرب من إسفين مائي، إذا ضخوا من البئر كميات كبيرة من الماء ولمدة طويلة؟
4. كيف يؤدي تغلغل مياه المجاري إلى ارتفاع ملوحة المياه الجوفية؟ اشرحوا.
5. لماذا من الصعب ترميم مجمّع مياه جوفية ملوثة؟
6. لماذا يُعتبر وجود مركبات النترات – في المياه الجوفية – مقياسًا للتلوث؟
7. كيف تتأثر المياه الجوفية من سنوات القحط؟

المياه الجوفية في إسرائيل

معظم الإكفيفرات في منطقة الجبل في إسرائيل مبنية من صخور جير ودولميت، وهي صخور ذات طابع كيرستي. أما إكفيفرات السهل الساحلي، فهي مبنية من رمل ومن حجر الرمل. في الجولان وفي الجليل الشرقي السفلي، توجد إكفيفرات في صخور بازلتية، وفي النقب والعربة، توجد إكفيفرات في طبقات صخرية ملساء وحصى. أكثر من نِصف المياه الجوفية في البلاد موجودة في إكفيفران كبيران وهما: **إكفيفر الجبل وإكفيفر الشاطئ**.



الرسمة 2.12: رسم تخطيطي لمقطع في *إكفيفر الجبل وإكفيفر الشاطئ*

[1] دولميت: شكل هذه الصخرة يشبه صخرة الجير. دولميت $CaMg(CO_3)_2$، جير $CaCO_3$.

الرسمة 2.13: مناطق امتلاء الإكفيفرات في إسرائيل

إكفيفر الجبل: يشمل إكفيفر الجبل جبال يهودا والسامرة، وهو مبني بالأساس من صخور جيرية ودولميت. في الجهة الغربية من الإكفيفر، في منطقة السهل الساحلي، يستمر الإكفيفر تحت إكفيفر الشاطئ، ويتحول من إكفيفر حر إلى إكفيفر محصور من جهتين.

كما هو الأمر على السطح، ففي الأعماق أيضًا يوجد خط تقسيم المياه، وهي يُقسِّم المياه التي تصل الإكفيفر إلى قسمين: قسم من المياه يتدفق شرقًا باتجاه وادي الأردن وغور بيسان، والقسم الآخر يتدفق غربًا باتجاه السهل الساحلي.

التدفق شرقًا، يُغذي الينابيع في غور بيسان، وادي الأردن وشاطئ البحر الميت. والتدفق غربًا، يُغذي ينابيع اليركون وينابيع وادي التماسيح.

نجد في منطقة الجبل أن الإكفيفرات المرتكزة التي تقع فوق إكفيفر رئيسي، هي الإكفيفرات الشائعة، وهي تُغذي عددًا كبيرًا من الينابيع الصغيرة التي تقع خلف الجبل. ونجد معظم مياه الإكفيفر في القسم الغربي الذي نسميه إكفيفر اليركون– تماسيح. ولهذا الإكفيفر يوجد مخزن فعّال قصوي مقداره 800

مليون متر مكعب تقريبًا، مع اعادة امتلاء سنوية تصل إلى 330 مليون متر مكعب تقريبًا.
جودة المياه في هذا الإكفيفر جيدة جدًا، وتصل ملوحة 90% من مياه الإكفيفر إلى أقل من 250 ملغم كلوريد في الالتر، وكمية مركبات النترات فيه قليلة جدًا أيضًا. وتوجد مياه جيدة في أقسام أخرى من إكفيفر الجبل، لكن يوجد فيها مياه مالحة أيضًا. على الرغم من أن وضع الإكفيفر جيد اليوم، إلا أن هناك مصادر مختلفة – على السطح – ذات قدرة على التلويث، وهذه المصادر بالأساس هي مجارٍ لم تتم معالجتها.
الضخ الزائد من إكفيفر الجبل، يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع ملوحة الماء. لأنه في أماكن مختلفة، يوجد تلامس بين المياه العذبة والمياه المالحة الموجودة تحتها أو إلى جانبها. في حالة حدوث ضخ زائد، فإن هذه المياه تحتل مكان المياه العذبة. نحصل على خُمس استهلاك المياه في إسرائيل من مياه إكفيفر الجبل. في الاتفاقية المرحلية التي وُقعت بين إسرائيل والفلسطينيين في سنوات التسعينيات، اعترفت إسرائيل بشكل أساسي بحقوق الفلسطينيين على المياه في هذا الإكفيفر، لكن تحديد الكميات بقي مفتوحًا حتى المفاوضات النهائية على معاهدة السلام الدائم. وقد تمّ الاتفاق على أنه يجب حماية المياه الجوفية في إكفيفر الجبل، وتمّ الاتفاق أيضًا على التنسيق في إدارة الإكفيفر. لم يحددوا كميات المياه التي يجب توزيعها، لكن تمّ الاتفاق على إقامة آلية مهنية، لكي تُدير المجمّع بحسب الاحتياجا والمحافظة على الماء.

اكفيفر الشاطىء: يمتد اكفيفر الشاطئ تحت السهل الساحلي، من جنوب الكرمل حتى قطاع غزة، ومن الغرب يحده البحر، ومن الشرق تحده سلسلة جبال مركزية. لهذا الاكفيفر، يوجد مخزن فعّال قصوي مقداره 1000 مليون متر مكعب، وإعادة امتلاء سنوية مقدارها 280 مليون متر مكعب تقريبًا. هذا الاكفيفر مبني بالأساس من رمل، ومن حجر رملي (كركار). إعادة الامتلاء الطبيعية لهذا الاكفيفر من مياه المطر التي تسقط على المنطقة، ومن المياه العلوية التي تصل من منطقة الجبل. تمّ استغلال الاكفيفر منذ بداية القرن التاسع عشر، ومنذ ذلك الحين ارتفع تدريجيًا استعمال المياه من الاكفيفر، وقد كانت ذروة الضخ في نهاية سنوات الخمسينيات من القرن العشرين، ففي تلك الفترة، استعملوا من المجمع 480 مليون متر مكعب في السنة. ومنذ ذلك الحين، تمّ تقليص الضخ بشكل ملحوظ، لكن في النصف الأول من سنة 1990 ما زال الضخ أعلى من إعادة الامتلاء، واجتازوا الخطوط الحمراء. ثُلث سكان الدولة تقريبًا، يعيشون فوق هذا الاكفيفر. هذه الحقيقة وعماية الضخ المستمر، يؤديان إلى انخفاض جودة مياه الاكفيفر، كما وصفنا ذلك في بداية الفصل. يشير علماء عام الماء إلى مشكلة إضافية، وهي تراكم الملوثات والأملاح في المناطق غير المشبعة. تُشكل هذه المناطق مصفاة المياه التي تتغلغل، لكن عندما يزداد التلوث باستمرار، فإن المنطقة غير المشبعة يزداد تلوثها أيضًا، وفي نهاية الأمر، تصل الملوثات الموجودة فيه إلى المياه الجوفية. من المهم أن نذكر، أن سرعة التغلغل في هذا الاكفيفر منخفضة جدًا. ويقدر الباحثون أن المياه التي تتغلغل اليوم ستصل إلى منسوب المياه الجوفية بعد 27 سنة فقط. من الصعب أن نقدر مدى تلوث المنطقة غير المشبعة، ومدى تأثير الملوثات التي تصل المياه الجوفية.

أسئلة

1. لماذا تعتبر جودة مياه اكفيفر الجبل أفضل من جودة مياه اكفيفر الشاطئ؟
2. لماذا يُعتبر اكفيفر الجبل حساسًا جدًا للتلوث على ضوء أنه مبني من صخور كيراستية؟
3. تمعنوا في الرسمة 2.12، ثم حددوا الاكفيفر الحر، والاكفيفر الحر في قسم واحد، لكنه محصور من جهتين في القسم الآخر.
4. كيف تتأثر المياه الجوفية من تغيير مساحات زراعية مفتوحة إلى مناطق بناء؟
5. ما هي العوامل التي أدت إلى تدني وضع اكفيفر الشاطئ؟
   اذكروا أمثلة لمواقع في السهل الساحلي، قد تؤثر سلبًا على الاكفيفر.
6. يعتقد علماء علم الماء أنه بعد عشرات السنين، قد تصبح جودة المياه سيئة بشكل ملحوظ في اكفيفر الشاطئ حتى وإنْ تمّت نشاطات لتقليص التلوّث. على ماذا يعتمدون في افتراضهم؟
7. اقرأوا في صفحة 41 القطعة المأخوذة من تقرير مراقب الدولة.
   أ. ما هي النشاطات التي يمكن – بحسب رأيكم – تنفيذها، لكي نمنع حدوث المخاطر الموصوفة في التقرير؟
   ب. ما هي الانعكاسات التي يمكن أن تكون لهذه النشاطات على المجالات المختلفة؟

بحيرة طبريا

في سنة 2000، قرر المسؤول عن شؤون المياه أن يُنْزل ارتفاع منسوب بحيرة طبريا إلى تحت الخط الأحمر الذي حُدّدَ في سنوات الثمانينيات. لقد جاء هذا القرار في أعقاب سنتين متتاليتين من القحط اللتين أدتا إلى تناقص مصادر المياه في إسرائيل.

انتقد قسم من الأشخاص المهنيين – الذين يعملون في مجال بحيرة طبريا – هذا القرار، وقد ادعوا أن هذا القرار سيؤدي إلى طريقة مجهولة تحمل في طياتها أخطارًا على مجمّع المياه المهم للدولة.

في السنوات العادية، تُزوّد بحيرة طبريا ثُلث كمية المياه التي تستهلكها إسرائيل، وتزوّد أيضًا 50% من مياه الشرب، اذا فالمحافظة على جودة المياه، هي واجب قومي مهم. يُعتبر تحديد الخط الأحمر السفلي في بحيرة طبريا إحدى الوسائل التي يتبعها المسؤولون عن إدارة المياه، لكي يحافظوا على جودة مياه بحيرة طبريا. هذه المهمة ليست سهلة، لأنَّ هناك عوامل كثيرة تؤثر على النظام البيئي في بحيرة طبريا وعلى جودة المياه. فيما يلي هذه العوامل: الاستعمالات الإضافية لبحيرة طبريا بالأساس كموقع سياحي مركزي في إسرائيل وكمصدر لصيد الأسماك، والنشاطات الإضافية التي يقوم بها الإنسان في البيئة المحيطة (المحيط) للبحيرة وفي حوض تجمعها.

إنّ تحديد سياسة البيئة المحيطة (المحيط) في بحيرة طبريا، تلزمنا معرفة جميع العوامل التي تؤثر على النظام البيئي في بحيرة طبريا، وتلزمنا أيضًا فهم العمليات التي تحدث فيها. سنتعرف فيما بعد على العوامل والعمليات الأساسية التي يوجد لها تأثير على جودة المياه في بحيرة طبريا، وعلى الطرق التي تقوم بها السلطات المختلفة، لكي تحقق البحيرة أهدافها.

موازنة المياه

بحيرة طبريا، هي بحيرة المياه العذبة الوحيدة في إسرائيل. يمتد حوض تجمعها (المساحة التي يتم منها تصريف المياه إلى البحيرة) على مساحة تصل إلى 2730 كيلومترًا مربعًا. رُبع هذه المساحة موجودة في لبنان، وأقسام معينة في سوريا. يعتبر نهر الأردن مصدر المياه الأساسي لبحيرة طبريا، فهو يساهم في السنوات العادية بنسبة 65% من مياه البحيرة.

الرسمة 2.14: حوض تجمع بحيرة طبريا

أما باقي مياه البحيرة، فإنها تصلها من الأودية التي تتدفق إلى البحيرة من هضبة الجولان والجليل، ومن الينابيع المالحة التي تنبع من أرضية البحيرة وأطرافها، ومن المطر الذي يسقط مباشرة على البحيرة.

وأحيانًا، عندما يوجد تدفق فيضاني في نهر اليرموك، فإن المسؤولين يقومون بضخ المياه من نهر اليرموك ونقلها عبر الأنابيب إلى بحيرة طبريا.

تخرج المياه من بحيرة طبريا بعدة طرق:

تفقد بحيرة طبريا في كل سنة كمية كبيرة من الماء بسبب التبخر، وقد تصل هذه الكمية إلى 300 مليون متر مكعب تقريبًا.

في الحالة الطبيعية، كانت مياه البحيرة في الماضي تصب جنوب نهر الأردن، ومن هناك كانت تتدفق إلى البحر الميت. لكن منذ بناية سد دجانية في السنوات 1932/3، وتعميق مخرج نهر الأردن من البحيرة، يسيطر الإنسان على مخرج المياه من البحيرة.

أما اليوم فقد تقاص تدفق المياه جنوب نهر الأردن بشكل كبير جدًا. تخرج معظم المياه من البحيرة عبر المشروع القطري الذي تُضخ إليه في كل سنة كمية مياه بمعدل 350 مليون

متر مكعب تقريبًا. ويتم ضخ 100 مليون متر مكعب من البحيرة لاستعمالات مختلفة في منطقة بحيرة طبريا، ويتم أيضًا نقل 55 مليون متر مكعب من بحيرة طبريا إلى نهر الأردن وذلك في إطار اتفاقية السلام بين الدولتين. تتغيّر الكميات التي ذكرناها، باستثناء الكمية التي تزودها الأردن، وذلك بحسب كميات الرواسب. اعتمادًا على قانون الماء، فقد حددت مديرية الماء خطين أحمرين (علوي وسفلي) لارتفاع منسوب مياه بحيرة طبريا، وحُدِّدَ الخط الأحمر العلوي (208.90 م تحت سطح البحر)، اكي نمنع الضرر في المباني والمنشآت التي تقع على الشواطئ وفي البلدان القريبة من البحيرة. وقد تمّ تحديد الخط الأحمر السفلي[1]، اكي نمنع انخفاض جودة المياه. إنّ أساس الخوف من أن يؤدي ارتفاع منسوب المياه المنخفض إلى زيادة تدفق مياه الينابيع المالحة الموجودة في أرضية البحيرة، وأن يؤدي إلى تغيّرات بيئية مختلفة تسيء إلى جودة المياه.

يتم تنظيم منسوب المياه في بحيرة طبريا، من خلال تحديد كميات المياه التي يتم ضخها من البحيرة، ومن خلال إغلاق، أو فتح سدددجانية في مخرج البحيرة إلى جنوب نهر الأردن. وتقوم شركة مكوروت بضخ المياه إلى موقع سبير الذي يقع شمال غرب بحيرة طبريا.

قدرة الضخ للآلات الموجودة في الموقع، هي التي تُحدد كمية المياه التي يمكن ضخها في كل يوم.

الوضع المرغوب، هو ضخ مياه كثيرة من بحيرة طبريا، اكن دون أن نتجاوز الخط الأحمر، اكي يكون في بداية الشتاء مكان كاف لمياه الأمطار.

بحيرة طبريا

[1] في المرة الأولى، تمّ تحديد ارتفاع الخط الأحمر السفلي إلى 212.00- م، وفي سنة 1981 تمّ تغييره إلى 213.00 - م، وفي سنة 2001 إلى 215.50-م.

دخول المياه إلى بحيرة طبريا (معدل كمية المياه السنوات 1969 –2001)

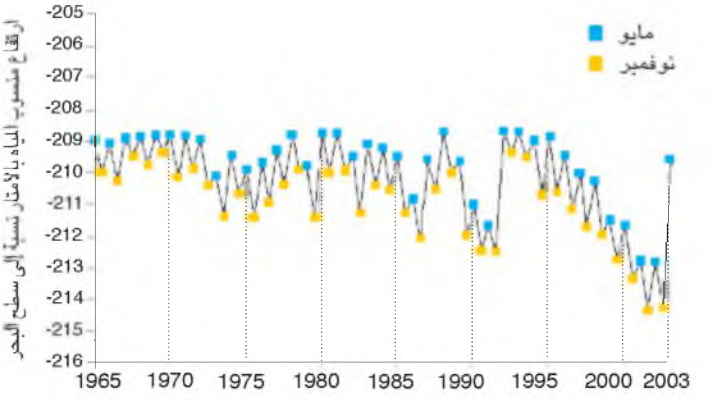
مصدر المياه	معدل كمية المياه السنوية بالمليون متر مكعب في السنوات التي لا تعتبر سنوات قحط (دخول المياه إلى البحيرة بكميات تزيد عن 600 مليون متر مكعب)	معدل كمية المياه السنوية بالمليون متر مكعب في سنوات القحط (دخول مياه إلى البحيرة بكميات تقل عن 600 مليون متر مكعب)
تدفق المياه في نهر الأردن الشمالي	507	248
تدفق المياه في وديان جنوب الجولان، الجليل الشرقي والينابيع المالحة	245	144
سقوط المطر المباشر على البحيرة	75	62
المجموع	827	454

خروج المياه من بحيرة طبريا (معدل كمية المياه السنوات 1969–2001)

مصدر المياه	معدل كمية المياه السنوية بالمليون متر مكعب في السنوات التي لا تعتبر سنوات قحط (دخول المياه إلى البحيرة بكميات تزيد عن 600 مليون متر مكعب)	معدل كمية المياه السنوية بالمليون متر مكعب في سنوات القحط (دخول مياه إلى البحيرة بكميات تقل عن 600 مليون متر مكعب)
تبخر	280	280
ضخ المياه إلى المشروع القطري	380	180
ضخ محلي	87	30
تزويد الأردن وفائض المياه عبر سد دحانية	80	60
المجموع	827	550

الجدول 2.4: دخول وخروج مياه من بحيرة طبريا

(بحسب مختبر بحث بحيرة طبريا).



الرسمة 2.15: *منسوب مياه بحيرة طبريا في الشهرين مايو ونوفمبر، في السنوات 1965 – 2003* (بحسب الدائرة المركزية للإحصاء)

مَن المسؤول عن بحيرة طبريا؟

إدارة بحيرة طبريا، هي المؤسسة الأساسية المسؤولة عن حماية البحيرة من التلوث، وهي تعمل ضمن صلاحيات مديرية المياه في إطار السلطة المسؤولة عن التصريف في بحيرة طبريا، وتستمد صلاحياتها من قانون الماء وقانون التصريف. تعمل هذه الإدارة بالتعاون مع الوزارات الحكومية المختلفة التي توجد لها صلاحيات مختلفة على بحيرة طبريا، والتي تستمد هذه الصلاحيات من قوانين أخرى، وتعمل أيضًا مع المؤسسات المختلفة التي تبحث وتعمل في البحيرة، مثل: مختبر بحث بحيرة طبريا، شركة مكوروت ومركز معرفة الجليل، وهو المركز الذي يركّز على بحث حوض تجمع المياه.

فيما يلي النشاطات الأساسية لإدارة بحيرة طبريا: مراقبة وتنظيم إقامة شواطئ استحمام، مراقبة السباحة، تعاون حول تحديد سياسة صيد الأسماك وتطبيق قوانين الصيد (مع قسم الصيد في وزارة الزراعة)، مراقبة الأعمال التي تتم في حوض تجمع المياه في بحيرة طبريا والقيام بنشاطات مختلفة لتقليل التلوث في حوض تجمع الماء.

ملوحة المياه

تراكيز الأملاح في المياه التي نزودها للمستهلكين، توجد انعكاسات عديدة في مجالات مختلفة، ومن ضمنها جودة المياه الجوفية والزراعة. اذا نكرس انتباهًا كبيرًا إلى تراكيز الأملاح في البحيرة، وإلى التغيّرات التي تحدث لهذه التراكيز. معدل ملوحة مياه نهر الأردن – التي تدخل إلى البحيرة – هو 20 ملغم كلوريد في اللتر، أما معدل ملوحة مياه البحيرة في سنوات التسعينيات، فقد كان 210 ملغم كلوريد في اللتر.

إذن، من أين تصل الملوحة إلى بحيرة طبريا؟ اتضح أنه على طول شواطئ بحيرة طبريا وفي أرضيتها، توجد عدة ينابيع مالحة، حيث يصل تركيز الأملاح فيها إلى آلاف الملغرامات من الكلوريد في الالتر.

اتقليل تدفق الملح في البحيرة، فقد تمّ إزاحة (في منتصف سنوات التسعينيات) مياه الينابيع المالحة الموجودة خارج البحيرة في شمال غرب البحيرة إلى قناة، تقوم بتدفيقها إلى جانب قريب من البحيرة ومن هناك إلى نهر الأردن الجنوبي.

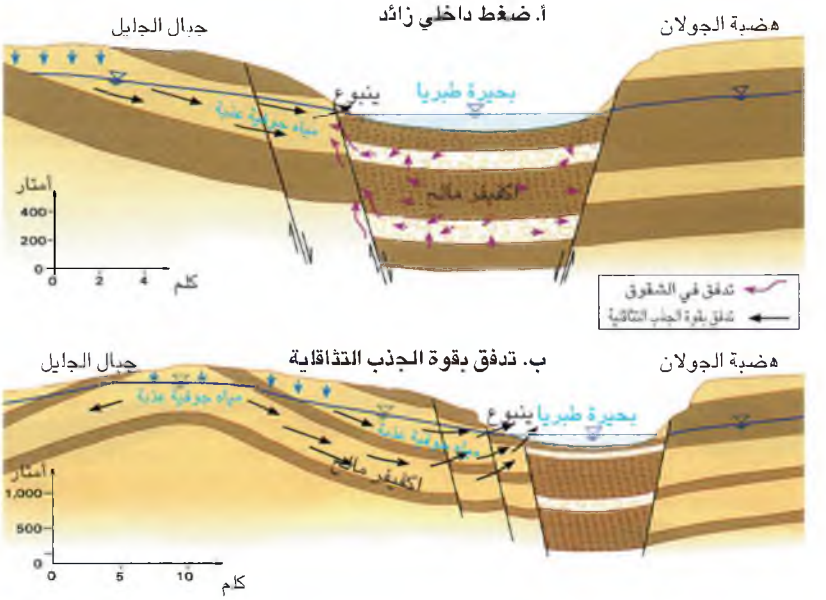
هذه القناة نسمّيها "المشروع المالح"، ومياه ينابيع أرضية البحيرة تستمر في النبع داخل البحيرة.

يعتقد الباحثون أن مصدر **المياه المالحة** في الينابيع، هو المياه المالحة التي تركيز أملاحها أكبر من تركيز الأملاح في المياه الجوفية. وهذه المياه، تجمعت في اكفيفر تحت بحيرة طبريا في فترة جيولوجية قديمة عندما كانت المنطقة مغطاة ببحيرة طبريا.

بناءً على أبحاث مختلفة، اقترح علماء علم الماء نظريتين بخصوص طريقة نبع المياه المالحة.

بحسب النظرية الأولى، فإنّ ضغط الصخور التي تحيط الاكفيفر المالح تحت البحيرة، يؤدي إلى خروج الماء من الاكفيفر عبر الينابيع.

عندما يكون ارتفاع منسوب مياه بحيرة طبريا عاليًا، فإن الضغط المضاد لمياه البحيرة على الينابيع المالحة يكبر، ويقل تدفق الينابيع. وعندما يكون ارتفاع منسوب المياه منخفضًا، فإن ضغط مياه البحيرة يكون منخفضًا أيضًا، ويزداد تدفق الينابيع. وبحسب النظرية الثانية، فإنّ المياه الجوفية التي مصدرها من جبال الجليل، تتسرب داخل الأرض في الاكفيفر المحلي بقوة الجذب التثاقلية في اتجاه بحيرة طبريا. وفي طريقها يتم تخفيف اكفيفرات المياه المالحة التي تقع في اكفيفرات عميقة وتنبع معها



الرسمة 2.16: *النظريتان اللتان تشرحان تكوين الينابيع المالحة* (بروفسور حاييم جفيرتسمن)

إلى بحيرة طبريا.

عندما يكون منسوب المياه الجوفية عاليًا (مثلاً: في شتاء ماطر)، تكون هناك مياه كثيرة في الاكفيفر، وضغطها يزيد، اذا يزداد تدفق الينابيع المالحة.

وعندما يكون منسوب المياه منخفضًا في هذا الاكفيفر، فإن ضغط الماء يقل، وتقل كمية المياه التي تمر عبر الاكفيفر المالح، ويقل أيضًا تدفق الينابيع المالحة.

بحسب هذه النظرية، فإنَّ ضغط منسوب المياه في بحيرة طبريا على الينابيع، يوجد له تأثير قليل جدًا على وتيرة استيعابها.

السؤال المطروح، ما هي النظرية المناسبة التي يوجد لها معنى أكثر في تفعيل بحيرة طبريا؟

حتى سنة 2000، اعتادت سلطات المياه أن تعتمد على النظرية الأولى، وقد حددوا بحسبها بالأساس (إضافةً إلى اعتبارا بيئية) سياسة تحديد الخط الأحمر السفلي في البحيرة.

وقد كان الافتراض أنه لا يجوز بتاتًا اجتياز الخط الأحمر، لأنه عندما يكون منسوب المياه منخفضًا، يزداد تدفق المياه المالحة وترتفع ملوحة البحيرة.

المشروع المالح

يُتيح قبول النظرية الثانية أن نتبع سياسة أخرى بحسبها يجوز اجتياز الخط الأحمر، لأن انخفاض منسوب المياه لا يؤثر على الينابيع المالحة. إضافةً إلى ذلك، وبحسب النظرية الثانية، يمكن أيضًا تخفيف تدفق الملح بطريقة اصطناعية، من خلال ضخ مياه جوفية من اكفيفرات الجليل الشرقي.

هذا الضخ في السنوات الماطرة، يقال من ضغط المياه في الاكفيفر، وفي أعقاب ذلك، يقل النبع من الينابيع المالحة. في سنة 2000، سمحت مديرية المياه – ولأول مرة – لشركة مكوروت أن تجتاز الخط الأحمر السفلي، وذلك اعتمادًا على البحث الجديد الذي دعم مصداقية النظرية الثانية.

يوجد عامل إضافي آخر يؤثر على الملوحة، وهو موازنة مياه البحيرة. تتبخر المياه من البحيرة، حيث يؤدي ذلك إلى زيادة الملوحة، أما دخول المياه العذبة إلى البحيرة، فإنه يؤدي إلى انخفاض الملوحة.

في سنوات الجفاف، عندما لا تدخل إلى البحيرة – بشكل كاف – مياه ذات ملوحة منخفضة، فإن عملية التخفيف للماء لا تكون كافية، وتزداد ملوحة البحيرة.

في أعقاب سنوات الجفاف التي كانت في السنوات 1999–2001، ارتفعت ملوحة بحيرة طبريا إلى 295 ملغم كلوريد في اللتر. يوعز الباحثون هذا الارتفاع إلى الظاهرة التي وصفناها.

أسئلة

1. كيف، وبأية وسائل يؤثر الإنسان على موازنة الماء في بحيرة طبريا؟
2. تمعنوا في الجدولين اللذين يصفان دخول المياه إلى بحيرة طبريا وخروجها منها. ما معنى الفروق الموجودة بين سنوات ماطرة وسنوات جفاف؟ تطرقوا إلى تفعيل بحيرة طبريا والانعكاسات على المياه في إسرائيل؟
3. توجد نظريتان تصفان تكوّن الينابيع المالحة في بحيرة طبريا. ما هي العمليات المطلوبة بحسب كل نظرية، لكي نمنع من ارتفاع ملوحة بحيرة طبريا؟
4. لماذا من المهم تقليل ملوحة مياه بحيرة طبريا؟

عمليات بيولوجية في بحيرة طبريا

الطبقات الحرارية الماء ومواد التغذية في البحيرة: تتم عملية تكوين الطبقات الحرارية في بحيرة طبريا من 7– 9 أشهر في السنة.

في هذا الوضع، توجد طبقتان من المياه في البحيرة، وهما تختلفان في درجة الحرارة. تحتوي الطبقة العليا على مياه حارة (30°C–24°C) ونسميها **ابيليمنيون** (حرارة عالية في طبقة الماء العلوية)، وتحتوي الطبقة السفلية على مياه باردة (16°C–14°C) ونسميها **هيبليمنيون** (حرارة منخفضة في طبقة الماء السفلية)، وبينهما توجد طبقة وسطى نسميها **ترموكلاينا** (حرارة متغيّرة في طبقة الماء الوسطى)، وفي هذه الطبقة تتغيّر درجة الحرارة بسرعة. يوجد تأثير كبير لهذه الظاهرة على العمليا المختلفة التي تحدث في البحيرة، وخاصةً في كمية الأكسجين ومواد التسميد في الماء. تبدأ عملية تكوين الطبقات الحرارية في فصل الربيع، ويتم ذلك عندما تسخن طبقة المياه العلوية بسرعة. في أعقاب ذلك، تصبح المياه العلوية أقل كثافة وأخف من المياه الباردة الموجودة في الأعماق، ونتيجةً لذلك، لا تتم عملية الخلط بين الطبقتين العلوية والسفلية، وتكون الترموكلاينا عادةً في عمق 16–18 مترًا، ونتيجةً لهذا الوضع، نجد الأكسجين في الطبقة العلوية – فقط – التي تتم فيها معظم الحياة في البحيرة. أما في الطبقة السفلية، فلا يوجد أكسجين بتاتًا، اذا لا توجد فيها أسماك ولا كائنات حية هوائية أخرى.

مع قدوم فصل الشتاء، تبرد طبقة المياه العلوية، وفي شهر ديسمبر تقريبًا، تختلط مياه البحيرة ولا يصبح هناك توزيع إلى طبقات. وفي هذه الحالة، يصل الأكسجين إلى المياه العميقة.

ونتيجةً لعملية الخلط، تصل إلى طبقة المياه العلوية مواد من الهيبليمنيون، أو من أرضية البحيرة، وهذه المواد ترتفع إلى أعلى بسبب عملية الخلط. في نفس الوقت ومن خلال الوديان، تصل إلى البحيرة كميات كبيرة من الجرف نتيجةً لأمطار الشتاء. الجرف والمواد التي تصعد من الأعماق تحتوي على كميات كبيرة من مواد التغذية (بالأساس مركبات الفوسفات، الآمونيا والسولفيدات[1]).

المواد الغذائية التي تصل بالأساس من خارج البحيرة، تؤدي إلى تكاثر الطحالب في فترة الشتاء.

[1] سولفيدات: نوع من مركّبات الكبريت.

من المهم أن نذكر، أنه لهدم الطبقات الحرارية الماء في فصل الشتاء، تأثير كبير جدًا على تحليل المواد العضوية المتراكمة في البحيرة.

قسم من المواد العائمة والمواد التي تصل من أرضية البحيرة، تتلامس مع الأكسجين وتتحلل إلى مواد بسيطة من خلال عمليات بيولوجية (المحللات)، ومن خلال عمليات تأكسد كيماوية.

مجمع الغذاء: توجد في بحيرة طبريا شبكة غذائية مكونة من ثلاث سلاسل غذائية أساسية.

الرسمة 2.17: طبقات حرارية وخلط في بحيرة طبريا

تشمل السلسلة الأولى طحلب باسم بريديديوم، وهذا الطحلب يأكله بالأساس سمك المشط.

يصل البريديديوم إلى الذروة في البحيرة، في الأشهر مارس – يونيو بالأساس، حيث تكون في البحيرة ظروف جيدة لوجودها، وترتفع كمية البريديديوم بشكل كبير جدًا لدرجة أن لون المياه يصبح بني أحمر كلون الطحلب. تكاثر البريديديوم المسمى "إزدهار" يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في الكتلة الإحيائية للطحالب في البحيرة.

البريديديوم هو طحلب كبير نسبيًا، وله جدار قاس، اذا لا تأكله العوالق الحيوانية[1] التي تتغذى على الطحالب الصغيرة جدًا[2]، ومع قدوم فصل الصيف، تموت معظم طحالب البريديديوم (على ما يبدو، بسبب ارتفاع درجة الحرارة وتعرضها الزائد إلى الضوء)، وتؤدي عملية تحليل خلاياها إلى انخفاض جودة المياه. تستغل الكائنات الحية التي تعيش في طبقة الابيليمنيون قسمًا من نواتج التحليل، والقسم الآخر يرسب ويتراكم على أرضية البحيرة.

تشمل السلسلة الغذائية الثانية في قاعدتها الطحالب الصغيرة جدًا، التي تأكلها العوالق الحيوانية،

[1] حيوانات ميكروسكوبية لا فقارية ،تعوم في الماء.

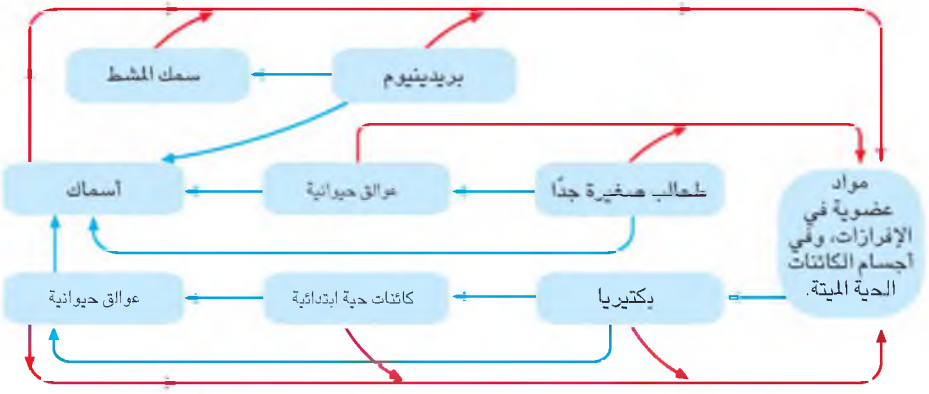
[2] يصل قطر خلية البريديديوم من 40–80 ميكرومترًا مقارنةً مع الطحالب الصغيرة جدًا التي يصل قطرها من 2–20 ميكرومترًا.

وهذا عكس ما يحدث مع البريدينيوم. الأسماك المختلفة وبالأساس سمك السردين، يأكل العوالق الحيوانية، ويتغذى قسم من الأسماك مباشرة على الطحالب الصغيرة جدًا وعلى البريدينيوم. في أواخر فصل الصيف، يطرأ ارتفاع طفيف في كمية الطحالب الصغيرة جدًا، حيث أنّه في هذه الفترة تتقلص مصادر التغذية الأخرى للأسماك، اذا فهي تُكثر من أكل العوالق الحيوانية.

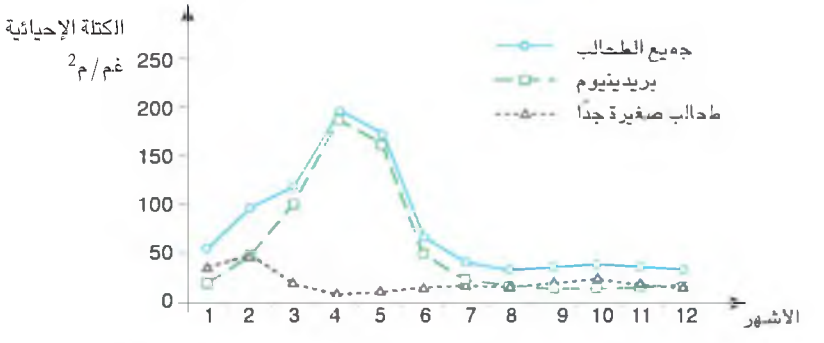
الانخفاض في كمية العوالق الحيوانية، يؤدي إلى ارتفاع كمية الطحالب الصغيرة جدًا.

أما سلسلة الغذاء الثالثة، فهي تشمل البكتيريا والكائنات الحية الابتدائية. تتغذى البكتيريا على المواد العضوية التي تمّ تحليلها والموجودة في إفرازات الكائنات الحية الأخرى، وفي أجسام كائنات حية ميتة، وتتغذى الكائنات الحية الابتدائية على البكتيريا.

العوالق الحيوانية تأكل البكتيريا والكائنات الحية الابتدائية، والأسماك تأكل العوالق الحيوانية.

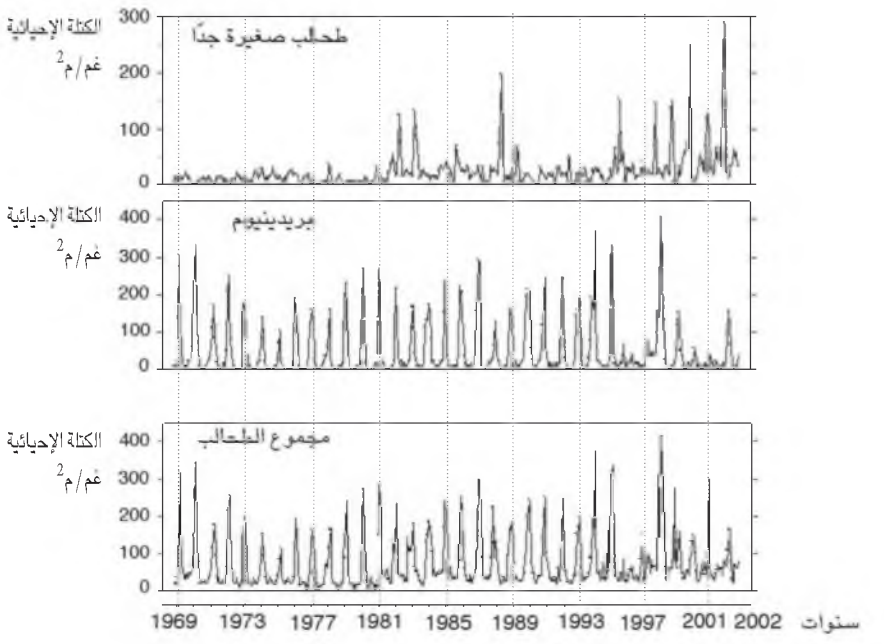


الرسمة 2.18: *الشبكة الغذائية في بحيرة طبريا، وهي تشمل السلاسل الغذائية الأساسية.*



الرسمة 2.19: *معدل متعدد السنوات للكتلة الإحيائية في بحيرة طبريا، في أشهر السنة (بحسب مختبر بحث بحيرة طبريا).*

[1] ابتدائية– كائنات حية أحادية الخلية.



الرسمة 2.20: شدة "إزدهار" البريدينيوم وطحالب أخرى
(بحسب مختبر بحث بحيرة طبريا).

الطحالب الصغيرة جدًا، تؤثر على جودة المياه وتؤذيها أكثر من البريدنيوم، لأنه من السهل نسبيًا التخلص من البريديديوم الموجود في مشروع المياه القطري. تتم هذه العملية من خلال نقل المياه إلى حوض ترسيب وإضافة كميات قليلة من الكاور الذي يصيب أسواط البريدنيوم ويمنع حركتها. ترسب خلايا البريدونيوم إلى أرضية الحوض وينخفض تركيزها في المياه. أما إبعاد الطحالب الصغيرة جدًا، فهو صعب جدًا، ويحتاج إلى استخدام كميات كبيرة جدًا من الكاور، ويحتاج أيضًا إلى نظام علاج بيولوجي (أسماك تتغذى على الطحالب) في مجمعات مياه المشروع القطري (انظروا إلى صفحة 83).
يمكن أن نلخص ونقول: إنّ المسار السنوي العادي لانتشار الطحالب في بحيرة طبريا كالتالي: تتدفق في فصل الشتاء مواد تغذية كثيرة مع الفيضانات التي تصل إلى البحيرة. يرتفع منسوب المياه ويتم خلط المياه مما يؤدي إلى عوم مواد غذائية من أرضية البحيرة. ونتيجة لذلك، تزداد كمية الطحالب، ويكون عادةً البريديديوم الطحلب المسيطر.
أما في فصل الصيف، عندما لا تكون هناك فيضانات، فإنّ ذلك يؤدي إلى انخفاض كمية المواد الغذائية، وبالتالي تقل كمية الطحالب، وتكون معظمها طحالب صغيرة جدًا.
عندما تتم الدورية السنوية العادية، وتبقى أنواع الطحالب ثابتة، فإن ذلك يُشير إلى أن النظام البيئي ثابت، وجودة المياه لا تتغيّر إلا بنسبة قليلة جدًا.
في سنوات التسعينيات، وفي بداية سنوات الألفين، حدثت في بحيرة طبريا عدة اجتيازات في المسار السنوي العادي. تميّزت بعض السنوات بـ "الازدهار" غير الاعتيادي البريديديوم (1998)، وفي

سنوات معينة 1997، و 1999–2002)[1]، لم نشاهد ازدهارًا البريديوم.
في السنوات 1994–1995، شاهدنا ازدهارًا غير اعتيادي البكتيريا المزرقة[2] (ابيزومنون ابليسفوروم) – في بحيرة طبريا– التي لم تكن موجودة حتى ذلك الحين في البحيرة.
وفي السنوات 1999 – 2002، شاهدنا ارتفاعًا عامًا في كمية البكتيريا المزرقة، ووجدنا أيضًا أنواعًا جديدة لم نشاهدها في السابق. هذه الظواهر تُثير القلق، وهي تُعتبر مؤشرًا إلى نقص في ثبات النظام البيئي، الذي في أعقابه تنخفض جودة المياه.

ازدهار البكتيريا المزرقة ابيزومنون يشكل خطرًا على البحيرة

في صيف 1994، ظهر لأول مرة في بحيرة طبريا تكاثر غير اعتيادي لبكتيريا مزرقة باسْم ابيزومنون ابليسفوروم، وهي لم تُشاهد بتاتًا من قبل في بحيرة طبريا. لقد تمّ في الماضي، تمييز نوع يشبه هذا النوع، لكن انتشاره كان نادرًا جدًا.
أثار الازدهار الشاذ قلقًا كبيرًا عند باحثي بحيرة طبريا، لأنهم خافوا أن تكون هذه الظاهرة مؤشرًا لعدم ثبات النظام البيئي. إضافة إلى ذلك، فقد أدت عدة صفات البكتيريا المزرقة إلى القلق، لأنه خلال حياتها تُنْتِج مواد سامة في جسمها وتُفرزها إلى الماء، وتستطيع هذه المواد بتراكيز عالية أن تؤذي كل من يستعمل هذه المياه. وقد أقلقت الباحثون صفة أخرى البكتيريا المزرقة، وهي أنها لا تستطيع أن تستغل النيتروجين من الهواء، دون أن تكون متعلقة بمركبات النترات الموجودة في الماء، وهي ذات قيمة غذائية منخفضة، لأن الابيزومنون ابليسفوروم لا تُؤْكل تقريبًا. وبالتالي فقد تؤدي هذه الصفات إلى زيادة كبيرة جدًا في تعداد الابيزومنون ابليسفوروم، وإلى حدوث خلل في التوازن البيئي.
افترض باحثوا مختبر بحث بحيرة طبريا أن ظهور البكتيريا المزرقة بأعداد كبيرة جدًا متعلق بالأفضلية الموجودة لديها، وهي قدرتها على استغلال النيتروجين من الهواء في حال نقص مركّبات النيتروجين في الماء والذي يعتبر عاملاً محددًا لنمو الطحالب.
يستطيع الابيزومنون أن يستغل هذه الأفضلية في حال وجود كمية كافية من الفوسفور.
سادت هذه الظروف في البحيرة، في سنة 1994، وقد حدث ذلك، عندما كانت رياح الشتاء خفيفة بشكل خاص، ولم تتحرك مياه البحيرة التي من خلال حركتها يرتفع عادةً النيتروجين من طبقة المياه السفلى، ومن أرضية البحيرة. وبالموازاة فقد حدث في هذه السنة ارتفاع في كمية الفوسفور بسبب الإزدهار الزائد لخلايا البريديوم التي تحتوي على كميات كبيرة من الفوسفور.
في سنة 1995، حدث إزدهار آخر للابيزومنون، لكن هذه المرة كان أقل من المرة السابقة، وفي سنة 2000، وفي أعقاب وجود فوسفور في مياه المجاري التي تدفقت إلى بحيرة طبريا، فقد ازدهرت البكتيريا المزرقة مرة أخرى، لكنّ هذا الازدهار كان قليلاً.

[1] يوعز الباحثون اختفاء ازدهار البريديوم إلى ظهور فطر يؤذي البريديوم.
[2] البكتيريا المزرقة هي نوع من أنواع البكتيريا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي

أسئلة

1. إلى ماذا يشير ظهور نوع جديد لم يكن موجودًا حتى الآن في بحيرة طبريا؟
2. ما هي الخطورة التي تحدث لمياه بحيرة طبريا بسبب طُحلب يستغل النيتروجين الحر في الهواء؟
3. اشرحوا، كيف يؤدي الازدهار الزائد للبريدينيوم إلى ارتفاع كمية الفوسفور في مياه بحيرة طبريا، في فصل الصيف؟

تأثير الصيد على بحيرة طبريا: منذ أجيال عديدة، يعتبر الصيد في بحيرة طبريا مصدر رزق الكثير من سكان المنطقة. يوجد في بحيرة طبريا 27 نوعًا من الأسماك، واسبعة منها توجد قيمة تجارية عالية وهي مفضلة لدى الصيادين منذ سنوات الأربعينيات، حيث يقوم المسؤولون بإعادة الأسماك إلى بحيرة طبريا، لكي يرفعوا من تعداد الأسماك فيها، فهم يقومون بإدخال أسماك صغيرة جدًا إلى الماء، وفي هذا الإطار، وخلال عدة سنوات، تمّ إدخال عدة أنواع من الأسماك التي لم تكن من قبل في البحيرة، ولكن أربعة أنواع منها فقط استطاعت أن تعيش في البحيرة. يعترض قسم من المسؤولين عن جودة مياه طبريا على إدخال أنواع غريبة إلى بحيرة طبريا، ويدعي الكثيرون أن قسمًا من الأنواع التي أُدخلت إلى البحيرة تمس بجودة المياه.

مثال على ذلك: الصيادون معنيون بزيادة تعداد سمك البوري (أحد أنواع الأسماك الغريبة التي تكيّفت في بحيرة طبريا)، لكن يعتقد قسم من باحثي بحيرة طبريا أن هذا النوع من الأسماك، والذي يتغذى على مواد موجودة في أرضية البحيرة، يعمل على تعويم المواد الغذائية في الماء، مما يؤدي إلى تكاثر الطحالب. في حالات أخرى، مثلاً: في حالة زيادة تعداد سمك المشط في بحيرة طبريا، هناك توافق بين رغبة الصيادين وبين النشاطات المطلوبة للمحافظة على جودة المياه، لأن سمك المشط يتغذى على طحالب البريدينيوم، وهكذا يساعد في تحديد كمية الطحالب المطلوبة من هذا النوع في الماء.

يتم تحديد سياسة صيد الأسماك في بحيرة طبريا من قبل مختبر بحث البحيرة وقسم الصيد في وزارة الزراعة، ويتم تنفيذ هذه السياسة من قبل إدارة بحيرة طبريا وقسم الصيد في وزارة الزراعة.

تشمل هذه السياسة موضوع زيادة تعداد الأسماك، وتطبيق الأوامر التي تمنع من الصيد بواسطة مواد متفجرة وسموم، ومراقبة الكبر الأدنى لثقوب شبكات الصيد، ووضع الصيد في موسم تكاثر سمك المشط في لجونة بيت صيدا (مكان التعشيش الأساسي لهذه السمكة).

صيد في بحيرة طبريا

أسئلة

1. عندما تكون هناك طبقات حرارية مختلفة في بحيرة طبريا، تسودها ظروف مختلفة في أعماق مختلفة.
   أ. كيف تتكون الطبقات الحرارية؟
   ب. صفوا الظروف السائدة في الطبقات المختلفة، واشرحوا، كيف تكونت هذه الظروف؟
   ج. ما هي انعكاسات الظروف السائدة في الطبقات المختلفة على قدرة بقاء الكائنات الحية في كل طبقة من هذه الطبقات؟
2. ما هي أهمية خلط المياه في فترة الشتاء؟
3. ما هي الانعكاسات التي يمكن أن تؤثر على النظام البيئي، وعلى جودة المياه نتيجةً النشاطا الآتية:
   أ. هدم موطن (بيت تنمية) سَمك المشط.
   ب. زيادة تعداد السَّمك الفضي في بحيرة طبريا بكميات كبيرة، وهذا السمك كبير، ونوع غريب في بحيرة طبريا، وهو يتغذى في فترتي الصيف والخريف على العوالق الحيوانية بكميات كبيرة.
   ج. جرف مواد تسميد إلى بحيرة طبريا، من الحقول الزراعية الموجودة في حوض التجميع.
   د. تدفق مياه مجاري خام إلى بحيرة طبريا، من البلدان التي تقع على شاطئها.
   هـ. ادخال نوع غريب إلى بحيرة طبريا، بشرط أنه لم يتم إدخاله حتى الآن إلى البحيرة.
   و. إعداد شواطئ بحيرة طبريا لغرض السياحة.
4. لماذا من المهم أن تُؤكل البريديئيوم على يد الكائنات الحية الأخرى؟
5. تمعنوا في الرسمة 2.20.
   أ. في أية سنوات كانت دورات ازدهار الطحالب في البحيرة غير اعتيادية؟
   ب. لماذا تُثير التغيّرات المتطرفة في دورات ازدهار الطحالب – في البحيرة – القلق عند الباحثين؟
6. لماذا تمّ تحديد الكبر الأدنى لثقوب شباك الصيد في بحيرة طبريا؟

تأثير حوض التجميع

توافر مواد التغذية (بالأساس مركبات النترات ومركبات الفوسفات)، هو شرط ضروري لتطور النشاط البيولوجي في البحيرة. أحد المخاوف الذي يرافق المسؤولين عن المحافظة على بحيرة طبريا،

انظروا إلى صفحة 19 للحصول على معلومات عن الإثراء الغذائي

هو الفائض في المواد الغذائية الذي قد يؤدي إلى الإثراء الغذائي. في الحالة الطبيعية، تصل إلى البحيرة مواد غذائية من خلال جرف التربة من حوض التجميع، ومن الأراضي التي تحتوي على مواد عضوية. يؤدي نشاط الإنسان إلى إزدياد كمية المواد العضوية في الجرف، وإلى إضافة مصادر أخرى، من بينها المجاري التي لم تتم معالجتها، مياه النفايات لبرك الأسماك، مياه التصريف لحقول تمّ تسميدها، حقول رعي، حظائر أبقار، مواقع نفايات وتربة كابول من غور الحولة التي تكونت فيها تراكيز عالية من مركّبات النترات. في السنوات الأخيرة، نُفذت نشاطات عديدة لتقليل مصادر التلوث من حوض التجميع، لكي نحافظ على جودة المياه ولمنع عملية الإثراء الغذائي. وقد شملت هذه النشاطات إقامة منشآت لتطهير المجاري وتغيير التعليمات للمزارعين وطريقة الزراعة، وإقامة مشروع الحولة الذي في إطاره تمّ – من جديد – غمر 1100 دونم كابول، وقد تمّ أيضًا رفع منسوب المياه في المنطقة، وهكذا تمّ تقليص تكوين مركبات النترات التي مصدرها من هذه التربة.

في فترتيْ الخريف والصيف، يكون تزويد البحيرة بالمواد الغذائية عاليًا، لأن مياه جريان علوية كثيرة تصل إلى البحيرة. كما تُضاف إلى الماء مواد غذائية، وهذه المواد تصعد من أرضية البحيرة بسبب خلط الماء الذي يحدث في أعقاب هدم الطبقات الحرارية في الماء. لذا في فصل الشتاء، يطرأ ارتفاع ملحوظ في كمية الطحالب (وترتفع بالأساس كمية البريديديوم). أما في فصل الصيف، فتصل كميات مياه ومواد غذائية قليلة إلى البحيرة، وبالتالي تنخفض كمية الطحالب العامة بشكل ملحوظ.

مشروع الحولة – «بحيرة الحولة الصغيرة»

حتى سنوات الخمسينيات من القرن العشرين، كانت بحيرة الحولة ومستنقعاتها في مركز حوض التجميع. البحيرة والمستنقعات كانت مصفاة طبيعية للمياه التي تدفقت إلى بحيرة طبريا. مياه نهر الأردن التي مرّت عبر البحيرة والمستنقعات في طريقها إلى بحيرة طبريا، أدت إلى رسوب مواد جرف ومواد ملوثة في بحيرة الحولة.

في سنوات الخمسينيات، تمّ تجفيف بحيرة الحولة من خلال مشروع هندسي واسع النطاق، وقد أدى هذا المشروع إلى تغييرات كثيرة في البيئة المحيطة (المحيط) في غور الحولة، وفي مجالات مختلفة.

أحد الانعكاسات لهذا التغيير، هو التأثير على بحيرة طبريا. انكشفت تربة الكابول التي كانت في المستنقعات، وقد جفت وبدأت فيها عمليات تحليل، وخلال هذه العمليات تكوّنت أيضًا مركّبات النترات، وانجرفت مع مياه المطر إلى بحيرة طبريا. وقد تمّت – خلال السنين – عمليات مختلفة في المساحات التي تمّ تجفيفها، وذلك لكي يحافظوا على رطوبة تربة الكابول، وليمنعوا إنتاج مركّبات النترات، لكنّ النجاح في هذا المجال كان محدودًا.

في بداية سنوات التسعينيات، قررت السلطات المسؤولة عن التخطيط أن تعمل بطريقة جيدة لمواجهة جميع التأثيرات السلبية التي نجمت عن إعادة تخطيط بحيرة الحولة. وقد قرروا أن الطريقة الفضلى للمحافظة على رطوبة الكابول، هي الغمر من جديد لقسم قليل من أراضي الكابول، ورفع منسوب المياه الجوفية في المنطقة. وبالفعل تمّت عملية الغمر في منتصف سنوات

التسعينيات، وقد تكونت من جديد بحيرة أصغر بكثير من البحيرة الأصلية.
لذا يُخطط المسؤولون بناء مشاريع سياحية مختلفة حول البحيرة. نجح مشروع الغمر في المحافظة على مياه البحيرة. وحتى الآن، هذا هو الحل الجيد، لأنه طرأ انخفاض في وصول مواد نيتروجينية وفوسفورية من منطقة الحولة إلى بحيرة طبريا.

بحيرة الحولة الصغيرة – البحيرة التي تكونت في أعقاب الغمر من جديد لأراض الكابول في غور الحولة

أسئلة

1. اشرحوا، لماذا بادر المسؤولون عن بحيرة طبريا أن تتكون بحيرة الحولة الصغيرة؟
2. يخطط المسؤولون بناء مشاريع سياحية مختلفة على شاطئ البحيرة الصغيرة التي تكوَّنت في الحولة. اشرحوا، لماذا يجب على إدارة بحيرة طبريا أن تشترك في عملية تخطيط هذه المشاريع؟

توجد تأثيرات كثيرة لنشاطات الإنسان على شواطئ البحيرة. ففي كل سنة، يستجم في بحيرة طبريا نحو 40000 شخص.
تُعتبر السياحة فرع اقتصادي مركزي في الجليل، وبفضلها تعيش عائلات كثيرة.
الطلب الكثير للاستجمام على شواطىء بحيرة طبريا، يجذب مبادرين ليطوروا على شواطئها مراكز

استجمام. لكن قد يؤثر التطوير على جودة المياه: المستجمون الذين يسبحون في مياه بحيرة طبريا، يساهمون في تعويم مواد غذائية من أرضية البحيرة. تزداد كمية النفايات والمجاري التي تتكون على شواطئ بحيرة طبريا، وتزداد خطورة وصول هذه الملوثات إلى المياه في أعقاب رمي المستجمين لهذه النفايات على الشواطئ، أو في أعقاب خلل بشبكة مجاري المراكز والمواقع السياحية.
النفايات ومياه المجاري التي تصل إلى بحيرة طبريا، تؤذي النظام البيئي وجودة المياه التي نضخها من البحيرة.

مستجمون في بحيرة طبريا

تخضع بحيرة طبريا إلى الخارطة الهيكلية القطرية لشواطئ البحيرة التي رقمها 13، والتي صدرت منذ سنة 1981. عند التحضير لهذا المشروع، أُخذت بالحسبان الغايات الأساسية للبحيرة كمصدر للمياه. لتحقيق هذه الغايات، فقد تمّ تحديد قيود لتطوير السياحة على شواطئ البحيرة، وتمّ تحديد قيود مختلفة على التطوير في حوض التجميع أيضًا. وفي الخارطة الهيكلية القطرية، يوجد تطرق خاص لمنطقة بحيرة طبريا. على الرغم من ذلك، فإن هذه الخارطة الهيكلية تلبي الاحتياجات بشكل جزئي فقط، وذلك لكي تمنع تطويرًا زائدًا على شواطئ بحيرة طبريا الحفاظ على جودة المياه.
إحدى وظائف إدارة بحيرة طبريا، هي متابعة مشاريع البناء في منطقة بحيرة طبريا، حيث تُقَدَّم هذه المشاريع، لكي تبحثها لجان التخطيط. ففي هذا الإطار، يتم فحص المشاريع الملائمة من بين هذه المشاريع حسب الخارطة الهيكلية القطرية، ويُطلب من لجان التخطيط أن تأخذ بالحسبان الجوانب المطلوبة للمحافظة على جودة مياه بحيرة طبريا.

شبكة المياه القطرية

مشروع المياه القطري، هو مشروع المياه الأكبر في إسرائيل. وقد أُقيم في سنوات الخمسينيات من القرن العشرين، لكي يتم نقل مياه من بحيرة طبريا في الشمال إلى الأراضي الزراعية التي تمّ تطويرها في مركز وجنوب البلاد. ومع مرور السنين، فقد تمّ ربط مياه المشروع القطري مع معظم الشبكات المسؤولة عن تزويد المياه القطاع البيتي الذي تغذى حتى ذاك الحين من المياه الجوفية.

فهذا الربط، يُتيح لمديرية المياه أن تختار المصدر الذي سيُستعمل لتزويد القطاع البيتي بالمياه، وهكذا يتم تنظيم تزويد المياه وتوجيهُهُ إلى المصدر الذي يوجد فيه استهلاك مياه أكثر من الآخر. كما توجد أفضلية إضافية لربط أنظمة وشبكات المياه ببعضها، فهي تُتيح نقل المياه إلى الكفيفر الشاطئ في السنوات الماطرة التي يرتفع فيها منسوب مياه بحيرة طبريا، حيث يتم توجيه المياه إلى عدة مشاريع لاستيعاب الفيضانات، ولإتاحة الفرصة للمياه أن تتغلغل إلى الاكفيفر، وبهذه الطريقة، نستطيع في السنوات الماطرة من أن نرمم منسوب المياه في اكفيفر الشاطئ.

الرسمة 2.12: شبكة المياه القطرية.

مشروع المياه القطري

أسئلة

1. لماذا تزداد خطورة الإثراء الغذائي في البحيرات الموجودة في مناطق ساخنة، مثلاً: في بحيرة طبريا؟
2. لماذا – بحسب رأيكم – لا يحدث في بحيرة طبريا إثراء غذائي متطرف مع نهاية ازدهار البريديذيوم؟
3. لماذا من المهم أن تكون إدارة بحيرة طبريا مسؤولة عن مناطق حوض التجميع للبحيرة؟
4. أ. ما هي التأثيرات التي يمكن أن تسببها النشاطات الزراعية – في حوض التجميع – على بحيرة طبريا؟

   ب. ما هي الإجراءات التي يجب أن تتخذها إدارة بحيرة طبريا، اكي تُقلِّل من تأثير الزراعة على بحيرة طبريا؟

أسئلة تلخيص

5. لماذا في حالات كثيرة، من الصعب أن نتنبأ مسبقًا كيفية رد فعل النظام البيئي في بحيرة طبريا على تأثيرات نشاطات الإنسان.
6. لخصوا (ومن الأفضل من خلال رسم تخطيطي) الظواهر التي يمكن أن تحدث في بحيرة طبريا، في أعقاب اجتياز الخط الأحمر السفلي. اذكروا انعكاسات كل ظاهرة على جودة المياه.
7. في حالة حدوث نقص في الماء، يقترح البعض تخفيض منسوب مياه بحيرة طبريا إلى تحت الخط الأحمر. ما هي الصراعات التي تواجه مُتخذي القرارات في مديرية المياه في هذه الحالة؟
8. يرغب رجل أعمال في بناء قرية استجمام على شاطئ بحيرة طبريا. افحص المشروع، يجب إجراء استطلاع حول تأثير المشروع على البيئة المحيطة (المحيط).

   أ. صيغوا أسئلة حول المواضيع المختلفة التي يجب فحصها في الاستطلاع (صيغة الأسئلة: كيف يؤثر المشروع على .....؟)

   ب. إذا قُدِّم المشروع لمصادقة لجنة التخطيط، فما هي المتطلبات التي يجب أن نطلبها من رجل الأعمال كشروط للمصادقة؟

أودية إسرائيل

منذ القدم، كانت الأودية مصدرًا للمياه التي يستهلكها الإنسان. وقد استُخدمت هذه المياه للشرب، وللري في الزراعة، وللصيد، وللغسل والتنظيف. لكنّ الزيادة المتسارعة في تعداد السكان، وزيادة النشاطات الصناعية والزراعية خلال القرن العشرين، أدت جميعها إلى أضرار معينة في أودية إسرائيل. وقد تركزت الأضرار في ظاهرتين أساسيتين: الأولى، تجفيف الأودية بسبب استخدام مياه الينابيع التي تغذيها. والثانية، تلويث الأودية بسبب استغلال الوديان لتصريف مياه مجاري السكان، والمصانع والزراعة، وتدفق مياه جريان علوية مصدرها من الحقول الزراعية، ومن الشوارع، ومن المدن. أدت هذه العمليات إلى إيذاء الأنظمة البيئية الطبيعية للوديان، وأحيانًا أدت إلى إبادة مطلقة لعشائر من الحيوانات والنباتات التي تعيش فيها. الوادي الملوث هو مكرهة لمنظر البيئة المحيطة، ويؤدي تلوثه إلى انتشار روائح نتنة وإلى باعوض وأمراض.

مياه الوادي الملوثة، يمكن أن تتغلغل وتلوّث المياه الجوفية. يتدفق في إسرائيل 12 واديًا إلى البحر الأبيض المتوسط، و 15 واديًا إلى نهر الأردن وبحيرة طبريا. وقد تدفقت في الماضي، في هذه الأودية كميات كبيرة من المياه النظيفة، وكانت فيها أنظمة بيئية غنية ومتنوعة. أما اليوم فمعظم الأودية وبالأساس في السهل الساحلي ملوثة، والنظام البيئي الأصلي غير موجود في الأقسام الملوثة.

الكيشون – تلوث هذا الوادي خلال السنين بمواد خطيرة

ترميم الأودية

في سنة 1993، أقامت وزارة جودة البيئة المحيطة (المحيط)، وكيرن قيمت لإسرائيل إدارة لترميم الأودية.تشترك في هذه الإدارة مؤسسات مختلفة، مثل: مديرية المياه، وزارة الزراعة، وسلطة حماية الطبيعة.

وكانت الغاية – لهذه الإدارة – ترميم الأودية في إسرائيل (وخاصة ترميم أودية الشاطئ)، من خلال خلق ظروف تساعد على تجديد بيوت التنمية (المواطن) الخاصة التي ميّزتها. لكن فيما بعد، استُغلت الأودية ومحيطاتها كمراكز للاستجمام والسياحة في مناطق مدنية كثيفة السكان في مركز البلاد. في سنة 1995، اعترفت مديرية المياه بأودية إسرائيل كمستهلكة الماء في إطار إدارة المياه في إسرائيل، وقد خُصصت للأودية كمية مياه ثابتة. كما أنها حددّت معايير لجودة المياه في الأودية. في معظم الأودية، يستعمل المسؤولون مياه المجاري المكررة – بدل المياه النظيفة – لترميم الوديان.

أسئلة

1. ما هي المعلومات – بحسب رأيكم – التي يجب جمعها لتحضير مشروع لترميم وادٍ؟
2. ما هو المطلوب – بحسب رأيكم – لكي يكون هناك ترميم ناجح للوادي؟
3. ما هي المشاكل التي تواجهنا عند تطبيق مشاريع لترميم الوادي؟

قصة وادي اسكندر

سنفحص بشكل مفصل طريقة ترميم الأودية من خلال قصة وادي اسكندر. فهذا الوادي هو الشمالي من بين أودية الشاطئ في منطقة المركز. ويعتبر هو وبيئته المحيطة (المحيط) من أغنى الأراضي المفتوحة، كما أنه ذات قيمة طبيعية ومنظر جذاب يستحق المحافظة. وتصل مساحة حوض تصريفه إلى 550 كيلومترًا مربعًا. تنبع مصادره من جبال عيبال وجريزن في السامرة، ومن هناك يتدفق في منطقة الشارون على طول 31 كلم حتى يصل البحر الأبيض المتوسط، وفي طريقه ينضم إليه 12 رافدًا. في قسمه العلوي، هو وادي كاذب وفيضاني، أما في قسمه السفلي الذي يصل طوله إلى 15 كلم حتى المصب، فإن المياه تتدفق فيه كل السنة.

في الماضي، كانت مياه الوادي نظيفة في القسم السفلي، وقد نبعت من الينابيع التي كانت في أطراف مجرى الوادي. امتاز الوادي بتنوّع كبير في النباتات والحيوانات المتعلقة بالماء، مثل: نباتات مائية مغمورة، نباتات ضفاف، أسماك، حازونات، حشرات مائية، سرطانات، أنواع مختلفة من الطيور، ثدييات ومجموعة كبيرة من السلاحف الرخوة. ظهرت هذه الكائنات الحية في تمنطق يميز عرض الوادي، وذلك بحسب صفاتها الخاصة. منذ بداية الاستيطان، ونتيجةً الضخ والاستغلال الزائد للمياه الجوفية في المنطقة، فقد انخفض منسوب المياه الجوفية بشكل ملحوظ وجفت معظم الينابيع.

إضافةً إلى انخفاض كميات المياه التي مصدرها من الينابيع الطبيعية، فقد تلوث الوادي بمياه مجار مصدرها من البيوت، وبمجار من حظائر الأبقار، وبرك الأسماك، ومياه تصريف زراعية [1]. وصلت الملوثات من كل مساحة حوض التصريف على طول قناة الوادي الذي يبدأ من الأراضي الخاضعة للسلطة الفلسطينية ويستمر إلى أراضي إسرائيل. أدى تلوث المياه إلى تغييرات في النظام البيئي. وقد

[1] مياه تصريف زراعية: مياه يتم تصريفها من حقول زراعية.

كانت النباتات المائية المغمورة في الماء من أوائل المتضررين من هذا التلوّث، لأنها كانت الأكثر حساسية التلوّث. انقرض قسم من هذه النباتات مثل: عدسة الماء، البشنين وبقي قسم من هذه النباتات – مثلاً: عدسة الماء الصغيرة – في مناطق صغيرة جدًا. ومع تفاقم التلوّث، فقد أُصيبت نباتات الضفاف التي ليست باتصال مباشر مع المياه الملوثة. انقرضت النباتات الحساسة، مثلاً: سوسن المستنقعات، وقد اختفت من ضفاف الوادي، أما النباتات الأخرى، مثلاً: سحلب المستنقعات، فقد بقيت فقط على طول الروافد القليلة التي لم تتلوث. ومكان الأنواع التي انقرضت، فقد سيطرت أنواع أخرى ذات قدرة على مقاومة التلوث، مثل: العلق، القصاب والطيون. أدى التلوث إلى إصابات وتغييرات في عشائر الحيوانات التي كانت تعيش في الوادي. قسم من هذه الحيوانات أُصيبت بشكل مباشر من الملوثات، والقسم الآخر أُصيب بسبب الأذى الذي لحق بالحيوانات التي تتغذى عليها. قسم من عشائر الحيوانات تبدلت مع أنواع تتغذى على مواد عضوية مصدرها من مياه المجاري. والأنواع الأخرى التي كانت في الوادي قبل تلوّثه تكاثرت وازدادت بسبب نقص في الحيوانات المفترسة الطبيعية التي انقرضت في أعقاب تلوث الوادي. على الرغم من التلوث، فقد استمرت مجموعة السلاحف الرخوة (التي تعتبر المجموعة الكبرى في إسرائيل) وحافظت على نفسها على قيد الحياة، في مصب الوادي إلى البحر.

السلحفاة الرخوة

يُعتبر وادي اسكندر، أحد الأماكن القليلة في البلاد الذي بقيت فيه عشيرة من السلاحف الرخوة. بحسب التقديرات المختلفة، فقد عاشت في سنة 1948 في البلاد، مئات السلاحف البالغة وآلاف السلاحف الصغيرة. وفي أعقاب تلوث أودية الشاطئ، فقد قل عدد السلاحف واختفت من معظم الأودية. في سنة 1972، تلوّث وادي اسكندر بشكل كبير جدًا، اذا فقد نقلوا 20 سلحفاة إلى

السلحفاة الرخوة

حديقة الحيوانات في جامعة تل أبيب. قام المسؤولون بترقيد البيوض التي وضعتها الإناث، وبتوزيع قسم من صغار السلاحف التي فقست في الطبيعة. أقامت سلطة حماية الطبيعة في وادي اسكندر موقعًا محميًا لوضع البيض، لكي ينعشوا عشيرة السلاحف الرخوة في المكان، ولمنع انقراضها من إسرائيل.

نبذة عن حياة السلاحف الرخوة: تشمل عائلة السلاحف الرخوة سبعة أجناس، ومنها عشرون نوعًا يعيش في مجمعات مياه عذبة. وهي تنتشر في الأودية التي تتدفق إلى شرق البحر الأبيض المتوسط، من إسرائيل حتى تركيا. يعيش النوع المسمى **سلحفاة رخوة برية**، في وادي اسكندر وبالأساس في المناطق الضحلة التي يكون فيها تدفق المياه بطيئًا. وأحيانًا نجد هذا النوع في البحر، في منطقة مصب الأودية. هذا النوع، هو الأكبر من بين أنواع العائلة. وقد يصل طوله إلى مئة وعشرين سنتمترًا وكتلته إلى خمسين كغم. لونه رمادي – أخضر، وهو منقط أحيانًا بنقاط بيضاء تساعده على التمويه عندما يكون بارزًا في أرضية الوادي ومغطى بالوحل. مبنى جسم السلاحف مناسب للمكان الذي تعيش فيه. رأسها طويل، وتستخدم طرف رأسها كقصبة هوائية بارزة، لكي تساعدها في عملية التنفس الحر عندما يكون جسمها داخل الماء.

تبرخ السلاحف عادةً على أرضية وحلة، وتُخرج طرف رأسها خارج الماء. السلاحف الرخوة تُجيد السباحة وتتغذى بالأساس على الحيوانات. جدران حلقها مبطنة بأوعية دموية كثيرة، وهذه الأوعية تُتيح لها استيعاب الأكسجين المذاب في الماء. هذه الصفة، تساعدها على البقاء في مياه عذبة مشبعة بالأكسجين مدة زمنية أطول من أي سلحفاة ماء أخرى. تحفر الإناث حُفرًا صغيرة في التربة، بالقرب من مجمع المياه، وتضع بيضها فيها. وهي لا ترقد على بيضها ولا تعتني بصغارها. السلاحف التي تفقس من البيض تكون نشيطة جدًا، وبعد الفقس مباشرةً، تركض إلى الماء، وهكذا تكون محمية من الحيوانات المفترسة.

ترميم الوادي: في بداية سنوات التسعينيات، بدأت مؤسسات مختلفة بمعالجة ترميم الوادي، وقد اشترك في هذا الترميم كل من وزارة جودة البيئة المحيطة (المحيط)، وإتحاد مدن الخضيرة، والمجلس الإقليمي غور حيفر. في سنة 1994، أُقيمت إدارة ترميم وادي اسكندر، وقد شملت هذه الإدارة 17 مؤسسة شعبية ورسمية. وقد تمّ تمويل نشاطات الإدارة من قبل مؤسسات حكومية وشعبية، مثل: وزارة جودة البيئة المحيطة، الشركة الحكومية للسياحة وهكيرن هقيمت (صندوق خاص للمنظمة الصهيونية العالمية، هدفه شراء الأراضي وإعدادها للاستيطان في إسرائيل). حضّرت إدارة الوادي خطة أصلية لترميم الوادي، وبحسب مبادئ هذه الخطة، فقد تمّ تحضير خريطة هيكلية جيدة لقطاع الوادي. وقد شملت عمليات الترميم النشاطات الآتية:

إبعاد مصادر التلوث وتزويد الوادي بالمياه: في بداية سنوات الألفين، بدأت تعمل منشأة لتطهير مياه المجاري التي وصلت من طواكرم وزابلس. أُقيمت المنشأة بالقرب من طواكرم، ومياه المجاري المكرّرة التي تُنْتجها تتدفق في الوادي.

ترميم بيئي: نُفذت أعمال مختلفة لإنعاش وتطوير النظام البيئي، وقد نُفذت هذه الأعمال بالأساس في مقطع من الوادي الذي أُخذ كنموذج للفحص، وكان طوله 750 مترًا، وهو يقع في الجهة الغربية من شارع رقم 4. في إطار هذه الأعمال، أُخرجت الرواسب الملوثة من أرضية الوادي، وتمّ تحسين ميل ضفاف الوادي، لتتمكن نباتات الضفاف من النمو ثانيةً، ولإعادة النباتات الأصلية الوادي ولتنشيط هذه العملية، فقد قاموا بغرس 35000 شتلة من بينها 350 شجرة.

قُسِّم سد الباطون – القديم الذي يقع في الطرف الشرقي من المقطع الذي تمّ ترميمه – إلى 4 سدود صغيرة، لكي تتمكن الأسماك من التحرك إلى أعلى الوادي. تُتيح السدود تواصلاً بيئيًا على طول الوادي، وهي تؤدي إلى خلط المياه وتحسين جودتها. كما أُقيمت على طول قناة الوادي مساحا لتدفئة السلاحف الرخوة، وتمّ إعداد مواقع للإباضة في الرمال التي تقع بالقرب من الوادي.

تطوير منطقة الوادي لأغراض سياحية وللاستجمام: في المرحلة الأولى من الترميم، أُجريت نشاطات مختلفة في مقطع الوادي الذي أُخذ كنموذج الترميم.

شملت هذه النشاطات تطوير مسارات المشي على طول ضفاف الوادي، وبناء مدرجات جلوس لمشاهدة الوادي، وإقامة طاولات للأكل وحاويات للنفايات. سدود المياه التي بُنيت، تعطي المتنزهين الشعور أن المياه تتدفق، واللافتات التي وُضعت على طول مسار المشي، تعرض شروحًا عن الوادي وترميمه، إضافةً إلى ذلك، فقد بُني جسر فوق الوادي، وهو يُتيح للمتنزهين التمتع ومشاهدة المناظر من فوقه.

مقطع مرمم في وادي اسكندر

أسئلة

1. أ. لماذا يحتاج ترميم الوادي إلى ترميم النظام البيئي الذي يقع بالقرب منه؟
   ب. ماذا يمكن أن تكون التأثيرات البيئية في حال نقص ظروف مناسبة لإعادة قسم من الحيوانات التي كانت تعيش من قبل في الوادي؟
2. أ. كيف يؤثر استعمال مياه المجاري المكررة على إمكانيات ترميم الوادي؟
   ب. كيف – بحسب رأيكم – يمكن مواجهة المشاكل التي قد تنجم في أعقاب ذلك؟
3. لماذا – بحسب رأيكم – من المهم أن نوفر الحماية للمساحات المفتوحة التي تقع بالقرب من الوادي، ومن المهم أن نهتم بتواصل الترميم على طول الوادي؟
4. اختاروا واديًا آخر من أودية الشاطئ (مثل: الكيشون أو اليركون)، واجمعوا معلومات عن وضع الوادي، ثم أجيبوا عن الأسئلة الآتية:
   أ. قارنوا بين وضع الوادي الذي اخترتموه وبين وضع وادي اسكندر.
   ب. اقترحوا برنامجًا عامًا لترميم الوادي الذي اخترتموه. ما هي الصعوبات والمشاكل التي ستواجه الأشخاص الذين سيقومون بترميم الوادي الذي اخترتموه؟
   قارنوا ذلك مع ما يحدث في وادي اسكندر.
5. عبروا عن رأيكم بالنسبة لطريقة التطوير التي تمّت في وادي اسكندر لأغراض سياحية.

تلخيص

تؤدي ظروف المناخ في إسرائيل إلى انخفاض كميات المياه المتوافرة للاستغلال. وهذا الأمر يلزمنا بمراقبة وإدارة مصادر المياه، اذا فقد حُدّدت المياه الجوفية وبحيرة طبريا خطوط حمراء، وقد يؤذي اجتيازها جودة المياه. ولكي لا يكون هناك اجتياز الخطوط الحمراء، فقد سمحوا بضخ المياه من المجمعات بكميات تساوي كميات مياه الأمطار التي تقوم بملئها. في السنوات الأخيرة، كان استهلاك المياه في إسرائيل أكثر من مياه المطر التي تقوم بإعادة امتلاء المجمعات من جديد، اذا فقد اجتازوا الخطوط الحمراء التي حُدّدت، لكي يلبوا احتياجات المواطنين.

تشمل مصادر المياه الطبيعية في إسرائيل كل من المياه الجوفية، بحيرة طبريا والأودية.

المياه الجوفية، هي مياه تتجمع في طبقات صخور مسامية نسميها اكفيفر.

تخرج المياه بطريقة طبيعية من الاكفيفر عبر الينابيع، أو عندما يلتقي الاكفيفر مع مياه البحر.

جودة المياه الجوفية تكون عادةً جيدة، لأن الطبقات – التي تتغلغل من خلالها المياه – تقوم بترشيح المياه الملوثة، والظلام يمنع من وجود كائنات حية.

عندما تتغلغل مياه الأمطار من خلال تربة، أو صخور فيها تراكيز عالية من الأملاح، فإن ذلك يؤدي – بشكل طبيعي – إلى انخفاض جودة المياه.

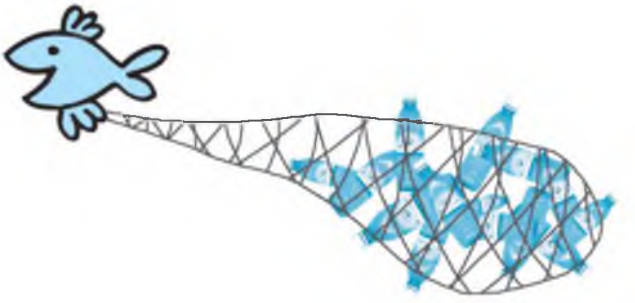
قد تمس نشاطات الإنسان بجودة المياه الجوفية بطرق مختلفة:
عندما يؤدي الضخ الزائد للمياه الجوفية بالقرب من البحر إلى دخول مياه بحر مالحة إلى الاكفيفر، فإن ذلك يؤدي إلى ازدياد ملوحة المياه الجوفية، وعندما نقوم بري حقول فوق الاكفيفر، فإن ذلك يؤدي إلى ملوحة المياه الجوفية، لأن مياه الري أملح من مياه الأمطار.
هناك طرق أخرى، تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية، وهي تدفق مياه ملوثة، مثل: مياه المجاري، أو سوائل أخرى كالوقود. تزوّد المياه الجوفية 48% من استهلاك المياه في إسرائيل. معظم المياه الجوفية مخزونة في اكفيفرين كبيرين وهما: اكفيفر الجبل واكفيفر الشاطئ.

أما بحيرة طبريا، فإنها تزوّد ثلث المياه المستهلكة في إسرائيل، ولكي نحافظ على جودة المياه، فقد حُدِّد فيها خط سفلي أحمر. تؤثر عوامل كثيرة على جودة مياه بحيرة طبريا، قسم من هذه العوامل طبيعية والقسم الآخر متعلق بنشاطات الإنسان.
تتأثر ملوحة المياه من وجود ينابيع مالحة في أرضية البحيرة، وفي أطرافها، وتتدفق هذه المياه المالحة إلى البحيرة. لقد بُنيت قناة لتقليل دخول الأملاح إلى البحيرة، فهذه القناة تؤدي إلى انحراف مسار مياه الينابيع المالحة (التي تنبع من الأطراف) عن البحيرة وتمنع من دخولها.
تمّ تحديد سياسة ضخ المياه من بحيرة طبريا، ومن الاكفيفرات الموجودة في محيطها، من خلال الأخذ بالحسبان الانعكاسات التي تنجم من هذه النشاطات على ملوحة مياه البحيرة.
من الناحية البيولوجية، تُعتبر البحيرة نظامًا بيئيًا معقدًا جدًا، حيث تحدث فيها تغيّرا موسمية بسبب تأثير العوامل المختلفة. ففي فصل الشتاء، تسود البحيرة ظروف تؤدي إلى نمو ملحوظ بكمية الطحالب، وهذا يكون بالأساس في أعقاب إزدهار طحلب الابريديديوم، أما في فصل الصيف، فتكون كمية الطحالب قليلة ومعظمها طحالب صغيرة جدًا.
يوجد لنشاط الإنسان تأثير كبير على النظام البيئي وعلى جودة المياه في البحيرة. الصيد في بحيرة طبريا متطور، وهو مراقب من قبل السلطات بحسب انعكاساتها على جودة مياه بحيرة طبريا. قد تصل ملوثات من حوض تجميع بحيرة طبريا ومن شواطئها. تقوم السلطات بنشاطات مختلفة لتقليل الأخطار، ومن بين هذه النشاطات: تنظيم مياه المجاري في حوض التجميع، مراقبة الاستجمام والتطوير على شواطئ البحيرة ومنع عملية جرف تربة الكابول من أعماق الحولة (مشروع بحيرة الحولة الصغيرة).

في كثير من الأودية في إسرائيل، وبالأساس في السهل الساحلي، استُغلت كل المياه النظيفة التي تدفقت في هذه الوديان، وقنوات الأودية تحولت في حالات كثيرة إلى قنوات مياه مجاري. في السنوات الأخيرة، تقوم المؤسسات المختلفة بنشاطات لترميم الأودية. ففي هذا الإطار ينظفون قنوات الأودية، ويمنعون من استمرار تلوثها. ويزودنها من جديد بالمياه (عادة مياه المجاري المكرّرة).
تؤدي هذه النشاطات إلى انتعاش النظام البيئي الطبيعي. ومن المخطط إقامة متنزهات على طول الأودية الطبيعية، لكي يتسنى للمواطنين الاستجمام والاستمتاع في أحضان الطبيعة.

الفصل الثالث

مواجهة مشاكل المياه



مواجهة مشكلة نقص المياه هي مواجهة قديمة جدًا، وقد عانت منها شعوب كثيرة في جميع أنحاء العالم. في أرض إسرائيل، كان جُبٌّ (حفرة) الماء – حتى نهاية القرن التاسع عشر – التكنولوجيا الشائعة لتجميع مياه الأمطار.

وقد تمّ تصريف جريان المياه العلوية إلى داخل الجُبِّ، وهذه المياه كانت في معظم الحالات مصدر المياه الأساسي للسكان، إضافة إلى الجباب (الحفر)، نجد في البلاد آبارًا قد حُفِرَ في فترات قديمة جدًا، ونجد أيضًا مشاريع مياه قديمة وكبيرة جدًا مثل: نفق سلوان في القدس، ومشاريع مياه في حتسور ومجيدو. هذه التكنولوجيا، كانت الحل في الماضي البعيد.

في هذه الأيام ازدادت الاحتياجات وازدادت معها قدرة التكنولوجيا على تزويدها.

في هذا الفصل، سنتطرق إلى الطرق الأساسية لمواجهة مشاكل المياه اليوم، وإلى المشاكل المتعلقة بنقص المياه وبجودتها.

مياه الشرب

مياه الشرب الصالحة للاستعمال، هي شرط ضروري المحافظة على صحة السكان. جميع المياه التي يزودونها في إسرائيل للاستهلاك البيتي، يجب أن تكون – بموجب القانون – بالجودة المطلوبة من مياه الشرب. للحصول على مياه شرب صالحة، يجب الاهتمام والحفاظ على جودة مصادر المياه، وقد بحثنا هذا الموضوع بتوسع في الفصل السابق. لكنّ هذا الأمر لوحده لا يكفي، لأن المياه قد تحتوي على مواد ضارة للصحة، والتأكد من أنّ المياه خالية من هذه المواد وصالحة الشرب، يجب فحصها ومعالجتها قبل تزويدها للمستهلكين.

معالجة المياه

كي تكون المياه صالحة الشرب، فمن الممنوع أن تكون فيها مكونات قد تؤذي الصحة. هذه المكونات التي تؤذي صحتنا، هي الكائنات الحية التي تؤدي إلى أمراض، مثل: البكتيريا، أو الطفيليات الأخرى والمواد الكيماوية الضارة. الكلور هو مادة التعقيم الأساسية التي نستعملها كوسيلة لمواجهة مسببات الأمراض، مثلاً: الكائنات الحية الدقيقة. تُدخل الكلور إلى الماء كغاز، فيتحد مع الجزيئات العضوية الموجودة في الكائنات الحية، وهكذا يؤدي إلى موتها.

تُقدّر منظمة الصحة العالمية أن عملية **كَلْوَرَة** مياه الشرب (إضافة كلور إلى الماء) أنقذت حياة بني البشر أكثر من جميع أنواع المضادات الحيوية.

المثال الذي يجسد أهمية الكَلْوَرَة هو وباء الكوليرا الذي انتشر في البيرو، في سنة 1991 نتيجةً التوقف عن تعقيم المياه.

الكلور يُبيد البكتيريا والفيروسات بشكل ناجع، لكن عندما تحتوي المياه على مواد عضوية بتركيز عال، فإنّ المواد العضوية تتحد مع الكلور وتُنْتِج مواد ضارة نسمّيها مركبات الميثان الثلاثي الهالوجين (THM). قسم من مركبات الميثان الثلاثي الهالوجين سامة وقسم منها تؤدي إلى مرض السرطان في الحيوانات والإنسان، ففي سنة 1990 تمّ تحديد المعيار الأقصى لهذه المواد، وهو 100 ميكروغرام في لتر مياه الشرب الواحد. إنّ وجود مركبات الميثان الثلاثي الهالوجين في الماء يضر في البيئة المحيطة أيضًا، لأنها تنتشر في البيئة المحيطة (المحيط) من خلال مياه المجاري، ومياه المجاري المكررة، وقد تصل هذه المواد إلى المياه الجوفية أيضًا. يمكن أن نمنع تكوين مركبات الميثان الثلاثي الهالوجين، من خلال استعمال وسائل تعقيم، مثل: فوق أكسيد الهيدروجين، الأوزون، الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المؤينة. هذه الوسائل لا تؤدي إلى إنتاج نواتج ثانوية، لكن تكلفتها أعلى من تكلفة إضافة الكلور. يوجد طريقة أخرى لتقليل النواتج الثانوية للكلور، وهي ترشيح المياه من المواد العضوية قبل إضافة الكلور. هذه المشكلة موجودة – في البلاد – بالأساس عند استعمال مياه بحيرة طبريا، لأن المياه الجوفية لا تحتوي على مواد عضوية تقريبًا. فالترشيح يساعد أيضًا على إبعاد مواد ضارة أخرى قد تكون موجودة في المياه. في هذه الأيام، تعمل عدّة منشآت الترشيح في شبكات مياه الشرب التي تزودنا بمياه مصدرها من بحيرة طبريا، وتوجد أيضا منشآت لترشيح مياه الينابيع، حيث يتم

الترشيح من خلال استعمال مصاف رملية. وقبل أن تدخل المياه في المرشح (المصفاة)، يُضيفون إليها مواد تؤدي إلى أن تتحد المواد العائمة وتتكتل وتصبح كالفتات فلا تستطيع المرور عبر مسامات المرشح.

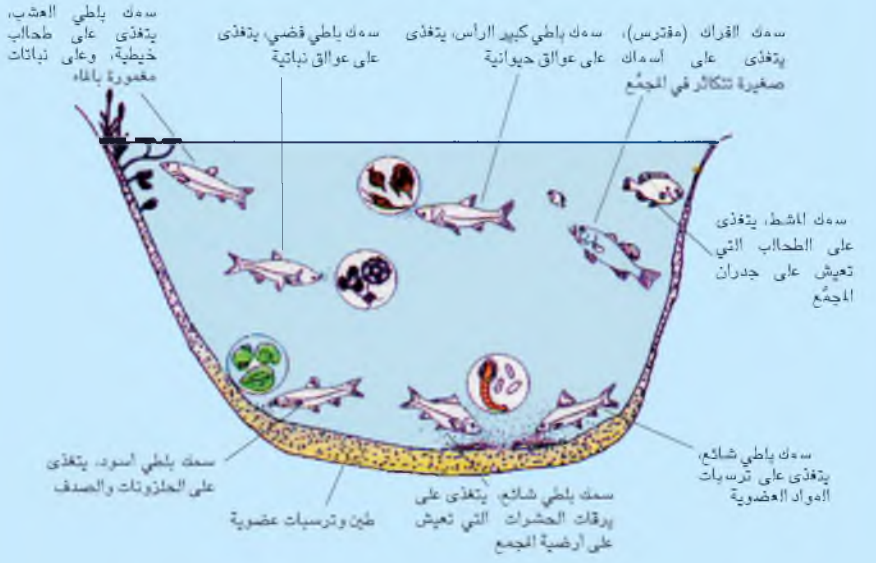
معالجة إضافية لمياه الشرب، هي إضافة الفلور، وذلك عندما يكون تركيزه في الماء منخفضًا. إنَّ وجود الفلور بكمية مناسبة في الماء يعتبر وسيلة جيدة لمنع تسوس الأسنان ولتحسين صحتها.

معالجة مياه المشروع القطري

تحدث مشكلة تعكر المياه بسبب وجود مواد عضوية، وهذه المشكلة موجودة بالأساس في مياه بحيرة طبريا، وهي تحدث بسبب المواد العضوية الذابة والعائمة، مثل: الطحالب والبكتيريا.

تتم عدة عمليات لتقليل تعكر مياه بحيرة طبريا في مشروع المياه القطري. فيما يلي هذه العمليات:

عند وصول مياه المشروع القطري إلى موقع اشكول في غور بيت نطوفا، فإنّها تدخل إلى المجمَّع الأول الذي تضاف فيه مواد إلى الماء، لكي تعمل على تكتل وترسيب قسم من المواد العضوية العائمة، وبعد ذلك تُنقل المياه الصافية إلى المجمَّع الثاني الذي تتم فيه معالجة بيولوجية من خلال نظام بيئي تتم مراقبته من قبل المسؤولين عن الموقع. وفي هذه المرحلة يُدْخِلُ المسؤولون أسماكًا مختلفة إلى الماء، مثل: السمك الفضي والسمك الباطي كبير الرأس، وهذان النوعان من الأسماك يعملان "كعمال نظافة"، لأنها تتغذى على الطحالب، الدلازونات والحيوانات الصغيرة جدًا الموجودة في المياه. وتوجد أسماك أخرى، تتغذى على إفرازات السمك الفضي، والسمك الباطي كبير الرأس وعلى بقايا المواد التي تحللت في الماء، فمن خلال هذه الطريقة تصبح المياه أقل تعكرًا وأكثر صفاءً.



الرسمة 3.1: معالجة بيولوجية في مجمّعات مشروع المياه القطري

في المرحلة القادمة تمر المياه في عملية تعقيم من خلال استعمال مركبين الكلور. يتم التعقيم الأولي من خلال استعمال ثاني أكسيد الكلور، وهو معقم قوي ويتطاير بسرعة.
أما التطهير الإضافي، فإنّه يتم من خلال استعمال كلوريد الأمونيا، وهو معقم ضعيف، لكنه يبقى فعّالاً في شبكة المياه مدة طويلة، وبعد ذلك تمر المياه بعملية ترشيح من خلال مرشحات من الرمل.
وعندما تكون المياه موجودة في مسارها، في مشروع المياه القطري، تتم في السنوات الأخيرة عدة عمليات إضافية تشمل تغطية مجمّعا الماء التي بُنيت – أثناء بناء مشروع المياه القطري – كمجمّعات مفتوحة. على الرغم من هذه العمليات ما تزال مياه المشروع القطري عكرة أكثر مما هو مقبول في الدول الغربية. مع مرور السنين أصبحت معايير التعكر في البلاد أكثر صرامةً، ففي سنة 2001 كان معيار التعكر وحدة واحدة. إنَّ مياه المشروع القطري لا تفي بالمعايير المطلوبة، ومعدل تعكرها 1.2 وحدة تعكر. ولكي تفي هذه المياه بالمعايير المحددة اليوم بموجب القانون، يجب أن تُقام منشأة ترشيح مركزية لمياه المشروع القطري. يطالب مسؤولون مختلفون عن المياه منذ عدة سنوات بإقامة هذه المنشأة. في نهاية سنة 2001، وُجِدَ التمويل المطلوب لإقامة هذه المنشأة التي ستقام في السنوات القريبة.

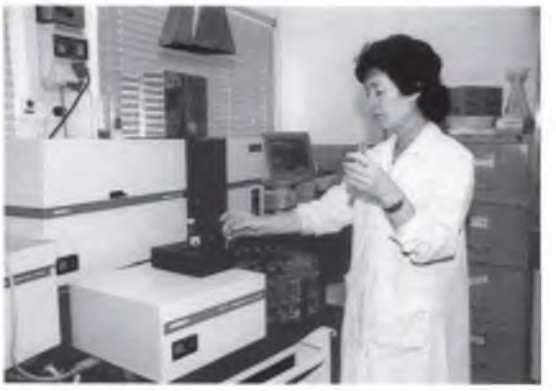
أسئلة

1. كيف تؤثر تغطية مجمّعات المياه على تحسين جودتها؟
2. تقل كمية المواد العضوية في الماء من خلال النظام الحيوي المُراقَب الذي يتم في موقع اشكول. إلى أين "تذهب" هذه المادة؟

رصد مياه الشرب

وزارة الصحة هي التي تُشرف على موضوع مياه الشرب، وهي تُشرف أيضًا على ظروف الوقاية الصحية عند التنقيب عن المياه، وعلى شبكات المياه التي تنقل وتوزع مياه الشرب، وعلى منشآت التعقيم.
لقد تمَّ تحديد وتثبيت معايير جودة مياه الشرب في قانون صحة الشعب – **الجودة الصحية لمياه الشرب** (صيغة مدمجة لسنة 2000). فهذا القانون، يُشير إلى المستويات القصوى المسموحة لعشرات المواد التي قد نجدها في مياه الشرب، ويُشير أيضًا إلى صفات الماء المطلوبة من ناحية وجود الكائنات الحية الدقيقة، وإلى صفات الماء الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية. وقد حدَّد القانون – لمجموعات المواد المختلفة – وتيرة فحوصات مختلفة، مثلاً: يجب فحص وجود كائنات حية دقيقة بوتيرة أكبر من الفحوصات التي تفحص وجود معادن ثقيلة.

شركة مكوروت والسلطات المحلية وغيرها من المؤسسات الخاصة التي تقوم بتزويد المياه، هي المسؤولة عن تنفيذ الفحوصات المطلوبة، وتقع عليها المسؤولية الكاملة في تزويدنا بمياه تفي بالمعايير والشروط المطلوبة. وزارة الصحة، وأقسام المياه، وأقسام الوقاية الصحية في السلطات المحلية هي التي تُشرف على نشاط شركة مكوروت، وعلى السلطات المحلية، والمؤسسات الخاصة التي تزوّدنا بالمياه.



تنفيذ فحوصات مخبرية على مياه الشرب

من حين إلى آخر، وفي أعقاب أبحاث جديدة، ومن منطلق الرغبة في رفع مستوى جودة مياه الشرب، تقوم وزارة الصحة بفرض معايير أكثر صرامةً. وهناك توجه بأن تصبح هذه المعايير مماثلة لتلك الموجودة في أوروبا والولايات المتحدة اللتين تفرضان معايير أكثر صرامة من المعايير الموجودة في إسرائيل.

مكونات الماء	التركيز الأقصى المرغوب	التركيز الأقصى المسموح	التركيز الإلزامي الضروري
بكتيريا قولونية		3 خلايا بكتيريا في 100 لتر ماء	
بكتيريا قولونية في البراز		0 خلايا بكتيريا في 100 لتر ماء	
مركبات النترات	50 ميلغرام في اللتر	70 ميلغرام في اللتر	
مركبات الميثان ثلاثي الهالوجين		100 ميليغرام في اللتر	
زئبق		0.001 ميليغرام في اللتر	
كادميوم		0.005 ميليغرام في اللتر	
كلوريد	250 ميليغرام في اللتر	600 ميليغرام في اللتر	
عُسر (كمية كربيد الكالسيوم $(CaCO_3$	200 ميليغرام في اللتر		
قيمة الـ pH	8.5 – 7.0	9.5 – 6.5	
تعكر		وحدة تعكير واحدة	
كلور فعّال			0.1–0.5 ميليغرام في اللتر

جدول 3.1: معايير مكونات مياه الشرب التي حُدّدت بموجب القانون

قوانين صحة الشعب – الجودة الصحية لمياه الشرب (صيغة مدمجة لسنة 2000).

أسئلة

1. قارنوا بين معالجة المياه الجوفية المطاوبة وبين معالجة مياه الجريان العلوي، اكي تكون المياه صالحة الشرب.
2. في السنوات الأخيرة، يتم التشديد بشكل صارم، من حين إلى آخر، على المقاييس المختلفة لمعايير مياه الشرب. ما هي الاعتبارات التي يجب أن يأخذها المسؤولون بالحسبان عند اتخاذ القرار على أن تكون المعايير أكثر صرامة؟
3. يوجد لمعيار التعكر تأثير كبير على جودة مياه الشرب. لماذا؟
4. أ. ما هي أهمية كَلوَرة (إضافة الكلور) مياه الشرب؟
   ب. ما هي الأضرار الناجمة في أعقاب الكلورة؟ وكيف يمكن تقليلها؟
5. هل يمكن أن نجد مياهًا فيها تلوث واكنها تفي بمعايير مياه الشرب؟
6. كيف يجب على مزوِّد المياه أن يتصرف في الحالات الآتية:
   أ. عندما يكون تركيز مركبات النترات في الماء 60 ميايغرام في الاتر.
   ب. عندما يكون تركيز الكادميوم في الماء 0.006 ميايغرام في الاتر.
   ج. عندما يكون تركيز الكلور في الماء 0.08 ميايغرام في الاتر.

مياه مجاري بيتية

في نهاية استخدام المياه في إسرائيل، فإنّ 20% تقريبًا من مجموع المياه المستهلكة تتدفق إلى شبكة المجاري. وتَنْتُج معظم مياه المجاري من استهلاك المياه البيتي.

تصف الرسمة 1.4 في صفحة 13 استعمالات المياه التي نَتَجت منها **مياه المجاري البيتية**. نلاحظ أن معظم الماء استُعمل للتنظيف، اذا نُسمّي مياه المجاري البيتية **بمياه مجاري صحِّيَّة**. نستعمل كميات مياه كبيرة جدًا، اكي نتخلص من النفايات. إذا فحصنا مكونات مياه المجاري الخام، فإننا نجد أن 99.9% منها مياه، وفقط 0.1 % منها مواد نفايات نريد التخلص منها. الهدف من تطهير مياه المجاري، هو التخلص من مواد النفايات الموجودة فيها. وبهذه الطريقة نمنع المضرّة في البيئة المحيطة التي تسببها المياه الملوثة، وهكذا نُتيح إعادة استعمال المياه المطهرة التي نسمّيها **مياه مجاري مكرّرة**.

يُعتبر استعمال مياه المجاري المكررة أحد الطرق المهمة لتقليص النقص في المياه.

نوع آخر من مياه المجاري، هو مياه **مجاري صناعية**، وهي تختلف بمكوناتها عن مكونات مياه المجاري البيتية، اذا يجب أن لا تتدفق هذه المياه إلى شبكة المجاري، إلا بعد معالجاتها والتخلص من مواد خاصة نَتجت في المصنع. هذه المعالجة، تحوِّلها إلى مياه مجارٍ ذات مكونات تُتيح معالجتها في منشآت التطهير مع مياه المجاري البيتية.

في الحالات التي لا يكون فيها الأمر ممكنًا، يجب على المصنع أن يبني منشأة تطهير خاصة لمياه المجاري التي يُنْتِجها.

الرسمة 3.2: مكونات مياه المجاري الخام (الأوليّة)

الرسمة 3.3: معالجة مياه المجاري في إسرائيل، في سنة 2000
(بحسب مكتب وزارة جودة البيئة الحية (الحيط))

نوع إضافي من مياه المجاري، هو **مياه مجاري زراعية**، حيث تَنْتُج هذه المجاري بالأساس في أماكن اتربية الحيوانات، مثل: حظائر الأبقار وأقنان الدجاج. ومياه هذه المجاري يجب معالجتها بشكل منفصل أيضًا.

الأخطار الصحية والمضرة في البيئة المحيطة الناجمة عن مياه المجاري

تحتوي مياه المجاري على مواد خطيرة كثيرة، ففي مياه المجاري البيتية، يوجد تراكيز عالية جدًا من الكائنات الحية الدقيقة (مثل: البكتيريا والفيروسات)، والكائنات الحية الأخرى والتي قسم كبير منها يسبب أمراضًا. تحتوي مياه المجاري الصناعية (وقسم قليل من مياه المجاري البيتية) على معادن ثقيلة سامة بتراكيز منخفضة، وتحتوي على مركّبات مختلفة، حيث يؤدي قسم منها إلى مرض السرطان. مياه المجاري المتدفقة إلى الوديان والبحيرات، يمكن أن تمنع من استعمال هذه المياه الشرب وللتغسيل، وقد تتغلغل هذه المياه إلى المياه الجوفية، وتوثر سلبًا على جودتها.

يتضرر النظام البيئي في مجمّعات المياه الملوثة، وإضافةً إلى ذلك، لا نستطيع أن نستعمل هذه المجمّعا كمواقع للاستجمام وكمناظر طبيعية.

عمليات تطهير مياه المجاري البيتية

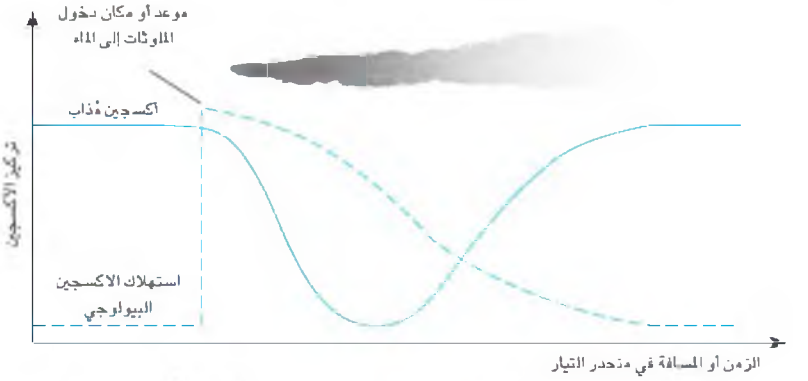
عمليات تطهير طبيعية – إذا تدفقت مياه المجاري إلى بحيرة أو نهر، فإنّ عملية التطهير الطبيعية لمياه المجاري، تبدأ من خلال المحللات الموجود في الماء، وهذا بشرط أن لا تحتوي مياه المجاري على مواد سامة. إذا كانت الظروف مناسبة، فإنّ المحللات تستخدم المواد العضوية الموجودة في مياه المجاري كمواد غذائية تُستَوْعَبُ في أجسامها وذلك أثناء عملية التنفس (إنتاج طاقة من الغذاء)، وهكذا تتحول معظم المواد إلى مواد غير عضوية بسيطة.

في بداية العملية، يؤدي تدفق مياه المجاري إلى ارتفاع حاد في تركيز المواد العضوية – في مجمّعا المياه– التي تُستعمل كغذاء المحلِّلات. وفي أعقاب ذلك، تزداد في هذه المرحلة عشيرة المحلِّلا الهوائية، وخلال فترة قصيرة جدًا تنخفض كمية الأكسجين في الماء فتختفي المحلِّلات الهوائية. ففي هذه الحالة، تصبح الظروف مناسبة للبكتيريا اللاهوائية التي تستطيع أن تستعمل المواد العضوية – الموجودة في مياه المجاري – كغذاء في حالة نقص الأكسجين أيضًا (وهذه هي عملية الإثراء الغذائي

الذي تحدثنا عنه في صفحة 19).

مع مرور الزمن، إذا لم تتدفق مياه مجارٍ إضافية إلى مجمعات المياه، فإنّ ذلك يؤدي إلى انخفاض كمية المواد العضوية في الماء، ويكون الغذاء قليل البكتيريا اللاهوائية، لذلك تقل كميتها. وبالموازاة تنمو طحالب في الماء، وهي تقوم بإنتاج أكسجين، وهكذا تَنتج ثانية ظروف هوائية في الماء. وهذا الوضع يساعد على عودة البكتيريا الهوائية وتختفي الروائح الكريهة.

إنّ إعادة الظروف الهوائية، تساعد مع مرور الوقت في تكوين ظروف مناسبة لتطور وانشاط كائنات حية متطورة، مثل: السرطانات وبعد ذلك الأسماك. فكلما تقدمت العملية، يقل تركيز المواد العضوية في الماء وتتحسن جودته.



الرسمة 3.4: تركيز الأكسجين واستهلاك الأكسجين البيولوجي في مجمّع مياه تمّ تلويثه مرة واحدة

تتم عملية التطهير الطبيعية التي وصفناها دون تَدَخُّل الإنسان، وهي تستمر فترة زمنية طويلة بشرط أن لا تتدفق مياه مجارٍ جديدة إلى مجمّع الماء. تقوم الطرق التكنولوجية المختلفة لتطهير مياه المجاري باستغلال العمليات البيولوجية الطبيعية، وهي تؤدي إلى تكوين ظروف مناسبة لهذه العمليات، وتساعد على حدوثها بوتيرة سريعة.

أسئلة

1. ارسموا رسمًا تخطيطًا، بحيث يصف ويلخص عمليات التطهير الطبيعية التي تتم في مجمّع مياه تدفقت إليه مياه مجارٍ مرة واحدة فقط.
2. ماذا يحدث لجودة مياه النهر الذي تتدفق إليه مياه مجارٍ مدنية:
   أ. في مكان التدفق العلوي في النهر؟
   ب. في أماكن مختلفة من منحدر النهر؟

3. مياه المجاري التي تتدفق إلى مجمّعات المياه تمر بعملية تطهير بطريقة طبيعية.
اشرحوا، لماذا لا يمكن أن تكون هذه العملية حلاً ثابتًا لمشكلة مياه المجاري؟
4. ما هي المكونات الموجودة في مياه المجاري الصناعية، والتي تستطيع أن تمنع من عملية التطهير البيولوجية في مياه المجاري؟

مكونات مياه المجاري: يوجد ثلاثة مكونات أساسية في مياه المجاري الخام (الأولي):

- **مواد صلبة**، وهي تشمل الرمل، بقايا المواد العضوية، البكتيريا، الفيروسات، بقايا صلبة من مواد التنظيف والصلصال[1].

نُصنّف المواد الصلبة بحسب كبرها إلى ما يلي:

جسيمات ذات قطر يفوق الميكرومتر الواحد، وكتلتها تساعدها على أن تَرْسُبَ في مياه هادئة (بسرعة أعلى من 0.3 سم في الساعة)، هذه الجسيمات نسمّيها **مواد صلبة عائمة**. أما الجسيما التي قطرها أقل من ذلك، ووتيرة رسوبها منخفضة جدًا نسمّيها **كولوئيدات** (مادة غرائية أو هلامية).

- **مواد مُذابة**، وهي تشمل بالأساس أملاحًا مختلفة، مركّبات عضوية ذات ذائبية، وغازات ذات ذائبية، مثل: الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.
- **سوائل لا تختلط بالماء**، مثلاً: الزيو

يوجد مقياسان مهمان لوصف جودة مياه المجاري.

الأول هو استهلاك الأكسجين البيولوجي الذي يصف كمية المادة العضوية في الماء، حيث إن معدل استهلاك الأكسجين البيولوجي في مياه المجاري الخام (الأولي) في البلاد هو 400 ميلغرام في اللتر.

مياه المجاري

[1] الصلصال – جسيمات تربة وصخور صغيرة جدًا.

والمقياس الثاني، هو تركيز المواد الصلبة العائمة (TSS)، ومعدله في مياه المجاري الخام (الأولي) هو 450 ميليغرام في اللتر تقريبًا. نعرض في الجدول الآتي، مجال التراكيز التي تميّز هذين المقياسين ومقاييس أخرى في مياه المجاري الخام (الأولي). عند إجراء تطهير لمياه المجاري، يجب تخفيض هذه القيم بقدر الإمكان. معايير وزارة الصحة للمياه المكررة هي: استهلاك الأكسجين البيولوجي بتركيز

المكون	مجال التركيز* (ميليغرام في اللتر)	معدل التركيز (ميليغرام في اللتر)
استهلاك الأكسجين البيولوجي BOD	600-280	400
استهلاك الأكسجين الكيماوي COD	1800-600	
مواد عائمة TSS	580-250	450
مركبات النيتروجين (ك – N)	120-40	
مركبات الفوسفور (ك – P)	18-5	
كلوريدات	500-120	
بكتيريا قولونية في الليتر	6×10^{8}-10^{7} (وحدات في 100 مل)	

* مجال التركيز واسع، لأنه في مياه المجاري البيتية يحدث تخفيف لمياه المجاري الصناعية. وبحسب تغيّر مكونات مياه المجاري الصناعية، فإنّ مكونات مياه المجاري تتغير أيضًا.

جدول 3.2: المكونات الأساسية في مياه المجاري الخام (الأولي).
(بحسب مياه المجاري والمياه المكررة، أخذ من "سُلم الأولويات الوطنية في مجال جودة البيئة المحيطة"، مؤسسة شموئيل نئمان 1999).

20 ميليغرام في اللتر، ومواد صلبة عائمة بتركيز 30 ميليغرام في اللتر.

التكنولوجيا لمعالجة مياه المجاري: تشمل عملية التطهير أربع مراحل:

معالجة مُسبقة: التخلص من الأجسام الكبيرة كأكياس النايلون والأخشاب.

معالجة أوّلية: التخلص من المواد العائمة من خلال ضخ مياه المجاري إلى برك ترسيب، حيث تكون المياه فيها ساكنة ودون حركة.

معالجة ثانوية: تقوم البكتيريا بتحليل المواد العضوية الموجودة في مياه المجاري، ويتم فصل المواد الصلبة التي نتجت – في هذه المرحلة – عن المياه.

معالجة ثالثة: تعقيم المياه المكررة وإجراء معالجة إضافية لتحسين جودتها.

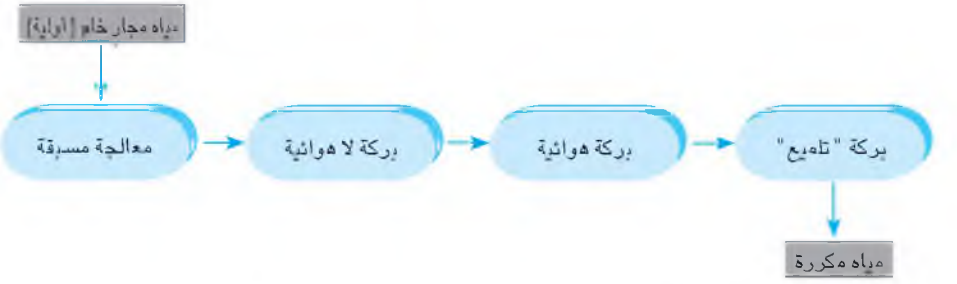
عند استعمال الطرق التكنولوجية المختلفة، فإننا نستعمل وسائل مختلفة في كل مرحلة. يوجد طرق تكنولوجية، لا نُنفّذ فيها جميع المعالجات، وأحيانًا نتنازل عن المعالجة الثالثة، لكي نوفّر في التكاليف.

في البلاد، نعالج مياه المجاري من خلال طريقتين تكنولوجيتين أساسيتين وهما: برك الأكسدة والحمأة المنشّطة (الفعّالة).

برك الأكسدة : في بركة الأكسدة، تتم في البداية المعالجة المُسبقة التي من خلالها نُبعد عن الماء الأجسام الكبيرة، حيث يتم ذلك من خلال شبكة قضبان حديدية[1]. نُجمِّع هذه الأجسام ونُبعدها إلى أماكن خاصة الطمر. بهذه الطريقة: لا ننفِّذ المعالجة الأولية، والمياه تمر مباشرة إلى مرحلة المعالجة الثانوية التي تتم في ثلاث برك مفتوحة.

تتدفق مياه المجاري ببطء وبشكل متواصل من بركة إلى أخرى بتأثير قوة الجذب التثاقلي.

بُنيت البرك وأنابيب التوصيل من بركة إلى أخرى بطريقة تساعد على أن يكون الزمن المطلوب – لبقاء مياه المجاري في كل بركة – مناسبًا للزمن المطلوب لإكمال العملية التي تتم في كل بركة.



الرسمة 3.5 : تطهير مياه المجاري من خلال برك التأكسد

البركة الأولى، هي **بركة لا هوائية** عمقها من 3–7 أمتار، وإليها تتدفق مياه المجاري الخام (الأولي). تركيز المواد العضوية في هذه البركة عال جدًا، حيث تحدث فيها عمليات تحليل لا هوائية. وتبقى مياه المجاري في هذه البركة لمدة 5 أيام، وخلال هذه الفترة، تنخفض كمية المواد العضوية بنسبة 50% تقريبًا، وتنخفض كمية المواد الصلبة العائمة بنسبة 60 % تقريبًا.

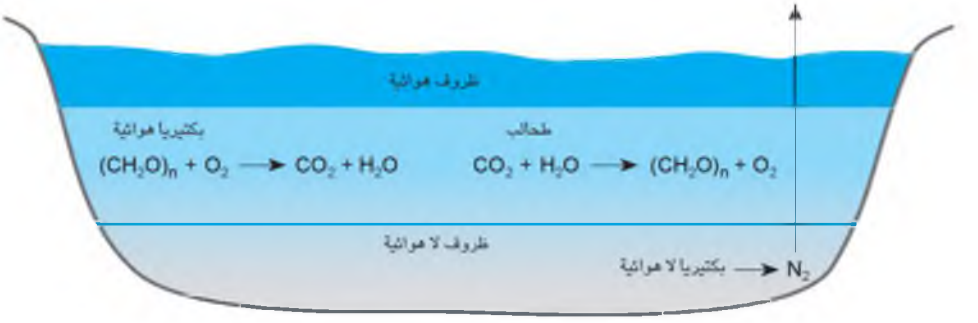
البركة الثانية، هي **بركة هوائية** عمقها من 1–3 أمتار.

تبقى مياه المجاري في هذه البركة لمدة 20 يومًا، وخلال هذه الفترة، تنمو طحالب في البركة. تُنْتِج الطحالب – من خلال عملية التركيب الضوئي – الأكسجين الذي تستخدمه البكتيريا الهوائية. وتُطلق البكتيريا – خلال التنفس – ثاني أكسيد الكربون، وتؤدي إلى تحليل المواد العضوية، والى إطلاق مواد غير عضوية. والطحالب تستخدم ثاني أكسيد الكربون والمواد غير العضوية. وهكذا تتم علاقة تبادلية بين الطحالب والبكتيريا. خلال النهار، تَنْتُج في البركة كمية أكسجين كبيرة جدًا، حيث يصل تركيزها على سطح الماء إلى 300 % مقارنة مع تركيز الإشباع. أما في ساعات الليل، تقل كمية الأكسجين خلال عملية التركيب الضوئي، وعند شروق الشمس، يمكن أن تكون في البركة ظروف لا هوائية. بما أن الطحالب تعيش بالقرب من سطح الماء ، اذا في أسفل البركة، وعلى ارتفاع 50 سم، تسود عادة

[1] في شبكة القضبان الحديدية، يصل البُعد بين القضبان إلى بضع سنتمترات، حيث تمر مياه المجاري من خلاله.

ظروف لا هوائية، وهذا الوضع مرغوب به، لأنه في هذه الظروف، تستطيع أن تعمل بكتيريا **الزنترة** بنجاعة، وذلك في القسم السفلي من البركة. هذه البكتيريا، تقوم بتحليل الأمونيا (NH_3)، ومركبات النترات (NO^-_3)، والنيتريت (NO^-_2)، وهكذا تُطلق نيتروجين (N_2) غير ضار إلى الهواء.

في المياه التي تخرج من البركة الهوائية، يقل استهلاك الأكسجين البيولوجي بنسبة 95% تقريبًا مقارنة مع مياه المجاري الخام. ويقل تركيز المواد الصلبة العائمة بنسبة 90% ، وفي هذه المرحلة، معظم المواد الصلبة، هي الطحالب التي نمت في الماء، وليس المواد الصلبة التي كانت في مياه المجاري الخام. يمكن إبعاد الطحالب من خلال الترشيح لتحسين جودة المياه لدرجة يكون فيها تركيز المواد الصلبة العائمة 30 ميليغرام في اللتر.



الرسمة 3.6 : *العمليات الأساسية التي تحدث في بركة تأكسد هوائية*

بركة تأكسد

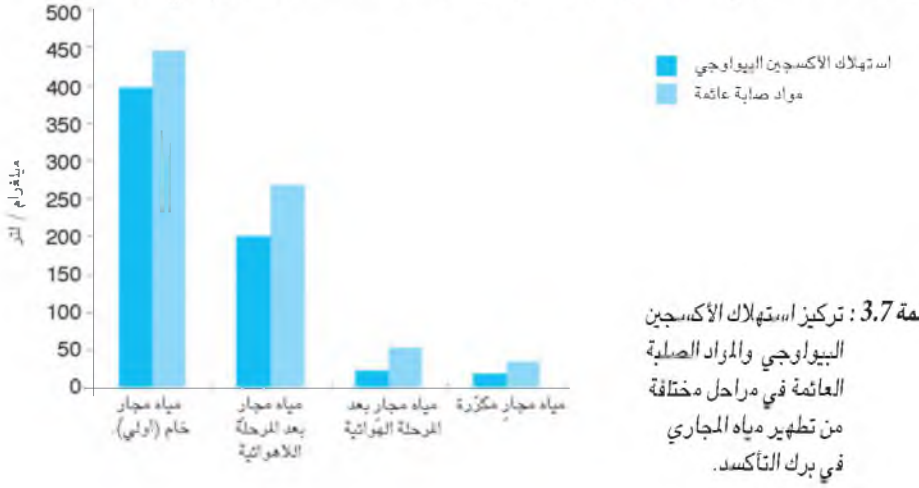
البركة الثالثة، نسمّيها **بركة "المعالجة النهائية"**، حيث يصل عمقها من نصف متر تقريبًا إلى متر واحد. والهدف الأساسي من هذه البركة، هو تقليل إضافي من كمية المواد العضوية، والأمونيا، والنتيريت في الماء.

يوجد في البركة ظروف تُساعد على زيادة نشاط بكتيريا **النترجة**.

هذه البكتيريا، تقوم بتحليل الأمونيا والنيتريت – اللذان يعتبران مادتين سامتين – إلى نترات. ويعتبر وجود المادة الأخيرة في الماء أقل ضررًا. وتبقى المياه في هذه البركة لمدة أسبوع واحد تقريبًا.

في نهاية العملية، نحصل على مياه مجاري مكرّرة.

وعلى الرغم من أن كمية المواد العضوية فيها قليلة، إلا أن هناك خوفًا من أن تكون فيها بكتيريا ضارة ومسببة لأمراض. ولإبادة هذه البكتيريا، نستعمل عادةً الكلور. هذه المرحلة، هي المرحلة الثالثة التي نضخ فيها مياه المجاري المكرَّرة إلى الوديان، أو إلى مجمّعات ماء تستعمل الري في الزراعة.



الرسمة 3.7 : *تركيز استهلاك الأكسجين البيولوجي والمواد الصلبة العائمة في مراحل مختلفة من تطهير مياه المجاري في برك التأكسد.*

من الجدير بالذكر، أنه ليس في جميع الأماكن تتم العملية بهذا الشكل بالضبط. يوجد أماكن، لا توجد فيها البرك الثلاث. أحيانًا لا يبذون البركة اللاهوائية، لكي يمنعوا من مضرَّة الروائح الكريهة في المنطقة. وفي حالات أخرى، لا يبذون بركة "المعالجة النهائية"، لكي يقللوا من التكاليف. وبالطبع عندما ينقص أحد أقسام المعالجة، فإنّ جودة مياه المجاري المكرّرة التي تَنْتُج تكون منخفضة.

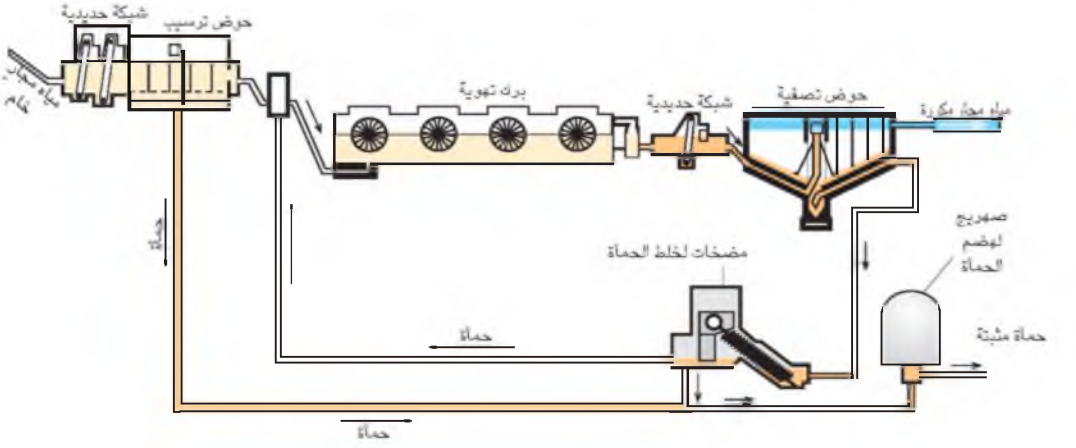
في بعض الأحيان، عندما نريد أن نُنشّط العملية في البرك الهوائية، فإنّنا نضيف مراوح في البركة، لكي يدخل الهواء في ساعات الليل إلى البركة، لأنه في هذه الساعات يكون تركيز الأكسجين منخفضًا.

يوجد عدة ايجابيات لاستعمال برك التأكسد: الايجابية الأساسية أن تكلفة بنائها وتشغيلها رخيصة. وصيانة تشغيلها قليلة، ولا تحتاج إلى قوى عاملة كثيرة، ولا تحتاج العملية إلى استعمال طاقة.

السلبية الكبرى أن هذه المنشآت تحتل مساحات أراضٍ كبيرة، وإذا أقيمت بالقرب من بلدان ومجمعات سكنية، فهناك خوف أن تؤدي الروائح إلى أضرار.

إضافة إلى ذلك، تنخفض نجاعة العملية في برك الأكسدة، في فصل الشتاء، وخاصة في الأيام التي يكون فيها الطقس باردًا وغائمًا.

الحمأة المنشّطة (الفعّالة): من خلال هذه الطريقة، تتم عملية تطهير مياه المجاري بسرعة كبيرة جدًا (وتنتهي كل العملية خلال أقل من يوم واحد). وفي هذه العملية، ندمج عمليات فيزيائية وعمليات بيولوجية. تابعوا الشرح من خلال الرسمة الآتية.



الرسمة 3.8 : عملية تطهير مياه مجار بطريقة الحمأة المنشّطة

بعد المعالجة المسبقة التي تشبه برك التأكسد، تتم المعالجة الأولية. نقوم بضخ مياه المجاري إلى أحواض الترسيب التي ترسب في أرضيتها المواد العائمة، ويَنْتُج مخلوط ازج نسمّيه **حمأة**، وتطفو وتتراكم مواد دهنية على سطح الماء. وبعد ساعتين، يتم ضخ المياه إلى المعالجة الثانوية، حيث تُبعد عادةً المواد التي تطفو إلى أماكن طمر خاصة. تُنقل الحمأة التي نَتَجت في الأرضية إلى معالجة في صهاريج لهضم الحمأة (انظروا إلى هضم الحمأة فيما بعد، في صفحة 96). في نهاية هذه المرحلة، ينخفض استهلاك الأكسجين البيولوجي في الماء بنسبة 50% تقريبًا، وتنخفض المواد الصلبة العائمة بنسبة 60% تقريبًا، وهذا مقارنة مع تركيزها في مياه المجاري الخام. تتم المعالجة البيولوجية في مرحلة المعالجة الثانوية، حيث يتم ضخ المياه إلى برك التهوية التي تعمل فيها مراوح كبيرة، وتقوم هذه المراوح بإدخال هواء إلى الماء، وتحافظ على تركيز أكسجين عالٍ فيها. إنَّ ظروف الإشباع العليا للأكسجين، تُتيح البكتيريا الهوائية أن تنمو وتستغل المواد العضوية الموجودة في الماء كغذاء. فمن خلال عملية تنفس البكتيريا، يتحول قسم كبير من المواد العضوية الموجودة في الماء إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. لزيادة نمو عشيرة البكتيريا ولتحسين نجاعة العملية، فإنّهم يثرون – في هذه الفترة – الماء بالحمأة التي تكونت في حوض التصفية (انظروا فيما بعد).

ومن هنا سُميت العملية "**بالحمأة المنشّطة**" (حمأة فعّالة). البكتيريا التي تتغذى على المادة العضوية، تميل في هذه المرحلة إلى أن تُنْتِج كتل من البكتيريا العائمة على الماء.

وبعد أن تبقى المياه في هذه المعالجة لمدة 10–15 ساعة، فإنّ المياه تُنقل إلى حوض نسمّيه حوض التصفية. تقف المياه في هذه الأحواض، وترسب الكتل التي كونتها البكتيريا إلى الأرضية، وهكذا

تتكون الحمأة. المياه التي تبقى في حوض التصفية، بعد أن ترسب البكتيريا، هي مياه المجاري المكررة، وهي تحتوي على أقل من 5% من المواد العضوية التي كانت في مياه المجاري الأصلية. وبعد ذلك، نقوم بإعادة نِصف الحمأة (التي رسبت في حوض التصفية، والتي تحتوي على بكتيريا) إلى بركة التهوية لدورة إضافية من تطهير الماء كما وصفنا في المرحلة السابقة. أما باقي الحمأة، فإنها تُنقل إلى صهريج لهضم الحمأة.

برك تهوية

في المرحلة النهائية (المعالجة الثالثة)، تمر المياه بعملية تعقيم، لكي نضمن عدم وجود بكتيريا ضارة ومسببة للأمراض.

كما هو الأمر في برك التأكسد، ففي هذه العملية نستعمل الكلور أيضًا، لكن توجد طرق أخرى، مثلاً: في المنشأة التي تطهر مياه مجاري منطقة دان، فإنهم يطهرون الماء من خلال إدخالها إلى إكفيفرات في رمال يقنه. وبعد سنة، نحصل على مياه ذات جودة عالية، حيث تُضخ هذه المياه من الإكفيفرات إلى الأراضي الزراعية في النقب.

حوض تصفية

تجديد في عملية التطهير – استعمال مصاف بدلاً من استعمال أحواض التصفية

إحدى المشاكل الشائعة في عماية الحمأة المنشّطة، أن الترسيب لا يتم بنجاعة أحيانًا، في حوض التصفية، وعادةً يكون السبب أنه لا تكون – في أحواض التهوية – كتل بكتيريا كافية، لكي ترسب بسرعة. يمكن أن تحدث هذه الظاهرة، إذا تأقلمت في عماية تطهير المجاري بكتيريا ذات مبنى خيطي تطفو على سطح المياه المكرّرة، مما يؤدي ذلك إلى أنَّ قسمًا من البكتيريا التي تصل حوض التصفية لا ترسب، وجودة مياه المجاري المكررة – في الحاوية – تكون منخفضة.

في السنوات الأخيرة، تمّ تطوير تكنولوجيا جديدة، حيث نستعمل فيها مصافٍ بدلاً من حوض التصفية. المياه التي تخرج من حوض التهوية، يتم ضخها عبر مصافٍ تقوم بتصفية وإبعاد المواد الصلبة العائمة. إنَّ نجاعة هذه العماية عالية جدًا، ويمكن من خلالها الحصول على مياه مجاري مكررة ذات جودة عالية (استهلاك أكسجين بيولوجي من 1–2 ميليغرام في الاتر، ومواد صلبة عائمة بتركيز 1 ميليغرام في الاتر).

حتى الآن (عام 2001)، لا تُستعمل هذه الطريقة في البلاد، لكن يفحص المسؤولون إمكانية تطبيق هذه التكنولوجيا في إحدى منشآت التطهير الجديدة التي سيتم بناؤها في منطقة القدس.

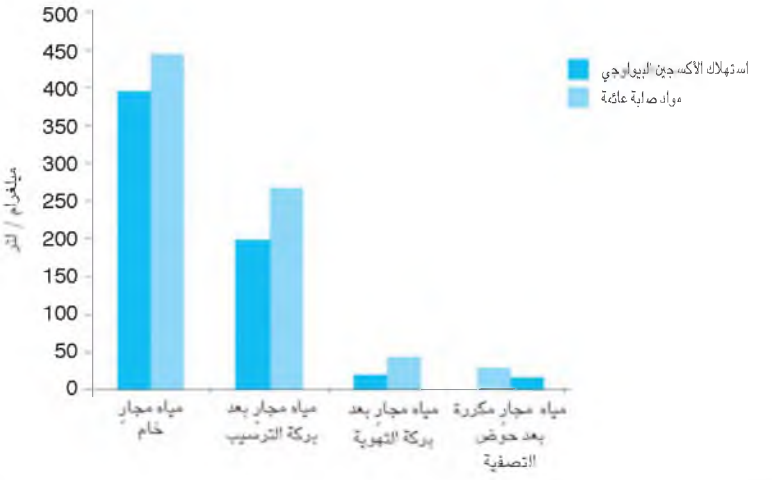
أسئلة

1. ماذا يحدث لاستهلاك الأكسجين البيولوجي في المياه المكررة – من خلال عماية تطهير مياه المجاري– عندما تتأقلم في مياه المجاري بكتيريا لا ترسب؟
2. أ. ما هي الظاهرة الفيزيائية المستغلة للحصول على مياه مجارٍ مكررة في حوض التصفية، وفي المصافي؟

   ب. ما هي – بحسب رأيكم – الطريقة الأبسط والأرخص؟

كما ذكرنا، تُنقل الحمأة المنشّطة التي نَتجت في عماية التطهير إلى حاويات لهضم الحمأة. والحمأة التي تدخل إلى هذه المرحلة تحتوي على 95% ماء تقريبًا، وعلى 5% مواد صلبة معظمها مواد عضوية تحتوي على بكتيريا وفيروسات ضارة ومسببة للأمراض.

في المرحلة الأولى من عماية هضم الحمأة، نقوم بإخراج معظم المياه من الحمأة، وبعد ذلك نُدخلها إلى حاويات مغلقة فيها ظروف لا هوائية. المحللات اللاهوائية، تستعمل الحمأة كغذاء، وتُنْتِج خلال عماية التنفس كمية كبيرة جدًا من غاز الميثان (CH_4). وهذا الغاز يمكن استعماله كمصدر طاقة لتشغيل مولدات لإنتاج الطاقة الكهربائية. تتم هذه العماية في منشآت تطهير كثيرة، وكمية الكهرباء التي تَنْتُج، يمكن أن تكون كافيةً لتزويد أكثر من نِصف الاستهلاك الكهربائي لمنشأة التطهير.



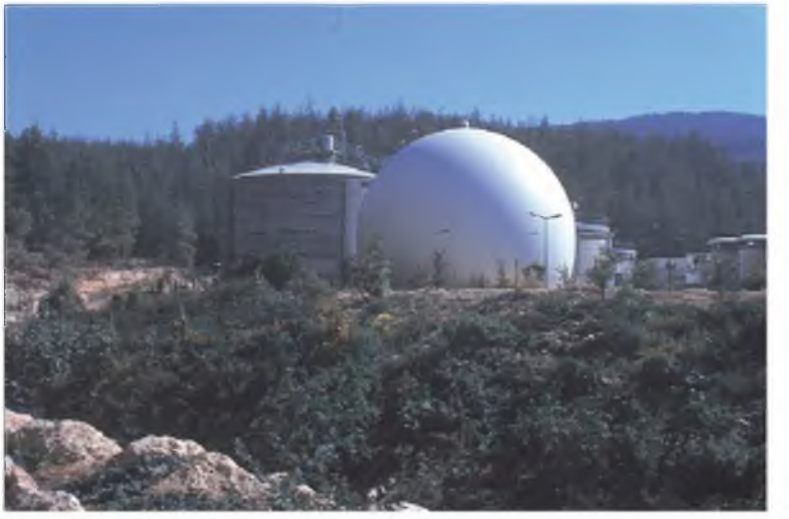
الرسمة 3.9: *تركيز استهلاك الأكسجين البيولوجي وتركيز المواد الصلبة العائمة في المراحل المختلفة من عملية "الحمأة المنشّطة"*

يتم استغلال قسم من الطاقة لتسخين الصهاريج التي أُعدت لهضم الحمأة، حيث يتم تسخينها إلى 38°C، وهي درجة الحرارة القصوى لنشاط المحللات.

ظروف الحياة في صهريج هضم الحمأة غير جيدة لمعظم الكائنات الحية الضارة والمسببة للأمراض، اذا فهي تموت في هذه الظروف. بعد 6–8 أسابيع تقريبًا، نُخرج الحمأة التي بقيت، ونقوم باستعمال آلات لإخراج الماء منها الذي يشكل 75% من حجمها. الحمأة التي مرَّ بعملية الهضم، نسمّيها **حمأة مثبتة**. في هذه الحمأة، تكون كمية المادة العضوية أقل من 50% تقريبًا من المادة التي كانت في بداية العملية، والمواد التي تبقى فيها، يكون من الصعب تحليلها في ظروف لا هوائية. تحتوي الحمأة المثبتة على كميات كبيرة من مواد التغذية (مركبات النترات ومركبات الفوسفات)، اذا يمكن استعمالها اتسميد نباتات لا تُستعمل للأكل. ويمكن أيضًا إجراء مرحلة إضافية لمعالجة الحمأة، اكي تكون مناسبة لجميع أنواع النباتات الزراعية، حيث تتم إبادة الكائنات الحية الضارة والمسببة للأمراض من خلال البسترة (تسخين الحمأة في درجة حرارة 70°C)، أو معالجة الحمأة بمواد كيماوية.

إمكانية أخرى لاستخدام الحمأة المثبتة، هي تحضير **سماد الكومبوست**، حيث نخلط الحمأة المثبتة مع نشارة خشب، ونقوم بتحضير المخاوط بأكوام، ونقلبها كل عدة أيام بمساعدة آلات. وتقوم نشارة الخشب بامتصاص الماء، وتستمر المحللات بتحليل المواد العضوية في المخاوط، حيث تصل درجة حرارة الأكوام إلى 60°C بسبب عملية تنفس المحللات. وهكذا تتم إبادة الكائنات الحية الضارة ومسببة الأمراض.

السماد الذي نحصل عليه في هذه العملية يكون غنيًا بالمواد الغذائية، وهو مناسب لمعظم النباتا الزراعية (يمكنكم القراءة بتوسع عن عملية إنتاج الكومبوست في صفحة 225).



صهريج لهضم الحمأة

عماية الحمأة المنشّطة، هي العماية الفضلى اليوم عند المؤسسات المسؤولة عن بناء منشآت تطهير جديدة. حسنات الطريقة: تطهير مياه المجاري سريع نسبيًا، مساحة المنشآت صغيرة وتأثير حالة الطقس على أدائها قليل. أما السيئات الأساسية الطريقة: تكلفة بناء وتشغيل المنشآت غالية جدًا، تحتاج العماية إلى استعمال طاقة كثيرة (تشغيل مراوح، مضخات وتسخين الحمأة وغير ذلك) وتحتاج إلى عدد كبير من العاملين لصيانة وتشغيل المنشآت.

استعمال مياه مجارٍ مكرَّرة

تُنْتِج منشآت التطهير في إسرائيل – في كل سنة – حوالي 400 مليون متر مكعب من مياه المجاري المكرَّرة، وهذه الكمية ستزداد في السنوات القادمة مع زيادة تعداد السكان.

إنّ استعمال مياه المجاري المكررة، هو إضافة كبيرة لكمية المياه في البلاد (انظروا إلى جدول 2.1 صفحة 34). عند تخطيط استعمال المياه للسنوات القادمة، نلاحظ أن كمية مياه المجاري المكررة التي تُستهلك في الزراعة ستكون كبيرة جدًا (أكثر من 40%). والمياه الجيدة التي نوفّرها في أعقاب ذلك، تُستغل في القطاع المدني والذي طلبه الماء يزداد مع مرور الوقت. الخطر الأساسي في استعمال مياه المجاري المكرَّرة الري، يكمن في استهلاك المحاصيل الزراعية التي قد تصاب بالأمراض، وهذه المياه تُشكل أيضًا خطرًا على العمال الذين يستعملونها الري. ولكي نمنع هذا الخطر، يجب أن تكون مياه المجاري المكرَّرة بجودة عالية. ويجب استخدام وسائل حذر إضافية، مثلاً: طلاء أنابيب مياه المجاري المكرَّرة بلون أحمر، لكي يحذر الناس منها ولئلا يستعملونها. وعندما نستعمل مياه مجارٍ مكرّرة ذا جودة منخفضة، يجب الاهتمام أن تُستعمل هذه المياه في حقول بعيدة عن أماكن السكن.

نلاحظ في الجدول الآتي، أن المزروعات المختلفة تحتاج كل منها إلى جودة مياه مجارٍ مكرَّرة تختلف عن الأخرى.

	قطن، أعلاف جافة، بذور، ري بتا وغابة	مرعى أخضر، زيتون، قسطل، خضريات، موز، لوز وما شابه[1]	أشجار فواكه غير دائمة الخضرة، خضروات تؤكل بعد الطهي، مساحات خضراء[2]	خضروات تؤكل دون طهي، حدائق عامة
استهلاك الأكسجين البيولوجي ملغم/لتر	60	5	35	15
مواد عالقة ملغم/لتر	50	-	30	10
بكتيريا قولونية في 100 مل	-	-	أقل من 250	أقل من 12

[1] الأراضي التي تسقيها، يجب أن تكون على بُعد 300 م على الأقل عن المناطق السكنية، وعن الشوارع المُعبدة.
[2] يجب التوقف عن الري قبل القطف بأسبوعين على الأقل، ويجب أن لا تأخذ ثمارًا عن الأرض.

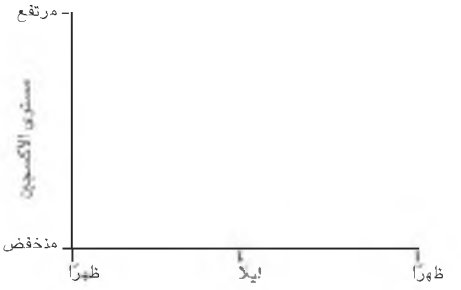
جدول 3.3 جودة مياه مجاري مكرَّرة

(بحسب مياه المجاري العادمة، ومياه المجاري المكرّرة، في سُلّم الأولويات الوطنية في مجال جودة البيئة المحيطة، مؤسسة سموئيل نئمان 1999)

إنّ ملوحة مياه المجاري المكرَّرة، هي عامل إضافي يجب أن يؤخذ في الحسبان. ومن المعروف أن ملوحة مياه المجاري المكرَّرة في إسرائيل عالية (أحد الأسباب هو معالجة اللحوم، لكي يصبح أكلها حلالاً)، حيث يصل معدل الكلوريد فيها إلى 300 ملغم في اللتر. لذا يجب استعمال مياه المجاري المكرَّرة في حقول فيها "شطف" التربة الماء جيد، وتغلغل المياه إلى المياه الجوفية قليلاً. لذا يقترح المختصون أن لا نستعمل مياه المجاري المكرَّرة في مناطق تقع فوق اكفيفر الشاطئ، لأن التربة في هذه المناطق رملية وتغلغل مياه الري إلى المياه الجوفية كبير.

أسئلة

1. يعتبر استهلاك الأكسجين البيولوجي، وتركيز المواد العائمة في الماء من المقاييس المركزية التي تُستعمل لوصف جودة مياه المجاري. اشرحوا السبب.
2. في برك التأكسد، عمق البركة الهوائية محدود إلى 3 م. أما عُمق البركة اللاهوائية فهو غير محدود. اشرحوا السبب.
3. لماذا تحدث خلال النهار حالة "فوق الإشباع" في الأكسجين في برك التأكسد؟
4. لماذا تنخفض نجاعة تطهير مياه المجاري في الأيام الباردة والغائمة؟
5. انسخوا الرسم التخطيطي من الصفحة القادمة، ثم ارسموا فيه مستوى الأكسجين المتوقع في القسم العلوي للبركة الهوائية خلال اليوم:
   أ. في يوم من أيام الصيف.
   ب. في يوم من أيام الشتاء البارد والغائم.



6. كيف تتأثر – بحسب رأيكم – جودة مياه المجاري المكرَّرة التي نحصل عليها من برك التأكسد في الحالات الآتية:
   أ. تعمل البرك دون البرك اللاهوائية.
   ب. تعمل البرك دون برك التلميع.
   ج. تصل مياه مجارٍ صناعية إلى البرك.
   د. حالة الطقس باردة وغائمة لمدة 4 أيام متتالية.
7. إنّ عملية تطهير مياه المجاري بواسطة الحمأة المنشّطة، هي قصيرة جدًا. لماذا؟
8. عندما لا نُنفِّذ عملية تطهير مياه المجاري من خلال الحمأة المنشّطة بالشكل المطلوب، فإن جودة مياه المجاري المكرَّرة تنخفض. اشرحوا، لماذا يحدث ذلك في كل حالة من الحالات الآتية:
   أ. لا يُنفَّذ علاج أولي.
   ب. يحدث خلل يؤدي إلى تعطيل عمل المراوح.
   ج. لا تعود الحمأة من حوض التصفية إلى برك التهوية.
   د. نُقصر وقت المكوث في حوض التصفية.
9. أ. لماذا من المهم معالجة الحمأة؟
   ب. ما هي إمكانيات استعمال الحمأة؟
10. تمعنوا في الجدول 3.3، ثم اذكروا الحالات التي تحتاج إلى جودة مياه مجاري مكرَّرة جيدة. اشرحوا السبب.
11. أ. ما هي حسنات استعمال مياه المجاري المكرَّرة؟
    ب. ما هي سيئات استعمال مياه المجاري المكرَّرة؟ وكيف يمكن تقليلها؟
12. تصف الرسمتان 3.7 وَ 3.9 التغيُّرات في استهلاك الأكسجين البيولوجي، وفي المواد الصلبة العائمة في برك الأكسدة، وخلال عملية الحمأة المنشّطة. قارنوا – من خلال هاتين الرسمتين – بين نجاعة التطهير بالطريقتين.
13. في مياه المجاري، يوجد بكتيريا تقوم بعملية التطهير. من أين "وصلت" هذه البكتيريا؟

مياه مجارٍ صناعية

مكونات مياه المجاري

يمكن تصنيف الملوثات التي تَنْتُج في مياه المجاري إلى عدة مجموعات أساسية:

معادن ثقيلة: تَنْتُج مياه المجاري التي تحتوي على معادن ثقيلة – بالأساس – من مصانع المعادن، ومن عمليات إنتاج مختلفة في الصناعات الثقيلة. المعادن الثقيلة سامة، اذا وجودها في الماء، قد يُبطل استعمال الماء، وقد يشوش على عمل منشآت التطهير التي تُعالج مياه المجاري البيتية.

مثلاً: في المصانع التي تطلي معادن، تَنْتُج مياه مجارٍ تحتوي على كميات قليلة من معدن الكادميوم. يكفي أن يصل 1 كغم من الكادميوم إلى المياه الجوفية، لكي ذلغي استعمال 200،000 متر مكعب من مياه الشرب، ومن المعروف أن هذه الكمية تكفي لاستهلاك مدينة صغيرة في إسرائيل لمدة سنة.

ملوثات عضوية: في الصناعات المختلفة، وبالأساس في الصناعات الكيماوية، مثل: صناعة الدُّهان، الأدوية ومواد لمكافحة الآفات الزراعية، تَنْتُج مياه مجارٍ تحتوي على مواد عضوية، ومن المعرف أن قسمًا من هذه المواد سامة وتسبب مرض السرطان. أما في صناعة المواد الغذائية، تَنْتُج مياه مجارٍ ليست سامة، لكن كمية المواد العضوية فيها أكثر بكثير من مياه المجاري البيتية، اذا تدفق هذه المجاري إلى شبكة المجاري العادية، يؤدي إلى خلل وتشويش في عمل منشآت التطهير.

مثلاً: المصنع الذي يُنْتِج منتوجات الحليب، تكون في مياه مجاريه كمية مواد عضوية تساوي كمية المواد العضوية العامة الموجودة في مياه مجاري مدينة يسكنها 100،000 مواطن.

أملاح: بسبب أهمية مساهمة مياه المجاري المكرّرة في كمية المياه العامة في البلاد، يجب أن نقلل بقدر الإمكان من كمية الأملاح في مياه المجاري. مشكلة خاصة تنجم في هذا المجال بسبب المذابح ومصانع الأغذية التي تعالج اللحوم، والتي تستعمل كميات كبيرة من الأملاح في عملية إعداد اللحوم ليصبح أكلها حلالاً.

طرق العلاج

تختلف مكونات مياه المجاري الصناعية عن مكونات مياه المجاري البيتية. اذا تحتاج الأولى إلى معالجة خاصة. يمكن معالجة مياه المجاري الصناعية بطريقتين: تقليص إنتاج مياه المجاري الصناعية وتطهير مياه المجاري التي تَنْتُج.

تقليص إنتاج مياه المجاري: في حالات كثيرة، يمكن تغيير عمليات الإنتاج، وهكذا نقلل من إنتاج مياه المجاري. وأحيانًا، قد يساهم التغيير في تخفيض تكاليف الإنتاج. مثلاً: في صناعة القماش والغذاء، يقوم صاحب المصنع بفصل هيدروكسيد الصوديوم الذي يُنْتَج خلال عملية الإنتاج، ويستعملونها مرةً أخرى في عملية الإنتاج. لهذه الطريقة يوجد حسنات، لأن صاحب المصنع يوفر من التكاليف والبيئة المحيطة لا تتضرر. اكن تطبيق طرق تقليص إنتاج مياه المجاري يكون صعبًا، لأنه في حالا كثيرة، يؤدي التغيير في عمليات الإنتاج إلى مشاكل تكنولوجية معقدة.

تطهير مياه المجاري: كل مكون من مكونات التلوث في مياه المجاري، يجب معالجته بطريقة خاصة،

حيث يوجد طرق تكنولوجية مختلفة لمعالجة الملوثات المختلفة. إحدى الطرق التكنولوجية المستعملة والمقبولة، هي تبخير مياه المجاري. لإنجاز هذا الغرض، يجب أن نبني بركًا مفتوحة، بحيث تكون أرضيتها صماء. تتدفق مياه المجاري إلى هذه البرك، ومع مرور الوقت تتبخر، أما المواد التي كانت في الماء، فإنَّها تتراكم في أرضية البركة. يمكن معالجة المجاري العضوية بطرق علاج بيولوجية بواسطة البكتيريا، كما هو الأمر عند معالجة مياه المجاري البيتية. مياه المجاري التي ملوحتها عالية، ولا يوجد فيها مواد خطيرة يمكن تسريبها إلى البحر. وفي الأماكن البعيدة عن البحر، يمكن استعمال برك تبخير.

في معظم العمليات، تَنتُج حمأة، وفي حالات كثيرة تكون سامة وخطيرة، اذا يجب إبعادها إلى موقع لمعالجة النفايات الخطيرة.

إنّ تكلفة معالجة مياه المجاري الصناعية عالية جدًا، اذا تستصعب السلطات المسؤولة أن تفرض طرق علاج مياه المجاري على المصانع. يمكن تحسين الوضع في هذا المجال، إذا قمنا بتطوير طرق وأجهزة تكنولوجية متقدمة لمعالجة مياه المجاري، وإذا زدنا من وعي الجمهور وطبقنا القوانين المتعلقة بالمحافظة على جودة البيئة المحيطة.

منشأة لمعالجة مياه المجاري الصناعية

الخرز - طريقة خاصة لمعالجة مياه المجاري الصناعية العضوية

إحدى المشاكل المركزية عند معالجة مياه المجاري العضوية، هي إيجاد عشيرة البكتيريا الخاصة لكل نوع من أنواع المجاري، والمحافظة عليها في ظروف مناسبة، لكي يكون نشاط البكتيريا ناجعًا. طوّرت في إسرائيل طريقة علاج جديدة، وهي تعتمد على خرز مصنوع من مادة خاصة، ويحتوي هذا الخرز على فتحات ضيقة جدًا. نغمس هذا الخرز في مستنبت بكتريا خاصة لنوع المجاري الذي نريد معالجتها، ثم نُدخل الخرز إلى مياه المجاري. البكتيريا التي دخلت الفتحات الضيقة، تتكاثر فيها دون أي تشويش، والكائنات الحية التي تتغذى على هذه البكتيريا تكون أكبر من الفتحات مما يمنعها من دخول الفتحات.

البكتيريا الخاصة لكل عملية نجدها عادةً في موقع مياه المجاري ذاته، لأن مكونات كل مياه مجار تسمح في تطور وتكاثر عشيرة بكتيريا "تعرف" مياه المجاري ذاتها، حيث تستغلها البكتيريا كمصدر التغذية.

أسئلة

1. اقترحوا طريقة لتمييز البكتيريا المناسبة لتطهير نوع معين من مياه المجاري الصناعية.

مياه مجارٍ زراعية

تَنْتُج مياه المجاري الزراعية بالأساس في أماكن تربي فيها حيوانات، مثل: حظائر وأقنان. في هذه المجاري يكون تركيز المادة العضوية عالٍ جدًا. وهي تحتوي على مركّبات نيتروجينية وعلى بكتيريا مسببة للأمراض. قطيع البقر المكون من 5000 بقرة، يُنْتج كمية مجارٍ تساوي كمية المجاري التي تُنتجها مدينة مكونة من 100،000 نسمة. هذا المثال، يوضح أهمية منع تدفق مياه المجاري الزراعية إلى البيئة المحيطة. التخطيط الصحيح لشبكة التصريف في المنطقة التي تربي فيها الحيوانات، يمنع بشكل كبير جدًا من إلحاق أضرار في البيئة المحيطة.

بحسب أوامر وزارة جودة البيئة المحيطة، يجب تخطيط منشآت حظائر الأبقار والأغنام والأقنان بطريقة تمنع مياه الأمطار أن تشطف، أو تجرف الزبل الذي يُنْتج فيها، كما تمّ تحديد بُعد أدنى بين حظائر أبقار وغنم وأقنان وبين مصادر المياه ومناطق السكن.

أسئلة

1. كيف يمكن أن نفرض على المصانع الصناعية أن تقوم بتطهير مياه المجاري التي تُنْتِجها؟
2. ما هي المشاكل التي نواجهها عندما نختار استعمال برك تبخير لتطهير مياه مجارٍ صناعية؟
3. لماذا يجب أن نمنع من تدفق مياه مجاري صناعية تحتوي على مواد عضوية غير سامة (مثلاً: مياه مجاري محلبة) إلى شبكة المجاري العادية؟
4. ماذا يمكن أن يحدث إذا لم نعالج مياه مجارٍ زراعية في منطقة بحيرة طبريا؟

تجميع مياه الفيضانات

في كل سنة، تتحول كميات كبيرة من مياه الأمطار إلى جريان مياه علوية تتدفق في أودية كانبة إلى البحر. يمكن أن نجمِّع هذه المياه في مجمّعات وأن نستعملها. اذا يجب أن نبني سدود على قنوات الأودية. في قسم من المجمَّعات، نستعمل المياه بشكل مباشر، وفي مجمَّعات أخرى، نُتيح المياه التغلغل إلى المياه الجوفية، وبعد ذلك نقوم بالتنقيب عنها وبضخها من مناطق التغلغل.

إنّ حجز مياه الفيضانات، أضاف في بداية سنوات الـ 2000 حوالي 50 مليون متر مكعب، في كل سنة، إلى كميات المياه في البلاد. وهذه الكمية شكلت حوالي 3% من الاستهلاك العام. يقدر المختصون أنه يمكن زيادة كمية المياه من هذا المصدر إلى حوالي 80 مليون متر مكعب، إذا أُقيمت مجمعات جديدة. يحتاج بناء هذه المجمعات إلى تمويل، ويوجد مشكلة في إيجاد مساحات مناسبة للمجمّعات، وخاصة في مركز البلاد. إنَّ إضافة مياه الفيضانات مهمة جدًا، لكن كميتها قليلة نسبةً لكميات نقص المياه في البلاد.

مجمّع وادي منشه لتجميع مياه الجريان العلوية من تلة منشه

تقع تلة منشه شرق بلدة بنيمينا. تسقط في هذه المنطقة كميات أمطار كثيرة تصل إلى 600 ملم في السنة، والصخور في هذه المنطقة كيرتونية، وهي لا تسمح تقريبًا بتغلغل المياه. اذا بُني في سنوات الستينيات أحد المجمَّعات الكبرى لحجز مياه الجريان العلوية، حيث تصل كمية المياه في هذا المجمَّع إلى 12 مليون متر مكعب في كل سنة. وهذه الكمية تساوي كمية المياه التي تستهلكها مدينة نتانيا.

يتم حجز مياه الفيضانات بواسطة عدة منشآت. أُقيمت سدود في أودية المنطقة، وهي توجِّه المياه من عدة قنوات إلى قناة مركزية واحدة تتدفق إلى مجمَّع الترسيب. في هذا المجمّع يرسب الجرف الموجود في المياه.

هذه العملية مهمة جدًا، لأن تراكم الجرف في حقول التغلغل، قد يؤدي إلى منع تغلغل المياه. ومن مجمّع الترسيب تتدفق المياه إلى حقول التغلغل، ومن هناك تدخل إلى المياه الجوفية. في هذه المنطقة، يوجد عدة مواقع للتنقيب عن المياه وضخها إلى سكان المنطقة لسد احتياجاتهم، ومن المعروف أن جودة هذه المياه عالية جدًا.

تدفق المياه أثناء فيضانها إلى مجمع وادي منشه

التحلية

التحلية هي عملية معينة للحصول على مياه "عذبة" ("حلوة") من مياه مالحة[1]، حيث يتم ذلك بواسطة طرق مختلفة الفصل بين الماء والأملاح. يمكن تحلية أنواع مختلفة من المياه: مياه البحر، مياه مالحة أو مياه مجار مكرَّرة. إنّ استعمال تحلية المياه شائع في العالم منذ سنوات الستينيات وخاصةً في دول الخليج الفارسي.

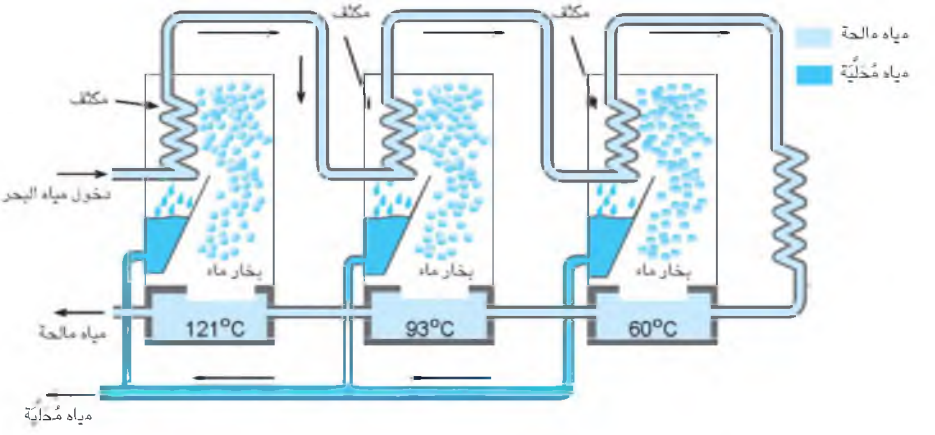
طرق التحلية

طرق تعتمد على عملية التبخر: منذ القدم استعمل ربان السفينة طريقة تبخير مياه البحر للحصول على مياه صالحة للشرب في السفينة. لقد عرفوا أن تسخين مياه مالحة يؤدي إلى رسوب الأملاح في قعر الوعاء، وإلى الحصول على بخار خالٍ من الأملاح. في هذه الأيام، يوجد عدة طرق شائعة تعتمد على التبخير، والفرق بينها في الآلية التي نستعملها لتسخين المياه. تتعلق درجة حرارة غليان الماء بالضغط وبدرجة الحرارة. فعلى ارتفاع مستوى سطح البحر، تغلي المياه عند $100^{\circ}C$ درجة مئوية. إذا صعدنا إلى قمة جبل، فإن ضغط الهواء يكون منخفضًا، اذا تغلي المياه هناك في درجة حرارة منخفضة. من هذا، يمكن الحصول على بخار بطريقتين: من خلال تسخين المياه، أو من خلال خفض ضغط البيئة المحيطة (المحيط) الموجود فيها الماء. كما يمكن الدمج بين الطريقتين أيضًا.

[1] مياه ذات تركيز أملاح عالٍ وليست مناسبة للشرب أو الري.

هذه التكنولوجيا التي يتم فيها دمج، هي عبارة عن **تدفق بضغط تدريجي**، ففي هذه الطريقة، تُنقل مياه البحر عبر عدة خلايا. في الخلية الأولى، يوجد ضغط أقل من ضغط البيئة المحيطة (المحيط)، وتُسخن المياه قليلاً. ونتيجة لذلك، يتبخر قسم من المياه الأصلية. المياه المالحة التي بقيت، تُنقل إلى الخلية القادمة، وتكرر نفس العملية لكن في درجة حرارة أعلى من الخلية الأولى، وفي ضغط أقل مما كان في الخلية الأولى.

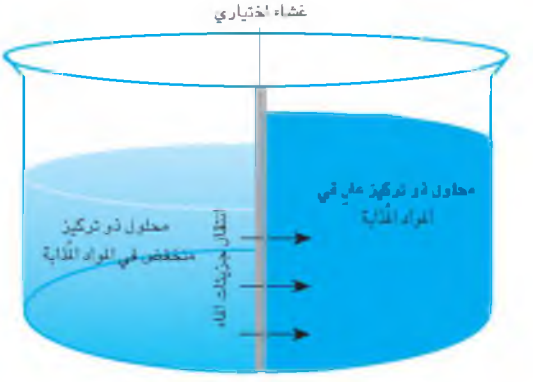
وهذه العملية تتم أيضًا في الخلية الثالثة وهكذا دواليك. يتم تجميع بخار الماء من جميع الخلايا بطريقة التكثيف من خلال تبريدها بواسطة أنابيب مياه بحر باردة تمر عبر خلايا التكثيف قبل دخولها الجهاز. ومن كل 3.5 لترات من المياه المالحة، نحصل على حوالي لترٍ واحدٍ من المياه المُحلاة. هذه الطريقة، هي الطريقة الشائعة في العالم اليوم (حوالي 50% من إنتاج المياه المُحلاة). إنَّ تكاليف إنتاج المياه بطريقة التبخير بضغط تدريجي باهظة بسبب تسخين المياه. يمكن أن نوفر قسمًا من التكاليف، إذا دمجنا هذه المنشأة مع محطة توليد الطاقة الكهربائية، واستعملنا مياه البحر التي تُستعمل لتبريد المولد الكهربائي، فمياه البحر التي سَخُنت بعد انطلاق الحرارة من المولد الكهربائي، يمكن استخدامها لكي تكون مصدر للتحلية.



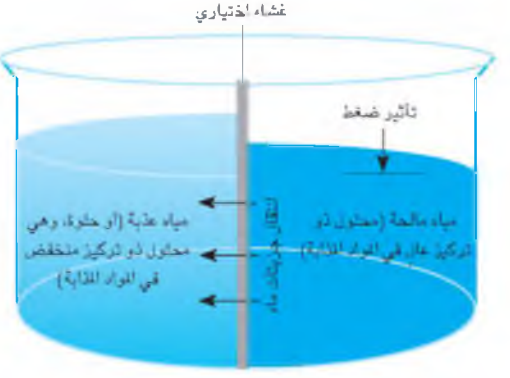
الرسمة 3.10: *تحلية المياه بطريقة التبخر بضغط تدريجي*

اسموزا عكسية (تنافذ عكسي): تتم عملية الأسموزة في محيط مائي عندما تنتقل جزيئات الماء بين محاولين عبر غشاء ذا نفاذية اختيارية. هذا الغشاء يُتيح انتقال جزيئات ماء، ولا يُتيح انتقال مواد مذابة. عندما يكون في أحد طرفي الغشاء محاول ذو تركيز منخفض (يحتوي على القليل من المواد المذابة)، وفي الطرف الآخر، يوجد محاول ذو تركيز عالٍ (يحتوي على مواد مذابة كثيرة)، فإن الماء ينتقل عبر الغشاء من المحاول ذي التركيز المنخفض في المواد المذابة إلى المحاول ذي التركيز العالي في المواد المُذابة، وتستمر هذه العملية حتى يتساوى التركيز والضغط الأسموزي في المحاولين.

نجد الأغشية شبه النفّاذة في الخلايا التي تبني الكائنات الحية، وهي ذات أهمية كبيرة جدًا في حدوث عمليات الحياة.



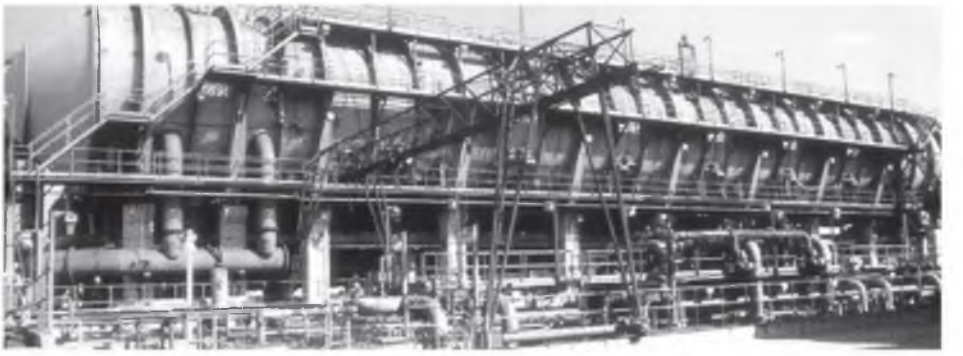
الرسمة 3.11: اسموزا (تنافذ)



الرسمة 3.12: اسموزا عكسية (تنافذ عكسي)

عند استعمال تكنولوجيا الاسموزا العكسية، فإنّ العملية تتم بشكل عكسي. الماء ينتقل من الطرف المالح الذي يحتوي على المحلول الذي يوجد فيه مواد مذابة كثيرة، إلى الطرف الذي يوجد فيه محلول يحتوي على مواد مذابة قليلة. تتم الحركة بسبب تأثير ضغط عالٍ (حوالي 20–80 اتموسفيرة) على الطرف الذي يوجد فيه المياه المالحة. ويتم تأثير الضغط من خلال مكبس يُحركه محرك كهربائي. ونتيجةً لهذه العملية، نحصل على محلول أملاح مركّز في أحد طرفي الغشاء، وعلى مياه مُحَلّاة في الطرف الآخر.

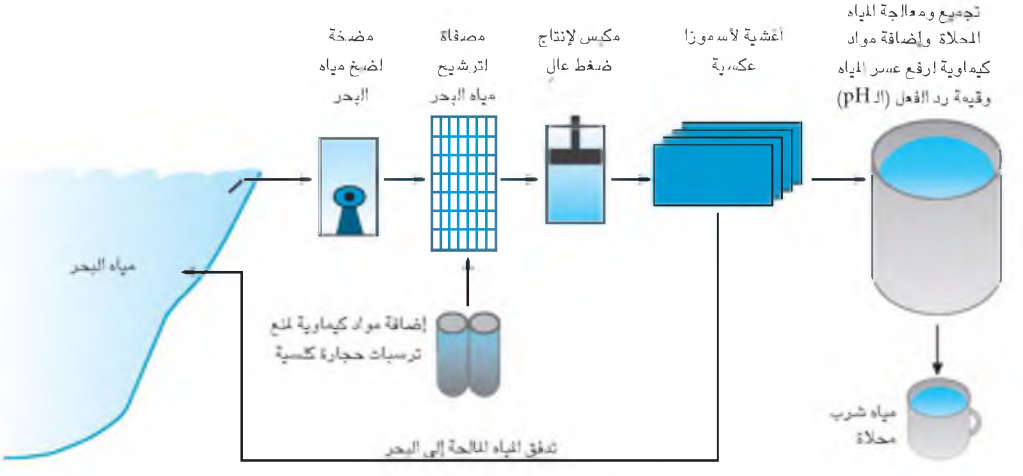
كلما كان تركيز الأملاح في المياه الأصلية عاليًا، فإننا بحاجة إلى ضغط كبير، اذا استهلاك الطاقة عند تحلية مياه البحر يكون أعلى من استهلاك الطاقة عند تحلية مياه مالحة. في السنوات الأخيرة، أُدخلت تحسينات تكنولوجية كثيرة (قسم منها تطوير إسرائيلي) على هذه الطريقة، وهي تستهلك كميات طاقة أقل من طرق تحلية أخرى تحتاج إلى كميات طاقة كبيرة لتبخير المياه.



منشأة اتحلية المياه بطريقة الأسموزا العكسية

اذا بهذه الطريقة، يمكن تحلية مياه بتكلفة أقل مقارنةً مع الطرق الأخرى. إحدى سيئات هذه الطريقة مقارنةً مع طرق أخرى أنه يجب استعمال مياه نقية، وذلك بسبب استعمال أغشية. اذا في هذه المنشأة، يجب ترشيح المياه ومعالجتها قبل أن تدخل إلى الخلايا التي يوجد فيها أغشية. تعمل معظم منشآت التحلية في البلاد بهذه الطريقة، وهي الطريقة التي اختيرت لعمل المنشآت الجديدة.

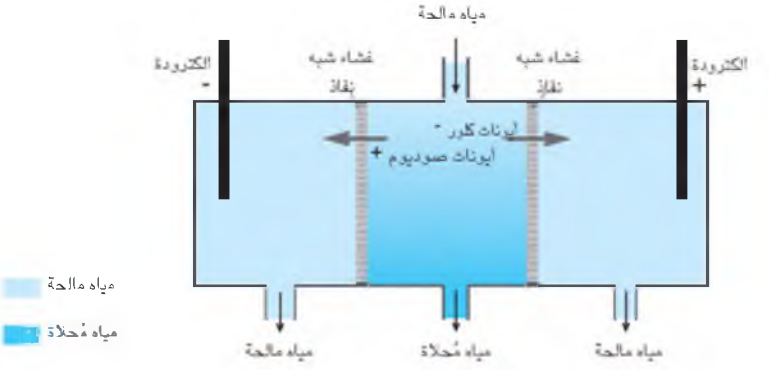
ديناليزا كهربائية (الكترو ديناليزا): تعتمد هذه الطريقة على أن الملح المذاب في الماء ينفصل إلى أيونات موجبة وأيونات سالبة. تتدفق المياه المالحة إلى جهاز فيه ثلاث خلايا. ويوجد بين الخلايا أغشية شبه نفاذة تُتيح عبرها انتقال أيونات فقط. في الخايتين الموجودتين في الأطراف، يوجد الكترودتان: في خاية واحدة، يوجد الكترودة موجبة، وفي الخاية الثانية، يوجد الكترودة سالبة.



الرسمة 3.13: تحلية مياه بطريقة الأسموزا العكسية

عند تشغيل التيار الكهربائي، تتحرك الأيونات السالبة عبر الغشاء الأول إلى الإلكترودة الموجبة، والأيونات الموجبة تنتقل عبر الغشاء الثاني إلى الإلكترودة السالبة، وهكذا نحصل في الخلية المركزية الجهاز على مياه محلاة.

في السنوات الأخيرة، لم يَعُدْ استعمال هذه الطريقة شائعًا. على الرغم من ذلك، تُستعمل هذه الطريقة لتحسين جودة المياه الملوثة، حيث يتم بناء هذه الأجهزة بحسب نوع الأيونات الخاصة التي نُريد فصلها عن الماء، مثلاً: أيونات مركبات النترات.



الرسمة 3.14: تحلية مياه بطريقة الإلكترودياليزا

حسنات وصعوبات تحلية المياه

الأفضلية الأساسية لتحلية المياه، هي إمكانية استعمال مياه البحر غير المحدودة.

على الرغم من ذلك، تحتاج تحلية المياه إلى استثمار مبالغ كبيرة جدًا لبناء منشآت للتحلية (مثلاً: المنشأة التي تُنْتِج 50 مليون متر مكعب في السنة، تُكلف 150 مليون دولار)، وسعر المياه المحلاة عالٍ مقارنةً مع مياه من مصادر أخرى. وهذا بسبب الطاقة العالية المطلوبة لعملية التحلية. هذه الصعوبات، منعت حتى سنة 2000 من إقامة منشآت كبيرة لتحلية المياه. التطورات التكنولوجية التي أدت إلى انخفاض سعر المياه المُحلاة[1]، والنقص المتزايد في المياه، أديا إلى أن تقرر الحكومة في بداية سنوات الـ 2000 أن تبني منشآت كثيرة لتحلية المياه. ستزوِّد هذه المنشآت حتى نهاية السنوات العشرة الأولى لسنوات الـ 2000 ما يقارب الـ 500 مليون متر مكعب في السنة.

1 في سنة 2002، كان سعر المياه المُحلاة 50 سنتًا للتر، مقارنة مع 30 سنتًا للتر المياه من المصادر الطبيعية.

التكنولوجيا الموجودة اليوم، بإمكانها أن تُنْتِج مياه مُحلاة بجودة عالية. ومع ذلك، كلما كانت جودة المياه عالية، فإن سعرها يكون باهظًا. المنشآت التي ستقام في إسرائيل، يجب أن تُنْتِج مياهًا تحتوي على أقل من 150 ميليغرام كلوريدات في الليتر. إضافةً إلى ذلك، يجب على مُنْتجي المياه المُحلاة أن يُخفِّضوا من تركيز عنصر البورون (B) الموجود بتركيز عالٍ في مياه البحر، بحيث يصبح تركيزه فيها كالتركيز المقبول اليوم والموجود في مياه من مصادر طبيعية.
لأن تركيزه في المياه المُحلاة يضر بالنباتات الزراعية. تتميز المياه المُحلاة بالعسر المنخفض، وفي ظروف إسرائيل، الصخور الجيرية هي الصخور الشائعة، اذا نحصل على مياه طبيعية ذات عسر أكبر من المياه المُحلاة.

هناك مشكلة إضافية متعلقة بالمواقع المناسبة لبناء منشآت تحلية. هذه المنشآت تحتاج إلى مساحات واسعة على شاطئ البحر. بما أنه في إسرائيل، يوجد استعمالات كثيرة لأراضي شواطئ البحر، يحاول المسؤولون تقليص هذه الاستعمالات، لكي تكون هناك مساحات مناسبة لهذا المشروع. ويمكن حل هذه المشكلة، إذا وضعنا المضخات على شاطئ البحر، وقمنا ببناء منشأة تحلية المياه في مكان يبعد عن الشاطئ.

أسئلة

1. أ. ما هي الأُسس المشتركة لجميع تكنولوجيات التحلية؟
   ب. ما هي التحسينات التكنولوجية التي قد تؤدي إلى انخفاض تكاليف التحلية؟
2. تمعّنوا في الرسمتين 3.11 و 3.12، ثم اشرحوا، ما هي الأسموزا؟ وما هي الأسموزا العكسية؟
3. لماذا طريقة التحلية بواسطة الأسموزا العكسية، هي الطريقة الفُضلى في البلاد؟
   ما هي الظروف التي قد تؤدي إلى تفضيل طرق تحلية أخرى؟
4. ما هي أفضلية دمج منشآت التحلية مع محطات القوة لتوليد الطاقة الكهربائية؟
5. لماذا تتغيّر تكلفة تحلية المياه من دولة إلى أخرى؟
6. هل – بحسب رأيكم – إنتاج المياه المُحلاة يحل مشكلة نقص المياه في الزراعة؟
7. أُعدّت المياه المُحلاة بالأساس للاستهلاك البيتي. لماذا من المهم أيضًا أن نقلل من تركيز عنصر البورون في هذه المياه، والذي من المعروف أنه يضر بالنباتات الزراعية؟
8. ما هي الاعتبارات التي يجب أن يأخذها بالحسبان متخذو القرارات:
   أ. عندما يُتخذ قرار لاختيار تحلية المياه كحل جزئي لمشكلة النقص في المياه.
   ب. عند تحديد جودة المياه المُحلاة المطلوبة من منشآت التحلية.

زيادة الرواسب

إحدى الطرق لزيادة كمية المياه النظيفة، هي زيادة كمية الرواسب التي تزودها الغيوم. الغيوم مكونة من قطرات ماء صغيرة، ومن كتل جليد صغيرة جدًا. للحصول على رواسب قطرات الماء، أو كتلة الجليد، يجب أن تكبر بشكل كبير، حتى تصبح ثقيلة بشكل كافٍ، ويجب أن تتغلب على مقاومة الهواء لتتمكن من السقوط على الأرض. في عملية زيادة المطر، يحاول المختصون أن يُنشِّطوا عملية الزيادة في كبر القطرات والكتل الجليدية.

في الطبيعة، تكبر قطرات المطر بعدة طرق: عندما تكون قطرات الماء في الغيمة صغيرة، فإنها تكبر بالأساس من خلال تكاثف بخار إضافي على هذه القطرات. وعندما تكون القطرات كبيرة (قطرها 1 ملم وأكبر من ذلك)، فإنها تستمر بالكبر بالأساس من خلال عملية تصادم واتحاد مع قطرات صغيرة. طريقة أخرى لتكوين قطرات المطر (الذي يشكل مصدرًا لمعظم الرواسب)، هي تجمد قطرات صغيرة مجاورة لكتل جليدية (نوى تجمد). عندما تكون القطرات المتجمدة متجاورة، فإنها تصبح ثقيلة بما فيه الكفاية، وتسقط من الغيمة، وإذا كانت درجة الحرارة تحت الغيمة أكبر من $0^{\circ}C$، فإنّ هذه القطرات تذوب أثناء سقوطها وتصل الأرض كمطر. يوجد عدة طرق أخرى لزيادة المطر. يمكن أن نضيف كتلاً صغيرة جدًا

من الملح إلى الغيمة، من خلال "زرعها" بواسطة الطائرة. وهذه الكتل تمتز (تؤدي إلى تكثيف الجزيئات والتصاقها بسطحها الصلب) قطرات صغيرة تلتصق مع قطرات المطر. طريقة أخرى تُستعمل كثيرًا في إسرائيل، هي إدخال مادة ذات مبنى باوري إلى الغيمة، بحيث تشبه كتلة الجليد التي تشكل نواة تجمد. والمادة التي نستعملها، يوديد الفضة (AgI).

إنَّ نجاح العملية متعلق بعدة عوامل، من بينها حالة الطقس ومكونات الغلاف الجوي. على الرغم من أنه واضح اليوم أن "زرع" الغيوم في ظروف معينة، يؤدي إلى زيادة المطر في الغيوم، إلا أنه غير واضح حتى الآن، ما هي الظروف بالضبط؟ وما هو مدى الزيادة؟ في ظروف معينة (مثلاً: في الأيام التي يكون فيها كميات كبيرة من الغبار، أو التلوث في الغلاف الجوي)، قد تكون عملية "زرع" الغيوم غير ناجعة، وقد تؤدي إلى تقليل القطرات في الغيمة، وفي أعقابها تؤدي إلى انخفاض كمية الرواسب من نفس الغيمة.

من الناحية الاقتصادية، تكاليف إنتاج المياه من هذا المصدر تكون قليلة نسبيًا مقارنة مع حلول أخرى، لكن كمية المياه التي تُنْتِجها بهذه الطريقة تكون منخفضة. من الجدير بالذكر أنه يمكن "زرع" الغيوم، إذا توفرت غيوم تستطيع أن تُنْتِج رواسب. إذا "زرع" الغيوم يؤدي إلى زيادة هطول الأمطار، وليس إلى إنتاج جديد للأمطار.

طائرة لزرع الغيوم بمواد لزيادة هطول الأمطار

زرع الغيوم في إسرائيل

تعتبر إسرائيل من الدول الرائدة في العالم، في مجال بحث زيادة هطول الأمطار وتطبيق هذا البحث. ففي سنوات الستينيات، بدأ المشروع الإسرائيلي لزيادة هطول الأمطار، وقد نُفِّذت ثلاث تجارب، وتمَّ "زرع" الغيوم بنوى تجمد من نوع يوديد الفضة. يتم بحث وتطوير هذا الموضوع في جامعتيْ القدس وتل أبيب، وتُنفِّذُهُ شركة مكوروت.

في يومنا هذا، يتم "زرع" الغيوم من خلال تحليق طائرة داخل الغيمة. أحد العوامل الأساسية لنجاح عملية "زرع" الغيوم، هو التمييز الصحيح للغيوم المناسبة وزرع النوى في المكان المناسب، وفي الزمن المناسب أيضًا.

أسئلة

1. في الأبحاث الجديدة التي أُجريت، اتضح أن تلوث الهواء يقلل من كمية الرواسب. كيف يمكننا أن نشرح ذلك؟
2. لماذا من الصعب تقييم نجاعة عملية زيادة هطول الرواسب؟

التوفير

" التوفير هو المصدر الكبير المياه النظيفة، الذي بقي لنا، وهو المصدر الأرخص، وهو أرخص بكثير من المصادر الأخرى التي يمكن أخذها بالحسبان. هذا ما قاله، مدير المركز الإسرائيلي الوازم المياه، وهو يعبر جيدًا عن مكانة وأهمية التوفير من ضمن الحلول المقترحة لمشكلة المياه. أُجريت نشاطا كثيرة خلال السنوات المختلفة، وقد أدت هذه النشاطات إلى توفير، وإلى نجاعة في استهلاك المياه في جميع قطاعات الاستهلاك. يقدر المختصون أنه يمكن الاستمرار في زيادة التوفير بشكل ملحوظ في القطاع المدني بشكل خاص، لأنه في هذا القطاع، يمكن تقليص استهلاك المياه بـ 10%–20% تقريبًا.

ويمكن توفير المياه من خلال وسائل مختلفة:

وسائل تكنولوجية: إسرائيل هي إحدى الدول البارزة في العالم، في تطوير وسائل تكنولوجية ولوازم لتوفير المياه. تنوع المُنْتجات كبير جدًا، وسنذكر قسمًا منها.

في الزراعة، نوفِّر مياه من خلال استعمال أنابيب التنقيط الري، وأجهزة ري محوسبة، وهي تزوِّد النباتات بكميات المياه المطلوبة بحسب احتياجاتها، وتمنع تبذير المياه من خلال التبخر.

طريقة أخرى، هي تنمية النباتات في دفيئات على أوساط غذائية منفصلة عن التربة. فمياه التصريف التي نحصل عليها من ري هذه الأوساط، نقوم بتجميعها وبترشيحها، لكي تُستعمل مرةً أخرى في نفس الدفيئة، أو في حقول زراعية أخرى.

وفي الصناعات التي تستهلك مياهًا كثيرة، يوجد منشآت لاستعمال المياه عدة مرات. وطوِّرت القطاع المدني وسائل مختلفة التوفير في المياه، مثل: أجهزة المرحاض، وآليات أخرى في الحنفيات لتوفير المياه.

صيانة شبكة تزويد المياه: مياه كثيرة تُهدر بسبب تسرب المياه من أنابيب وشبكة المياه. تُشير الاستطلاعات التي أُجريت في السلطات المحلية أنه يوجد فرق بنسبة 10% بين كميات المياه التي تدخل المدينة، وبين كميات المياه التي تُستهلك بحسب القياس. وفي بعض السلطات المحلية، وصل هذا الفرق إلى حوالي 25%. تحدث هذه الفروق بسبب تسرب المياه من أجهزة تزويد المياه التابعة البلدية. يمكن منع هذا التبذير من خلال تغيير وتصليح الأنابيب التي يوجد فيها خلل. الصيانة السليمة للأنابيب والحنفيات مطلوبة في البيت أيضًا.

تحسين استعمال المياه: في الزراعة، وفي الحدائق يمكن أن نوفِّر كميات كبيرة من المياه من خلال اختيار نباتات تحتاج إلى كميات مياه قليلة، ويمكن أيضًا تبديل النباتات التي تستهلك كميات مياه كبيرة بنباتات أخرى.

البحث الزراعي، يوجد له مساهمة كبيرة في هذا المجال، لأنه تمَّ تطوير أصناف جديدة من النباتات التي تحتاج كمية قليلة من المياه. بفضل هذه العمليات تزداد مع مرور السنين بشكل متواصل المكافأة المالية التي يجنيها المزارعون من كل وحدة مياه. وفي مجال الاستهلاك البيتي، يمكن أن نحسن استهلاك المياه من خلال عمليات مختلفة، مثل: عدم غسل السيارة بخراطيم الماء، تقليص زمن فتح الحنفيات عند

غسل الأواني وعدم شطف الأرضية بطريقة الغمر.

بناء يحافظ على المياه: منذ القدم وحتى الفترة الحديثة، بُنيت البادان في إسرائيل بطريقة تسمح لمياه الجريان العلوية أن تتدفق إلى آبار المياه، لكي يستعملها المواطنون. منذ وجود شبكة مياه لتزويد المياه للسكان، لا تُستغل مياه الجريان العلوية في البلاد، مما يؤدي ذلك إلى خسارة كميات كبيرة من المياه. وكلما استُغلت مساحات كبيرة من الأراضي للبناء، فإنّ ذلك يؤدي إلى زيادة الخسارة الكبيرة في المياه بسبب الجريان العلوي، ولأن المياه لا تستطيع أن تتغلغل إلى المياه الجوفية. أثناء تخطيط البناء الجديد، يمكن تقليص خسارة المياه المستقبلية بشكل كبير، حيث يتم ذلك من خلال توجيه مياه الجريان العلوية إلى حدائق عامة ومساحات مفتوحة تُتيح تغلغل المياه.

التربية والإرشاد: التوفير متعلق بشكل كبير جدًا بوعي الجمهور لمشكلة المياه وباستعداده لتوفير المياه. اذا يوجد أهمية كبرى لتربية الجمهور على توفير المياه، كما أنه يوجد أهمية لحملات الإعلان والدعايات التي تُشجع على التوفير. اذا في هذا الإطار، اتخذت مديرية شؤون المياه قرارًا بتقديم شارة زرقاء للمُنْتَجات التي من خلالها نوفر مياه.

شارة زرقاء

وسائل إدارية، قوانين وأوامر: يمكن فرض التوفير من خلال وسائل إدارية، تشريع قوانين وأوامر تُلزم الجمهور أن يوفر مياهًا. مثلاً: في سنة 1991، عندما كانت أزمة في كمية المياه في البلاد، منعت السلطات المسؤولة الجمهور من تعبئة برك السباحة الخاصة ومن شطف السيارات بخراطيم المياه، وفي المدة الأخيرة، طُرحت فكرة عدم ري الحدائق العامة.

يمكن أن نعتبر أسعار المياه وكميتها التي تُحدَّدُ للمواطنين من الوسائل الإدارية لتوفير المياه. سنتوسع في ذلك فيما بعد.

كل واحد منا بإمكانه أن يساهم بتوفير المياه بطرق مختلفة:

1. استعمال جهاز لتوفير المياه في كل حنفية في البيت. هذا الجهاز، يقوم بإدخال فقاعات هواء إلى داخل تيار الماء. وهكذا يقال من كمية الماء دون أن يمس بشدة تيار المياه. بهذه الطريقة، يمكن أن نوفر نسبة 40% تقريبًا من استهلاك المياه.
2. إغلاق الحنفيات أثناء تنظيف الأسنان، وعندما نرغي أجسامنا بالصابون أثناء الاستحمام، وتقليص المدة الزمنية لفتح الحنفية أثناء شطف الأواني.
3. استعمال جهاز ماء خاص في المراحاض، بحيث يساعد على استعمال نِصف كمية المياه، وعندما نستعمل نِصف الكمية، فإننا نوفر 4.5 لترات في كل مرة.
4. يجب التأكد من أنه لا يوجد تسرب مياه في شبكة المياه في البيت، لأن هذا التسرب، يؤدي إلى خسارة عشرات اللترات من الماء خلال اليوم.
5. في كل شهر، يجب فحص ما إذا يوجد تسرب مياه في شبكة المياه، وذلك من خلال إغلاق جميع الحنفيات في البيت وفحص جهاز قياس الماء (مقياس الماء).
6. تصليح حنفيات تتسرب منها مياه، الحنفية التي تتسرب منها مياه، تُبذر عشرات اللترات من الماء خلال يوم واحد.
7. استغلال مياه غسالة الأطباق (الجلاية)، مياه الغسالة ومياه تصريف المكيف لري الحديقة والأصص.
8. استعمال وسائل مراقبة لري الحديقة.
9. تشغيل غسالة الأطباق (الجلاية) عندما تكون مليئة بالأواني، وتشغيل الغسالة بحسب البرنامج المناسب لكمية الغسيل.
10. غسل السيارات بواسطة دلو وليس بخرطوم مياه، لأنه بهذه الطريقة نوفر أكثر من مئة لتر ماء للسيارة الواحدة.

أسئلة

1. ما هي الصعوبات التي تواجهنا عند تطبيق إمكانيات توفير المياه؟
2. اشرحوا الجملة الآتية: "التوفير هو المصدر الكبير للمياه النظيفة، الذي بقي لنا، وهو المصدر الأرخص، وهو أرخص بكثير من المصادر الأخرى التي يمكن أخذها بالحسبان".
3. ماذا يمكنكم أن تعملوا بشكل شخصي، لكي توفروا في المياه؟

استيراد مياه

يمكن استيراد مياه من دول مجاورة غنية بالمياه، حيث يتم استيرادها من خلال أنابيب أو صهاريج. تكاليف المياه المستوردة تشمل سعر المياه، تكلفة النقل، تكلفة بناء منشآت لتفريغ المياه وتكلفة معالجة المياه قبل تدفقها إلى شبكة المياه القطرية.

في حالة إسرائيل، مصادر المياه المتوافرة للاستيراد، هي مصر ولبنان، لكن هذه الإمكانية غير ممكنة بسبب الوضع السياسي. اذا الإمكانية الوحيدة لاستيراد المياه هي من تركيا. الحسنات الأساسية لهذا الحل هي: هذا الحل سريع نسبيًا، فبعد التوقيع على الاتفاقية يمكن استلام المياه بعد بضعة شهور، إضافة إلى ذلك تكون جودة المياه جيدة.

لكن الجدوى الاقتصادية من استيراد المياه ليست مضمونة مقارنة مع الحلول الأخرى، مثل: تحلية المياه وتوفيرها. إذا كانت تكلفة استيراد المياه من تركيا تساوي تكلفة تحلية المياه، أو أغلى منها، فإن حل استيراد المياه لا جدوى منه من الناحية الاقتصادية. وفي كل الحالات، كمية المياه التي يمكن استيرادها هي 50 مليون متر مكعب في السنة فقط، وهذه الكمية قليلة مقارنةً مع كميات المياه الناقصة في البلاد.

يوجد جانب سلبي آخر لاستيراد المياه من دولة غريبة، لأنه في المستقبل، قد تستغل تركيا هذه المياه لاحتياجاتها الداخلية، وقد تتغير الظروف السياسية التي تغيّر كميات المياه التي ترغب تركيا في بيعها.

تشريع وإدارة كميات المياه في البلاد

مديرية المياه، هي المؤسسة الحكومية المسؤولة عن شؤون المياه في إسرائيل. يديرها مأمور المياه الخاضع لوزير الطاقة والبنية التحتية.

تعمل مديرية المياه من ضمن صلاحيات قانون المياه لعام 1959. المبدأ الأساسي لهذا القانون أن مصادر المياه هي مُلك عام، وهي تحت سيطرة وتصرف الدولة، وقد أُعدَّت لاحتياجات المواطنين وإتطوير البلاد. مصادر المياه بحسب هذا القانون هي: الينابيع، الأودية، الأنهار، البحيرات وباقي تيارات ومجمعًات المياه العليا والسفلية ..... بما في ذلك مياه التصريف ومياه المجاري (قانون المياه بند [1]). يوجد نشاطات متنوعة وكثيرة من ضمن مسؤلية مديرية المياه بخصوص مواجهة مشكلة المياه، فقسم من هذه النشطات تُنفِّذها مؤسسات أخرى بالتنسيق مع مديرية المياه، أو تُنفِّذها مؤسسات تابعة لمديرية المياه. وفيما يلي النشاطات الأساسية:

- منع التلوث والعبث في مصادر المياه. في هذا الإطار، تعمل "إدارة بحيرة طبريا" بإشراف مديرية المياه. أما المواضيع الأخرى فتعالجها وزارة جودة البيئة المحيطة (المحيط).
- تحديد كميات المياه التي تُستخرج من مصادر المياه المختلفة.
- تطوير مصادر مياه، استخراجها ونقلها للمستهلكين (شركة مكوروت الحكومية، هي التي تُنفِّذ بالأساس هذه العملية).
- إجراء أبحاث حول مصادر المياه الطبيعية (التي تُنفِّذها بالأساس مؤسسة خدمات المياه)، وحول إيجاد حلول لمشكلة المياه، مثل: تحلية المياه، استيراد المياه واستغلال مياه المجاري المكرَّرة.
- بلورة توصيات لتحديد أسعار المياه. تُقدم هذه التوصيات إلى اللجنة المالية في الكنيست التي تُحدِّد سعر المياه.
- تحديد حصص المياه التي يحتاجها المستهلكون. حصة المياه، هي كمية المياه القصوى المسموح للمستهلك أن يستعملها. في السنوات الأخيرة، تُحدد حصص المياه بالأساس للقطاع الزراعي.

إضافةً إلى قانون الماء، يوجد عدة قوانين مهمة تُعالج هذا الموضوع: ضمن **أمر الصحة للشعب** (1940)، كُرس قسم من هذه القوانين لموضوع الجودة الصحية للماء. وصلاحيات تنفيذ هذا القانون تخضع لوزارة الصحة. ضمن إطار **قانون سلطات الأودية والينابيع** (1965)، يمكن تنفيذ نشاطات لترميم الأودية والينابيع والمحافظة عليها. وقانون **التصريف والحماية من الفيضانات**، يسمح للسلطات أن تبني مشاريع تصريف.

يمكن معالجة مشاكل مختلفة تؤذي مصادر المياه من خلال قوانين عامة ليست خاصة بموضوع المياه، مثلاً: **قانون منع الأضرار وقانون ترخيص المحلات التجارية**.

نشاطات مديرية المياه لمواجهة النقص في المياه

تخصيص كميات المياه: ذكرنا من قبل أنه من صلاحيات مديرية المياه أن تحدد كمية المياه المسموح استهلاكها. هذه الصلاحية، تُتيح لمديرية المياه أن توزع المياه الموجودة في كل سنة بحسب أهمية المياه لقطاعات الاستهلاك المختلفة. بما أننا لا نستطيع أن نمس الاستهلاك البيتي، والصناعة التي تُنْتِج منتجات ذات مساهمة وطنية كبيرة، اذا يتم تخصيص حصص المياه بالأساس في الزراعة. تتغيّر هذه الحصص في كل سنة وفقًا لوضع المياه في البلاد. إنّ أزمة المياه في السنوات الأخيرة، أدت إلى تقليص مستمر في المياه التي يتم تخصيصها للزراعة. وفي أعقاب ذلك، نطلب من المزارعين أن يطبقوا خطوات توفير مختلفة، وأن يستعملوا مياه مجارٍ مكررة بدلاً من المياه النظيفة.

سعر المياه: في يومنا هذا (2001)، يوجد أسعار مياه مختلفة لكل قطاع من قطاعات استهلاك المياه. يدفع مستهلكو المياه في القطاعين البيتي والصناعي حوالي 35 سنتًا مقابل كل كوب ماء.

هذا السعر يشمل تكاليف استخراج المياه ونقلها للمستهلكين. أما سعر الماء للمزارعين، فإنه تمويل

خاص من الحكومة، وقد يصل سعر الكوب الواحد من الماء إلى 20 سنتًا تقريبًا. والسبب في ذلك أن معظم مجالات الزراعة لا تستطيع أن تدفع السعر الحقيقي للماء وأن تربح في نفس الوقت.

كما هو الأمر مع كل مورد، يمكن تقليل استهلاك المورد من خلال رفع سعره، لكن عندما نتحدث عن الماء، لا يكون الأمر سهلاً. إنّ رفع سعر مياه الاستهلاك البيتي، قد يؤدي إلى توفير من قبل مستهلكي المياه، لكن كمية المياه التي يمكن توفيرها بهذه الطريقة تكون محدودة. لأنه يوجد كمية معينة من المياه التي نستمر في استهلاكها حتى لو كان سعر المياه عاليًا.

أما بالنسبة للزراعة، يمكن تطبيق ذلك، لأن سعر المياه يتم دعمه من قبل الحكومة. اذا ارتفاع سعر المياه بشكل ملحوظ سيؤدي إلى إغلاق معظم مجالات (فروع) الزراعة. ويوجد اختلاف بالرأي حول ما إذا يجب دعم الزراعة. يدعي البعض أنه يجب على الزراعة أن تدفع السعر الحقيقي للماء، وحق البقاء يكون لمجالات الزراعة التي يكون لها ربح في هذا الوضع. ويعتقد الآخرون أنه يجب دعم الزراعة، لأنه يوجد لها أهمية في مجالات كثيرة. الزراعة تزودنا بقسم كبير من استهلاك الغذاء، وإذا قلصناها سنكون متعلقين ومرتبطين بدول غريبة. ويوجد أهمية أخرى للزراعة، وهي استخدام الأراضي التي تحافظ على وجود مساحات واسعة ومفتوحة في البلاد. كما أن الزراعة تُستخدم كحقل للأبحاث الزراعية، بما في ذلك الأبحاث المتعلقة بوسائل الري. تعتبر إسرائيل من الدول الرائدة في هذه المجالات، وتشكل هذه الأبحاث مصدرًا للدخل من العملة الأجنبية. ولا يمكن تنفيذ هذه الأبحاث دون وجود زراعة.

إنّ مكانة وأهمية الزراعة في إسرائيل، هي موضوع مركزي يجب أخذه بالحسبان عند تخطيط استعمال المياه في المستقبل. وإذا قلصنا الزراعة، فإن النقص في المياه يتقلص أيضًا، لكن إذا أردنا أن نحافظ على الزراعة، يجب أن نحد من استمرار التقليص بحصص المياه، وأن نبحث عن مصادر مياه إضافية، وأن نستمر بالدعم الحكومي لأسعار المياه في الزراعة.

تطبيق حلول مشكلة المياه في دول الشرق الأوسط[1]

افتتحنا الفصل الأول بمشكلة المياه في منطقتنا، ورأينا أن النقص في المياه، هو مشكلة دول كثيرة. تتخبط هذه الدول، كما تتخبط دولة إسرائيل في مواجهة هذه المشكلة. سنفحص بإيجاز إمكانية تطبيق قسم من الحلول – التي وصفناها في هذا الفصل – في دول المنطقة.

تغيُّر في الزراعة: في معظم دول الشرق الأوسط، تعتبر الزراعة قطاعًا مركزيًا لعمل نسبة كبيرة من السكان. نجد تقاليد الزراعة في جذور الثقافة وفي الحياة اليومية. في دول كثيرة، تُعتبر المياه مُلك للجميع، اذا لا يدفعون مقابلها. معظم طرق الزراعة المُستعملة، هي طرق قديمة، اذا تُبذر مياه كثيرة بسبب طرق الري التي تُستعمل فيها قنوات مفتوحة، وبسبب استعمال طرق معالجة غير ناجعة. وهذا يؤدي إلى استعمال غير ناجع للمياه وإلى تبذيرها. إضافةً إلى ذلك، تسعى معظم دول المنطقة إلى التوسع في الزراعة، لكي تُقلص بقدر الإمكان احتياجاتها الغذائية المستوردة، ولكي توفر مصادر رزق وأماكن عمل. تؤدي هذه المعطيات إلى صعوبات كثيرة في طريقة تطبيق الخطوات المطلوبة لتحسين استعمال المياه، اذا في معظم الدول، لا توجد إمكانية تقريبًا لتقليص كميات المياه في الزراعة، وتحويلها إلى احتياجات أخرى.

التحلية: إنّ وجود تكنولوجيا لإنتاج المياه من خلال التحلية، تُحوّل مشكلة المياه إلى مشكلة اقتصادية. إذا استطعنا أن ندفع سعرًا عاليًا مقابل الماء، فإننا نستطيع أن نحصل من خلال التحلية على مياه دون أي محدودية. في دول النفط، في الخليج الفارسي، يتم تطبيق هذا الحل بشكل واسع، لأن سعر النفط (الذي يُستخدم كمصدر طاقة للتحلية) منخفض في هذه الدول.

لا يمكن تطبيق هذا الحل بشكل واسع في الدول الفقيرة، لأنها لا تستطيع دون مساعدة الدول الغنية تمويل إقامة منشآت للتحلية، ولا تستطيع أيضًا تمويل أسعار الطاقة المطلوبة لتحلية المياه.

زراعة تقليدية في مصر

[1] هذه القطعة، هي تكملة القطعة التي وردت في صفحة 36.

استيراد مياه: في حالات معينة، قد يكون استيراد مياه من دولة أخرى حلاً رخيصًا نسبيًا. على الرغم من ذلك، يوجد تخوفات سياسية كثيرة من هذا الحل، وهي تمنع من تطبيقه في المنطقة.

تطهير مياه المجاري: قسم قليل من مياه المجاري يتم تطهيرها في الشرق الأوسط. وهذه الحقيقة، تؤدي بالطبع إلى إساءة جودة مياه الأنهار والمياه الجوفية، وتؤدي أيضًا إلى خسارة في المياه. إن تطهير مياه المجاري يُعتبر حلاً رخيصًا نسبيًا، لكن بما أن هذه العملية تحتاج إلى استثمارات كبيرة، لا تُطبق تقريبًا حتى الآن.

أسئلة

1. عرضنا في هذا الفصل عدة حلول لمشكلة نقص المياه. أي حلول يوجد لها احتمال أن تُطبق بنجاح في دول الشرق الأوسط؟ تطرقوا في إجاباتكم إلى الفروق الموجودة بين الدول المختلفة.

أسئلة

1. اقرأوا نص قانون المياه الذي يظهر في صفحة 116، ثم اكتبوا –بحسب رأيكم – الأسباب التي أدت إلى تشريعه.
2. أ. ما هي الأهداف التي تحققها مديرية المياه من خلال تخصيص حصص ماء؟
   ب. ما هو رأيكم بالنسبة لتطبيق هذه الطريقة في القطاعين الصناعي والبيتي؟
3. إن إمكانية تقليص استهلاك المياه من خلال رفع سعرها يُعتبر محدودًا. لماذا؟
4. تناقشوا حول السؤال الآتي: هل يجب دعم سعر المياه الزراعة؟ تنظَّموا في مجموعات تُمثِّل قطاعات ومؤسسات مختلفة، مثل: القطاع الزراعي، وزارة المالية وجمعية حماية الطبيعة. تطرقوا أثناء النقاش إلى الجوانب المختلفة لأهمية الزراعة في دولة إسرائيل.

أسئلة لتلخيص الفصل

بحثنا في هذا الفصل حلولاً مختلفة لمشكلة نقص المياه.

1. أكملوا الجدول الآتي بمساعدة المعلومات التي وردت في هذا الفصل.
2. ما هي الاعتبارات التي يأخذها بالحسبان مُتخذو القرارت – المسؤولون عن وضع المياه في البلاد – عند تحديد سياسة مواجهة النقص في المياه؟
3. ما هي – بحسب رأيكم – الطريقة الصحيحة لمواجهة مشكلة النقص في المياه؟

الحل	حسنات أساسية	سيئات أساسية	إمكانية التطبيق ومدى المساهمة لحل مشكلة النقص في المياه
تطهير مياه المجاري			
تحلية			
استيراد مياه			
توفير			
زيادة هطول الرواسب			
تجميع مياه فيضانات			
رفع سعر المياه			

تلخيص

لمواجهة مشاكل المياه، نقوم بتنفيذ النشاطات الآتية:

نُعالج **مياه الشرب** التي نزوّدها للمستهلكين، لكي نمنع وجود مسببات أمراض في الماء. تشمل تكنولوجيا المعالجة بالأساس ترشيح المياه وإضافة كلور. يجب على السلطات المحلية أن تفحص المياه، وأن تتأكد بأنها تفي بمعايير جودة المياه التي حددها القانون.

إنّ **تطهير مياه المجاري** يمنع من حدوث أضرار البيئة المحيطة، واستعمال **مياه المجاري المكرَّرة** يُساهم في تقليص النقص في المياه. تكنولوجيا المعالجة المقبولة هي: برك التأكسد، وعماية الحمأة المنشّطة. أما معالجة مياه المجاري الصناعية، يُلْزمنا باستعمال تكنولوجيا معالجة خاصة بحسب نوع المجاري الخاصة لكل مصنع.

كما أنه يجب معالجة مياه المجاري الزراعية.

إنّ **تجميع مياه الفيضانات** يمنع من فقدان المياه التي مصدرها من جريان المياه العلوية إلى البحر، وهذه الطريقة تزودنا بحوالي 3% من استهلاك المياه.

التحلية هي التكنولوجيا الأساسية التي من خلالها يمكن أن نزوِّد مياهًا بكمية أكثر بسبب الطلب المتزايد على المياه.

تُستعمل في العالم طريقتان أساسيتان: التبخير والأسموزا العكسية. لقد وُجِدَ في البلاد أن طريقة الأسموزا العكسية، هي الطريقة المناسبة.

زيادة هطول الرواسب، هي طريقة اصطناعية لزيادة كمية الرواسب التي تَنْتُج من غيوم الأمطار. أُجريت أبحاث لمدة طويلة في هذا المجال، في البلاد، ويقوم المختصون "بزرع" غيوم الأمطار.

توفير المياه يزيد من كمية المياه المتوافرة. يمكن تحقيق التوفير من خلال وسائل مختلفة، مثل: استعمال طرق تنمية وري متقدمة في الزراعة، صيانة شبكة المياه بشكل جيد، بناء يحافظ على المياه، التربية، الإرشاد والتوعية.

استيراد المياه من خارج البلاد يساهم في تقليص النقص في المياه.

التشريع الأساسي الذي يُنظِّم استعمال المياه هو قانون المياه. بموجب هذا القانون، المياه هي مُلك عام، لكن الدولة هي المسيطرة على مصادر المياه. ومديرية المياه، هي المؤسسة المركزية المسؤولة عن تطبيق القانون. ومن بين نشاطاتها الأساسية: منع تلوث المياه، تطوير مصادر مياه، بحث موضوع المياه، بلورة توصيات لتحديد سعر المياه ولتخصيص حصص المياه.

القسم الثاني الهـواء

الفصل الرابع

الغلاف الجوي

الهواء يُتيح لنا الحياة، وهو موجود معنا منذ لحظة ولادتنا، ولا نستطيع الانفصال عنه.
نستطيع البقاء دون غذاء لمدة عدة أسابيع، ودون ماء أكثر من يوم واحد، لكن لا نستطيع البقاء دون الهواء أكثر من بضع دقائق. كل مكان، نريد الذهاب إليه، يجب أن يكون فيه هواء. ولولا وجود الهواء لكانت السماء سوداء، ولا نستطيع أن نسمع الصوت، ولا تكون حالة الطقس، ويتغيّر سطح الأرض في حالة حدوث هزة أرضية فقط. لحسن حظنا، الهواء موجود: لا يوجد له لون، ولا رائحة، ولا نستطيع رؤيته، لكن هذا المخلوط، هو الذي يُتيح لنا الحياة. هذا الفصل، هو مقدمة قصيرة من خلالها نتعرف على مميزات الهواء، وعلى عدة عمليات تحدث في الغلاف الهوائي الكرة الأرضية والذي نسمّيه الغلاف الجوي.

مكونات الغلاف الجوي

الغلاف الجوي عبارة عن مخلوط من الغازات التي لا تُنْتِج – تقريبًا– مركّبا كيميائية. لا تتغيّر – تقريبًا – المكونات الكيميائية الغلاف الجوي حتى ارتفاع 100 كلم، لكن كمية الغازات ("كثافة الغلاف الجوي") تقل كلما صعدنا إلى أعلى.

الغاز	الرمز الكيماوي	التكرارية في حجم هواء جاف (لا يحتوي على بخار ماء)
نيتروجين	N_2	78.08%
أكسجين	O_2	20.95%
ارغون	Ar	0.93%
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	0.035%
نيون	Ne	0.0018%
أوزون	O_3	0.0012%

* عندما يحتوي الهواء على بخار ماء (H_2O)، فإن حجم بخار الماء يصل حتى 4% من حجم الهواء.

جدول 4.1: مكونات الغلاف الجوي

سنذكر باختصار صفات الغازات الأساسية:

النيتروجين: النيتروجين هو العنصر الأكثر وجودًا وحجمًا. وهو ضروري لجميع الكائنات الحية، وهو أحد العناصر الذي تُبنى منه البروتينات والأحماض النووية. وجوده عالٍ في الهواء، لكن على الرغم من ذلك، أنواع معينة من البكتيريا – فقط – تستطيع أن تستهلكه مباشرةً من الهواء، أما باقي الكائنات الحية، فإنها تستوعبه من خلال الغذاء كمركّبات من النيتروجين. منذ بداية القرن العشرين، يستغل الإنسان النيتروجين الموجود في الهواء لإنتاج الأسمدة التي تُستعمل في الزراعة، وبفضلها يزداد الغذاء في العالم بشكل ملحوظ. يعود النيتروجين إلى الهواء من خلال كائنات حية دقيقة مختلفة تقوم بتحليل مركبات النيتروجين.

الأكسجين: دون الأكسجين، لا تستطيع أن تبقى معظم أشكال الحياة على سطح الكرة الأرضية. يُشكل الأكسجين 21% من الهواء الكلي في الغلاف الجوي، وهو ضروري لتنفس معظم الكائنات الحية، ولعمليات الاحتراق المختلفة. يُحفظ توازن الأكسجين بفضل النباتات التي تُطلق أكسجين إلى الهواء خلال عملية التركيب الضوئي.

الأرغون: الأرغون هو غاز خامل (نبيل)، وهو لا يتحد ولا يتفاعل مع أي مادة.

ثاني أكسيد الكربون: يَنْتُج ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في كل عملية احتراق، وفي كل عملية تنفس في الحيوانات والنباتات. أثناء عملية التركيب الضوئي، تقوم النباتات باستيعابه من الهواء. على الرغم من أن كميته ضئيلة جدًا، إلا أن هذا الغاز، يوجد له تأثير كبير جدًا على تكوين تأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري) الذي سنبحثه بتوسع في الفصل السادس.

الأوزون: هو جزيء مكون من ثلاث ذرات أكسجين. تكمن أهميته الكبرى في طبقة الستراتوسفيرا[1] على ارتفاع يقع بين 20 إلى 40 كلم فوق سطح الأرض، حيث يصل هناك إلى التركيز العلوي. في هذه الطبقة، يبتلع الأوزون الأشعة فوق البنفسجية (UV) التي تصل من الشمس، وهكذا يمنعها من الوصول إلى سطح الكرة الأرضية. لهذه الأشعة، يوجد تأثير ضار على الكائنات الحية وعلى الإنسان أيضًا. في بداية سنوات السبعينيات، اكتشف الباحثون أن مواد مختلفة من المواد التي يستعملها الإنسان، والتي تُطلَق إلى الهواء تؤدي إلى تناقص في طبقة الأوزون، وفي أعقاب ذلك، يزداد دخول الأشعة فوق البنفسجية إلى سطح الكرة الأرضية. هذا الاكتشاف، أدى إلى التوقيع على وثائق دولية تهدف إلى تقليل إنتاج المواد التي تهدم طبقة الأوزون (انظروا إلى التوسع في الفصل السادس).

نجد الأوزون بالقرب من الأرض أيضًا، وهو يَنْتُج هناك بسبب عواصف من البرق، وخلال تحليل مواد ملوثة تَنْتُج أثناء عمل وسائل النقل والمصانع الصناعية. عندما يكون تركيز الأوزون عاليًا، فإنه يشكل خطرًا على الكائنات الحية التي تكون قريبة منه. في الفصل الخامس، سنتوسع في التأثيرات المختلفة للأوزون.

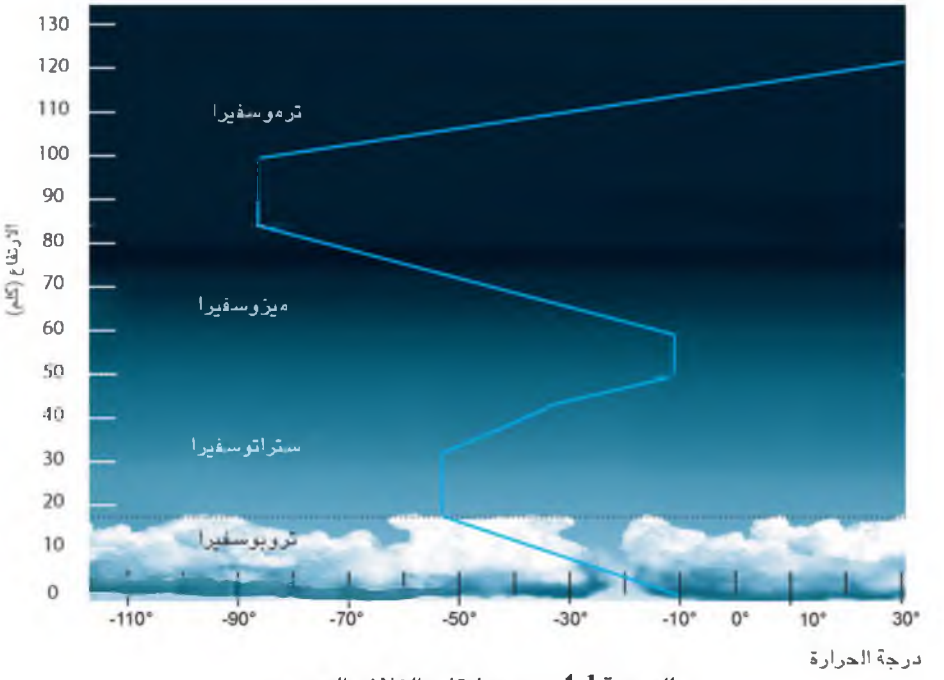
إضافةً إلى هذه الغازات، فإنّ الغلاف الجوي يحتوي على **بخار ماء** أيضًا. وتركيز بخار الماء ليس ثابتًا، بل يتغيّر وفقًا للمنطقة ولحالة الطقس. إنّ مصدر بخار الماء في الغلاف الجوي، هو تبخر مياه المحيطات، وتبخر مياه اليابسة من الأنهار، البحيرات والنباتات.

يحتوي الغلاف الجوي على جسيمات كثيرة، مثل: جسيمات الغبار، قطرات الضباب، جسيمات اصطناعية، جسيمات دخان طبيعية واصطناعية، قطرات مطر وغيوم. سنتوسع فيما بعد بهذه الجسيمات.

[1] الستراتوسفيرا : طبقة هواء، تقع على ارتفاعات بين 10 –18 كلم وحتى 50 كلم

طبقات الغلاف الجوي

تُقسَّم عادةً الغلاف الجوي إلى طبقات بحسب تغيّر درجة الحرارة مع زيادة الارتفاع.



الرسمة 4.1: مبنى طبقات الغلاف الجوي

الطبقة المجاورة الكرة الأرضية، والتي يصل ارتفاعها إلى 18–10 كلم فوق سطح الأرض، هي **التروبوسفيرا**. في هذه الطبقة، تنخفض درجة الحرارة – كلما صعدنا إلى أعلى – بمعدل 6.5 درجات على كل كيلومتر واحد. سبب هذا الانخفاض، هو الطريقة التي يسخن فيها الهواء في هذا القسم من الغلاف الجوي. أشعة الشمس التي تخترق الغلاف الجوي، لا تُسخّن الغلاف الجوي تقريبًا، لكن بعد أن تُسخّن الأرض، فإن الأرض هي التي تُسخّن الهواء الموجود فوقها. اذا كلما ابتعدنا عن الأرض، فإن درجة الحرارة تنخفض. تحدث في التروبوسفيرا **التغيّرات** في حالة الطقس، الغيوم، الرواسب، العواصف وما شابه. لا يوجد تبادل هواء بين التروبوسفيرا والستراتوسفيرا (وهي الطبقة التالية التي تقع فوق التروبوسفيرا)، اذا معظم ملوثات الهواء التي تنطلق على سطح الكرة الأرضية تبقى في طبقة التروبوسفيرا.

تنتهي التروبوسفيرا في المكان الذي تتوقف فيه درجة الحرارة على الانخفاض كلما صعدنا إلى أعلى. وهذه هي بداية طبقة **الستراتوسفيرا** التي تصل حتى ارتفاع 50 كلم. ففي القسم السفلي الستراتوسفيرا تبقى درجة الحرارة ثابتة، وفيما بعد ترتفع كلما صعدنا إلى أعلى.

درجات الحرارة المرتفعة نسبيًا في الستراتوسفيرا، هي نتيجة لابتلاع الأشعة فوق البنفسجية التي تبتلعها جزيئات الأوزون التي تركيزها الأقصى يكون في هذه الطبقة. قسم من طاقة الأشعة التي تُبتلع يتحول إلى طاقة حرارية، وهذا يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة.

أما طبقة **الميزوسفيرا**، فإنها تقع من ارتفاع 50 كلم حتى ارتفاع 85 كلم تقريبًا. وفي أسفلها لا تتغيّر درجة الحرارة كلما صعدنا إلى أعلى. لكن بعد ذلك، يبدأ مرة أخرى الانخفاض في درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع. في طبقة الميزوسفيرا، تؤدي أشعة الشمس إلى إخراج إلكترون واحد أو أكثر من جزيئات الهواء، ونتيجةً لذلك تَنْتُج أيونا [1]. تحدث ظاهرة مثيرة للاهتمام في الميزوسفيرا، وهي لمعان القطب، وهذا يعني أن الجسيمات التي تصل من الشمس وتدخل الغلاف الجوي، وخاصة في منطقة الأقطاب، تصطدم بجزيئات الهواء وتؤدي إلى تكوين ألوان حمراء وخضراء في السماء.

ومن فوق الميزوسفيرا، تبدأ **الترموسفيرا** التي ترتفع فيها درجة الحرارة كلما صعدنا إلى أعلى. السبب لارتفاع درجة الحرارة أن جزيئات الأكسجين تبتلع أشعة الشمس. ونسبة الارتفاع غير ثابتة، لأنها متعلقة بشكل كبير بالنشاط الشمسي. وهذه الأشعة ترفع درجة الحرارة في الترموسفيرا، وقد تصل أحيانًا حتى 1500°C.

من الجدير بالذكر، أنه إذا صعدنا في الترموسفيرا، فإننا لا نشعر بدرجة الحرارة العالية، لأن الهواء شحيح فيها (غير كثيف)، وعدد الجزيئات التي تصطدم بنا تكون قليلة جدًا. إنّ طاقة الجزيء تكون عالية جدًا لكن مجموع الطاقة التي تصطدم بنا تكون قليلة، اذا لا نشعر بها.

أسئلة

1. تمعّنوا في الرسمة 4.1، ثم اكتبوا:
   أ. الارتفاعات التي تزداد فيها درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع.
   ب. الارتفاعات التي لا تتغيّر فيها درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع.
   ج. الارتفاعات التي تنخفض فيها درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع.
2. لماذا من الأفضل أن تُحلق الطائرة في طبقة الستراتوسفيرا من أن تُحلق في طبقة التروبوسفيرا؟
3. ما معنى "الفصل" بين الستراتوسفيرا والتروبوسفيرا من ناحية توزيع المواد التي تلوث الهواء؟
4. في أي دورات مواد تمر المواد عبر الغلاف الجوي؟

[1] الأيون – ذرة جزيء ينقصها أو فيها فائض إلكترون واحد أو أكثر، وهذه الذرات يوجد لها شحنة كهربائية.

الغيوم والرواسب

فقط 0.03% من المياه في العالَم موجودة في الهواء، لكن أهميتها كبيرة جدًا. والحياة على سطح الكرة الأرضية متعلقة بها، لذا ظاهرة الرواسب، هي ظاهرة حالة الطقس الأهم.

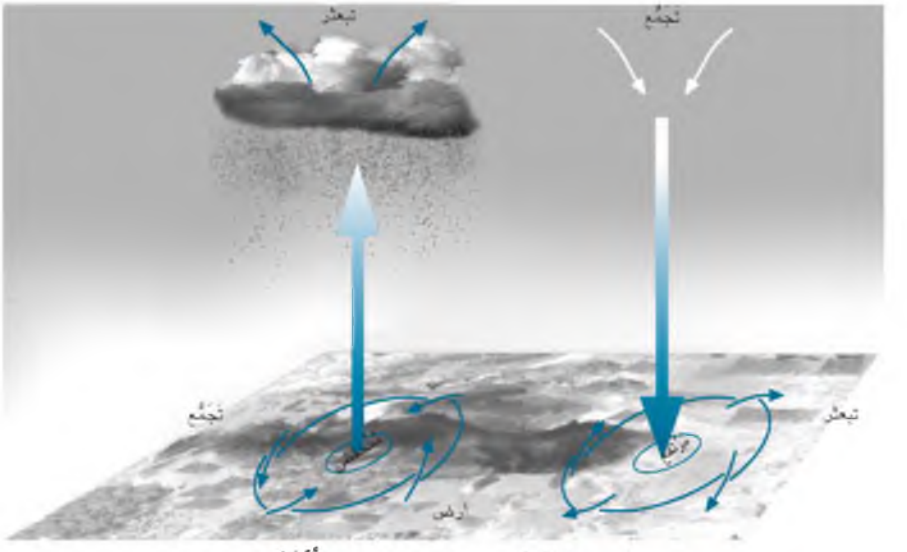
تكوين الغيوم

الغيوم مكونة من قطرات ماء صغيرة جدًا، أو من كتل بلورية جليدية صغيرة جدًا، أو من اثنيهما. تتكون الغيمة عندما يبرد الهواء الذي يحوي بخار ماء، وقسم من بخار الماء يتكاثف إلى قطرات ماء أو إلى كتل بلورية جليدية. الشرط الضروري لتكاثف أو تجمد بخار الماء في الهواء، هو وجود جسيمات صلبة صغيرة، لأنه على هذه الجسيمات تبدأ عملية التكثيف أو التجمد. هذه الجسيمات، يمكن أن تكون جسيمات غبار تتكون من تآكل الصخور، أو بلورات ملح تَنْتُج أثناء تبخر قطرات رذاذ مياه البحر، أو حبيبات اقاح نباتات وأيضًا جسيمات مختلفة تنطلق إلى الهواء كملوثات بسبب نشاط الإنسان. في قسم من الطرق التي تزيد من هطول الأمطار، فإنّ الإنسان يضيف نوى تكاثف أو تجمد إلى الغيوم التي يجدها مناسبة، لكي يحسن ويُنشِّط من عملية تكوين القطرات (انظروا الفصل الثالث صفحة 111).

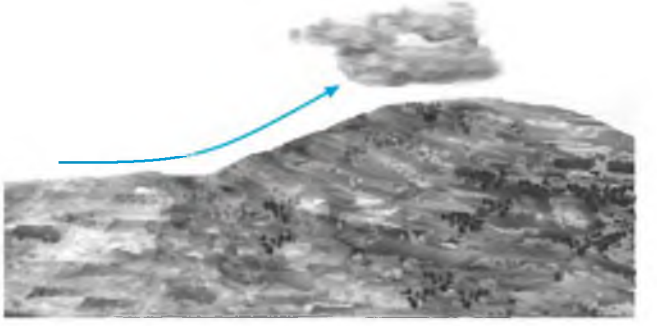
تتكون معظم الغيوم عندما ترتفع كتل هوائية تحتوي على بخار ماء، وتنتشر وتبرد بسبب انخفاض ضغط الهواء. وفي أعقاب البرودة تصل الرطوبة النسبية في الكتلة الهوائية إلى 100%، ويتكاثف بخار الماء إلى قطرات صغيرة جدًا، أو يتحول إلى كتل بلورية جليدية صغيرة جدًا تتكون منها الغيوم. يمكن أن يرتفع الهواء إلى أعلى بإحدى الطرق الآتية:

- عندما تتكون – بالقرب من الأرض – منطقة يكون فيها ضغط الهواء أقل من البيئة المحيطة (انخفاض جوي). في هذه الحالة، يتجمَّع الهواء في مركز المُنْخَفَض الجوي، ويصعد إلى أعلى ويبرد. وفي أعقاب ذلك، يدخل هواء من طرفي المُنْخَفَض ويتجمَّع في المركز، ثم يصعد إلى أعلى ويبرد.
- عندما تهب رياح اتجاه الجبل، يندفع الهواء الموجود في قمة الجبل ويبرد. يمكن أن تتكون الغيوم دون حركة الهواء إلى أعلى، وهذا يحدث، عندما تطرأ برودة محلية على الهواء، مثلاً: عندما يتلامس الهواء مع أرض باردة (وبطريقة شبيهة تَنْتُج قطرات الندى).

في حالات كثيرة، تتكون غيوم بعدة طرق في نفس الوقت، مثلاً: تتكون في البلاد غيوم ورواسب عندما يكون في منطقتنا مُنْخَفَض جوي فيه يتصاعد الهواء، وتهب رياح غربية في المُنْخَفَض، وهي تدفع الهواء البحري اتجاه منطقة الجبال (جبال الجليل، يهودا والسامرة). هذه الظاهرة أيضًا، تؤدي إلى صعود الهواء.



الرسمة 4.2 : صعود الهواء في المُنْخَفَض



الرسمة 4.3: تكوُّن غيوم عندما يتصاعد هواء إلى أعلى، ويبرد أثناء دفعه اتجاه الجبل

رواسب: مطر، ثلج وبَرَد

كما شرحنا من قبل، فإنّ الغيوم مكونة من قطرات ماء، أو من كتل باورية جايدية صغيرة جدًا، أو من اثنيهما. قوة الجذب، لا تستطيع أن تجذبها إلى الأرض، لأن قطرات الغيمة والاكتل الباورية الجايدية تحتك مع جزيئات الهواء التي تلتقي بها في طريقها إلى الأسفل، وهكذا تصبح حركتها بطيئة جدًا. قطرات الماء والاكتل الباورية الجايدية الصغيرة جدًا، يجب أن تكبر بشكل ملحوظ، اكي تصبح ثقيلة

غيوم

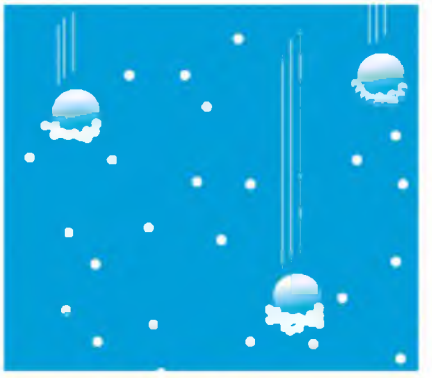
بقدر كافٍ، ولكي تتغلب على قوة الاحتكاك مع تيارات الهواء المتصاعدة في الغيمة، ولتنفصل عن الغيمة **كمطر، ثلج** أو **بَرَد**. مثال: لكي تتكوَّن قطرة مطر، يجب أن يكبر قطرها بمئة ضعف، وأن تكبر كتلتها بمليون ضعف.

عندما تكون الغيمة مكونة من قطرات ماء فقط، فإنّها تكبر في المرحلة الأولى بالأساس من خلال استمرار تكاثف بخار الهواء عليها. وفيما بعد، عندما تصبح القطرات كبيرة، فهي تبدأ بالسقوط تدريجيًا، ويستمر ازدياد كبرها خلال السقوط في أعقاب اصطدامها واتحادها مع قطرات أصغر منها. عندما تصبح القطرة كبيرة وثقيلة بما فيه الكفاية، فإنها تخرج من قاعدة الغيمة وتنزل كمطر.

وعندما تكون الغيمة مكونة من كتل باورية جايدية صغيرة جدًا، فإن هذه الكتل تكبر بسبب استمرار تجمد بخار الماء، وعندما تصبح ثقيلة بما فيه الكفاية، فإنها تسقط من الغيمة كثلج. في حالات كثيرة، تكبر الكتل الباورية الجايدية نتيجةً لاصطدامها واتحادها مع كتل باورية جايدية أخرى. وبما أن شكل باورات الجايد، يؤدي إلى تكوين فراغات هواء في داخلها، فإن فتات الثلج يكون أخف نسبةً لحجمه مقارنة مع قطرات المطر. وإذا سادت درجة حرارة أعلى من $0^{\circ}C$ تحت قاعدة الغيمة، فإنَّ ذاك يؤدي إلى ذوبان الثلج ويصل الأرض كمطر.

عندما تكون الغيمة مكونة من قطرات ماء ومن باورات كتل جايدية، فإن ذاك يُنْتِج بَرَدًا. من هنا، يتكون البَرَد عندما تتجمد قطرات الماء حول باورات الجايد. والبَرَد أيضًا، يمكن أن يذوب في طريقه إلى الأرض، وأن يصل كمطر.

الرسمة 4.4: معدل كبر قطرة غيمة مقارنة مع معدل كبر قطرة مطر



الرسمة 4.5: عملية اتحاد قطرات غيمة إلى قطرات مطر.

أسئلة

1. أ. ما هي الشروط المطلوبة لتكوين الغيوم؟
   ب. في أي حالات في الطبيعة تنتج الظروف لتكوين المطر؟
2. في أي مناطق – بحسب رأيكم – يوجد نوى تكاثف كثيرة، وأين يكون نقص فيها؟
3. صِفوا العمليات التي في أعقابها يسقط مطر من غيمة.
4. ما هي الأسباب الممكنة التي تؤدي إلى عدم سقوط مطر من غيمة؟
5. ما هي الفروق التي يمكن أن تكون في جودة مياه المطر بين منطقة سكنية كثيفة بالسكان، وبين منطقة غير كثيفة بالسكان؟ اشرحوا السبب.

ثلج في القدس

تلخيص

الغلاف الجوي، هو غلاف غازات الكرة الأرضية. تُقسَّم عادةً الغلاف الجوي إلى طبقات بحسب تغيّر درجة الحرارة مع الارتفاع. الطبقة القريبة من سطح الكرة الأرضية، نسمّيها تروبوسفيرا، وفيها تتم عمليات حالة الطقس التي نعيشها. ومن فوقها نجد الستراتوسفيرا، الميزوسفيرا والترموسفيرا.

تتكون الغيوم من قطرات ماء صغيرة جدًا، أو من كتل بلورية جليدية صغيرة جدًا، أو من اثنيهما معًا. تتكون الغيوم في أعقاب برودة (انخفاض درجة حرارة) الهواء الذي يحوي بخار الماء. تحدث البرودة عادةً عندما يصعد الهواء إلى أعلى، وأحيانًا عندما تكون برودة محلية في الهواء.

تتكون الرواسب عندما تكبر قطرات الماء والكتل البلورية الجليدية التي تكوِّن الغيوم، بحيث تكبر بما فيه الكفاية، لكي تتغلب على مقاومة الهواء وتسقط إلى الأسفل. وفقًا لدرجة الحرارة، وشدة التيارات العمودية في الغيمة يَنْتُج مطر، ثلج ،أو بَرَد.

الفصل الخامس

جودة الهواء

بتاريخ 25 تشرين أول في سنة 1944، استيقظ 15000 نسمة من سكان مدينة دونوره – في ولاية بِنْسِلْفينيا في الولايات المتحدة – على مدينتهم المغطاة بضباب كثيف وملوث. اعتاد سكان دونوره على هذا الضباب، لأنه في بلدتهم، يوجد عدة مصانع للصناعة الثقيلة، ولم يروا في ذلك ظاهرة غريبة، لأنه عادةً، يزول هذا الضباب خلال اليوم، لكن في هذه المرة لم يحدث ذلك. وقف الهواء دون أي حركة، وغطى الضباب الملوث المدينة 5 أيام متتالية. في اليوم الثاني، بدأ السكان يمرضون، ويعانون من آلام في العيون، ومن غثيان، وسعال، وضيق في التنفس. بعد أن زال الضباب، اتضح أن حوالي 6000 شخص من سكان المدينة مرضوا، وقد توفي 20 شخصًا. هذا الحدث الخطير، كان من بين أحداث تلوث الهواء الخطيرة التي حدثت في سنوات الأربعينيات والستينيات من القرن العشرين. في أعقاب هذه الأحداث، قامت الولايات المتحدة وأوروبا بنشاطات مختلفة لتقليل التلوث، ومنذ ذلك الحين لم تحدث أحداث خطيرة كتلك الأحداث. لكن على الرغم من ذلك، أصبحت جودة الهواء سيئة في أماكن كثيرة في العالَم، وخاصةً في الأماكن التي كان هواؤها نقيًا. الهواء الذي جودته سيئة، يستهلكه اليوم مئات ملايين الناس في أنحاء العالَم، والأضرار التي يسببها هذا الوضع للصحة تظهر في الأماكن الملوثة.

مصادر تلوث الهواء

التعريف المقبول لتلوث الهواء هو: أن الهواء الملوث يحتوي على مركّبات غازية، سائلة، أو جُسَيْما صغيرة بتركيز يؤثر سلبًا على كائنات حية، أو على مواد من منشآت يستخدمها الإنسان. يمكن أن تكون مصادر التلوث طبيعية، أو نتيجةً لنشاط الإنسان. فيما يلي أمثلة لمصادر تلوث طبيعية: بُركان يُطلق أكاسيد الكبريت ورماد، عواصف رملية تملأ الهواء غبارًا، ونباتات تُطلق حبيبات لقاح تؤدي إلى حساسية. أما مصادر التلوث التي مصدرها من نشاط الإنسان، فمن المعتاد تقسيمها إلى **مصادر ساكنة**، مثل: المصانع، محطات توليد الطاقة الكهربائية ومبانٍ للسكن. وإلى **مصادر متحركة**، مثلاً: السيارات.

الملوثات التي تصل الهواء مباشرةً من مصدر التلوث نسمّيها **ملوثات أوليّة**، مثلاً: جسيمات السناج التي تَنْتُج أثناء الحريق. أما الملوثات الأخرى، نسمّيها **ملوثات ثانوية**، وهي تَنْتُج من عمليات مختلفة يشترك فيها قسم من المواد التي تُطلق إلى الهواء، مثلاً: عندما تكون في الهواء أكاسيد نيتروجين ومركبات هيدروكربونية، وتنطلق هذه المواد من منشآت صناعية ووسائل نقل، تحدث عمليات كيميائية مختلفة من خلالها يَنْتُج أوزون (O_3). وهو ملوث ثانوي.

تلوث هواء.

ما هو تلوث الهواء؟ - تعاريف مختلفة

يوجد تعاريف كثير لمصطلح تلوث هواء. فيما يلي قسم منها:

- التلوث هو إضافة إلى الهواء، وقد أُثبت بشكل قاطع أنه يؤدي إلى أضرار في البيئة المحيطة.
- التلوث هو إضافة إلى الهواء، يؤدي إلى تغيّر في صفا الهواء، حتى إذا لم يُثبت أن هذا التغيّر يؤدي إلى ضرر معين.
- التلوث هو إضافة إلى الهواء، يُمثّل بداية عملية من المتوقع أن تؤدي إلى ضرر في المستقبل.

الفروق في التعاريف المختلفة تُمثّل توجهات قيم مختلفة. وإذا أردنا أن نمنع تلوث الهواء، يجب اتخاذ سياسة اتجاه البيئة المحيطة وفقًا للتعريف الذي نتبناه.

أسئلة

1. أ. ما هي السياسة – بحسب رأيكم – التي يجب اتخاذها اتجاه البيئة المحيطة، بحسب كل تعريف لتلوث الهواء؟
   ب. ما هي الانعكاسات التي يمكن أن تكون لكل تعريف في المجالات المختلفة؟
2. ما هو التعريف الأفضل بحسب رأيكم؟

أسئلة

1. اقرأوا قطعة الافتتاحية في صفحة 135:
   أ. لماذا – بحسب رأيكم – لم تحدث في السنوات الأخيرة أحداث خطيرة كتلك التي حدثت في دونورة؟
   ب. خمّنوا، لماذا انخفضت جودة الهواء في أماكن كثيرة في العالَم على الرغم مما قيل في بند أ، من هذا السؤال؟
2. اذكروا 3 أمثلة لنشاطات الإنسان التي تؤذي جودة الهواء؟

العمليات التي تؤدي إلى تلوث الهواء

ملوثات أولية

عملية **الاحتراق**، هي العملية الأساسية التي يَنْتُج فيها ملوثات الهواء. ويمكن القول أن تأثير الإنسان على جودة الهواء بدأ مع اكتشاف النار. أتاحت عمليات الاحتراق للإنسان أن يُنْتِج طاقة، وأن يصنع مواد، وكلما تطورت هذه القدرات، ارتفع مستوى حياة الإنسان.

الإنسان يحرق – أيضًا – نفايات تتراكم في البيئة المحيطة، ويحرق غابات لكي يخليها من الأشجار، والتدخين الشائع عند الناس، هو عملية احتراق أيضًا. مواد الوقود التي "تُغذي" عمليات الاحتراق، هي مركّبات كربون عضوية مبنية بالأساس من ذرات كربون وهيدروجين. وكل المواد العضوية التي يحرقها الإنسان مصدرها من الكائنات الحية. الفحم مصدره من الأشجار، والنفط مصدره من كائنات حية بحرية صغيرة جدًا عاشت على الكرة الأرضية في فترات جيولوجية قديمة.

إنّ عمليات إنتاج الطاقة أثناء الاحتراق تشبه بشكل أساسي ما يحدث في أجسام الكائنات الحية التي تتغذى على مركبات عضوية، وتُنْتِج منها طاقة أثناء عملية التنفس. ناتجا هذه العملية هما ثاني أكسيد الكربون وماء، وهذان المركّبان غير ضارين. وأثناء عمليات الاحتراق أيضًا، فإنّ ثاني أكسيد الكربون والماء، هما الناتجان الأساسيان. الاحتراق الذي تَنْتُج فيه هاتان المادتان، نسمّيه احتراقًا كاملاً، لكن الاحتراق الكامل لا يحدث عادةً، وإضافةً لثاني أكسيد الكربون والماء، تَنْتُج مواد أخرى بطرق مختلفة.

إنتاج الطاقة في عملية التنفس:

$$CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{طاقة}$$

إنتاج الطاقة في عملية احتراق كامل لغاز الميثان:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{طاقة}$$

الرسمة 5.1: *إنتاج الطاقة في عملية التنفس وأثناء احتراق غاز الميثان*

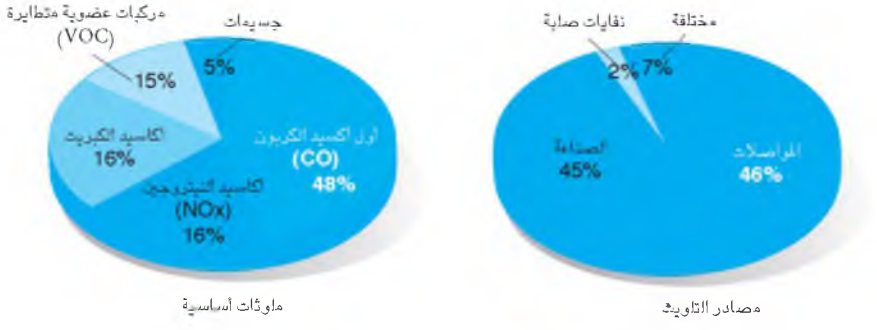
قسم من المواد الإضافية التي تنبعث أثناء الحريق، تَنْتُج عندما لا يكون خلط كافٍ بين جزيئات الأكسجين وبين جزيئات المادة التي تحترق. ففي هذه الحالة، تنطلق إلى الهواء جسيمات حُرقت بشكل جزئي. وهذه الجسيمات، هي **هيدروكربونات** – مركّبات تحتوي على كربون وهيدروجين، وقسم منها صلبة تُنْتِج **جسيمات** السناج الذي نراه أثناء الاحتراق، والأخرى غازات لا نراها دائمًا. هذه الغازات، نسمّيها **مركّبات عضوية متطايرة** (Volatile Organic Compounds– VOC). معظم المواد الهيدروكربونية التي تَنْتُج كنواتج مرافقة لعملية الاحتراق، تعتبر مواد ضارة. يوجد ناتج آخر لعملية الاحتراق، وهذا ناتج لا يوجد فيه أكسجين بشكل كافٍ، وهو غاز **أول أكسيد الكربون (CO)**. وهذا الغاز خطير جدًا، لأنه يؤدي إلى الموت بتركيز منخفض جدًا. تنطلق مواد أخرى أثناء الاحتراق، لأن المواد العضوية التي تُستعمل كوقود، تحتوي إضافة الكربون والهيدروجين على عناصر أخرى، مثلاً: يتفاعل الكبريت (S) الموجود في الوقود مع الأكسجين الموجود في الهواء،

وينطلق **ثاني أكسيد الكبريت** (SO_2) إلى الهواء. هذا الغاز، يُنْتِج – في العمليات المختلفة – ملوثات ثانوية تؤدي إلى تكوين مطر حامضي. وبطريق شبيهة، تنطلق معادن ثقيلة ومواد أخرى إلى الهواء أثناء حرق النفايات. تَنْتُج ملوثات هواء أثناء الاحتراق أيضًا بسبب درجة الحرارة العالية التي تحدث فيها. ودرجة الحرارة العالية، تؤدي إلى تفاعل بين الأكسجين والنيتروجين الموجود في الهواء. نواتج هذا التفاعل، هي مركبات مختلفة من النيتروجين والأكسجين، والتي نسمّيها بالاسم العام **NO_X**. (حيث يَنْتُج بالأساس NO وَ NO_2).

عادةً هذه المركّبات غير ضارة، لكنها تُنْتِج ملوثات ثانوية، مثل: الأوزون والمطر الحامضي.

إضافةً إلى عمليات الاحتراق، تصل الهواء ملوثات بطرق أخرى أيضًا، حيث يكون قسم منها طبيعيًا. سنذكر قسمًا منها:

- العمليات البيولوجية تُنْتِج مركّبات متطايرة (VOC). تَنْتُج كميات كبيرة من غاز الميثان (CH_4) أثناء عملية الهضم التي تتم في أمعدة الأبقار، وأثناء النشاطات اللاهوائية المحلِّلات في حقول الأرز. وتنبعث أيضًا مركبات متطايرة أخرى بكميات كبيرة أثناء عمليات مختلفة في النباتات.
- تنبعث من جبال البركان ملوثات هواء مختلفة، مثل: جسيمات رماد وغازات، فهي تنبعث إلى الهواء أثناء انفجار البركان. واللابة التي تخرج من جبل البركان، تُطلق غازات إلى الهواء.
- في عمليات التآكل الطبيعية، تَنْتُج جسيمات غبار نتيجةً لتفتت الصخور والتربة. وعمليات تآكل مواد من صُنع الإنسان، تضيف ملوثات إلى الهواء أيضًا. مثلاً: تآكل حوائط مصنوعة من مادة الأسبست، تُنْتِج أشرطة صغيرة جدًا (ميكروسكوبية) من جسيمات الأسبست التي تنطلق إلى الهواء، وقد تؤدي إلى مرض السرطان عند الأشخاص الذين يستنشقونها، أو يلمسونها.
- تطاير مواد، مثل: وقود، دِّهان ومواد تنظيف، يُضيف مواد عضوية متطايرة (VOC) إلى الهواء.



الرسمة 5.2: *مصادر تلويث الهواء وملوثات هواء أساسية*

ملوثات ثانوية

كما ذكرنا، تَنْتُج الملوثات الثانوية بسبب التغيّرات الكيماوية التي تمر فيها الملوثات الأولية. المطر الحامضي والضبخان (الضباب والدخان)، هما ظاهرتا التلوث الأساسية في هذه المجموعة. في الفصل السادس سنبحث المطر الحامضي، أما تكوُّن الضبخان سنصفه الآن:

حُدِّد المصطلح **ضبخان** في النصف الأول من القرن العشرين، لكي يَصف الضباب الملوث الذي يميز المدن الصناعية في تلك الفترة. يَنْتُج هذا الضبخان بسبب اختلاط الضباب مع ملوثات تنطلق إلى الهواء من مصانع تستعمل الفحم لإنتاج الطاقة. وهذا الضبخان نسمّيه **ضبخان لُندن**، وقد تقاص تكونه في السنوات الأخيرة بشكل ملحوظ مع زيادة الوعي البيئة المحيطة، ومع إدخال وسائل اتقايل التلوثات الصناعية. ومع مرور السنين أصبح يظهر **ضبخان كيماوي ضوئي (فوتوكيماوي)**، وهذا الضبخان يَنْتُج بسبب تفاعلات كيماوية تتم بواسطة ضوء الشمس وبوجود ملوثات أولية معظمها من السيارات. نلاحظ أحيانًا الضبخان الكيماوي الضوئي كدخان لونه بُني – أحمر. الملوث الأساسي الذي يَنْتُج نتيجةً للضبخان الكيماوي الضوئي، هو الأوزون، وأثناء تكوينه تَنْتُج مركبات ضارة أخرى أيضًا. وكما ذكرنا في الفصل السابق، يوجد للأوزون أهمية كبيرة جدًا في مرتفعات الغلاف الجوي، لأنه يعمل كغاز يُقال من الأشعة فوق بنفسجية. لكن بالقرب من الأرض، فهو غاز ضار يؤذي الجهاز التنفسي، ويؤدي إلى أضرار في النباتات والمواد المختلفة من صُنع الإنسان. يَنْتُج الأوزون بالقرب من الأرض بالطريقة الآتية:

يتحال أكسيد النيتروجين NO_2 بسبب تأثير ضوء الشمس على جزيء NO وذرة الأكسجين (O):

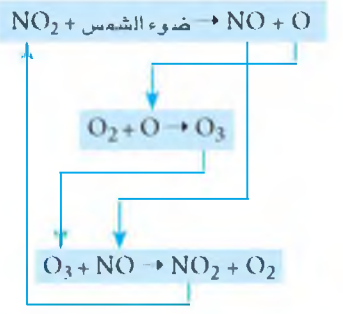
$$NO_2 + \text{ضوء الشمس} \rightarrow NO + O$$

تتفاعل ذرة الأكسجين مع جزيء أكسجين في الهواء ويَنْتُج:

$$O_2 + O \rightarrow O_3$$

ومن خلال إنتاج الأوزون، يتحال وفقًا العملية الآتية:

$$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$$

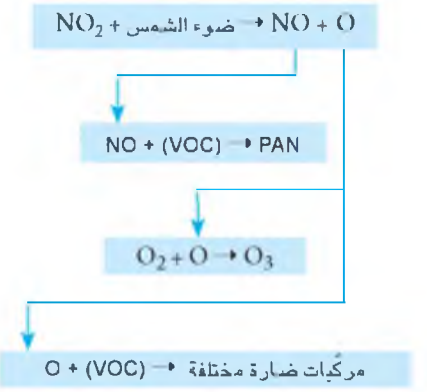


الرسمة 5.3: إنتاج وتحليل الأوزون في حالة توازن

هذه العمليات، تؤدي إلى توازن ديناميي (متغيّر) بين تكوين الأوزون وتحليله، وفي هذه الحالة، لا يوجد تراكم للأوزون في الهواء. لكن عندما تكون مركّبات عضوية متطايرة (VOC) في الهواء، لا يكون هذاك توازن بين إنتاج وتحليل الأوزون، لأن المركّبات العضوية المتطايرة (VOC) تتفاعل مع قسم من جزيئات أول أكسيد النيتروجين (NO) وتمنعها أن تتفاعل مع الأوزون (O_3)، وأن تُحلّله، وهكذا يتراكم الأوزون الضار في الهواء.

المركّبات التي تَنْتُج أثناء التفاعل بين أكسيد النيتروجين (NO) والجسيمات العضوية المتطايرة (VOC)، هي مواد ضارة نسمّيها PAN[1].

وفي نفس الوقت، تتم تفاعلات كيماوية بين مركّبات عضوية متطايرة (VOC) وبين ذرات أكسجين منفردة، وهذه التفاعلات أيضًا، تُنْتِج مواد مختلفة ذات تأثير ضار.



الرسمة 5.4: *تغيّر التوازن الديناميي للأوزون وإنتاج مواد ضارة مختلفة، في أعقاب وجود مركبات عضوية متطايرة (VOC)*

إنّ عمليات إنتاج الملوثات الثانوية – التي وصفناها– تستغرق وقت طويلاً، والتركيز العالي لهذه المواد يُقاس بعد حوالي 3– 6 ساعات تقريبًا من انبعاث الملوثات الأولية إلى الهواء.

عندما تهب الرياح، يُقاس التركيز العالي للملوثا بعيدًا عن مصادر التلويث. في الأبحاث التي أُجريت في إسرائيل، قيست تراكيز عالية من الأوزون، في ساعات الظهيرة في مناطق داخلية في البلاد (بالأساس في منطقة عتصيون)، وقد كان ذلك في الأماكن التي لا يوجد فيها مصادر تلوث كثيرة.

نلاحظ أن هذا الأوزون نَتَجَ في الهواء الذي احتوى على ملوثات أولية انبعثت في منطقة دان، في ساعات الصباح أثناء حركة السير المزدحمة. وتحرك الهواء إلى داخل البلاد مع الرياح التي تهب من البحر، وأثناء حركتها نَتَجَ الأوزون.

[1] peroxyacetyl mitrates – PAN

الرسمة: 5.5

تصوير محوسب، يُشير إلى مكان كتلة الهواء وتركيز الأوزون في داخله بتاريخ 25 أيار 1994. هذه الكتلة من الهواء كانت فوق منطقة تل أبيب قبل عدة ساعات من هذه الصورة (بحسب بلج وليورا 1995)

أسئلة

1. إنّ تلوث الهواء الناجم عن حرق نفايات يكون على الأغلب أخطر من التلوث الناجم عن حرق كمية مماثلة من الوقود. خمّنوا السبب.
2. لماذا تُستعمل المواد العضوية كمواد وقود؟
3. لماذا عملية الاحتراق الكامل، هي عملية لا تتم تقريبًا؟
4. لماذا من المهم أن تكون هناك فتحات تهوية في البيت الذي يتم تسخينه بمدفأة تعمل على الغاز؟
5. ماذا يحتوي دخان موقد نار؟
6. أحد الاقتراحات لتخفيف تكوين الأوزون، هو تطوير تكنولوجيا تقلل من تكوين مركبات عضوية متطايرة (VOC). ما هو رأيكم في هذا الاقتراح؟
7. أي أنواع تلوث (أولية أو ثانوية) يتعرض لها سكان يعيشون في مناطق قروية؟ اشرحوا السبب.
8. ما هي العوامل – بحسب رأيكم – التي تُحدد مدى تلوث الهواء في دول معينة؟

إبعاد، تحليل وبعثرت ملوثات الهواء

يتم تحديد تركيز ملوثات الهواء من خلال عاملين أساسيين:

- مجموع انبعاث الملوثات التي تتم في منطقة معينة.
- الوتيرة التي يتم فيها إبعاد الملوثات، أو تحليلها، أو بعثرتها في الهواء.

من المهم معرفة العمليات والآليات الطبيعية التي من خلالها تُبعد الملوثات من الهواء، لكي نفهم مدى التلوث الذي يحدث عمليًا في منطقة معينة.

إبعاد وتحليل الملوثات

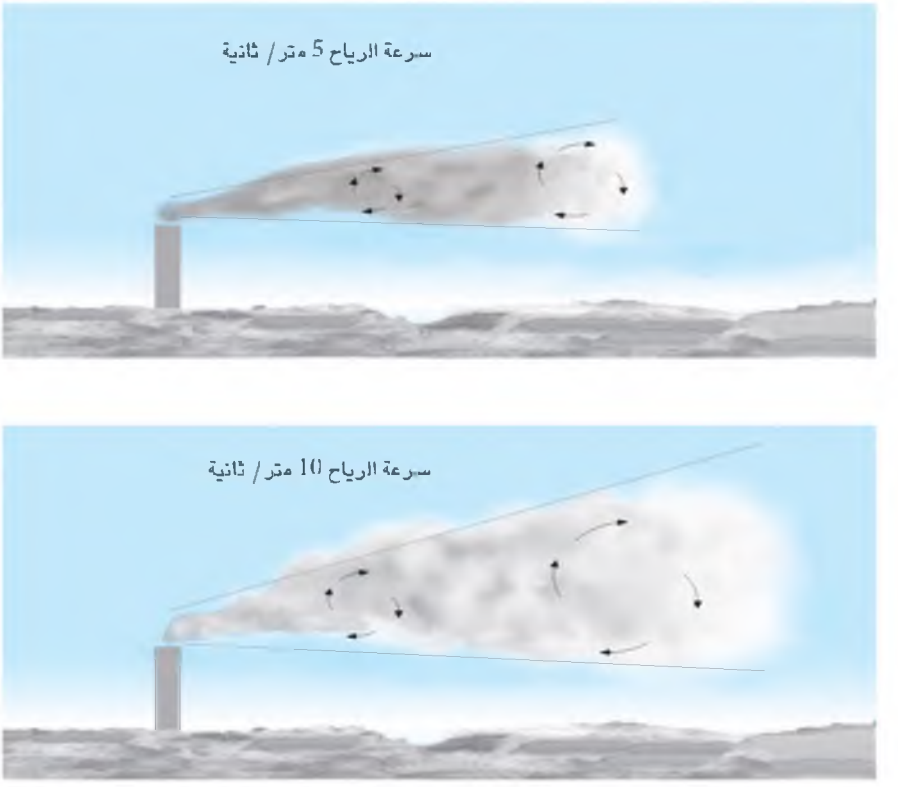
الرواسب هي العملية المركزية التي تُنظف الهواء من مكونات تلوث كثيرة، لأنها تشطف الملوثات إلى أسفل، وهذا يعني إلى الأرض. تتم هذه العملية بعدة طرق: يمكن أن تكون جُسَيْمات المادة الملوثة في الغيمة كنوى للتكاثف التي من حولها تتكاثف وتكبر قطرات الغيمة. وأثناء هطول المطر، تسقط هذه الجسيمات إلى الأرض مع القطرات، كما أن قطرات المطر تجرف جسيمات أخرى تلتقي بها في طريقها إلى أسفل. المواد الغازية، يمكن أن تُبعد من الهواء، إذا ذابت في قطرات الغيمة وفي مياه المطر. وهكذا يتكون المطر الحامضي الذي تتفاعل به مركّبات غازية (مثل: NO_X وَ SO_2) مع ماء الغيمة، ويَنْتُج حامض النيتريك وحامض الكبريتيك (انظروا إلى الفصل السادس).

في حالة نقص في الرواسب، فإنّ الملوثات الصلبة ترسب إلى الأرض بعملية بطيئة، حيث تكون وتيرتها بحسب كتلتها. طريقة أخرى لتنظيف الهواء من الملوثات، هي تحليلها إلى مواد غير ضارة، حيث يتم ذلك بالأساس من خلال عمليات كيماوية طبيعية، مثلاً: يتأكسد الغاز السام CO إلى CO_2

بعثرت الملوثات

عامل مهم جدًا في تقليل تركيز الملوثات في الهواء، هو بعثرت الملوثات. تتم عملية التبعثر من لحظة الانبعاث. تتحرك الملوثات باتجاه أفقي من خلال الرياح، وباتجاه عمودي من خلال تيارات الهواء التي تتصاعد من سطح الأرض إلى أعلى. وظروف طبوغرافية منطقة الانبعاث، تؤثر على مدى التبعثر واتجاهه.

تأثير الرياح: إنّ اتجاه الرياح يُحدِّد اتجاه جرف الملوثات، وشدة الرياح تُحدِّد مدى تبعثر ووتيرة انخفاض تركيزها في الهواء. الرياح القوية، تؤدي إلى إنتاج دوامات كبيرة، وهكذا يقل تركيز الملوثات في الهواء بسرعة كبيرة.



الرسمة 5.6: شدة الرياح وبعثرت الملوثات

تأثير الحركة العمودية على الهواء: لكي نفهم التبعثر العمودي الملوثات، يجب علينا أولاً أن نذكر عدة حقائق. عندما نصعد حتى ارتفاع 12 كلم تقريبًا، فإنّ درجة الحرارة تنخفض عادةً (انظروا إلى الرسمة 4.1 في صفحة 128). معدل نسبة الانخفاض هو 0.65°C كل 100 متر، وهو يتغيّر وفقًا لحالة الطقس. ومع الصعود في الارتفاع، ينخفض ضغط الهواء أيضًا. عندما تكون هناك كتلة هواء قريبة من الأرض، ودرجة حرارتها أعلى من درجة حرارة البيئة المحيطة (المحيط)، فإنّ كثافتها تكون أقل من كثافة الهواء الموجود حولها، وتصعد إلى أعلى. ويمكن القول: إنّ كتلة الهواء الساخن تطفو على سطح الهواء البارد الموجود من حوله. ومع صعود الكتلة الهوائية إلى أعلى، ينخفض الضغط من حولها، وفي أعقاب ذلك تنتشر وتنخفض درجة حرارتها. إنّ نسبة انخفاض درجة حرارة الكتلة الهوائية الصاعدة، تكون ثابتة، وهي 1°C كل 100 متر في هواء جاف[1].

إضافةً إلى ذلك، يمكن أن تحدث عملية عكسية لهبوط كتلة هوائية من أعلى إلى أسفل. هذه الظاهرة، تحدث عندما تتكون كتلة هوائية أبرد من محيطها. وهذه الكتلة الهوائية تنزل وتسخن أثناء نزولها

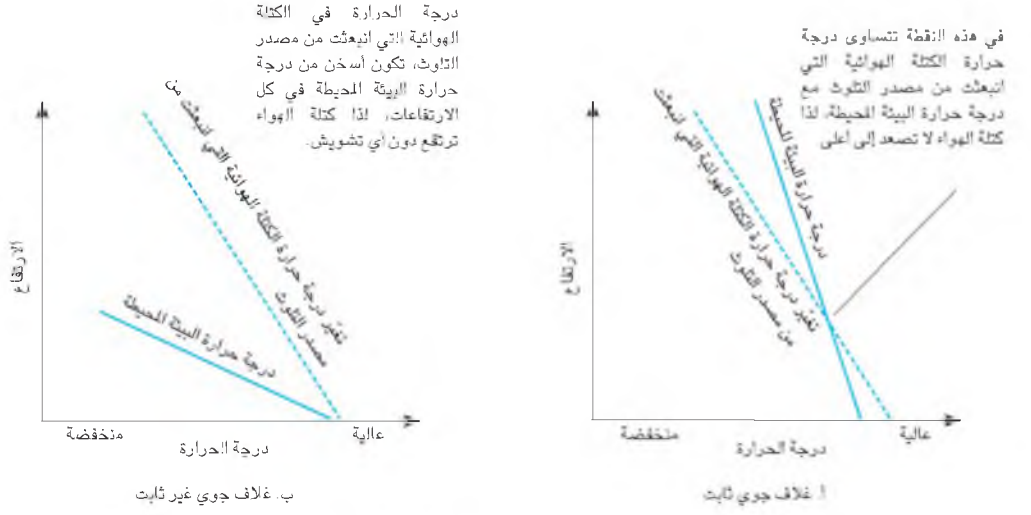
[1] الهواء الجاف – هو هواء رطوبته النسبية أصغر من 100%، لذا لا تحدث فيه عملية تكاثف لبخار الماء.

بنسبة 1°C كل 100 متر.

نفحص الآن، ماذا يحدث لكتلة هوائية تنطلق من مصدر تلوث في درجة حرارة أعلى بقليل من درجة حرارة البيئة المحيطة (المحيط) (مثلاً: الهواء المنبعث من عادم سيارة)؟ عندما تنخفض درجة الحرارة ببطء في البيئة المحيطة مع الصعود إلى أعلى، كما نلاحظ ذلك في الرسمة 5.7أ، تبدأ كتلة الهواء في الصعود إلى أعلى، لكن على ارتفاع منخفض نسبيًا تتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة البيئة المحيطة، ويحدث تباطؤ في صعودها حتى تتوقف عن الحركة. هذا الوضع في الغلاف الجوي، نسمّيه **غلافًا جويًا ثابتًا (مستقر)**.

حالة أخرى، هي الحالة المعروضة في الرسمة 5.7ب. في هذه الحالة، تنخفض درجة حرارة البيئة المحيطة بسرعة كلما صعدنا إلى أعلى، ولهذا السبب كتلة الهواء الساخنة أكثر من البيئة المحيطة تبدأ بالارتفاع إلى أعلى، لكن ليس كما هو الأمر في الحالة الأولى، فإنّ نسبة برودتها كلما ارتفعنا إلى أعلى تكون أقل من نسبة برودة الهواء الموجود حولها، اذا فهي تبقى أسخن من البيئة المحيطة التي تُحيطها. اذا فهي تصعد إلى أعلى دون أي تشويش. وهذا الوضع في الغلاف الجوي، نسمّيه **غلاف جوي غير ثابت (غير مستقر)**.

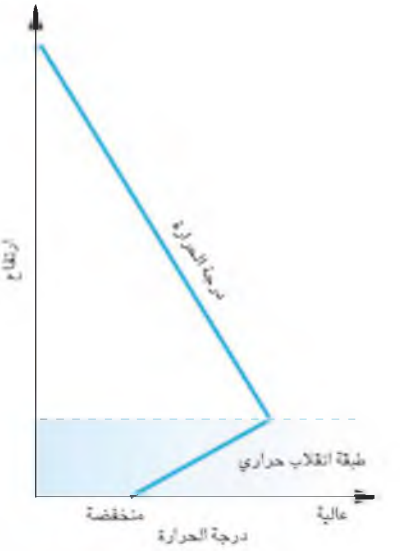
من ناحية بعثرت الملوثات في الحالة الأولى التي يكون فيها الغلاف الجوي ثابتًا، تبقى الملوثات قريبة من الأرض، وبعثرتها تكون ضئيلة جدًا. أما في الحالة الثانية التي يكون فيها الغلاف الجوي غير ثابت، فإنّ الملوثات تصعد إلى أعلى وتكون بعثرتها أكبر.



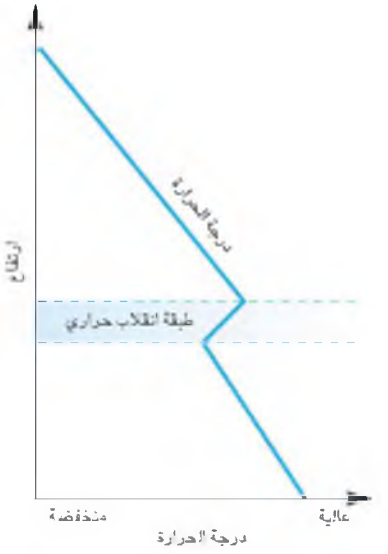
الرسمة 5.7: غلاف جوي ثابت وغلاف جوي غير ثابت

انقلاب حراري: يحدث أحيانًا وضع عكسي في الغلاف الجوي، وهذا يعني ترتفع درجة الحرارة كلما ارتفعنا إلى أعلى. هذا الوضع نسمّيه **inversions** (انقلاب).

في هذا الوضع يكون الهواء البارد في الأسفل والهواء الساخن يطفو فوقه. الانقلاب هو وضع متطرف لثبات الغلاف الجوي، اذا عندما تنبعث ملوثات إلى الهواء، فإن ذلك يؤدي إلى تلوث هواء خطير. إذا بدأ الانقلاب الحراري من الأرض (وهذا يعني، ترتفع درجة الحرارة كلما صعدنا إلى أعلى)، فإننا نسمّيه انقلاب حراري من الأرض، أما إذا بدأ الانقلاب في مكان أعلى من الأرض، فإننا نسمّيه انقلاب حراري علوي (من ارتفاع معين).



الرسمة 5.8: *انقلاب حراري من الأرض*

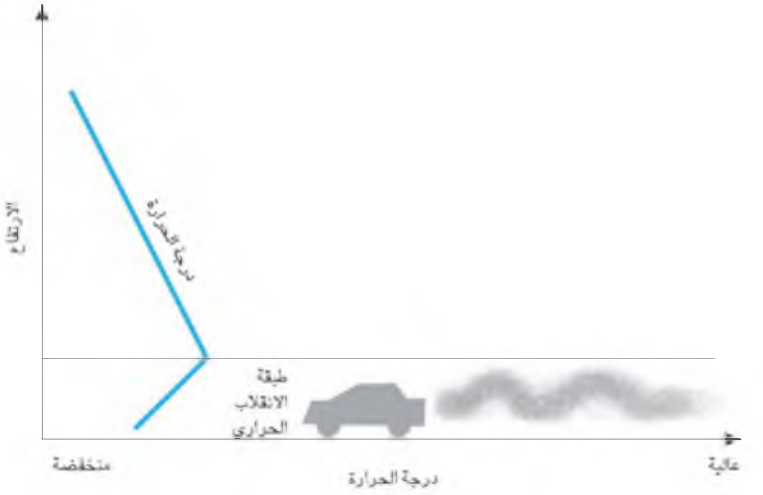


الرسمة 5.9: *انقلاب حراري علوي*

انقلاب حراري من الأرض: عندما يحدث انقلاب حراري من الأرض، فإن الملوثات المنبعثة إلى الهواء بالقرب من الأرض لا تتبعثر إلى أعلى. يحدث الانقلاب الحراري من الأرض على الأغلب نتيجةً لبرودة الأرض في الليل، وهي شائعة جدًا في الليالي التي تكون فيها السماء صافيةً والرياح ضعيفة. تتم برودة الأرض بالطريقة الآتية: تبعث الأرض الطاقة الحرارية التي استوعبتها خلال النهار إلى الغلاف الجوي الذي يقع فوقها، وهكذا تبرد الأرض. وفي أعقاب ذلك، يبرد – أيضًا – الهواء القريب من الأرض. في الليالي الصافية، تنبعث الأشعة إلى الجو دون تشويش، وهكذا يُنْتَج وضع يكون فيه الهواء القريب من الأرض أبرد من الهواء الذي يقع فوقه. أما في الليالي الغائمة، لا يحدث الانقلاب الحراري في معظم الحالات، لأن الغيوم تعكس قسمًا من الأشعة التي تصلها من الأرض في اتجاه الأرض. والرياح القوية، تستطيع أيضًا أن تمنع انقلاب حراري من الأرض، لأنه في هذه الحالة، يتبدل الهواء بشكل كبير، ولا يبرد بما فيه الكفاية عندما يتلامس مع الأرض.

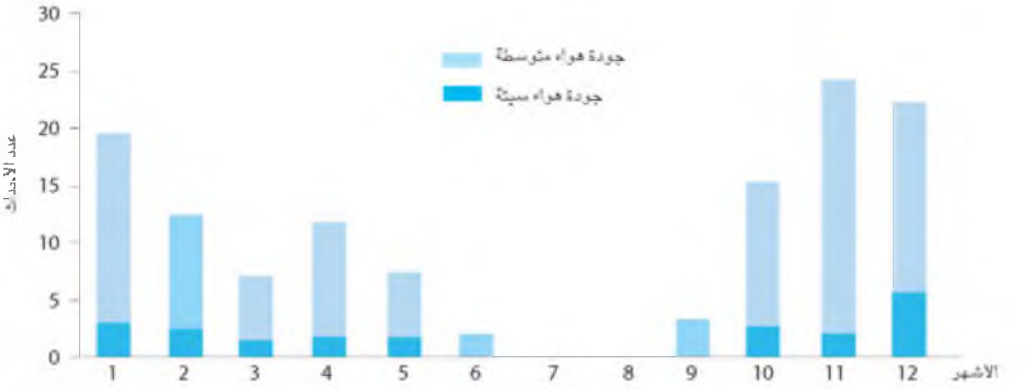
بعد شروق الشمس، تبدأ درجة حرارة الأرض بالارتفاع، وذلك يؤدي إلى تسخين الهواء الذي يقع فوقها، وبعد عدة ساعات يختفي الانقلاب الحراري.

يوجد تأثير كبير للانقلاب الحراري من الأرض على وضع تلوث الهواء الذي مصدره من المواصلات. بما أن الانقلاب الحراري يتم في ساعات الصباح التي تكون فيها حركة السير كبيرة جدًا، فإن ذلك، يؤدي إلى تفاقم التأثير السلبي للانقلاب الحراري من الأرض على جودة الهواء.



الرسمة 5.10: *تلوث الهواء من حركة السير في حالة انقلاب حراري من الأرض*

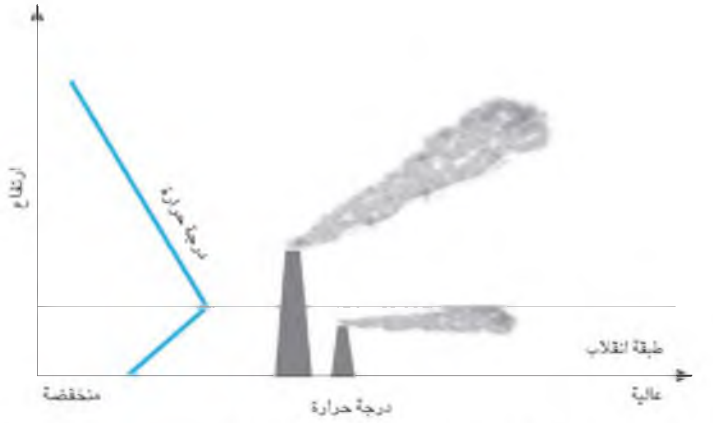
في إسرائيل، عدد الأيالي الصافية عالٍ جدًا، والانقلاب الحراري من الأرض يحدث فيها كل يوم تقريبًا. إذا الانقلاب الحراري من الأرض، هو العامل المهم في حدوث تلوث هواء خطير تسببه حركة السير. التلوث الخطير يكون شائعًا في نهاية الخريف، وفي فصل الشتاء عندما يكون الطقس لطيفًا وبدون رياح. في أيالي طويلة، في هذين الفصلين، تبرد الأرض بشكل ملحوظ وتتكون طبقة انقلاب حراري سميكة. إذا هذه الطبقة بحاجة إلى وقت طويل، كي تُهدَم بعد شروق الشمس. إضافةً إلى ذلك، في فصل الشتاء، تبدأ عملية هدم طبقة الانقلاب الحراري في وقت متأخر مقارنة مع فصل الصيف، لأن الشمس تشرق في فصل الشتاء، في وقت متأخر. إذا يبقى تلوث الهواء محصورًا بالقرب من سطح الأرض مدة زمنية طويلة، أثناء حركة السير المزدحمة. في منتصف الشتاء، في أقصر أيام السنة، يمكن أن يعود التلوث مرة أخرى، ويصبح خطرًا عندما يكون هناك ازدحام في حركة السير في ساعات الظهيرة، وفي هذه الساعات تبدأ تتكون طبقة الانقلاب الحراري في الليل.



الرسمة 5.11: جودة هواء متوسطة وسيئة في محطة الرصد "عميئل" في تل أبيب، في سنة 1999 (بحسب معطيات وزارة جودة البيئة المحيطة).

التلوث المنبعث من المداخن، يتأثر من طبقة الانقلاب الحراري من الأرض، إذا كانت المداخن منخفضة وتُطلق الملوثات إلى داخل طبقة الانقلاب. إنَّ حل هذه المشكلة يكون في بناء مداخن عالية، تُطلق الملوثات في ارتفاع أعلى من نهاية طبقة الانقلاب الحراري من الأرض. ليس بالضرورة أن نبني المدخنة بارتفاع أعلى من معدل قمة طبقة الانقلاب، يكفي أن نبني مداخن يكون ارتفاعها قريبًا من قمة طبقة الانقلاب، لأنَّ الغازات المنبعثة من المداخن إلى أعلى تكون ذات درجة حرارة أعلى من درجة حرارة البيئة المحيطة، ويوجد لها سرعة معينة باتجاه عمودي.

في إسرائيل، في معظم المصانع التي تُطلق كميات كبيرة من الملوثات، يوجد لها عادةً مداخن عالية، وقد خُطِّطت هذه المداخن مسبقًا بحسب حالات طبقات الانقلاب المتوقعة. اذا لا نشعر عادةً بتلوث هواء مصدره من هذه المصانع في حالة انقلاب من الأرض.



الرسمة 5.12: مدخنة عالية ومدخنة منخفضة في حالة انقلاب حراري من الأرض

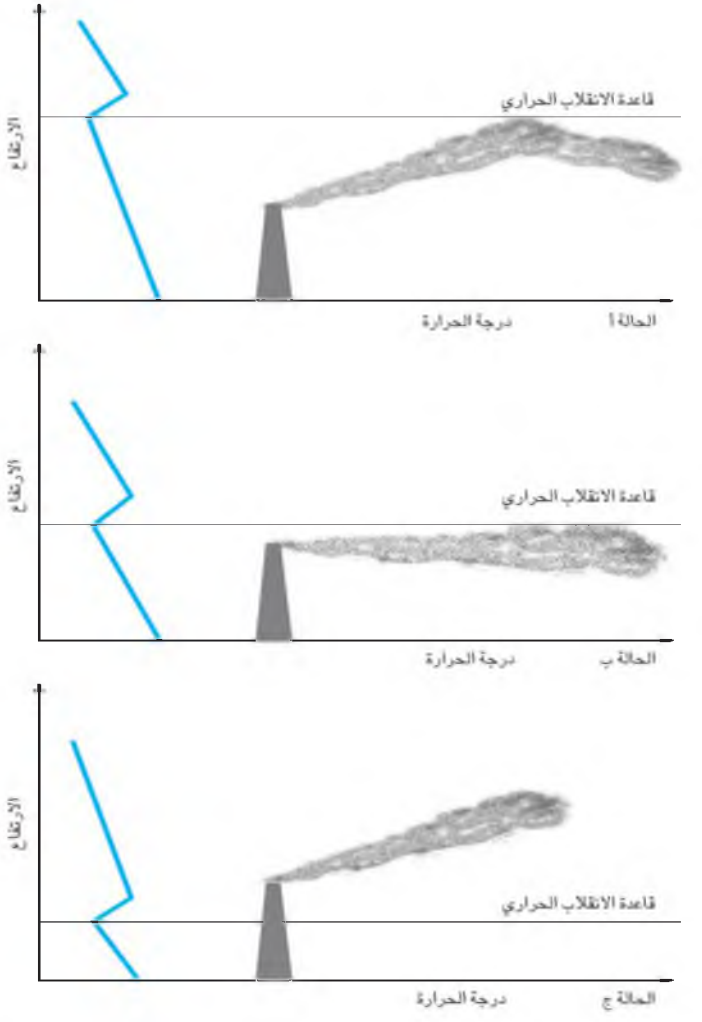
ضبخان في تل أبيب في حالة انقلاب حراري من الأرض

انقلاب حراري علوي (من ارتفاع معين): عندما يحدث انقلاب حراري من ارتفاع معين، يكون تدرُّج درجات الحرارة – بالقرب من الأرض – عاديًا (تنخفض درجة الحرارة كلما صعدنا إلى أعلى)، ويكون الغلاف الجوي غير ثابت. تبدأ الطبقة الثابتة في ارتفاع معين، في المكان الذي يبدأ فيه الانقلاب الحراري. في هذه الحالة، تبدأ كتل الهواء الساخنة – المنطلقة بالقرب من الأرض – بالصعود، لكن عندما تصل طبقة الانقلاب تتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة البيئة المحيطة، فيتباطأ صعودها وتتوقف عن الحركة. طبقة الهواء التي يوجد فيها حركة هواء إلى أعلى (وهذا يعني الغلاف الجوي فيها غير ثابت) نسمّيها **طبقة الخلط**. كلما كانت طبقة الخلط دقيقة، تنحصر الملوثات في طبقة دقيقة أيضًا، وتركيزها في هذه الطبقة يكون عاليًا.

يحدث الانقلاب الحراري من ارتفاع معين، عندما يصل الطبقات العليا – الغلاف الجوي – هواء ساخن نسبةً للهواء الموجود تحته. يحدث هذا الوضع في إسرائيل، في فصل الصيف بالأساس ،عندما يكون هناك انخفاض في الطبقات العليا الغلاف الجوي، ويسخن الهواء الموجود في مرتفع الغلاف الجوي، وفي الطبقات السفلى القريبة من الأرض، يوجد حركة هواء بارد ورطب يصل إليها من البحر. معدل ارتفاع قاعدة الانقلاب الحراري من ارتفاع معين في الصيف، هو بين 400 إلى 2000 متر. فصل الصيف، هو الفترة الأساسية التي يكون فيها الانقلاب الحراري من ارتفاع معين شائعًا، وقد تحدث في البلاد حالات تلوث هواء من مصادر عالية (مداخن مصانع). عندما يحدث انقلاب حراري من ارتفاع معين، فإن تأثيره على تلوث الهواء يتغيّر وفقًا لارتفاع قاعدة الانقلاب الحراري، وارتفاع المداخن التي تُطلق ملوثات.

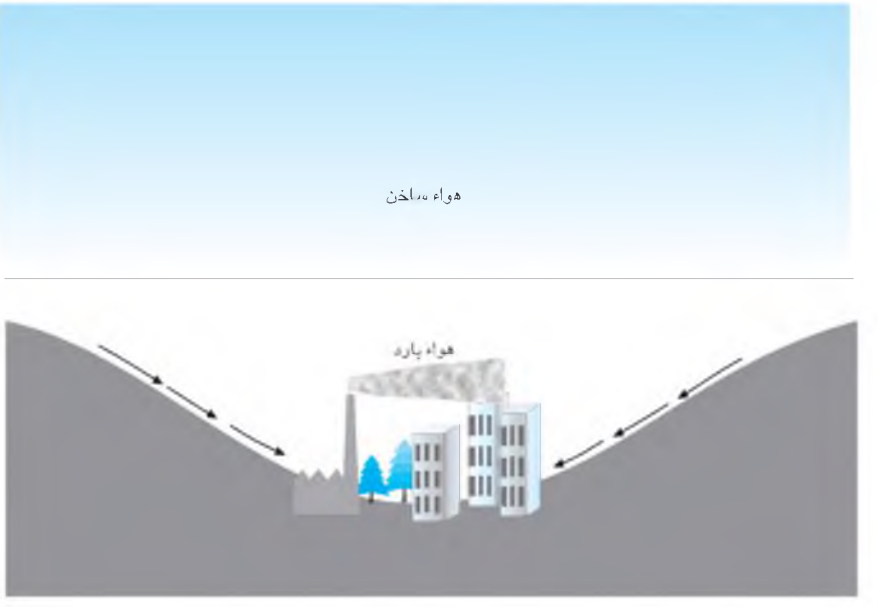
تصف الرسمة 21 عدة حالات شائعة للانقلاب الحراري من ارتفاع معين:

- الحالة أ: قاعدة الانقلاب الحراري عالية. في هذه الحالة، يكون انتشار الملوثات محدودًا، لكن بما أن طبقة الخلط سميكة، فهي تنتشر في حجم كبير من الهواء ، ولا يُنْتُج تلوث خطير.
- الحالة ب: قاعدة الانقلاب الحراري منخفضة وأعلى من ارتفاع المداخن. في هذه الحالة، يُنْتُج تلوث خطير، لأن الملوثات تكون محصورة في طبقة خلط دقيقة.
- الحالة ج: المدخنة أعلى من قاعدة الانقلاب الحراري. في هذه الحالة، تنطلق الملوثات إلى داخل الطبقة غير الثابتة التي تقع فوق طبقة الانقلاب الحراري، وبالقرب من الأرض لا نشعر بتلوث بتاتًا.



الرسمة 5.13: *انتشار التلوث من مداخن في حالات مختلفة للانقلاب الحراري من ارتفاع معين*

تأثير الطبوغرافية: الطبوغرافية تؤثر هي أيضًا على انتشار الملوثات. في الأغوار المحاطة بتلال وجبال تتكون طبقة سميكة للانقلاب الحراري من الأرض في الليالي الصافية التي تخلو من الرياح، أو عندما تكون الرياح خفيفة جدًا. السبب في ذلك أنه في الليل، تبرد الأرض في المرتفعات التي تُحيط الغور، وتُنْتِج من فوقها طبقة هواء باردة ترسب إلى داخل الغور. يمكن أن نشعر بهذه الظاهرة عندما نسافر في ليلة صافية في منطقة فيها تلال، فنشعر بالريح التي تدخل من الشباك، وهي تصبح أكثر برودةً كلما نزلت السيارة إلى أماكن منخفضة. مدن مختلفة كمدينة اوس أنجاوس الواقعة في أماكن من هذا النوع، تعاني من تلوث هواء خطير.



الرسمة 5.14: *انقلاب حراري يتكون في الغور*

في منطقتنا نشعر بالعلاقة بين الطبوغرافية وتلوث الهواء أيضًا. مثلاً: في مدينة حيفا، يوجد مصانع في الخليج بالقرب من شاطئ البحر، ومعظم مناطق السكن تقع على جبل الكرمل الذي ارتفاعه ما بين 250 إلى 500 متر. عندما يتكون انقلاب حراري من ارتفاع معين وقاعدته منخفضة وتهب رياح من المنطقة الصناعية اتجاه الكرمل، فإنّ الملوثات تنحصر في منطقة السكن في طبقة خلط دقيقة، وفي حالات معينة يصل سمكها إلى حوالي 100 متر. في هذه الحالة، يمكن أن يحدث –على الكرمل – تلوث أخطر مما هو عليه في المنطقة الصناعية في الخليج الذي فيه تكون طبقة الخلط أكثر سمكًا. هذه الحالة من الطقس، تحدث في حيفا عادةً في الفترات الانتقالية وأحيانًا في فصل الصيف.

حالة عادية

حالة يتكون فيها تلوث هواء خطير

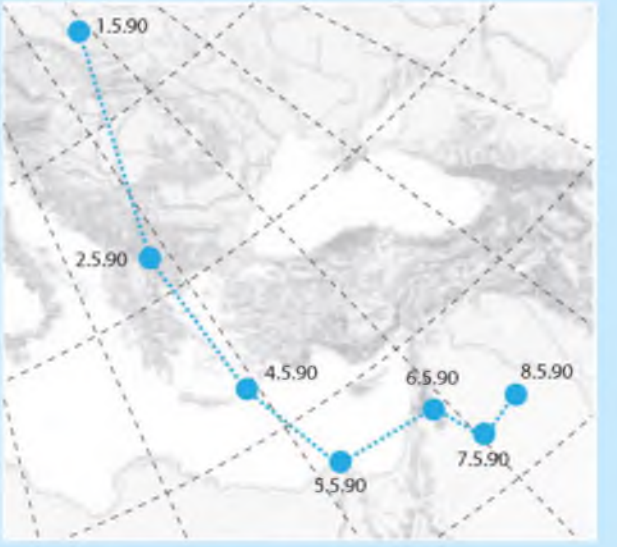
الرسمة 5.15: حالات تلوث هواء في مناطق سكن في حيفا

"استيراد" ملوثات هواء إلى إسرائيل

ملوثات الهواء التي تنتشر في البيئة المحيطة لا تختفي. على الرغم من أن تركيز الملوثات ينخفض كلما ابتعدنا عن مصدر التلوث إلا أن هذه الملوثات تبقى في الهواء حتى يتم إبعادها منه بإحدى الآليات التي وصفناها.

تنتقل ملوثات الهواء آلاف الكيلومترات وهي موجودة داخل كتل هوائية تتحرك كل الوقت من مكان إلى آخر في الغلاف الجوي. تتميز الجسيمات الصغيرة جدًا التي قطرها أقل من 4 ميكرومتر بحركة كبيرة بشكل خاص.

إنّ سرعة رسوب هذه الجُسَيْمات صغيرة جدًا، وهي تُبعد أساسًا عن الهواء من خلال الرواسب. في البحث الذي أُجري في إسرائيل، في الأشهر الجافة (آذار – تشرين أول)، وُجِدَت مستويات عالية جدًا من هذه الجسيمات في الهواء. معظم الجُسَيْما التي وُجِدَت كانت جسيمات الكبريتات والنيترات، وهي ملوثات ثانوية تَنْتُج من SO_2 وَ NO_X خلال عدة أيام في ظروف طقس دون رواسب. بما أنه في هذه الفترة لا يوجد ارتفاع في انبعاث SO_2 وَ NO_X في البلاد، يعتقد الباحثون أن مصدر هذه الجُسَيْمات جاء من أماكن بعيدة. تمّ التحقق من هذه الفرضية في بحث أُجري لفحص العلاقة بين ارتفاع تركيز جسيمات الكبريتات والنيترات وبين مسار حركة كتل هوائية وصلت البلاد في تلك الفترة. وقد وُجِدَ في هذا البحث أنه في هذه الفترة، وصلت إلى إسرائيل كتل هواء خرجت من مركز أوروبا، وفي طريقها إلى إسرائيل مرّت فوق مناطق صناعية كثيفة.



الرسمة 5.16: حركة كتلة هوائية وصلت إلى إسرائيل بتاريخ 8 آيار 1990، وهي تحمل معها ملوثات من أوروبا (بحسب اوريا 1996).

أسئلة

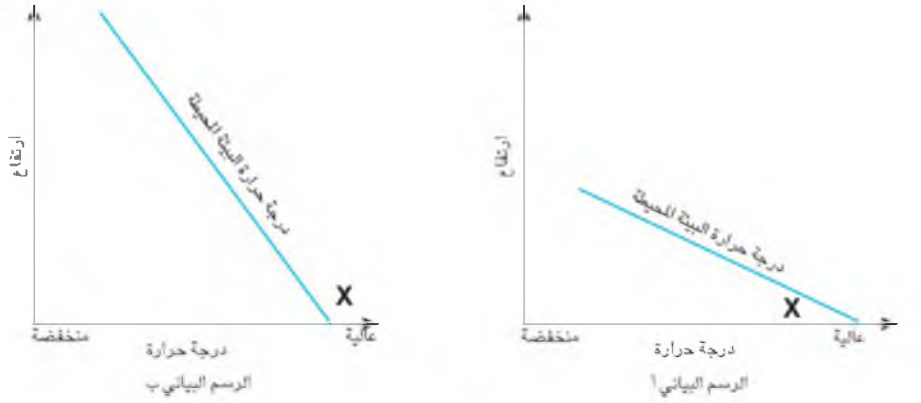
1. إنّ بحث "استيراد" ملوثات إلى إسرائيل، يعرض الدقيقة أن ملوثات الهواء لا تعرف حدود بين الدول.

أ. هل –بحسب رأيكم– الدول (في أوروبا) هي المسؤولة عن التلوث الذي "تُصدره"؟

ب. كيف – بحسب رأيكم – يجب مواجهة تلوث مصدره من دولة أخرى؟

أسئلة

1. أين "تختفي" المواد التي تنبعث في الهواء؟
2. كيف تؤثر حالة الطقس على انتشار الملوثات في الهواء؟ أعطوا أمثلة على ذلك.
3. تمعَّنوا في الرسمة 5.17، ثم أجيبوا:
   أ. في أي رسمة (أ أو ب) تنخفض درجة حرارة البيئة المحيطة بشكل أسرع كلما صعدنا إلى أعلى؟
   ب. ينطلق الغاز إلى الهواء، من الارتفاع ودرجة الحرارة المشار إليهما في الرسم التخطيطي بـ X. إلى أي اتجاه يتحرك الغاز (إلى أعلى أم إلى أسفل) في كل رسمة من الرسمتين؟
   ج. أي رسم بياني يصف غلافًا جويًا ثابتًا، وأيهما يصف غلافًا جويًا غير ثابتٍ؟



الرسمة 5.17

4. أ. اشرحوا، ما هو الانقلاب الحراري من الأرض، وما هو الانقلاب الحراري العلوي؟
   ب. كيف يؤثر الانقلاب الحراري من الأرض على تبعثر ملوثات من سيارات، وعلى تبعثر ملوثات من مداخن؟
5. درِّجوا حالات الطقس الآتية بحسب مدى قدرتها على بعثرت ملوثات الهواء في منطقة تل أبيب عند الساعة 8.00 صباحًا.
   أ. يوم شتاء لطيف بدون رياح وبعد ليلة صافية.
   ب. يوم شتاء ماطر وهائج.
   ج. يوم صيفي لطيف وبدون رياح.

6. درّجوا حالات الطقس الآتية بحسب مدى قدرتها على بعثرت ملوثات الهواء في منطقة محطة توليد الطاقة الكهربائية في الخضيرة (يصل ارتفاع المداخن في الخضيرة إلى 350 مترًا، والغازا المنبعثة من المداخن بضغط، تصعد مباشرة حتى ارتفاع 500 متر تقريبًا):
   أ. قاعدة الانقلاب الحراري من ارتفاع معين هي 600 متر.
   ب. قاعدة الانقلاب الحراري من ارتفاع معين هي 2500 متر.
   ج. قاعدة الانقلاب الحراري من ارتفاع معين هي 400 متر.
   د. لا يوجد انقلاب حراري من ارتفاع معين.
7. ماذا يحدث لبعثرت الملوثات في شروط حالات الطقس في السؤال السابق، عندما يكون ارتفاع المدخنة 100 م، والغازات التي تنطلق منها بضغط تصعد حتى ارتفاع 150 م؟
8. في أي فصل في البلاد يوجد احتمال كبير لتلوث الهواء بشكل خطير بسبب حركة السير؟ اشرحوا السبب.
9. تمعّنوا في الرسمة 5.11، ثم اشرحوا الفروق في عدد أحداث ملوثات الهواء خلال السنة.
10. اشرحوا، كيف يمكن أن يكون هناك وضع فيه تركيز التلوث بالقرب من المدخنة أقل من التركيز في المكان البعيد عن المدخنة؟
11. كيف تؤثر الطبوغرافية على بعثرت ملوثات الهواء؟
12. لماذا من المهم معرفة المناخ المحلي أثناء تخطيط استعمال الأرض؟
13. كيف يمكن تخطيط مدينة حيفا، بحيث تكون بعثرت ملوثات الهواء من المنطقة الصناعية للمدينة بشكل أفضل مما هو عليه اليوم؟

ملوثات الهواء وتأثيرها على الإنسان والبيئة المحيطة (المحيط)

خذوا نفسًا عميقًا. في هذه العملية، دخل إلى الجسم لتر واحد تقريبًا من الهواء. 99% مما استنشقتموه، هو نيتروجين وأكسجين، وهما المكونان الأساسيان للهواء، أما باقي المكونات فهي مواد مختلفة، قسم منها غازات، وقسم منها قطرات صغيرة جدًا وباقي الجسيمات صلبة وصغيرة جدًا.

بحسب تقديرات مختلفة، يوجد في هواء منطقة مدينة معينة حوالي 2800 مركّب مختلف. ولمعظمها يوجد تأثير ضار يتعلق بنوع الملوث، بتركيزه، بالمدة الزمنية التي نتعرض فيها للملوث وبحساسية الشخص الذي يتعرض إلى التلوث. في حالات كثيرة، من الصعب جدًا أن نميّز بين العلاقة المباشرة للضرر على صحة الإنسان وبين وجود مادة معينة في الهواء. أحيانًا، يصبح تأثير مواد كثيرة ضارًا عندما تظهر هذه المواد مع مواد أخرى. إضافةً إلى الأضرار الصحية على الإنسان، فإن تلوث الهواء يؤذي – أيضًا – النباتات وأجسامًا جامدة كالبنايات على سبيل المثال.

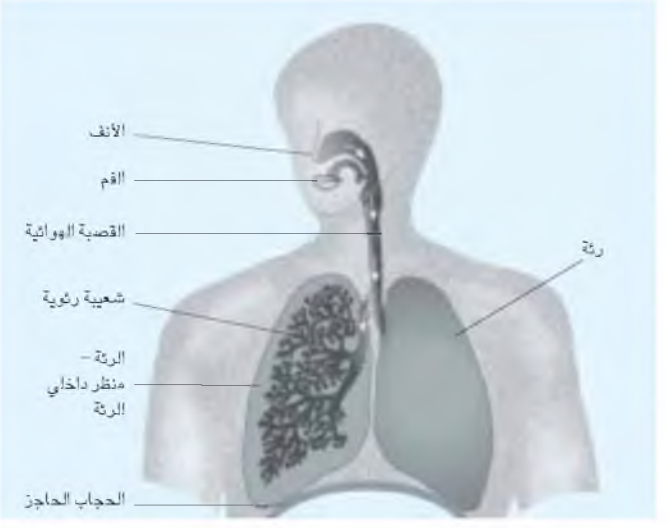
تأثير على صحة الإنسان

أُثبتت العلاقة بين هواء ملوث وإيذاء الصحة من خلال أبحاث كثيرة بحثت صحة الجمهور. معظم الأضرار من التعرض للهواء الملوث تؤثر على الجهاز التنفسي، لكن أحيانًا تحدث مشاكل وأضرار في أجهزة أخرى في جسم الإنسان، مثل: العينين والجلد.

في جهاز التنفس، يوجد عدة آليات في جسم الإنسان تحمينا من دخول ملوثات هواء. الشعيرات في الأنف تمنع من دخول جسيمات كبيرة. أما الجسيمات الصغيرة، فالجسم يمنع من دخولها إليه من خلال جدران القصبة الهوائية. هذه الجدران مبنية من نسيج لحائي، حيث تبرز منه أهداب صغيرة جدًا في فراغ القصبة الهوائية، وهي موجودة في حركة موجية مستمرة في اتجاه مضاد لاتجاه التيار الهوائي.

تلتصق الجسيمات الموجودة في الهواء المستنشق بالأهداب وباللحاء، وهي تدفعها اتجاه البلعوم ومن هناك إلى المعدة التي تهضمه بعصارتها. كما يوجد في اللحاء خلايا من جهاز الحماية والمناعة التي تُبطل مفعول ملوثات دخلت إلى الجسم. توجد آليات أخرى تحمينا من التلوث وهي ردود فعل تلقائية، مثل: العطس، السعال، الدموع والنزل التي تمنع من دخول ملوثات إلى الجسم.

الآليات التي وصفناها تحمينا في ظروف عادية، لكنها لا تستطيع أن تمنع دخول ملوثات إلى أجهزة الجسم عندما نتعرض بشكل متواصل إلى ملوثات، أو عندما نتعرض إلى تركيز عالٍ من الملوثات. الملوث المكون من جسيمات صغيرة، يستطيع أن يخترق آليات الحماية بسهولة، والخطورة تكون كبيرة كلما تعرض الجسم إلى ملوثات صغيرة (الجسيمات الضارة، هي الجسيمات التي قطرها أصغر من 10 ميكرومتر). الملوثات التي لا تمنعها أجهزة الحماية من دخول الجسم، تستمر في طريقها إلى الرئتين.



الرسمة 5.18: جهاز التنفس

يمكن تصنيف تأثيرات تلوث الهواء على الصحة إلى المجموعات الآتية:

تأثيرات مزمنة: الملوثات تؤذي أداء أجهزة الجسم المختلفة بشكل تدريجي مع مرور السنين. فيما يلي بعض الأمثلة: التعرض المتواصل لثاني أكسيد الكبريت يؤدي إلى التهاب في مجرى الهواء إلى الرئتين، التعرض المستمر للأوزون يؤدي إلى أضرار في الرئتين والتعرض المستمر لأكاسيد النيتروجين يؤذي جهاز المناعة ويصبح الإنسان غير قادر على مقاومة البكتيريا والفيروسات.

ملوثات مختلفة، وبالأساس معادن ثقيلة ومركّبات عضوية مختلفة، مثلاً: البنزن، تؤدي إلى تغيّرا في الخلايا، وهذه التغيّرات تحولها إلى خلايا سرطانية.

تأثيرات خطيرة: هي عبارة عن مضار خطيرة تحدث خلال فترة زمنية قصيرة (ساعات أو عدة أيام). مثلاً: التعرض مرة واحدة لتركيز ضار لأول أكسيد الكربون (CO)، قد يؤدي إلى الموت. يرتبط أول أكسيد الكربون بالهيموجلوبين الموجود في الدم. وفي أعقاب ذلك، لا ينتقل الأكسجين إلى المخ، القلب وسائر أعضاء الجسم. والتراكيز الأقل من التركيز الذي يؤدي إلى الموت، تؤدي إلى أضرار، مثل: إلحاق الضرر بالقدرة على التفكير، وبالقدرة على تنفيذ مهام جسمانية.

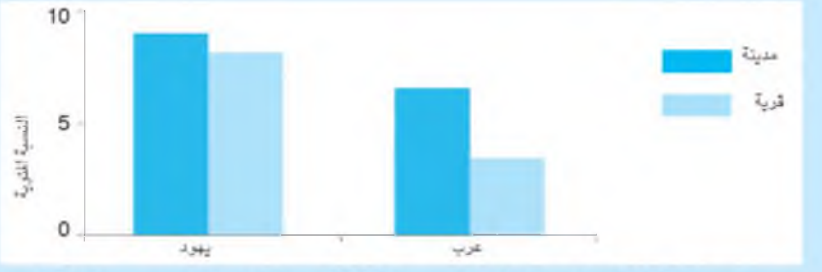
الملوث	تأثيرات ضارة على الإنسان	مواد تؤدي إلى تأثيرات ضارة أخرى على الإنسان
جسيمات صلبة لمواد مختلفة	مشاكل تنفس، مشاكل قلب – تنفس، سعال وعدم راحة في الصدر. وعند مرضى الربو، تزداد ظواهر المرض.	غازات ومعادن (تلتصق بالجسيمات وتدخل معها إلى الرئتين)
جسيمات معادن ثقيلة (مثل: الرصاص، الزئبق والكادميوم)	إصابة مسالك التنفس، وإلحاق أضرار في الجهاز العصبي. يوجد معادن تؤدي إلى سرطان.	جسيمات أخرى
ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)	تفاقم أمراض في مسالك التنفس، إصابة أداء الرئتين، إثارة العينين ومسالك التنفس.	ماء
ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)	تفاقم أمراض في مسالك التنفس، أمراض في الأوعية الدموية للقلب وأمراض مزمنة في الكليتين. إصابة أداء الرئتين.	SO_2، هيدروكربونات، ماء و NO_X
مؤكسدات كيميائية ضوئية (فوتوكيميائية): الأوزون (O_3) وغير ذلك.	تفاقم أمراض في مسالك التنفس، أمراض في القلب وأمراض في الأوعية الدموية للقلب. إصابة أداء الرئتين – القلب، إثارة العينين ومسالك التنفس.	
أول أكسيد الكربون (CO)	أعلى من تركيز معين، يؤدي إلى موت مباشر في تراكيز أقل، يؤدي إلى إعاقة تطور الجنين، تفاقم أمراض في الأوعية الدموية للقلب وإيذاء الانتباه.	
مركبات عضوية متطايرة (VOC)	إثارة جهاز التنفس والدموع. قسم من المركبات تؤدي إلى سرطان.	

***جدول 5.1:** تأثير ملوثات الهواء على الإنسان*

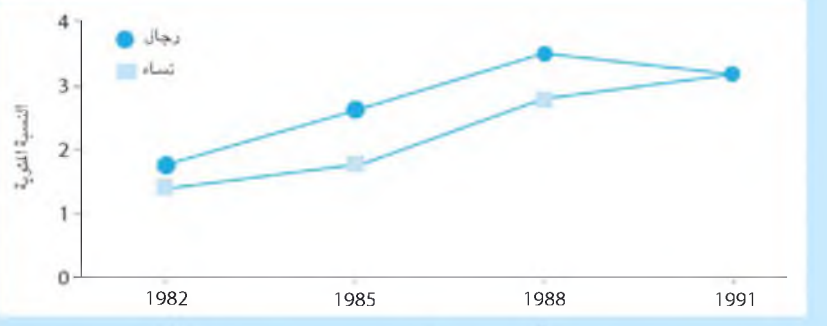
[1] **الهيموغلوبين** – جزيء موجود في كريات الدم الحمراء، وهو يقوم بنقل الأكسجين من مسالك التنفس إلى الأنسجة

الرَّبو وتلوث الهواء

الهواء الذي نستنشقه يمر عبر "شجرة" متفرعة من الأنابيب (شعيبة رئوية) التي قطرها يصغر كلما اقتربنا من الرئتين (انظروا إلى الرسمة 5.18 في صفحة 156). الرَّبو هو حساسية تؤدي إلى انقباض الشعيبة الرئوية، وفي أعقاب ذلك، تقل كمية الهواء التي تصل الرئتين ويحدث ضيق في التنفس. مسالك التنفس عند مرضى الرَّبو تكون ملتهبة، وكثير من المواد، يمكن أن تؤدي إلى نوبات اختناق. مصدر هذه المواد، يمكن أن يكون من الطبيعة، مثل: الغبار، حبيبات لقاح النباتات، فرو حيوانات، أو نتيجةً لنشاط الإنسان. وُجِدَ في أبحاث كثيرة أن ارتفاع تركيز جسيمات الكبريت، أكاسيد النيتروجين والأوزون أدت إلى ازدياد عدد مرضى الرَّبو الذين احتاجوا إلى علاج في المستشفى، إضافةً إلى ذلك، وُجِدَ أن التعرض المستمر لثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، أو الأوزون (O_3) يمكن أن يؤدي إلى تفاقم مشاكل الرَّبو عند المرضى المصابين بمرض الرَّبو.



الرسمة 5.19: تكرارية الرَّبو في سنة 1992 عند أطفال أعمارهم من 6–12 سنة (النسبة المئوية من تعداد السكان)
(وفقًا لمعطيات وزارة الصحة)



الرسمة 5.20: تكرارية الرَّبو (بالنسبة المئوية) عند شباب يهود عُمرهم 18 سنة، 1982–1991 (وفقًا لمعطيات وزارة الصحة)

أسئلة

1. ما هو "الهواء النقي" بالنسبة لمرضى الرَّبو؟
2. ما هي أهمية الهواء النقي لمرضى الرَّبو؟
3. تمعّنوا في الرسوم البيانية التي وردت في الصفحة السابقة. ما هي الفرضيات التي يمكن طرحها من هذه الرسوم البيانية بالنسبة للعلاقة بين تلوث الهواء والرَّبو؟

مجموعات مهددة بالخطر: يختلف تأثير الهواء الملوث من شخص إلى آخر. هناك مجموعات من السكان لديهم حساسية أكثر من الآخرين، وتحدث عندهم أضرار بمستويات منخفضة من التلوث. المجموعات الحساسة بشكل خاص هي: الرضع، أطفال صغار، مسنون وأشخاص يعانون من أمراض مزمنة بالأساس المتعلقة بالقلب والرئتين. يمكن شرح حساسية الأطفال من خلال عدة عوامل: مسالك التنفس عند الأطفال ضيقة، لذا حدوث التهاب في مسالك التنفس عند الأطفال، يُعيق مرور الهواء عندهم أكثر من البالغين الذين يعانون من نفس الالتهاب. ومقارنةً مع البالغين، يستنشق الأطفال كمية هواء كثيرة نسبة الكيلوغرام الواحد من كتلتهم، لذا تدخل ملوثات كثيرة إلى أجسامهم نسبةً إلى كتلتهم.
عامل إضافي آخر يؤدي إلى زيادة حساسيتهم، هو جهاز المناعة، فهم يصابون بأمراض أكثر من البالغين، لأنهم لم يطوروا أجسامًا مضادة كثيرة كما هو الأمر عند البالغين.
أما الحساسية الزائدة عند المسنين تنبع من حقيقة أنَّ جهاز المناعة عندهم ضعيف مقارنةً مع الشباب، إذا أجسام المسنين، لديها مقاومة ضعيفة للملوثات، وُجِدَ – على سبيل المثال – أن ملوثات الهواء تزيد من احتمال إصابة كبار السن بعدوى الأنفلونزا والتهاب الرئتين. إضافةً إلى ذلك، لديهم أيضًا انخفاض طبيعي بأداء القلب والرئتين، وتعرضهم إلى ملوثات الهواء يجعل مواجهتهم صعبة مع هذه الظاهرة.

تأثير تلوث الهواء من المواصلات على أطفال تل أبيب – بحث في صحة الجمهور

في سنة 2000، أُجري بحث في إطار كلية الطب في جامعة تل أبيب حول تأثير تلوث الهواء من المواصلات على أطفال تل أبيب. نعرض هذا البحث كمثال لتنفيذ أبحاث من هذا النوع. في هذا البحث، تمّ فحص تلاميذ صف ثاني من ثمانية مدارس في منطقتين مختلفتين من المدينة: إحدى المنطقتين فيها تلوث الهواء عالٍ (مركز شمال تل أبيب)، والمنطقة الثانية، يوجد فيها تلوث هواء أقل من الأولى.

لإجراء البحث، نُفِّذت العمليات الآتية:

1. طُلب من آباء وأمهات أطفال أن يجيبوا عن استمارة متعلقة بصحة الأطفال. في القسم الأول من الاستمارة سُئل الأهل عن عوارض[1] وأمراض في التنفس[2] عند أطفالهم، مثل: السعال، ضيق في التنفس والرَّبو. وفي القسم الثاني من الاستمارة، سُئل الوالدان عن المحيط الحياتي في البيت، مثل: الكثافة السكانية، عادات التدخين عند الوالدين وتدفئة البيت في فصل الشتاء.
2. فُحص أداء الرئتين عند التلاميذ، وقد تمّ هذا الفحص في المدرسة.

عولجت المعطيات الصحية بالحاسوب من خلال نماذج إحصائية تلغي متغيّرات البيئة المحيطة التي لا يوجد لها علاقة بتلوث الهواء، مثل: الميل الوراثي للأمراض وعادات التدخين عند الوالدين.

وُجِدَ أن عوارض تنفس كثيرة كانت شائعة أكثر عند التلاميذ الذين يسكنون في المنطقة الأكثر تلوثًا. وبحسب النموذج الإحصائي، استنتج الباحثون احتمال معاناة الأولاد من هذه العوارض. مثلاً: الطفل الذي يسكن في منطقة ملوثة، يوجد عنده احتمال أكبر بـ 1.57 ضعفًا أن يعاني من سعال مع قيح، واحتمال 2.1 ضعفًا أن يعاني من التهاب في الجيوب الأنفية، واحتمال 2.3 ضعفًا أن يمر بعملية جراحية بالاوزتين، وذلك مقارنة مع الطفل الذي يعيش في منطقة نقية. أما بالنسبة لأمراض التنفس، فلم يجدوا فرقًا بين المنطقتين.

أسئلة

1. لماذا سأل الباحثون الوالدين عن البيئة المحيطة لبيتهم؟
2. أ. اختاروا موضوعًا للبحث في مكان سكنكم، بحيث يكون في مجال صحة الجمهور.
   ب. اكتبوا المعطيات التي يجب جمعها لإجراء هذا البحث، وما هي الطريقة لجمع هذه المعطيات؟

[1] عوارض تنفسية – ظواهر مثل البرودة.
[2] أمراض تنفس – أمراض، مثل: التهاب في الرئتين، الرَّبو ونزلة صدرية.

تدخين سجائر

التدخين ضار على المدخن وعلى البيئة المحيطة، ويحتوي دخان التبغ على نحو 4000 نوع مختلف من المواد الكيميائية المختلفة، والتي أُثبت أنَّ الكثير منها تُسبب سرطان بالإضافة إلى كونها مواد سامة. فيما يلي بعض المواد الموجودة في الدخان:

- النيكوتين (سُم يؤدي إلى الإدمان).
- أول أكسيد الكربون (CO) (أحد الغازات المنبعثة من السيارات، وهو يؤدي إلى أمراض في الرئتين والقلب).
- أسيتون (مادة مُذيبة، وهي تُستعمل لإزالة الصبغ اللامع من الأظافر).
- نفتلين (المعروف على أنه المادة التي تقتل العث في خزانة الملابس).
- أمونيا (مادة سامة تُستعمل للتعقيم).
- بنزن (أحد مكونات مادة الوقود).
- كادميوم (مادة تُستعمل لتعبئة مراكم السيارات).
- أرسنن (مادة سامة).

أضرا ر التدخين على المُدخن: يُعتبر التدخين السبب البيئي المحيطي الأساسي الذي يؤدي إلى الأمراض والموت. الأضرار الناجمة عن التدخين كثيرة وصعبة، وهي تؤثر على الأمد القصير والبعيد. وقد أُثبتَتْ هذه الأضرار من خلال أبحاث علمية كثيرة. النيكوتين الموجود في السيجارة، هو سُم يؤدي إلى الإدمان ويؤثر على المخ. عندما يُحفز النيكوتين المخ، فإن ذلك يؤدي إلى يقظة معينة، وبعد ذلك إلى استرخاء. إنّ الرغبة في التغلب على الاسترخاء، تؤدي أن يستهلك المدخن وجبة إضافية من النيكوتين، ومن خلال استهلاك هذه الوجبة (سيجارة إضافية)، فإن المدخن يحصل على مستوى التركيز واليقظة التي كانت له دون التدخين. إن نقص النيكوتين في دم المُدخن، يؤدي إلى توتر، وعدم الهدوء والشعور بالضغط. من الجدير بالذكر أن المُدخنين الجدد لا يشعرون – في البداية – بهذه الظواهر، لأن أجسامهم لم تتعود على تأثير النيكوتين. الضرر الإضافي للنكوتين، أنه يؤدي إلى ارتفاع ضغط الدم، وهذا يؤدي إلى ارتفاع أمراض القلب.

أثناء التدخين، يستنشق المُدخن – إلى الرئتين – أول أكسيد الكربون (CO) الذي يرتبط بالهيموجلوبين الموجود في الدم بدلاً من الأكسجين. وفي أعقاب ذلك، الدم الذي يصل إلى العضلات يكون قليل التأكسد مما يؤدي إلى انخفاض الطاقة البدنية. والمخ أيضًا يتأثر من أول أكسيد الكربون، ويحدث انخفاض في القدرة على التركيز. ويتأثر سلبًا أداء خلايا أخرى في الجسم. على الأمد البعيد، التدخين يؤذي الأوعية الدموية والقلب. وقد أَثْبَتَت أبحاث كثيرة أن هناك علاقة وطيدة بين التدخين وبين أمراض القلب التي تؤدي إلى الموت. يقوم النيكوتين بترسيب الدهنيات على جدار الأوعية الدموية، ويؤدي إلى تصلب الشرايين الذي يسد فراغ الأوعية الدموية تدريجيًا. ويؤدي النيكوتين أيضًا إلى ارتفاع نبضات القلب وضغط الدم، وإلى انقباض الأوعية الدموية في الجسم. وهذا يُشكل صعوبة على عمل القلب، ويزيد من خطر الإصابة بأمراض الأوعية الدموية في الرجلين واليدين. يؤدي التدخين إلى أمراض أخرى في مسالك التنفس، مثل: النزلة الصدرية، الربو وانتفاخ في الرئتين.

التدخين يؤدي إلى ثُلث حالات السرطان في العالم. تسعة من عشرة مرضى مصابين بسرطان الرئتين، هم من المدخنين والعاشر يكون أحيانًا مدخن غير فعّال. يتأثر احتمال إصابة المُدخن بالسرطان بالعُمر الذي بدأ فيه التدخين، وبالمدة الزمنية التدخين، وبعدد السجائر التي يُدخنها في اليوم، وبعمق شهيق دخان السجائر. يُعتبر دخان السجائر عاملاً أساسيًا في تطور أنواع سرطانات أخرى، مثل: سرطان البلعوم، سرطان المريء، سرطان الكليتين وسرطان المعدة. إضافةً إلى ذلك، تكون حامضية المعدة في جسم المدخنين عالية، اذا تكرارية أو احتمال الإصابة بقرحة في المعدة عند المدخنين تكون أعلى من غير المدخنين.

التدخين يؤذي صحة الفم والأسنان بسبب تأثير المواد الضارة المتراكمة في الرئتين، وبسبب البكتيريا التي تتطور في الفم والجهاز التنفسي. الأضرار هي: أمراض في اللثة، سرطان الفم، اصفرار الأسنان ورائحة كريهة.

التدخين يؤذي الخصوبة عند الرجال، لأنه يُصيب الخلايا المنوية وجودتها، ويقال من عددها. والنساء المدخنات يعانين أيضًا من مشاكل في الخصوبة. يهرم الجلد مبكرًا بسبب التدخين، وينشط ظهور تجعد في الوجه، ويؤدي إلى تغيّرات على الشعر، مثل: شيب الشعر وتساقطه. أثبتت الأبحاث أن الشخص الذي عُمرُه 25 عامًا، ويدخن في اليوم علبة سجائر واحدة، يموت بسن مبكر مقارنة مع الشخص الذي لا يُدخن.

أضرار التدخين على الأشخاص الذين يُحيطون المُدخنين – الأضرار التي تُصيب المدخنين، تؤذي الأشخاص الذين من حولهم، والذين يعانون من تدخين غير فعّال. المُدخن غير الفعّال، يستنشق – إلى داخل جسمه – دخان لهب السيجارة والدخان الذي يُطلقه المُدخن. أثناء التدخين غير الفعّال يمتص الجسم حوالي 4000 مادة كيميائية مختلفة (غازات وجسيمات) من سيجارة واحدة مشتعلة. إنَّ تركيز قسم من المواد الضارة في دخان لهب السيجارة أعلى من تركيزه في الدخان الذي يستنشقه الجسم مباشرةً إلى داخل الجسم.

في السنوات الأخيرة، تراكمت دلائل من أبحاث كثيرة بشأن الأضرار الصعبة عند المُدخنين غير الفعالين. وُجِدَ أن هؤلاء الأشخاص، لديهم احتمال كبير بالإصابة بأمراض الرئتين وانخفاض مستوى أدائها، وأن يصابوا بأمراض القلب، ويطرأ عندهم انخفاض في اليقظة، كما تحدث عندهم ظواهر حساسية، وتصيبهم أزمات الربو وغير ذلك. إضافةً إلى ذلك، يُصاب هؤلاء الأشخاص بسرطان الرئتين بنسبة عالية.

وعند إجراء فحوصات دم لأشخاص غير مدخنين، لكنهم تعرضوا إلى تدخين سجائر، وُجِدَت في دمهم كميات عالية من النيكوتين الذي استُوعب من البيئة المحيطة.

وعند فحص أماكن مغلقة يتم التدخين فيها، وُجِدت في هذه الأماكن كميات أول أكسيد الكربون بتركيز أعلى من التركيز المسموح به.

مجموعة إضافية لمدخنين غير فعالين، هم أجنة أمهات مُدخنات. الأضرار التي تحدث عند هؤلاء الأجنة هي: انخفاض حركة التنفس، ارتفاع وتيرة نبضات القلب وضغط الدم، وضرر عام في تطورهم. عند النساء المدخنات، يوجد احتمال كبير أن يلدن خُدج، وتوجد وفيات عالية للأجنة أثناء الحمل والولادة. كما أنه تزداد نسبة الإصابة بعاهات الولادة عند أطفال لأمهات مُدخنات. ويوجد أيضًا دلائل أن أجنة أمها غير مُدخنات، قد يلحق بهم الأذى إذا تعرضت أمهاتهم بشكل متواصل، إلى بيئة محيطة مشبعة بدخان السجائر. الأطفال الذين آباؤهم وأمهاتهم يُدخنون، يعانون من التهابات في الرئتين، ومن التهابات أخرى في جهاز التنفس أكثر من أطفال آباؤهم وأمهاتهم لا يُدخنون.

أثبتت الأبحاث المختلفة أن تطور أداء الرئتين يتباطأ عند أطفال يعيشون في بيوت فيها مُدخنين، وتتأثر تكرارية تلوث جهاز التنفس بشكل مباشر من عدد السجائر التي يدخنها الوالدين. وقد وُجِدَ أن هؤلاء الأطفال، يوجد لديهم ميل كبير للإصابة بأمراض الرئتين عند بلوغهم. الأطفال الذين يعانون من تدخين غير فعّال، قد يعانون أيضًا من تشويش في قدرة التعلّم، ومن مشاكل في سلوكياتهم.

هل يوجد تبغ آمن؟ الإجابة كلا. لا يوجد نوع تبغ أقل خطورة أو ضررًا عند استعماله. إنّ استعمال التبغ بأشكاله المختلفة (كالسجائر، الشم، الدرجيلة وغير ذلك) ضار جدًا. وقد وُجِدَ أن تدخين سجائر قليلة النيكوتين لا يقلل من استهلاك النيكوتين. إنَّ تدخين هذا النوع من السجائر، يؤدي إلى استنشاق الدخان بطريقة عميقة إلى داخل الرئتين، وإلى إبقاء الدخان مدة زمنية طويلة داخل الرئتين وإلى تدخين عدد أكبر من السجائر. وبهذه الطريقة، يصل المدخنون إلى كمية النيكوتين التي يحتاجونها. كما أنَّ التدخين بالنرجيلة يضر بنفس المقدار.

ماذا ينص القانون؟

يُشير القانون الذي يمنع التدخين في الأماكن العامة (1983) إلى أن التدخين ممنوع في الأماكن العامة، مثل: المجمَّعات، المطاعم، قاعات الأفراح، مؤسسات تربوية، مستشفيات وذكاكين. يُسمح التدخين في هذه الأماكن في غرف خاصة، يوجد فيها تهوية مناسبة، والتدخين فيها لا يؤدي إلى مكرهة في أقسام أخرى في البناية. كما أن القانون يُلزمنا بوضع لافتات تُشير إلى الأماكن التي لا يجوز التدخين فيها.

وكل من يخالف القانون يدفع غرامة مالية. في سنة 1994، أُجريت إضافات على القانون، وأصبح التدخين ممنوع في أماكن العمل أيضًا. وبناءً على هذا القانون، يحق للعاملين أن يطالبوا بحقهم في تنفس هواء نقيٍّ.

يُعبر القانون عن موضوع إضافي، وهو تحذير الجمهور من أضرار التدخين.

يُشير القانون الذي يمنع إجراء دعايات لمُنْتَجات تبغ التدخين (1983) إلى أنه ممنوع منعًا باتًا إجراء دعايات التبغ والتدخين. القانون يمنع كل دعاية تمدح التدخين، ويمنع إجراء دعايات لمُنْتَجات التبغ في بث الراديو، والتلفزيون، وفي السينما، وفي الصحف، وفي نشرات مطبوعة أُعدَّت الشباب حتى سن الثامنة عشرة. إضافةً إلى ذلك، يجب على كل من يُسوق ويُنْتِج مُنْتَجا التبغ أن يكتب تحذيرًا على الرزمة بأحرف مطبوعة كالتالي: "تحذير– أقرت وزارة الصحة أن التدخين ضار للصحة".

أسئلة

1. ما هي برأيكم الأسباب التي أدت إلى الإعلان عن مضار التدخين على البيئة المحيطة؟
2. ما هي برأيكم المميزات الخاصة التدخين كمصدر لتلوث الهواء مقارنةً مع مصادر تلوث هواء أخرى كالسيارات والصناعة؟
3. نُشر مؤخرًا أن أضرار التدخين أدت إلى خسارة مقدارها 2 مليارد شاقل تقريبًا في السنة على الاقتصاد الإسرائيلي. ما هي مكونات هذه التكاليف؟
4. ما هي برأيكم العوامل التي تؤثر على أن يكون استعمال سجائر شركة معينة أكثر من الشركات الأخرى؟
5. حضّروا حملة توعية ضد التدخين: تطرقوا إلى ما يلي:
   أ. المجموعة المستهدفة التي من أجلها نقوم بحملة التوعية.
   ب. الوسائل التي ستستخدمونها أثناء حملة التوعية.
   ج. الفكرة المركزية التي ستقدمونها.
6. ما هو رأيكم في القوانين التي تعالج التدخين؟
   أ. هل تغيّرون هذه القوانين؟
   ب. هل تضيفون بنودًا أخرى على هذه القوانين؟ إذا كانت الإجابة نعم، فما هي؟

تأثير تلوث الهواء على النباتات

النباتات حساسة جدًا لتلوث الهواء. قبل أن بدأ الإنسان بنشاطات لتقليص تلوث الهواء الناجم عن الصناعة، كنا نشاهد بالقرب من المدن الصناعية – في أوروبا والولايات المتحدة – مساحات واسعة من الأراضي التي أبيدت فيها النباتات تقريبًا. وفي يومنا هذا، تحدث أضرار كبيرة للنباتات بسبب تلوث الهواء. يقدر المختصون أن هذه الأضرار تؤدي إلى انخفاض المحاصيل الزراعية في العالم، وإلى خسارة اقتصادية بملايين الدولارات في السنة. إضافةً إلى ذلك، تتضرر نباتات في الأنظمة البيئية الطبيعية.

الملوث	تأثير على النباتات	تأثير على التربة والكائنات الحية الدقيقة	مواد تنتج معها تأثيرات ضارة إضافية
جسيمات مواد مختلفة	انسداد ثغرات النبتة، تقليل وتيرة عملية التركيب الضوئي والنمو.	تلتصق الجسيمات الراديواكتفية (ذات الشعاع النووي) بالتربة	
معادن ثقيلة (مثل: الرصاص، الزئبق والكادميوم)	إصابة الأوراق وتقليل وتيرة النمو.	تلتصق بجسيمات التربة وتقلل من تحليل المواد العضوية الذي تقوم به الكائنات الحية الدقيقة، وأحيانًا تعيق النترجة	جسيمات أخرى
ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)	إصابة الأوراق، وإصابة نمو النبتة والجذور، وارتفاع الموت.	أحيانًا يُعيق تثبيت النيتروجين الذي تقوم به البكتيريا، ويؤذي الأشنات.	تأثير على النباتات: NO_3، O_3 وبخار الماء. على الحيوانات: ماء هيدروكربونات
ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)	تقليل وتيرة النمو، تساقط أوراق.	انخفاض الـ pH في التربة، إطلاق أيونات معادن سامة في التربة.	
مؤكسدات كيميائية ضوئية: أوزون (O_3) وغيرها.	إصابة الأوراق، تقليل وتيرة النمو، تهرم الأوراق والثمار بشكل مبكر وتتساقط، إصابة القدرة على مواجهة الأمراض والآفات الزراعية.	إصابة نشاط البكتيريا التي تقوم بتثبيت النيتروجين	تأثير على النباتات: SO_2
أول أكسيد الكربون (CO)	يؤدي إلى الموت بتراكيز عالية (أكثر من 100 جزء من مليون[1]).	إصابة نشاط البكتيريا التي تقوم بتثبيت النيتروجين	

جدول 5.2: تأثير ملوثات الهواء على النباتات والتربة

مثلاً: هذا ما حدث لجزء من غابات ألمانيا في سنوات السبعينيات، عندما ماتت معظم الأشجار بسبب استنشاقها المستمر للهواء الملوث. تنبع معظم الإصابات في النبتة من أنها تتعرض إلى ملوثات ثانوية، مثل: الأوزون وثاني أكسيد الكبريت. في معظم الحالات، يحدث الضرر، ليس فقط بسبب الإصابة المباشرة في النبتة التي تنمو في منطقة هواء ملوث، بل بسبب إصابة التربة: يمكن أن تتغيّر صفا التربة التي تعرضت إلى هواء ملوث، وهكذا تصبح غير مناسبة للنباتات التي تنمو فيها.

تأثير تلوث الهواء على المواد

يؤثر الهواء الملوث على المواد والمباني التي هي من صُنع الإنسان. في مناطق ملوثة، تتغطى الأبنية بالسناج. المطر الحامضي ومؤكسدات أخرى في الهواء، قد تصيب تماثيل مصنوعة من حجر، ويمكن أن تؤدي إلى تآكل المعادن بشكل سريع. يُشقق الأوزون المُنْتَجات المصنوعة من مطاط، ويؤدي إلى تآكلها بشكل سريع.

[1] أجزاء من مليون: هي وحدة قياس، وهي تعني أنه في حالة وجود مليون جزيء من أنواع مختلفة، فإننا نقصد بهذا المصطلح عدد جُسَيّمات المادة التي تقيس تركيزها من مليون جُسيم.

نباتات وأشنات لرصد الهواء

في المشاهدات التي أُجريت في منطقة الكرمل، في سنة 1969، وُجِدَ أن أشنات البستان التي تنمو على الشجر، لا تظهر على الأشجار التي تنمو على منحدرات الكرمل المقابلة للمنطقة الصناعية في خليج حيفا. تُشير متابعة هذه الأشنات إلى أنه مع مرور الوقت تختفي هذه الأشنات في أماكن أخرى في الكرمل. ومن المعروف أن هذه الأشنات حساسة لوجود ثاني أكسيد الكبريت.

تُستغل حساسية النباتات والأشنات بطرق مختلفة ككواشف لوجود مواد ضارة في الهواء. مثلاً: يمكن فحص وجود معادن ثقيلة في الهواء من خلال قياس تركيزها في خلايا الأشنات.

طريقة أخرى لاستغلال النباتات كمؤشرات بيولوجية لتلوث الهواء، هي إيجاد نباتات حساسة لملوث معين، وفحصها في ظروف المختبر لمعرفة تركيز العتبة لهذا الملوث على النبات، وهذا يعني التركيز الذي تبدأ تظهر فيه إشارات وعوارض الإصابة على النبتة.

وجد باحثون – في معهد التخنيون – عدة نباتات كل منها حساسة لملوث مختلف، مثلاً: في صنف معين من التبغ، عندما تَعرضت النباتات إلى تركيز أوزون أعلى من 0.05 أجزاء في المليون، بدأ تظهر بُقع رمادية على الأوراق. وإذا تعرضت بشكل مستمر إلى هذا التركيز أو إلى تركيز أعلى، فإن ذلك يؤدي إلى تساقط الأوراق، وإلى نمو أوراق جديدة تتضرر وتتساقط بعد فترة قصيرة من الزمن.

أسئلة

1. ماذا يمكن أن نتعلم عن جودة الهواء في حيفا خلال السنوات المختلفة في أعقاب متابعة أشنات البستان؟
2. أ. ما هي الصفات التي يجب أن تكون للأشنات أو لنبات معين، لكي يكون مؤشرًا إلى ملوث معين؟
   ب. اقترحوا طريقة لإيجاد نباتات وأشنات، لكي تُستعمل كمؤشرات.

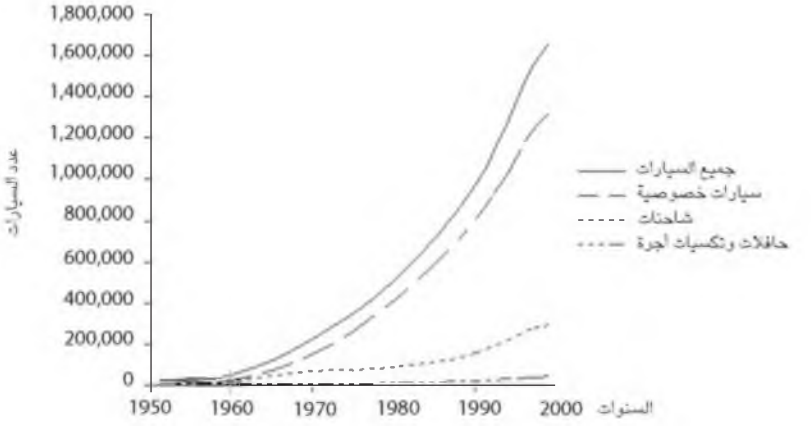
أسئلة

1. ما هو الفرق بين التأثيرات الحادة لتلوث الهواء وبين التأثيرات المزمنة (المستمرة)؟
2. تمعَّنوا في الجدول 5.1:
   أ. حضِّروا قائمة لجميع التأثيرات الضارة التي تظهر في الجدول.
   ب. اكتبوا – بجانب كل تأثير – الملوثات التي تؤدي إلى هذا التأثير.
3. يوجد في الجسم أجهزة حماية من التلوث. اشرحوا، لماذا لا تكون هذه الأجهزة ناجعة في الحالات الآتية:
   أ. أثناء تَعرُّض الجسم بشكل مستمر إلى التلوث.
   ب. أثناء تَعرُّض الجسم إلى جسيمات صغيرة.

4. اقترحوا بحثًا لفحص تأثير تلوث الهواء على صحة المواطنين في مدينة كبيرة.
5. أُقيم مصنع جديد بالقرب من مدينة كبيرة، وأثناء عملية الإنتاج، يُطلق غاز لم يكن موجودًا في السابق في هذه المنطقة. اقترحوا طريقة لتحديد معيار بيئي محيطي[1]، ومعيار انبعاث[2] لهذا الغاز. تطرقوا في إجاباتكم إلى المتغيِّرات التي يجب أن تؤخذ بالحسبان أثناء تحديد المعيار.
6. أ. كيف برأيكم، يجب أن نأخذ بالحسبان مجموعات مهددة بخطر التلوث عند تحديد معايير البيئة المحيطة (المحيط)؟
   ب. كيف يجب أن نراعي هذه المجموعات عند تخطيط البيئة المحيطة؟
7. ما معنى الدقيقة أن النباتات حساسة بشكل خاص لملوثات ثانوية؟

المواصلات وتلوث الهواء

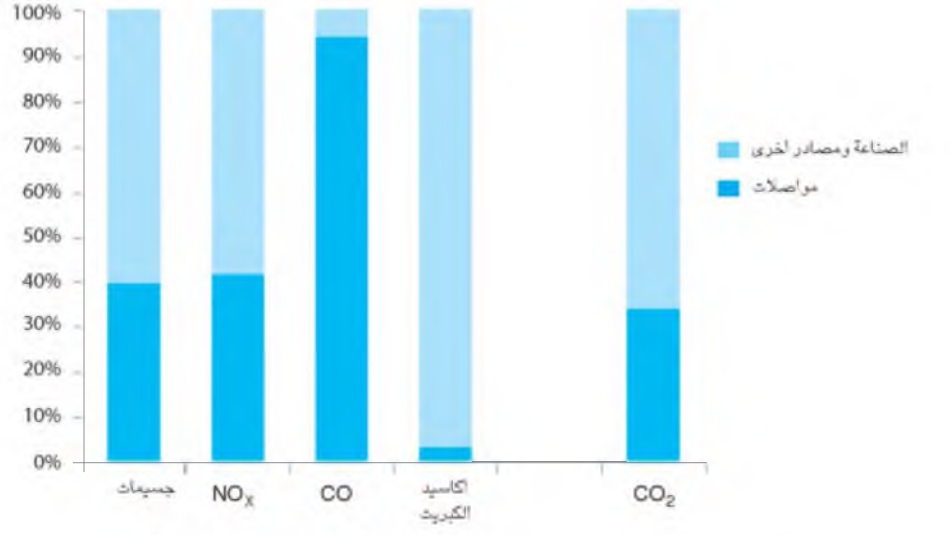
المواصلات هي أحد المصادر الأساسية لتلوث الهواء في العالَم. في دول متطورة، تساهم المواصلا بنسبة 40% حتى 90% تقريبًا من مُجمل تلوث الهواء (وهذا متعلق بنوع الملوث). تزداد – كل الوقت – كمية السيارات في العالَم، وعلى الرغم من أن تحسينات تكنولوجية في السيارات تنجح اليوم في تقليل كمية الملوثات المنبعثة من سيارة واحدة، لكن مُجمل التلوث من المواصلات يزداد مع مرور الوقت.



الرسمة 5.21: *وسائل النقل في إسرائيل*
(بحسب دائرة الإحصاء المركزية)

[1] معيار بيئي – محيطي (المحيط): يُشير إلى مستوى التلوث الأقصى المسموح به في البيئة المحيطة.
[2] معيار الانبعاث: يُشير إلى مستوى التلوث الأقصى المسموح به من مصدر تلوث معين.

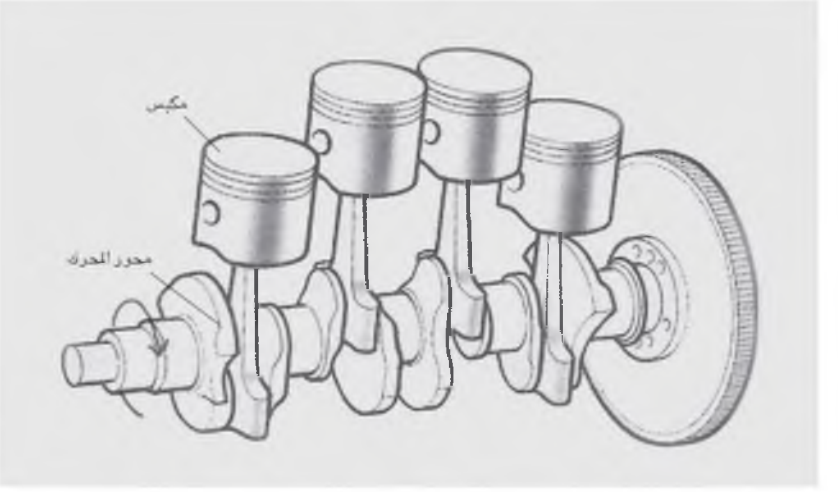
الرسمة 5.22: مستوى عدد السيارات في إسرائيل وفي دول مختارة من العالم. بحسب (world resources)



الرسمة 5.23: كمية الانبعاث من السيارات مقارنةً مع مصادر انبعاث أخرى

محرك السيارة

لكي نفهم، كيف تسبب السيارات تلوث الهواء؟ يجب علينا معرفة طريقة عمل محرك السيارة. المحركات التي تُحرك السيارات، هي محركات ذات احتراق داخلي. في هذا المحرك، يوجد عادةً أربع أسطوانات، وفي كل منها يتحرك مكبس واحد إلى أعلى وأسفل، ومن خلال حركته يدور جهاز نسمّيه محور المحرك، حيث تنتقل الحركة الدائرية لمحور المحرك إلى عجلات السيارة.

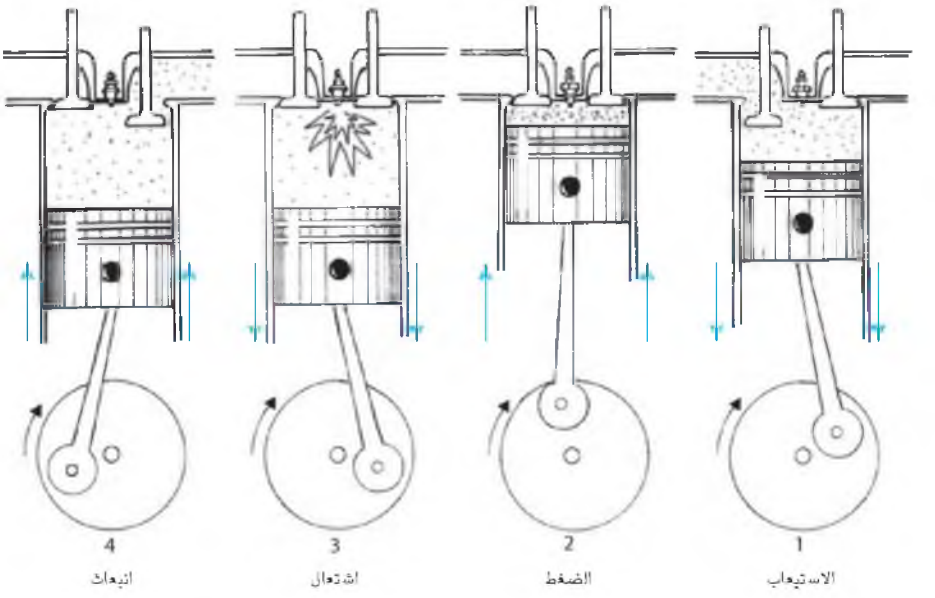


الرسمة 5.24: *حركة مكابس السيارة ونقل الحركة إلى محور المحرك*
يقوم محور المحرك بنقل الحركة إلى عجلات السيارة

تنقسم محركات السيارات إلى نوعين: **محركات بنزين**، وهي موجودة في معظم السيارات الخصوصية، **ومحركات ديزل**، وهي موجودة في وسائل نقل تحتاج إلى محركات ذات قوة كبيرة، مثل: الحافلات والشاحنات.

عندما يعمل محرك البنزين، تتم أربع مراحل (الرسمة في الصفحة القادمة):

1. مرحلة *الاستيعاب* – ينزل المكبس ويدخل مخلوط من الهواء والوقود إلى الأسطوانة.
2. مرحلة *الضغط* – يصعد المكبس إلى أعلى، ويتم ضغط المخلوط الموجود في الأسطوانة.
3. مرحلة *الاشتعال*: تَنْتُج شرارة بواسطة قداحة كهربائية، ويشتعل مخلوط الهواء والوقود مما يؤدي إلى احتراق الوقود وإنتاج الغازات التي تُنْتِج ضغطًا كبيرًا يؤدي إلى نزول المكبس.
4. مرحلة *الانبعاث*: يصعد المكبس إلى أعلى ويدفع – إلى الخارج – الغازات الموجودة في الأسطوانة.



الرسمة 5.25: *المراحل الأربع التي تتم خلال عمل محرك بنزين*

إنَّ عمل محركات الديزل يشبه عمل محركات البنزين. يوجد فرقان أساسيان بين نوعي المحركين:

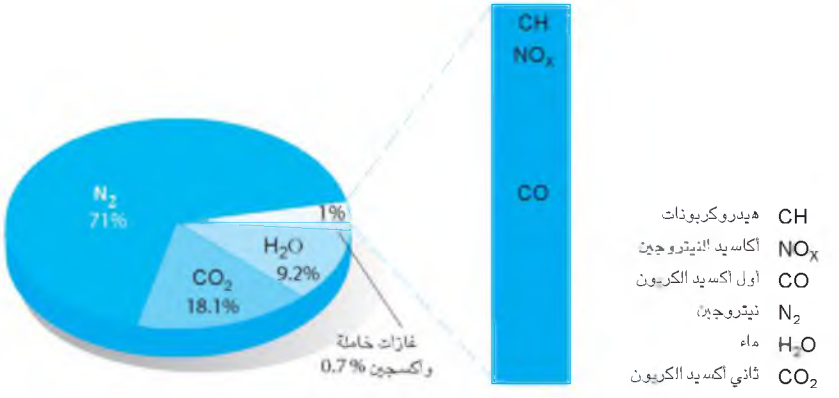
1. الوقود الذي يُستعمل في محرك الديزل هو سولار وليس بنزين.
2. في محرك الديزل، لا توجد حاجة إلى القداحة، لأن اشتعال الوقود يتم بشكل تلقائي (بشكل ذاتي).

تتم العملية كالتالي:

- في مرحلة الاستيعاب، يدخل هواء فقط، ودون وقود إلى الأسطوانة.
- في مرحلة الضغط، يتم ضغط الهواء، وفي أعقاب ذلك، ترتفع درجة حرارته بشكل كبير جدًا.
- في مرحلة الاشتعال، يتم حقن الوقود إلى الهواء الذي ارتفعت درجة حرارته، ويشتعل بشكل ذاتي بسبب درجة حرارته العالية.

العمليات التي تؤدي إلى تلوث من السيارة

ملوثات في الغازات المنبعثة: ملوثات الهواء المنبعثة من السيارة تُشكل 1% فقط من مُجمل الغازات التي تخرج من عادم السيارة، وباقي الغازات هي مكونات عادية للهواء. الطريقة التي من خلالها تتم صيانة محرك السيارة هي التي تحدد – بشكل كبير – مدى التلوث والنسبة الكمية بين الملوثات المختلفة. المحرك الذي يعمل بشكل سليم، يستهلك كمية وقود أقل، ويكون تلويثه للبيئة المحيطة أقل.



الرسمة 5.26: *مكونات الغازات المنبعثة من سيارة تعمل بالبنزين*

تلوث هواء من سيارة

النسبة الكمية بين الهواء والوقود (**نسبة الخلط**) في المخلوط الذي ينتقل إلى الأسطوانات، تؤثر على العمل السليم للمحرك. في محركات البنزين، النسبة الصحيحة، هي وحدة كتلة واحدة من البنزين

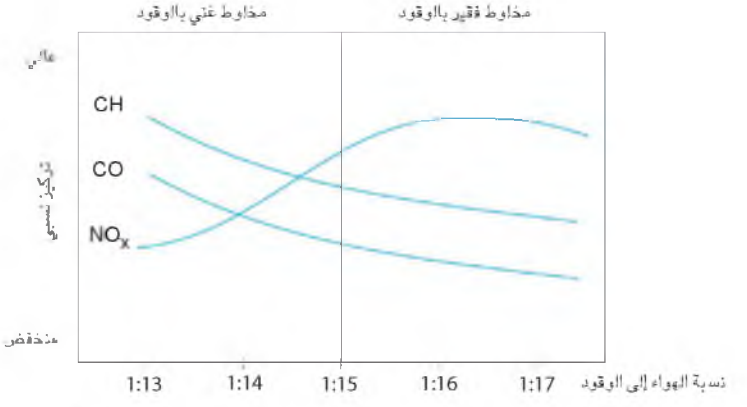
إلى 14.7 وحدات كتلة من الهواء (النسبة 1:14.7). إنَّ نسبة الخلط غير الصحيحة، تزيد من انبعاث الملوثات. إذا كان المخلوط غنيًا بالوقود أكثر من المطلوب، وهذا يعني فيه وقود أكثر نسبةً إلى الهواء (مثلاً: النسبة 1:13)، فإن ذلك يؤدي إلى نقص في الأكسجين المطلوب لحرق الوقود. وفي هذه الحالة، لا تكون عملية الاحتراق كاملة، اذا تزداد كمية الهيدروكربونات (CH) والـ CO المنبعثة من السيارة، ودرجة الحرارة التي تَنْتُج أثناء احتراق مخلوط غني بالوقود تكون أقل نسبيًا، اذ كمية الـ NO_X تكون منخفضة.

أما إذا كان المخلوط فقيرًا بالوقود، وهذا يعني فيه فائض من الهواء (مثلاً: النسبة 1:16)، فإن عملية الاحتراق تكون جيدة، وفي أعقاب ذلك، تقل كمية الهيدروكربونات والـ CO في الغازات المنبعثة، لكن درجة الحرارة التي تَنْتُج (إذا كان فائض الهواء غير كبير جدًا) تكون عالية وتَنْتُج كميات أكبر من غازات NO_X.

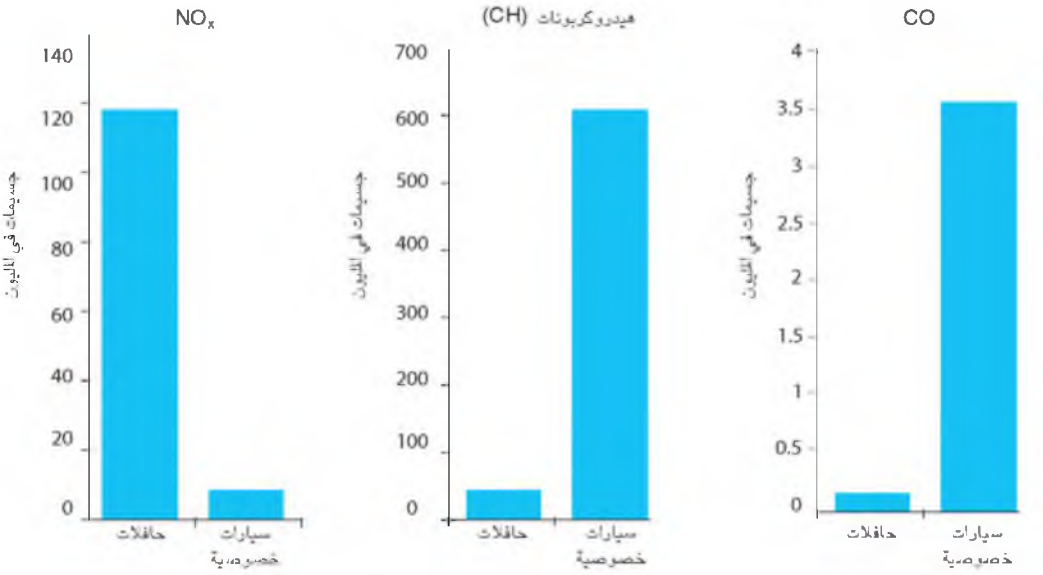
في محركات الديزل، يتم احتراق الوقود بدرجات حرارة عالية مقارنةً مع محركات البنزين، وهذا يؤثر على مكونات الملوثات التي تَنْتُج. تؤدي درجة الحرارة العالية عادةً إلى احتراق جيد، وهكذا يَنْتُج CO أقل. وكمية الهيدروكربونات التي تَنْتُج تكون قليلة أيضًا مقارنةً مع سيارات البنزين، وتكون معظم الهيدروكربونات جسيمات وليس مركّبات متطايرة (VOC).

سيارة الديزل، تُطلق جسيمات حتى 10 أضعاف أكثر من سيارة البنزين. يُخمنون أن السبب لذلك، يذجم من طريقة عمل محركات الديزل ومن مكونات الوقود. يتم الاحتراق في محرك الديزل بشكل سريع، اذا لا تحترق – بشكل كافٍ – مكونات الوقود التي تحتاج إلى زمن أطول لعملية الاحتراق. في ظروف الاحتراق في محرك الديزل، الوقود الذي لا يحترق يُنْتِج جُسَيْمات.

تأثير آخر لدرجة حرارة الاحتراق العالية في محرك الديزل، هو إنتاج NO_X بكميات كبيرة مقارنةً مع محرك البنزين.



الرسمة 5.27: تركيز الملوثات المنبعثة من السيارة عند تغيّر النسبة بين الهواء/الوقود



الرسمة 5.28: *انبعاث ملوثات من سيارة بنزين (سيارة خصوصية) ومن سيارة ديزل (حافلات)*

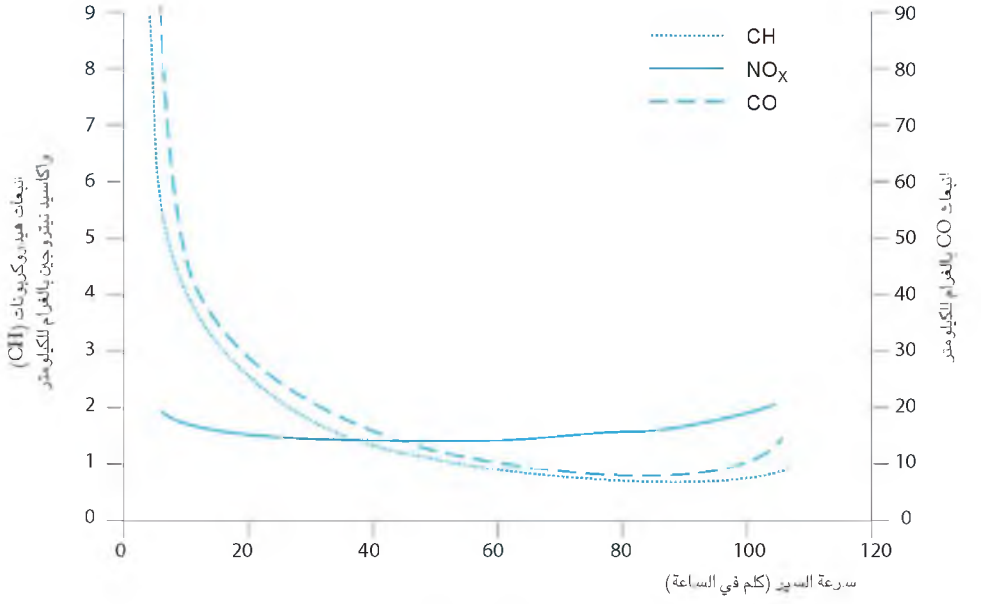
تطاير ملوثات أثناء تعبئة الوقود: إنَّ مصدر معظم الملوثا من السيارة هو الغازات المنبعثة.

لكن يوجد معنى كبير جدًا لتطاير الوقود أثناء تعبئة السيارات بالوقود. تحتوي غازات الوقود على مركبات ضارة، من بينها البنزن الذي يعتبر مادة تسبب السرطان.

تأثير عُمرُ السيارة وطريقة استعمالها: يؤثر عُمرُ السيارة على كمية الملوثات التي تَنْتُج. السيارات القديمة، تُطلق تلوثًا كبيرًا جدًا، لأنّه لا يوجد فيها محول حفّاز (انظروا فيما بعد)، ولأن تآكل قسم من السيارة يؤدي إلى انخفاض نجاعة عمل المُحرك.

يُقدِّرون أن السيارا القديمة التي تُشكل 10% من السيارات في البلاد، تُساهم بنسبة 50% من التلوث الناجم من السيارات.

يؤدي الجهد الزائد للمحرك إلى إنتاج ملوثات كثيرة أيضًا. السيارة التي تُنفَّذ فيها عمليات بدء سير كثيرة، مثلاً: أثناء ازدحام حركة السير داخل المدينة، يؤدي إلى جُهد على محرك السيارة. الحمل الزائد في السيارة، والسياقة غير الصحيحة التي تشمل توقف فجائي للسيارة، تؤدي هي أيضًا إلى تلوث كبير.



الرسمة 5.29: *النسبة بين سرعة السير وبين انبعاث الملوثات*
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)

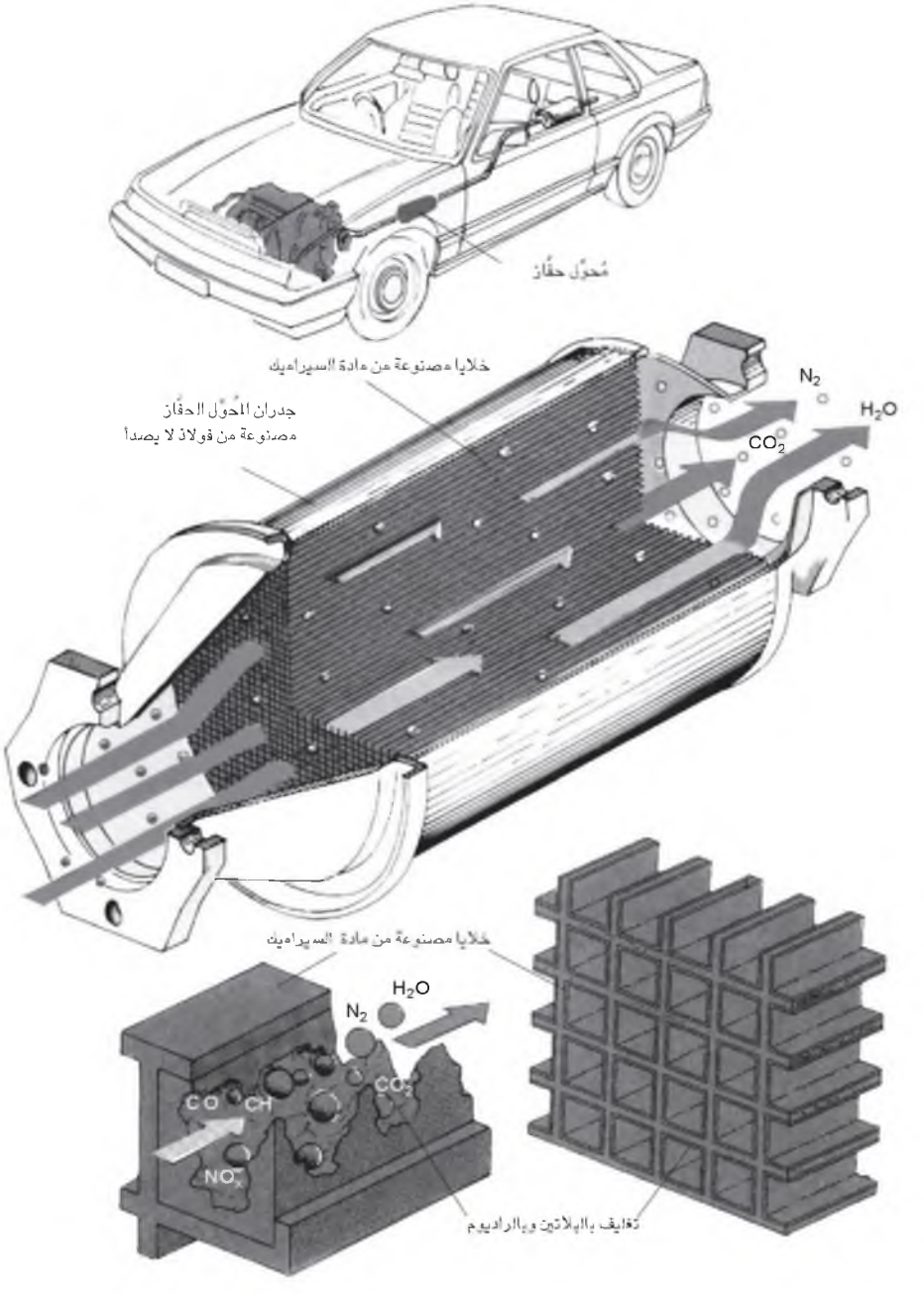
مواجهة مشكلة التلوث الناجمة من السيارات

استعمال مُحوِّل حفَّاز: المُحوِّل الحفَّاز، هو حل تكنولوجي لتقليل الغازات المنبعثة من سيارة بنزين. وقد أصبح وجودهُ إلزاميًا في البلاد، في السيارات الخصوصية منذ سنة الإنتاج 1993.

يعمل المُحوِّل الحفَّاز على إكمال احتراق الهيدروكربونات، وتحويل CO إلى CO_2 وتحويل NO_X إلى N_2.

المُحوِّل الحفَّاز مبني من خلايا مصنوعة من مواد سيراميكية مغلَّفة بمعدن خامل، مثلاً: البلاتين.

تمر الغازات المنبعثة عبر الخلايا، وتتم التفاعلات الكيميائية في المحوِّل الحفَّاز بسبب وجود المعدن الخامل الذي يُستعمل كمحفِّز للعملية. المُحوِّل الحفَّاز الذي يعمل بالشكل الصحيح، قد يُقلل كمية الغازات السامة المنبعثة بنسب ملحوظة: الهيدروكربونات بنسبة 55%، CO بنسبة 85% و NO_X بنسبة 80%. عندما تكون صيانة المُحوِّل الحفَّاز كما هو مطلوب، فإنَّه يعمل بنجاعة، وتكون نجاعته قصوى عندما يكون المحرك ساخنًا. إنَّ استعمال المُحوِّل الحفَّاز في السيارات يُلزمنا باستخدام وقود خالٍ من الرصاص، لأن الرصاص يُلوِّث المُحوِّل الحفَّاز، ويؤدي إلى انسداده.



الرسمة: 5.30: مُحوِّل حفَّاز

الرصاص في الوقود وأوكتان الوقود

الرصاص ليس جزءًا من الوقود، بل هو مادة تُضاف الوقود (كمركّب مع مواد أخرى)، لكي تمنع اشتعال تلقائي للوقود المضغوط – الموجود في الأسطوانة – قبل الوقت المناسب. المحرك الذي يشتعل فيه الوقود قبل الوقت المناسب، يُسمع ضربة أثناء الاشتعال التلقائي. تُقال هذه الظاهرة من استغلال المُحرك بالشكل المطلوب، وتؤدي إلى تبذير الوقود وتلف المُحرك. في محطات الوقود، يبيعون أنواع وقود مختلفة تختلف عن بعضها بقدرة الوقود على منع حدوث ضربات في المحرك. وأوكتان الوقود، هو مقياس لهذه القدرة. الوقود الذي يمنع حدوث ضربات في المحرك بشكل جيد، يكون فيه أوكتان عال. يُسجل عادةً رقم أوكتان الوقود على مضخات الوقود. إنَّ إخراج الرصاص من الوقود، في أعقاب استعمال محول حفَّاز، يُلزمنا أن نضيف مواد إضافية أخرى الوقود، لكي تحافظ على رقم أوكتان عال، ولكي تمنع حدوث ضربات في المُحرك. كلما ازداد عدد السيارات ذات المُحوِّل الحفَّاز، يقل انبعاث الرصاص الذي يُعتبر معدنًا ضارًا. ومع ذلك، يوجد خوف أن يكون هناك قسم من بدائل الرصاص، من الهيدروكربونات المتطايرة المختلفة، وذات صفات مواد تؤدي إلى السرطان.

مضخة تزويد وقود

صيانة السيارة بالشكل الصحيح: إنّ العناية الصحيحة في السيارة، تضمن إنتاج مخاوط وقود وهواء بنسبة صحيحة. في سيارة البنزين يَنْتُج المخاوط في الكاربوراتور أو بواسطة جهاز يقوم بحقن الوقود [1]. الصيانة التي تتم في الوقت المناسب، والتي تشمل معالجة هذه الأجهزة بحسب تعليمات المُنْتِج، وتبديل مصافي الهواء، قد تُقلص من إنتاج الملوثات من السيارة. جميع السيارات في البلاد، يجب أن تمر بفحص الترخيص السنوي، وذلك بناءً على قانون وأمر من وزارة المواصلات، حيث يتم فحص صيانة السيارة، والسيارة التي لا تمر هذا الفحص، لا يُسمح باستعمالها. في هذه الأيام، يُستغل الفحص السنوي لاحتياجات جودة البيئة المحيطة بشكل قليل جدًا. الفحوصات الوحيدة التي تتم هي: انبعاث CO من سيارة بنزين، وانبعاث دخان أسود من سيارة ديزل. يعتقد البعض أنه يجب فحص مستوى ملوثات إضافية أيضًا، ويجب فحص سلامة المحوِّل الحفَّاز.

تحسين جودة الوقود: يوجد لجودة الوقود تأثير كبير على كمية ومكونات الملوثات المنبعثة إلى الهواء. جودة الوقود المنخفضة تؤذي نجاعة عمل المُحرك والمحوِّل الحفَّاز.

بالنسبة لقسم من مكونات الوقود، يوجد أوامر وقوانين تحد من كميتها في الوقود. الوقود الذي يتم تسويقه في البلاد، يفي بالشروط والمعايير الأوروبية.

في بداية سنوات الـ 2000، بدأت معامل التكرير بتسويق سوار مع كمية قليلة من الكبريت، وذا صفات تُتيح احتراقًا جيدًا للوقود مما يؤدي ذلك إلى تقليل كمية الجسيمات التي تَنْتُج.

هذا النوع من الوقود نسمّيه "سيتي ديزل (ديزل المدينة)"، وفي بداية سنة 2001، بدأت شركات مواصلات باستعماله في مدن كبيرة. يمكن تحسين جودة الوقود من خلال إضافة مواد مختلفة. وبحسب القانون، يجب على شركات الوقود أن تضيف مواد إلى الوقود، لكي تمنع من تراكم الأوساخ في المحرك.

استعمال محركات غاز وكهرباء: يمكن تقليل تلوث الهواء الناجم من السيارات بشكل ملحوظ، إذا بدلنا محركات الديزل في المواصلات العامة بمحركات غاز وكهرباء. السيارة التي تعمل بواسطة الغاز، نستعمل فيها غاز كربوني مكثف [2]. يَنْتُج هذا الغاز كناتج مرافق لتكرير النفط، وهو يُستعمل في البيت للطهي والتدفئة. إنّ الحسنات الأساسية لاستعمال الغاز هي:

- من السهل أن نُنْتِج مخاوطًا بكميات دقيقة من الهواء والوقود، وهذا يؤدي إلى احتراق جيد وإلى تقليل تلوث الهواء.
- في السيارة التي تعمل بواسطة الغاز يمكن أن نركب محوِّلاً حفَّازًا، لكن لا يمكن تنفيذ ذلك في سيارة تعمل بواسطة الديزل.

---

[1] في سيارة الديزل، يوجد جهاز لحقن الوقود فقط.

[2] لكي نوفِّر من حجم تخزين الغاز في الصهاريج، نقوم بضغطه وتكثيفه (تحويله إلى سائل).

- السفر بسيارة تعمل بواسطة غاز كربوني مكثف يكون هادئًا وسهلاً.
- سعر الغاز الكربوني المكثف أرخص من سعر البنزين.

تعمل المحركات الكهربائية بواسطة مركم يتم شحنه قبل السفر. القطارات التي تعمل بواسطة الكهرباء تكون مرتبطة بشكل ثابت بخط كهربائي يمر على طول السكة الحديدية، وهو يُزوِّد القطار بالكهرباء. المحركات الكهربائية لا تُطلق ملوثات إلى البيئة المحيطة.

إنَّ تبديل المحركات في وسائل النقل باهظ جدًا، لكن الانتقال التدريجي لاستعمال الغاز أو الكهرباء في المواصلات العامة، وتشغيل القطارات بالكهرباء، قد يساهم في منع تفاقم تلوث الهواء في المستقبل.

تبديل سيارات قديمة: كما ذكرنا، السيارة القديمة تلوث أكثر من السيارة الجديدة. اذا تشجيع عدم، أو تقليل استعمال السيارات القديمة، قد يساهم في تقليل تلوث الهواء. في إسرائيل، معدل عُمر وسائل النقل عالٍ مقارنةً مع دول متطورة أخرى. تقوم شركات المواصلات العامة في إسرائيل بتبديل وسائل النقل كل 15 عامًا.

الحل في المستقبل – سيارة أخرى

في السنوات الأخيرة، هناك حاجة إلى إنتاج سيارة "نظيفة"، اذا توجد محاولات لاختراع سيارات تعمل بواسطة تكنولوجية أخرى. سنذكر بعض الاختراعات التي تُستعمل اليوم بشكل تجريبي في أماكن مختلفة في العالَم.

أحد الحلول، هو سيارة كهربائية التنقل لمسافات قصيرة داخل المدينة. وقد أُعدَّت هذه السيارات أحيانًا لراكب أو راكبين، ويوجد فيها مكان صغير لنقل حمل صغير. وتحتاج هذه السيارة إلى شحن كل 50 كلم، ومن سيئاتها أنها تحتاج إلى مدة زمنية طويلة لشحن المركم (8 ساعات تقريبًا) وسعرها باهظ.

أحد الحلول الأخرى، هو سيارة تعمل بواسطة محركين: مُحرك بنزين ومُحرك كهربائي. يُستعمل مركم السيارة لتشغيل المحرك الكهربائي وآلية الاشتعال في محرك البنزين. يتم شحن المركم بطريقتين، الأولى كما هو الأمر في محرك البنزين، من خلال دوران العجلات، والثاني من خلال تحويل قسم من الحرارة التي نَتجت أثناء كبح السيارة إلى طاقة في المركم. تسير السيارة بواسطة محرك بنزين، لكن عندما نحتاج إلى قوة إضافية (مثلاً: أثناء التسارع أو الصعود)، فإنَّ المحرك الكهربائي يبدأ بالعمل، وهكذا نمنع من حدوث تغيُّرات فجائية في قوة عمل المُحرك.

محرك البنزين الذي يعمل بقوة متجانسة يُنْتِج ملوثات أقل.

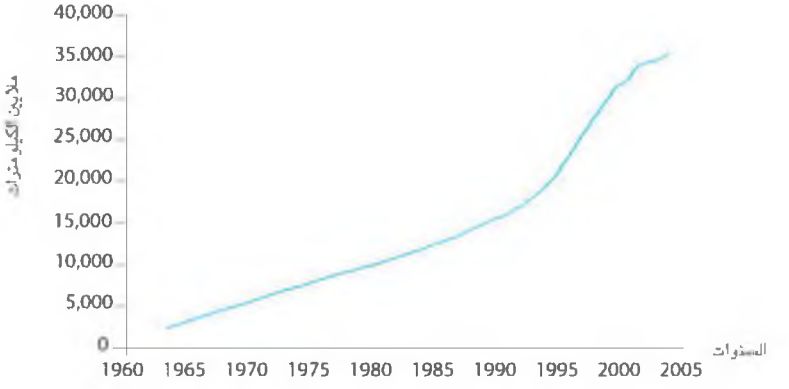
الأمل الكبير لتغيير ملحوظ في محرك السيارة، نجده في المثال الثالث الذي نعرضه. فهذه السيارة تعمل بواسطة بطاريات خلايا وقود. في هذه الخلايا، يختلط الأكسجين بالهيدروجين ويتفاعلان مع بعضهما لإنتاج ماء من خلال عملية كيميائية التي من خلالها تُنتَج كهرباء تعمل على تحريك محرك السيارة. هذه السيارة تحتاج إلى تزويد وقود كل 300 كلم، وهذا يشبه السيارة التي تعمل بواسطة البنزين، والمادة الوحيدة التي تُطلق منها إلى البيئة المحيطة هو الماء.

على الرغم من أن هذه السيارة تعمل في بعض الأماكن في العالم، إلا أن المشاكل التكنولوجية فيها كثيرة جدًا. سنذكر بعض المشاكل: الهيدروجين هو غاز قابل للاشتعال، ويجب تخزينه في السيارة بشكل آمن. المشكلة الثانية أن كتلة خلايا الوقود عالية، وهي تؤدي إلى زيادة كتلة السيارة. وتوجد مشكلة في كيفية إنتاج الهيدروجين. يمكن إنتاج هيدروجين بوسائل كيميائية مختلفة من مواد عضوية. فيما يلي بعض الأمثلة: يمكن أن يكون الوقود الأحفوري (الفحم والنفط) مصدرًا للمادة العضوية، وأيضًا النفايات البيتية والنباتات الزراعية (في هذه الحالة، تتم تنمية وقود السيارات في الحقول). في أعقاب استعمال المواد العضوية لإنتاج الهيدروجين، ينطلق ثاني أكسيد الكربون إلى الهواء. والطريقة الأخرى لإنتاج الهيدروجين، هي تحليل الماء بواسطة التحليل الكهربائي (تمرير تيار كهربائي عبر الماء). تحتاج هذه العملية إلى بذل طاقة كهربائية.

أسئلة

1. ما هي أفضليات استعمال السيارة الكهربائية للسفر القصير في مراكز المدن؟
2. صفوا حسنات وسيئات السيارات التي وُصفت.
3. ما هي الصفات المطلوبة من سيارة، لكي تعمل بدل سيارة عادية تعمل بواسطة البنزين أو السولار؟
4. ما هي الصعوبات التي يمكن أن تظهر – برأيكم– إذا استعملنا سيارة بديلة تقوم بنفس العمليات التي تُنفِّذها سيارة عادية تعمل بواسطة البنزين؟

تخطيط المواصلات: 35 مليارد كيلو متر، هذه هي مسافة **السفر المتراكم** لجميع السيارات في إسرائيل خلال سنة (معطيات سنة 2000). إنَّ تقليل المسافات العامة التي تقطعها السيارات في إسرائيل، وتقليص عدد وسائل النقل في مراكز المدن وفي الشوارع المزدحمة، يمنع من تفاقم تلوث الهواء.



الرسمة 5.31: *كمية السفر في إسرائيل*

(بحسب دائرة الإحصاء المركزية)

تخطيط المدينة والمنطقة، وذجاعة المواصلات العامة، يوجد لها تأثير كبير على طول مسافات السفر. مثلاً: عندما نبني بادانًا بكثافة قاياة على مساحا واسعة، فإنَّ البُعد الذي يقطعه المواطنون إلى أماكن أعمالهم يكون كبيرًا. وهذا التوزيع البادان لا يُتيح تطوير مواصلات عامة ناجعة. لأن مسارات الحافلات تكون طويلة، وزمن السير يكون كبيرًا، ومن الصعب بناء مسارات حافلات مجدية من ناحية اقتصادية، بحيث تصل إلى أماكن قريبة من البيوت. اذا يستعمل المواطنون سيارات خصوصية والنتيجة أن مسافة السفر تزداد.

في السنوات الأخيرة، خُطِّطَت وبُنيت – في البلاد – بُادان وضواحي مدن كثيرة بتوزيع كبير. إنَّ تعبيد شوارع سريعة (كشارع رقم 6) يُسرِّع هذه العملية ويقويها. إذا خطَّطنا المنطقة – في المستقبل – بالشكل الصحيح، وقمنا ببناء كثيف، فإن ذلك، يسمح بناء شبكة مواصلات عامة جيدة، ويمنع النمو المتزايد والمتسارع في مسافات السفر.

إنَّ تحسين شبكة المواصلات العامة الموجودة، قد يقلل من استخدام السيارات الخصوصية، ويساهم في تقليص مسافة السفر. في السنوات الأخيرة، طرأ تقدم في هذا المجال، في الأماكن التي استُعملت فيها قطارات بين المدن بوتيرة سفر كبيرة. فقد بُنيت مواقف سيارات في محطات القطار، لكي تقف فيها السيارا الخصوصية. وُجِدَ هذا الحل في إسرائيل، في سنة 2001، وقد كان لجزء من المواطنين. التخطيط السنوات القادمة، يجب أن يشمل تطويرًا إضافيًا القطارات بين المدن، مثل: بناء شبكة مواصلات القطار "الخفيف" في القدس، وبناء شبكة مواصلات القطار داخل المدينة، بحيث تكون قسم من مساراته تحت الأرض. تحتاج هذه المشاريع إلى أموال طائلة وتستمر وقتًا كبيرًا. يدعي البعض أن هذه المشاريع لا تحظى بالأفضلية المناسبة. يوجد حل إضافي يُطبق في مجال المواصلا العامة، وهو مسالك سير خاصة الحافلات واتاكسيات الأجرة.

أسعار السفر، تؤثر أيضًا على مدى استعمال المواصلات العامة، وذلك مقارنة مع استعمال السيارة الخصوصية. إنَّ تخفيض سعر السفر في المواصلات العامة سيشجع على استعمال هذه الوسيلة.

تُطبق إمكانيات أخرى في العالَم لتقليص مسافة السفر، ففي أماكن معينة، لا تدخل سيارات خصوصية إلى مراكز مُدن كبرى، أو أنها تدخل بأعداد محدودة، وفي حالات أخرى يدفع السائق رسومًا مقابل دخوله في ساعات الازدحام. وتقايص عدد الأماكن في مواقف السيارات في المدينة، يؤدي إلى تقليل عدد السيارات التي تدخل المدينة.
اقتراح آخر، هو تعبيد مسالك خاصة للدراجات الهوائية، لكي يستعملها المواطنون. هولندا والدنمارك، هما مثالان لاستعمال الدراجات الهوائية بشكل واسع.

أسئلة

1. أ. تمعّنوا في الرسمتين 5.21 وَ 5.31. ما هو الاستنتاج الاقتصادي الاجتماعي الذي يمكن استنتاجه من هاتين الرسمتين؟
   ب. ماذا يمكن أن نتعلّم من معطيات الرسمتين عن جودة البيئة المحيطة؟
2. أ. لماذا استعمال السيارة يلوث البيئة المحيطة؟
   ب. في أي مرحلة من مراحل عمل المُحرك يَنْتُج التلوث؟

القطار كوسيلة لتقليص كمية سفر السيارات

3. تمعَّنوا في الرسمة 5.27، ثم اشرحوا، ماذا يحدث لتلوث الهواء الذي يَنْتُج عندما:
   أ. يصل المحرك مخلوطًا غنيًا بالوقود؟
   ب. يصل المحرك مخلوطًا فقيرًا بالوقود؟
   ج. لماذا يَنْتُج القليل من الـ NO_X إذا كان المخلوط غنيًا بالوقود؟
4. لماذا من المهم أن يكون مخلوط الوقود والهواء ذا نسبة دقيقة وبحسب تعليمات مُنْتِج السيارة؟
5. تمعَّنوا في الرسمة 5.28. صِفوا، ثم اشرحوا الفروق – في انبعاث الملوثات – بين مُحرك بنزين ومحرك ديزل؟
6. لماذا يقلل الوقود الذي يحتوي على أوكتان بنسبة عالية من تلوث الهواء الناتج من السيارة؟
7. أ. كيف يقلل المحوِّل الحفَّاز من تلوث الهواء؟
   ب. ما هي التعديلات المطلوبة على مكونات الوقود مع إدخال المحوِّل الحفَّاز للاستعمال؟
8. يستطيع أصحاب السيارات أن يقوموا بعمليات مختلفة تُحسِّن من أداء السيارة، وتوفِّر تكاليف صيانتها، وتُقلل أيضًا من انبعاث الملوثات. اكتبوا هذه العمليات، ثم اذكروا، كيف تساهم كل منها في تقليل انبعاث الملوثات؟
9. أ. لماذا –برأيكم– لا يفرضون الضرائب على استعمال وقود غاز هيدروكربوني مكثف؟
   ب. لماذا على الرغم من حسنات استعمال وقود غاز هيدروكربوني مكثف، لا يُستعمل بشكل شائع؟
10. تمعَّنوا في الرسم التخطيطي الذي وَرَدَ في الرسمة 5.29.
    أ. ما هي الظاهرة التي يصفها الرسم التخطيطي؟
    ب. ما هي – برأيكم – الطريقة الصحيحة لمواجهة هذه الظاهرة؟
11. أ. اقترحوا حلولاً في مجال تخطيط المواصلات، بحيث تساعد على تقليل التلوث من وسائل النقل في البلاد؟
    ب. ما هي الصعوبات التي تتوقعونها عند تطبيق الحلول التي اقترحتموها؟

ملوثات هواء من الصناعة

في فترة الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر، كانت الصناعة المصدر الأساسي الذي يلوث الهواء. ومع تطور المواصلات، فقد قل الجزء النسبي الصناعة، وتساهم الصناعة – اليوم – بحوالي نِصف تلوث الهواء، وهذا متعلق بنوع الملوث (الرسمة 5.23 في صفحة 168).

يَنْتُج تلوث الهواء من المصانع الصناعية من خلال عمليتين أساسيتين:

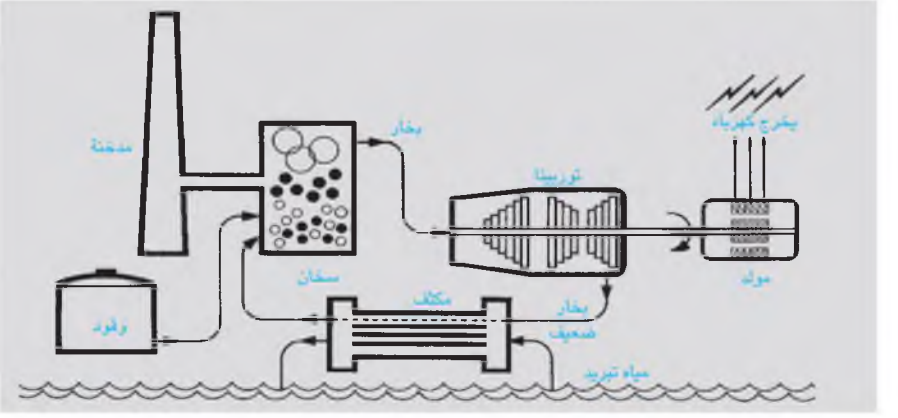
- حرق وقود لإنتاج طاقة كهربائية.
- إنتاج مُنْتَجات، من خلالها تُطلق نواتج مرافقة إلى الهواء.

تلوث الهواء خلال عملية إنتاج الطاقة الكهربائية

يتم إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء، من خلال تشغيل **مولِّد كهربائي**. والمولِّد الكهربائي، هو جهاز يدور فيه ملف أسلاك موصل للكهرباء في حقل مغناطيسي. وهذه العملية، تؤدي إلى إنتاج تيار كهربائي في ملف الأسلاك الموصل. **التوربينة** المرتبطة بالمولِّد هي التي تُدوِّره. يوجد في التوربينة دولاب يدور بواسطة الغاز أو بواسطة سائل ذي ضغط عالٍ.

تختلف تكنولوجية إنتاج الكهرباء عن بعضها بالوسائل التي تُحرك التوربينة. يمكن تحريك التوربينة بواسطة شلال ماء، كما يتم في الدول التي يوجد فيها أنهار كبيرة، أو بواسطة الرياح، في الأماكن التي يوجد فيها رياح قوية. استعمال هاتين الوسيلتين غير شائع، وفي معظم محطات توليد الطاقة الكهربائية يستعملون بخار ماء بضغط عالٍ جدًا لتحريك التوربينة. تُبذل الطاقة لإنتاج البخار في هذه المحطات المعدَّة لتوليد الطاقة الكهربائية. يَنْتُج البخار بواسطة غليان الماء الموجود في سخانات. لهذا الغرض، يحرقون الفحم، أو المازوط (نوع من أنواع الوقود المُستخرج من النفط الخام) في معظم المحطات التي يُنتِجون فيها الكهرباء.
الغازات التي تَنْتُج خلال العملية، تنبعث إلى الهواء عبر مداخن محطة الكهرباء.

في السنوات الأخيرة، بدأت شركة الكهرباء في إسرائيل باستعمال نوع آخر من التوربينة المسمَّاة توربينة غاز. في هذه التوربينة، يدور المولد الكهربائي بواسطة محرك يقوم بعملية احتراق داخلي، ومبدأ عمل هذا المُحرك يشبه محرك السيارة. أعطي الاسم توربينة غاز لهذه المحطات بسبب الغازات الناتجة من عملية الاحتراق التي تتم في المُحرك، والتي تُحرك التوربينة وليس البخار. لتشغيل هذه المحطات يمكن استعمال السولر أو الغاز الطبيعي. إنَّ الحسنة الأساسية لتوربية الغاز أنَّه يمكن تشغيلها بسرعة، وهكذا يمكن الاستجابة بسرعة للطلب المتغيِّر على الكهرباء خلال اليوم.



الرسمة 5.32: محطة الكهرباء

الغازات المنبعثة تلوث الهواء: التلوث من محطة الكهرباء متعلق بمدى كبير بنجاعة الاحتراق وبنوع الوقود. درجة حرارة الاحتراق في السخانات عالية جدًا ($1600^{\circ}C$)، اذا فهي تمنع من إنتاج CO ومركّبات متطايرة (VOC). الملوثات الأساسية التي تَنْتُج هي: أكاسيد الكبريت التي تَنْتُج بسبب وجود كبريت في المازوط، مركّبات الـ NO_X التي تَنْتُج بسبب درجات حرارة الاحتراق العالية (وهذا يشبه العملية التي تتم في محركات السيارات) وجسيمات.

عمليات صناعية أخرى

عمليات إنتاج مُنْتَجات كثيرة، هي عمليات كيميائية، والنواتج المرافقة للمُنْتَجات هي غازات تنبعث إلى الهواء. وفي معظم الحالات، تحتاج العملية إلى درجة حرارة عالية، نحصل عليها من خلال احتراق الوقود. تَنْتُج ملوثات مختلفة في العمليات الصناعية المختلفة، وذلك وفقًا للعملية والمواد التي تشترك فيها.

مثال على ذلك، هو إنتاج الإسمنت. المواد الخام، هما جير وصلصال، وهما يتفاعلان داخل الجهاز في درجة حرارة عالية. نحصل على درجة الحرارة المطلوبة من خلال حرق مازوط داخل الجهاز الذي يحتوي على المواد الخام. ناتج هذه العملية، هو مادة نسمِّيها كلينكر. يُطحن الكلينكر ويُخلط مع قليل من الجبص، وهكذا يُنْتَج الإسمنت.

العملية التي وصفناها تُنْتِج ملوثات إلى الهواء خلال المراحل المختلفة. فأثناء الحفر، النقل وطحن حجر الجير يَنْتُج غبار. وخلال عملية الاحتراق، تَنْتُج جسيمات تنبعث إلى الهواء، ويَنْتُج ثاني أكسيد الكبريت بكمية قليلة، وهو يَنْتُج نتيجةً لاحتراق الوقود (يتفاعل معظم الكبريت الموجود في الإسمنت مع المادة الخام وتتحول إلى جزء من الكلينكر). إضافة إلى ذلك، وكما هو الأمر في كل عملية احتراق، يَنْتُج ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وماء (H_2O)

معامل تكرير في حيفا. عمليات الإنتاج في المصنع، تُنْتِج غازات تنبعث إلى الهواء

مواجهة مشاكل تلوث هواء مصدرها من الصناعة

التكنولوجيا: إنتاج الكهرباء، هو مصدر معظم تلوث الهواء الناجم من الصناعة. على الرغم من أن إنتاج الكهرباء ازداد في السنوات الأخيرة بشكل ملحوظ (في سنة 1995، أُنْتِجَتْ الكهرباء أكثر بضعفين ونصف من الإنتاج في سنة 1980)، إلا أن كمية الـ SO_2 والجسيمات المنبعثة إلى البيئة المحيطة، لم ترتفع تقريبًا، لكن كمية الـ NO_X ارتفعت بشكل كبير جدًا. هذا الوضع، يعكس بشكل كبير جدًا إمكانيات التكنولوجيا التي تستعملها الصناعة لمواجهة مشكلة تلوث الهواء. يوجد اليوم حلول تكنولوجية جيدة لتقليل انبعاث SO_2 وجسيمات، لكن لا يوجد – حتى الآن – حل تكنولوجي يستطيع أن يقلل بشكل ملحوظ كمية الـ NO_X.

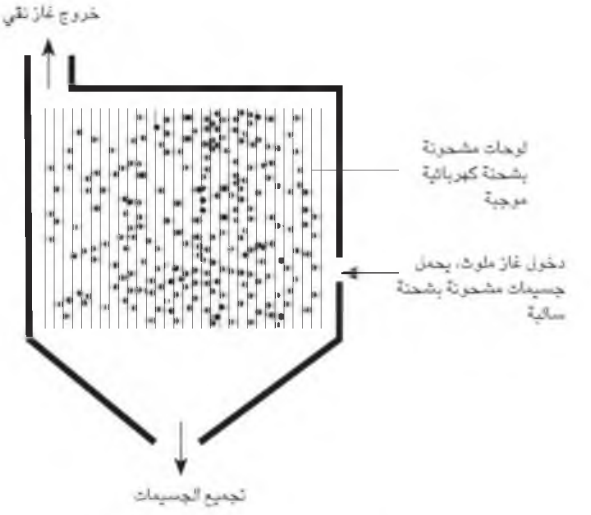
وعادةً، كلما كان الجهاز الصناعي جديدًا، فإنّه يسبب تلوثًا أقل، لأنه في الدول المتطورة، التي تُنْتِج أجهزة صناعية، يوجد اهتمام كبير جدًا أن تفي هذه الأجهزة بمعايير البيئة المحيطة الصارمة.

الوسائل التكنولوجية الأساسية المُستعملة في الصناعة لتقليص تلوث الهواء هي:

استعمال وقود فقير بالكبريت والرماد واستعمال غاز طبيعي: تحقق تقاص في انبعاث ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في البلاد، بشكل كبير جدًا، بفضل استعمال وقود فقير بالكبريت (يحتوي على أقل من 1% كبريت)، ووقود فقير فقير بالكبريت (يحتوي على أقل من 0.5% كبريت). إن سعر هذه الأنواع من الوقود غالٍ جدًا، اذا تُستعمل في ظروف طقس قد تؤدي إلى منع انتشار الدخان المُنطلق من المدخنة. لكي يعرف المسؤلون في شركة الكهرباء التي تستهلك كمية مازوط كبيرة جدًا، متى يجب عليهم أن يستعملوا وقودًا فقيرًا بالكبريت؟ فقد أُقيم قسم خاص في محطة الأرصاد الجوية، ومن وظيفة هذا القسم أن يفحص حالة الطقس بشكل متواصل، وبحسب ظروف الطقس، فهو يعطي شركة الكهرباء تعليمات حول استعمال نوع الوقود. في السنوات الأخيرة (2001)، زادت شركة الكهرباء من استعمال الوقود الفقير بالكبريت والرماد، وقد استُعمل أيضًا في حالات لم يكن فيها حاجة إلى استعماله. في توربينة غاز، وأحيانًا في منشآت صناعية، يمكن استعمال غاز طبيعي، لأن احتراقه أفضل، ويُنْتِج ملوثات أقل.

مصافٍ: يمكن أن نمنع انبعاث قسم من الملوثات من خلال استعمال مصافٍ، التي عبرها يمر الهواء قبل دخوله إلى المدخنة.

إنَّ التكنولوجيا الشائعة لمنع انبعاث جسيمات صلبة من المصانع الصناعية ومحطات الكهرباء، هي **مُرَسِّب الكتروستاتي** (الكترو =كهرباء، ستاتي = ساكنة). ففي هذه التكنولوجيا يمر الهواء الملوث بطريقه إلى المدخنة عبر حقل كهربائي يقوم بشحن الجسيمات بشحنة سالبة. أما المصفاة فهي مبنية من ألواح معدنية مشحونة بشحنة موجبة، اذا عندما تدخل الجسيمات الموجودة في الهواء عبر المصفاة، فإنها تنجذب إلى الألواح وتلتصق بها، أما الغازات تستمر بطريقها إلى المدخنة. وكل عدة دقائق، يتم تفعيل آلة تقوم بهز لوحات المعادن، مما يؤدي إلى سقوط الجسيمات إلى وعاء تجميع موجود في أسفل المصفاة.

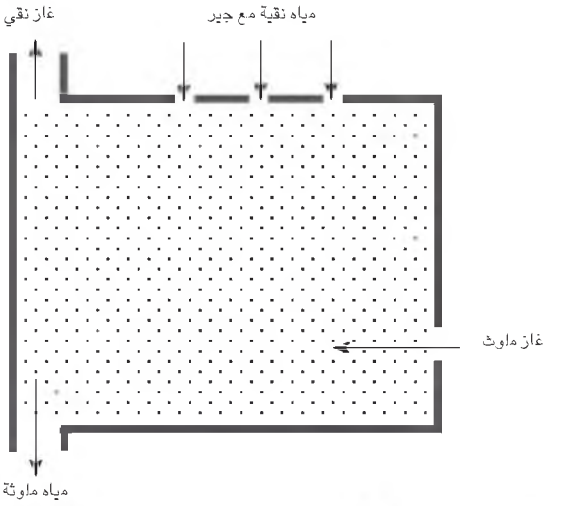


الرسمة 5.33: مصفاة الكتروستاتية

مصافٍ أخرى لمعالجة الجسيمات، هي الدوران وبيوت من أكياس. هذه التكنولوجيا أرخص من المرسب الإلكتروستاتي، وهي مناسبة لوحدات إنتاج صغيرة. الجهاز الدوراني، هو جهاز يتدفق عبره الهواء الملوث بشكل دوراني، وقوة الطرد عن المركز التي تعمل بشدة كبيرة جدًا على الجسيمات الصلبة، تؤدي إلى انحراف الجسيمات إلى جدران الجهاز، أما الهواء فيستمر إلى أعلى وينطلق عبر المدخنة. أما في تكنولوجيا بيوت من أكياس، فإنّ الهواء يمر عبر أكياس خاصة تُصفي الهواء. وتبقى الجسيمات على سطح الأكياس، أما الهواء يستمر إلى المدخنة. ومن حين إلى آخر، يتدفق هواء مضغوط نقي إلى داخل الجهاز (من الطرف الخارجي للكيس)، لكي تسقط الجسيمات التي التصقت بالكيس إلى جهاز تجميع.

أُعدَّ نوع آخر من المصافي لمعالجة الغازات. هناك تكنولوجيا مقبولة للاستعمال وهي مصافٍ لإبطال مفعول غازات سامة من خلال إنتاج تلامس بينها وبين سائل مناسب. نَصف على سبيل المثال، المصفاة لإبعاد ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) من الغازات المنبعثة. تمر الغازات المنبعثة عبر مصفاة، ويُرش عليها نقاط ماء مع جير. يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت مع الكالسيوم، ويَنْتُج كبريتيد كالسيوم صلب ($CaSO_4$). ينطلق كبريتيد الكالسيوم من الجهاز مع الماء، أما الغازات المنبعثة دون ثاني أكسيد الكبريت، فإنها تستمر إلى المدخنة. تستطيع هذه المصافي أن تقلل من انبعاث ثاني أكسيد الكبريت من محطات الكهرباء بنسبة 90% تقريبًا.

حتى عام 2001، لم تستعمل شركة الكهرباء أجهزة من هذا النوع، لأن استعمالها يؤدي إلى ارتفاع تكلفة إنتاج الكهرباء بنسبة 10% تقريبًا.



الرسمة 5.34: *مصفاة لإبعاد ثاني أكسيد الكبريت من الغازات المنبعثة*

مداخن عالية: تقوم المدخنة العالية بتوزيع ملوثات الهواء بشكل جيد، وهكذا تمنع من تجاوز معايير البيئة المحيطة. (تحدثنا في الصفحات 143–150 عن طريقة عمل المداخن).

إشراف و تنفيذ معايير: يتم تفعيل الوسائل التكنولوجية لتقليل التلوث بفضل المعايير وتطبيقها. القانون الأساسي الذي من خلاله تمّ تحديد معايير جودة الهواء، هو **قانون منع المضرات** (1961)، والوزارة المسؤولة عن تنفيذه، هي وزارة جودة البيئة المحيطة.

في إطار هذا القانون، وردت معايير البيئة المحيطة التي تُعرِّف كميات الملوثات المسموح بها في البيئة المحيطة، ومعايير الانبعاث التي تُعرِّف كمية الملوثات المسموح بها لمصنع معين أن يبعثها، حيث يتم تحديد معايير الانبعاث لكل مصنع بشكل منفرد من خلال أمر شخصي. هذا الأمر، هو مجموعة تعليمات، يقوم بإصدارها وزير جودة البيئة المحيطة لمدراء المصانع. مدراء المصانع الذين يحصلون على أمر شخصي، هم المسؤولون بشكل مباشر على أن لا يتجاوز مصنعهم هذه الأوامر.

طريقة أخرى لتحديد معايير الانبعاث، هي من خلال **قانون ترخيص المحلات التجارية**، حيث تُحدد وزارة جودة البيئة المحيطة في رخصة المحل التجاري معايير الانبعاث التي يجب على المحل التجاري أن يفي بها. وكل انحراف عن هذه المعايير يُعتبر مخالفة القانون.

إضافةً إلى ذلك، يوجد معايير لانبعاث الجسيمات، وهي تُلزم جميع المصانع في إطار **الأوامر لمنع المضَّرات – انبعاث مادة جُسيمية إلى الهواء** (1972).

وحدات البيئة المحيطة في السلطات المحلية، ووزارة جودة البيئة المحيطة، يقومان برصد الانبعاث من المصانع، وعند الحاجة، يقومان بتقديم شكوى قضائية ضد هذه المصانع التي تجتاز المعايير التي حُدِّدَت لها. إضافةً إلى ذلك، يتم رصد الهواء في مناطق تتأثر من تلوث صناعي، لكي نفحص جودة

الهواء مقارنة مع معايير البيئة المحيطة.

إذا وُجِدَ تجاوز للمعايير، يحاولون معرفة المصانع التي تؤدي إلى التلوث، ويطلبون من أصحابها أن يمتنعوا عن ذلك.

وسيلة إضافية لمواجهة تلوث الهواء في الصناعة، هي تجارة حقوق التلوث. حقوق التلوث، هي عبارة عن ترخيص يمنح المصانع إطلاق ملوثات إلى البيئة المحيطة بحسب معايير الانبعاث. المصنع الذي يُطلق ملوثات أقل من الكمية المسموحة، يستطيع أن يبيع حقوقه إلى مصنع آخر يرغب في أن يتجاوز معايير الانبعاث التي حُدِّدَت له. وبهذه الطريقة، نحافظ على مستوى ثابت للتلوث وفقًا الترخيص الذي أُعطي لمنطقة معينة. وهكذا نُشجع المصانع على أن تُقلص من التلوث، لكي لا تكون بحاجة إلى الحصول على تراخيص تلوث، كما أننا نُشجع أصحاب المصانع أيضًا على أن يكونوا أصحاب رُخص البيع.

أسئلة

1. بأية طرق يُنتَج تلوث الهواء في الصناعة؟
2. قارنوا بين إمكانية تقليل تلوث الهواء الناجم عن الصناعة، وبين إمكانية تقليل تلوث الهواء الناجم عن المواصلات. ما هي المهمة المعقدة برأيكم؟
3. تكنولوجيا "التنظيف" لتقليل التلوث، هي تكنولوجيا من خلالها نُقلل انبعاث الملوثات التي نَتجت وانطلقت إلى البيئة المحيطة. التكنولوجيا "النظيفة"، هي تكنولوجيا تمنع إنتاج التلوث بشكل مسبق. في هذا الفصل، وُصفت أنواع تكنولوجيا لتقليل تلوث الهواء الناجم من الصناعة. اذكروا أيها تكنولوجيا "تنظيف" وأيها تكنولوجيا "نظيفة"؟
4. لماذا من السهل تقليل كمية الـ SO_2 الناتجة أثناء إنتاج الكهرباء، ومن الصعب تقليل كمية الـ NO_X ؟
5. عبِّروا عن رأيكم حول الدقيقة أنه لا يتم تركيب مصافٍ في محطات الكهرباء في إسرائيل لتقليل كمية الـ SO_2 من الغازات المنبعثة من محطة الكهرباء، لأن شركة الكهرباء تفي بمعايير الانبعاث دون هذه المصافي، وتركيبها يؤدي إلى ارتفاع سعر الكهرباء بنسبة 10% (هذه المعلومات صحيحة لسنة 2001).
6. ما هي الإجراءات التي يجب أن تُنفِّذها وحدة البيئة المحيطة عندما:
   أ. تجد اجتيازًا في معايير الانبعاث الناجمة من المصانع التي تُشرف عليها؟
   ب. تجد اجتيازًا في معايير البيئة المحيطة؟

7. توجهوا إلى أحد المصانع في منطقة سكنكم، ثم اطلبوا من صاحب المصنع تفاصيل حول عملية الإنتاج في المصنع.
أ. كيف تؤثر عملية الإنتاج في المصنع على جودة الهواء؟
ب. كيف يواجه المصنع تلوث الهواء الذي يُنْتِجُهُ؟

تلوث الهواء في المباني

جودة الهواء داخل المباني، قد تكون – في ظروف معينة – أقل جودةً من جودة الهواء في الخارج. يحدث ذلك في الدول المتطورة، لأن بنايات كثيرة تُبنى اليوم بطريقة مغلقة ومنعزلة عن الهواء الخارجي، وتعتمد التهوية على أجهزة مكيفات مركزية.

نقضي حوالي 90% من وقتنا داخل هذه البنايات، وهناك نتعرض لأنواع مواد كثيرة موجودة في البنايات، وفي المواد التي بُنيت منها البنايات.

هذه المواد التي كثير منها ضار، تصل إلى الهواء بطرق مختلفة (انظروا فيما بعد). في حالات كثيرة، ينبع الخطر من دمج عدة مواد ضارة. نلاحظ في دول نامية كثيرة أن مشكلة التلوث في المباني أكثر من تلوث المباني في الدول المتطورة. وهذا ينبع من الدقيقة أن مئات ملايين بني البشر ما زالوا يستعملون الأخشاب وبعر الحيوانات كمصدر طاقة للطهي والتدفئة. إنَّ حرق الأخشاب في أفران موجودة داخل مباني السكن، يُنْتِج دُخانًا، حيث ينتشر قسم منه داخل البيت، ويؤدي إلى أمراض مختلفة في مسالك التنفس.

ملوثات ومصادر ملوثات في مبانٍ

تصل ملوثات الهواء إلى المباني من عدة مصادر. سنذكر من بينها المصادر الأساسية:

- عند استعمال مُنْتَجات مختلفة، مثل: مواد تنظيف، دِهان، أصماغ ومواد لمكافحة آفات زراعية، تنطلق مواد مختلفة إلى الهواء.
- استعمال غاز الطهي، واستعمال الغاز والسوار التدفئة، يؤديان إلى انبعاث أول أكسيد الكربون CO، الذي يتراكم في المبنى في حالة وجود تهوية غير سليمة.

إنَّ تسرب الغاز من أنابيب الغاز، يؤدي إلى انبعاث غاز الطهي إلى الهواء. هذا الغاز خطر على عملية التنفس، وقد يؤدي إلى نشوب حريق وانفجارات.

- تآكل المواد المختلفة التي تُبنى منها البيوت والأثاث، وهي تؤدي إلى انبعاث جسيمات. والخطرة منها، هي جسيمات الأسبست (مادة تؤدي إلى السرطان) التي بُنيت منها – في الماضي – الديطان، الأنابيب والسقوف. في هذه الأيام، ممنوع استعمال هذه المادة.
- يتسرب غاز الرادون من أنواع صخور معينة إلى المباني (خصوصًا المباني الأرضية). يمر هذا الغاز بعملية تحليل راديواكتيفي (نشاط إشعاعي)، ومن خلاله تنطلق أشعة راديواكتيفية خطيرة.

- يؤدي التدخين داخل المباني إلى أضرار كبيرة للمدخنين وللأشخاص الذين يُحيطونهم. التدخين في مكان مُغلق، يؤدي إلى ارتفاع حاد في تركيز الملوثات، ويؤدي إلى انخفاض كبير في جودة الهواء. أثبتت أبحاث كثيرة أن هناك علاقة بين التدخين وبين أمراض في الرئتين والسرطان.

مجمّع تجاري – مبنى مغلق، يجب تخطيطه بطريقة لا تمس جودة الهواء فيه

مواجهة التلوث في مبانٍ

إنَّ تهوية المباني تمنع من تراكم الملوثات. التهوية تكون سهلة في الأماكن التي يمكن أن نفتح فيها الشبابيك. أما في أماكن أخرى، مثل: بنايات مكاتب ومجمعات، والتي يوجد فيها جهاز مكيف مركزي، فيجب أن نحافظ على صيانة هذا الجهاز بشكل جيد. كما يجب الانتباه إلى استعمال مواد غير ضارة أثناء بناء المباني، وإنتاج المُنْتَجات. هذه العملية صعبة بشكل خاص، لأن هناك تنوعًا كبيرًا جدًا المواد التي نستعملها اليوم في الصناعة، وتأثير الكثير منها غير معروف. البناء الصحيح، يمنع تسرب وانتشار غاز الرادون من التربة.

غاز الرادون – ملوث طبيعي في المباني

غاز الرادون، هو غاز خامل راديواكتيفي، لا طعم له، ولا لون ولا رائحة. وهو يَنْتُج بشكل طبيعي من انحلال اليورانيوم الموجود – في جميع الصخور والأتربة في العالَم – بتركيز منخفض يتغيَّر من صخر إلى آخر.

عندما يلامس الرادون الهواء، فإنّه يمر بعمليات انحلال إضافية، التي من خلالها تَنْتُج جسيمات راديواكتفية من نوع ألفا. إذا أصاب هذا النوع من الجسيمات أنسجة الجسم، فإنّه يؤدي إلى تغيّرات في الخلايا، ويُحوِّلها إلى خلايا سرطانية.

كانا متعرضون كل الوقت إلى مستوى منخفض جدًا من الأشعة الراديواكتفية المنبعثة إلى البيئة المحيطة بسبب وجود الرادون في الهواء. تزداد الخطورة على الصحة إذا ارتفع تركيز الرادون في الهواء. وقد يحدث ذلك في طوابق أرضية، وفي ملاجئ مبانٍ لا يوجد فيها تهوية كافية، ولم تُبنى بالشكل الصحيح الذي يمنع من دخول الرادون من التربة إلى البناية. يرتفع تركيز الرادون أيضًا في غرف الحماية التي تُبنى – في السنوات الأخيرة – داخل البيوت الجديدة.

السبب في ذلك، هو أن هذه الغرف مبنية من حوائط باطون سميكة، وقد تحوي هذه الحوائط على كمية كبيرة نسبيًا من اليورانيوم الذي يُنْتِج الرادون (الحوائط العادية، هي أيضًا تُطلق الرادون، لكن بكميات صغيرة جدًا).

يجب أن نقوم بعدة عمليات، لكي نمنع التعرض إلى تراكيز خطيرة من الرادون. يجب أن نفحص وجود رادون في الطوابق الأرضية، وفي الملاجئ. إذا وجدنا تركيزًا عاليًا، فيجب أن نُغلق الفتحات التي من خلالها يخرج الرادون من التربة. كما يجب أن تكون هناك تهوية جيدة للبناية. في غرف الحماية التي تُبنى داخل البيوت، يجب الاهتمام بتهوية جيدة، ويمكن أيضًا طلاء الغرفة بطلاء خاص يمنع من انبعاث الرادون.

تركيز الرادون 222 Bq/m^3	نوع العملية ومدى أهمية تنفيذها
400-100	توصي باستعمال وسائل بسيطة لتقليل التركيز
1000-400	يجب أن نقوم – خلال سنة – بنشاطات لتحسين الوضع، حتى ولو كان الأمر متعلقًا بعمليات معقدة وبتكاليف مادية كبيرة.
أكثر من 1000	يجب أن نقوم بشكل سريع بإجراء وسائل مختلفة لتحسين الوضع (خلال أسابيع أو عدة أسابيع)، حتى ولو كان الأمر متعلقًا بعمليات معقدة وبتكاليف مادية كبيرة.

جدول 5.3: *المعالجة المطلوبة للمباني التي يوجد فيها تراكيز رادون مختلفة*

أسئلة

1. لماذا تحتوي حوائط جميع البيوت على القليل من اليورانيوم؟
2. لماذا يُعتبر سرطان الرئتين الخطورة الأساسية عند التعرض الرادون؟

الروائح كمكرهة

إنَّ الروائح الكريهة، تُقلق مواطنين كثيرين، وهي السبب لمعظم الشكاوى التي تُقدم لوزارة جودة البيئة المحيطة. في حالات كثيرة، يكون الحديث عن روائح مصدرها من محلات تجارية تعمل في مجال الغذاء، مثلاً: المطاعم. الروائح التي تصل المواطنين من المطاعم غير ضارة من الناحية الصحية، لكن هذه المكرهة تشوش على الناس الذين يسكنون بالقرب من هذا المكان التجاري. يُشير القانون لمنع المضرَّا (1961) إلى ما يلي: "يجب أن لا نتسبب بروائح غير معقولة"، لكن لا توجد معايير إلزامية تُعرِّف، ما هي الروائح غير المعقولة؟ هذا المجال شائك، لأن تعريف الرائحة غير موضوعي ويختلف من شخص إلى آخر.

يمكن بناء معيار لقياس تركيز مادة معينة في الهواء، لكن من الصعب جدًا قياس شدة الرائحة المكونة من مزيج عدة روائح. الطريقة المقبولة اليوم، هي تفعيل طاقم مختصين بالرائحة، وهم يقومون معًا بتحديد شدة الرائحة.

سؤال

لماذا من الصعب تحديد معايير الرائحة؟

أسئلة

1. ما هي أنواع الملوثات التي مصدرها داخل البنايات، والتي يتعرض لها مواطنون في الدول النامية أكثر من المواطنين في الدول المتطورة؟
2. ما هي الصعوبات في تقييم جودة الهواء داخل المباني؟
3. أ. ما هي مصادر الملوثات التي يمكن أن تكون في بناية أُعِدَّت كمكاتب لموظفين؟
   ب. لو طلب منكم أن تخططوا بناية لمكاتب، ما هي الوسائل التي تنفذونها، لكي تقللوا من التلوث داخل البناية؟
4. أجيبوا عن السؤال السابق في حالة كون البناية بناية سكن.

جودة الهواء في إسرائيل – الوضع القائم وطرق العلاج

في الأقسام السابقة من هذا الفصل، وصفنا مشاكل مختلفة في مجال جودة الهواء في إسرائيل. تُشير الصورة العامة لانبعاث الملوثات خلال السنوات المختلفة (الرسمة في الصفحة القادمة) إلى توجهات مختلفة بالنسبة للملوثات المختلفة. إنَّ زيادة تعداد السكان والنشاط الاقتصادي، يؤديان إلى ارتفاع كمية الملوثات التي تَنْتُج، وإلى انخفاض جودة الهواء بشكل سيء جدًا. اذا من المهم إجراء خطوات مختلفة، بحيث تمنع من تفاقم المشكلة، وتُحسِّن جودة الهواء.

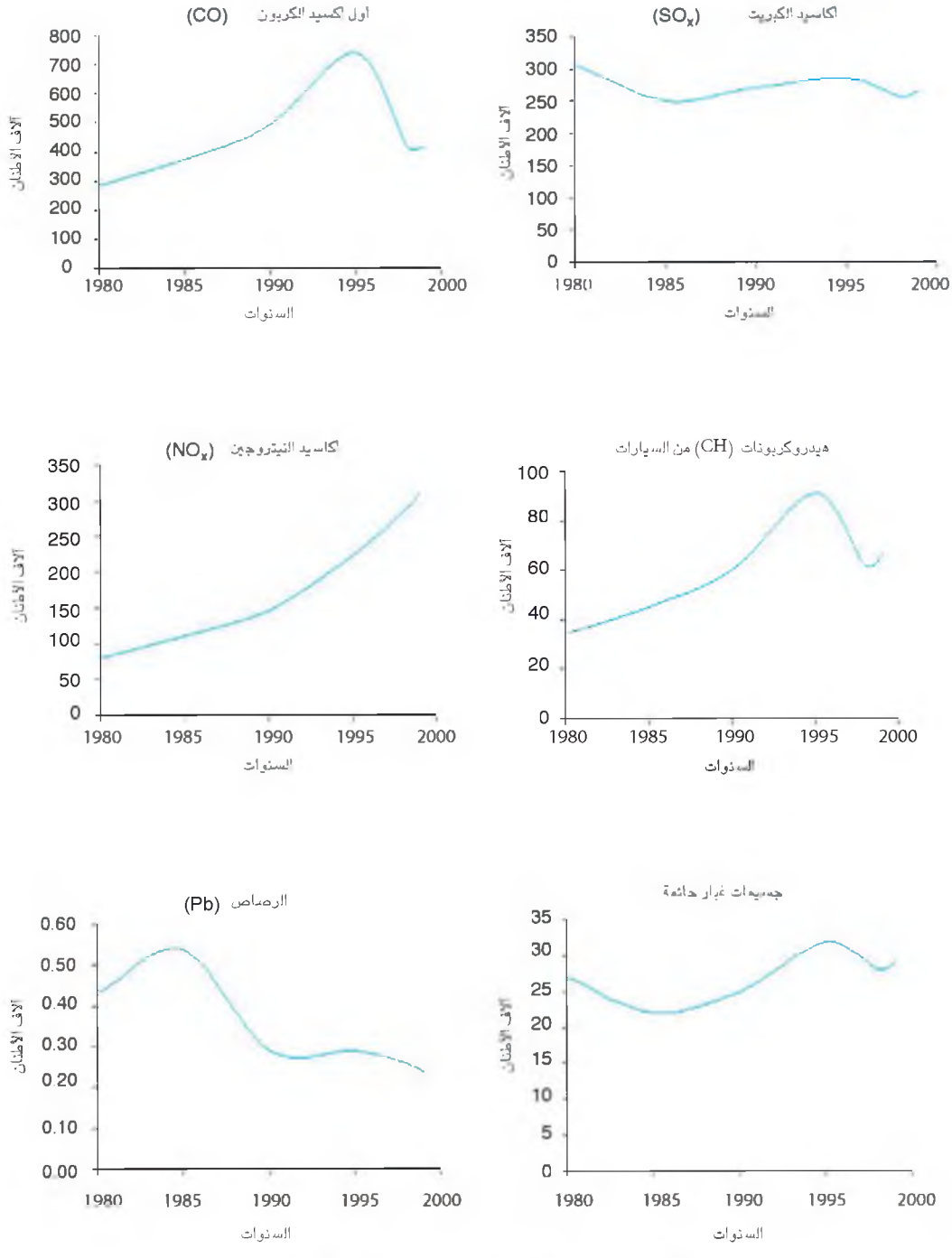
نظام المؤسسات التي تعالج موضوع جودة الهواء

الوسائل الأساسية المُستغلة لمواجهة تلوث الهواء، هي وسائل تكنولوجية، تشريع قوانين وتخطيط فيزيائي.

وزارة جودة البيئة المحيطة وأقسام البيئة المحيطة في السلطات المحلية، هي المؤسسات الأساسية التي تعمل في مجال جودة الهواء. القانون الأساسي الذي في إطاره تمّ تعريف معايير جودة الهواء، وطرق الإشراف عليها، وتطبيقها، هو **قانون منع المضرّات**.

معايير الانبعاث من المصانع معرَّفة أيضًا بناءً على **قانون ترخيص المحلات التجارية**، وهذا يعني في رخصة المحل التجاري للمصنع. القوانين الأخرى التي ضمن إطارها يتم الإشراف على السيارات (مثلاً: أوامر المواصلات)، تقع تحت مسؤولية وزارة المواصلات. في الأقسام السابقة من هذا الفصل، قمنا بوصف تطبيق القوانين المختلفة أثناء معالجة تلوث الهواء الذي مصدره من المواصلات (صفحة 177)، وتلوث الهواء الذي مصدره الصناعة (صفحة 187).

العامل المركزي الذي يُحدد في المستقبل جودة الهواء، هو تخطيط البيئة المحيطة. لجان التخطيط والبناء المختلفة، تُلزمنا الأخذ بالحسبان تأثير البناء والتطوير على جودة الهواء. التخطيط الصحيح وبشكل خاص في شبكة المواصلات، يمنع من تفاقم مشكلة جودة الهواء، وقد يؤدي إلى تحسينها.



الرسمة 5.35: *انبعاث ملوثات هواء في إسرائيل*
(بحسب الدائرة المركزية للإحصاء)

رصد ملوثات الهواء وتقديم معلومات للجمهور: يُعتبر رصد ملوثات الهواء عاملاً مهمًا، لأنه يُتيح للسلطات العمل في مواضيع جودة الهواء. اذا فقد أقامت وزارة جودة البيئة المحيطة نظام رصد قطري، وقد وُزِّعت 24 محطة رصد في جميع أنحاء البلاد. وقد قامت شركة الكهرباء ومؤسسة اتحاد المدن لجودة البيئة المحيطة بإضافة شبكات رصد إضافية إلى المحطات.

تُزوِّدنا محطات الرصد بمعلومات – بشكل متواصل – عن جودة الهواء في البلاد. تُستخدم هذه المعلومات لمتابعة عدم تجاوز معايير البيئة المحيطة، وكقاعدة معطيات للتخطيط في المستقبل وللبحث.

الملوث	التركيز الأقصى المسموح بالملغم/متر مكعب	مدة زمن القياس
أوزون (O_3)	0.230 0.160	نصف ساعة 8 ساعات
ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)	0.500 0.280 0.060	نصف ساعة 24 ساعة ساعة واحدة
أول أكسيد الكربون (CO)	60.0 11.0	نصف ساعة 8 ساعات
أكاسيد النيتروجين (NO_X)	0.940 0.560	نصف ساعة 24 ساعة
مادة جُسَيْمية تحوم	0.300 0.200 0.075	3 ساعات 24 ساعة ساعة واحدة
مادة جُسَيْمية صغيرة جدًا، حيث يصل قطر جُسَيْماتها إلى أقل من 10 ميكرومتر	0.150 0.060	24 ساعة ساعة واحدة
كادميوم (Cd) (في مادة حائمة)	0.000020 0.000006 0.000001	24 ساعة 30 يومًا سنة واحدة

جدول 5.4: *بعض معايير البيئة المحيطة لجودة الهواء في إسرائيل. عندما يكون معدل التركيز المُقاس – خلال الفترة الزمنية المُشار إليها في الجدول – أكبر من التركيز الأقصى المسموح، فإن ذلك يعتبر تجاوزًا عن المعيار.*

(أوامر لمنع المضرات (جودة الهواء)، 1992)

جهاز لرصد ملوثات هواء مصدرها من المواصلات

إنَّ الهدف الإضافي المهم لجهاز الرصد، هو تقديم المعلومات للجمهور حول جودة الهواء في مكان سكنهم. في دول كثيرة، يعرضون عادةً المعلومات من خلال مقياس نوعي لجودة الهواء، وهذا يعني مقياسًا يصف الهواء في منطقة معينة على أنه جيد، أو متوسط، أو سيء. تُنشر المعلومات في الصحف، شبكة الانترنيت وأماكن عامة، مثل: مُجمَّعات تجارية، ومحطات حافلات مركزية. هناك اقتراح أن تُستعمل هذه المعلومات عند التنبؤ بحالة الطقس، لكي تُقدِّم للجمهور تنبؤات حول تلوث الهواء. هذه التنبؤات، تُساعد المرضى والأشخاص الذين توجد لديهم حساسية من عدم الوصول إلى المناطق التي من المتوقع أن يكون فيها تلوث كبير.

مقياس جودة الهواء

يوجد طريقتان لتحديد مقياس جودة الهواء:

في الطريقة المتبعة في الولايات المتحدة، فإنَّهم يفحصون خمسة ملوثات أساسية (جسيمات، ثاني أكسيد الكبريت، أول أكسيد النيتروجين، أوزون وأول أكسيد الكربون)، وهم يعتقدون أن هذه المكونات تُشير بطريقة غير مباشرة إلى سائر الملوثات الأخرى. تعتمد المعلومات المعروضة للجمهور على الملوث الذي تُقاس له قيمه عالية، وهذا يعني أنه يكفي أن يكون هناك ملوث واحد تركيزه عالٍ، لكي نعتبر أن جودة الهواء سيئة.

أما في الطريقة الثانية المتبعة في أوروبا، فإنَّهم يحسبون جميع الملوثات التي يقيسونها، وبحسب معادلة رياضية، فإنَّهم يحسبون قيمة تُعبر عن المستوى العام لتلوث الهواء.

سؤال

1. ما هي – حسب رأيكم – حسنات وسيئات كل طريقة من الطريقتين لتحديد مقياس جودة الهواء؟

أسئلة

1. في الرسمة 5.35، نعرض توجُّها انبعاث الملوثات في إسرائيل خلال السنوات المختلفة.
   أ. صِفوا هذه التوجهات، ثم حاولوا أن تشرحوها بناءً على ما تعلمتموه في هذا الفصل.
   ب. ما هي الاستنتاجات – برأيكم – التي يمكن استخلاصها من الرسومات البيانية بالنسبة لتلوث الهواء في إسرائيل؟
2. كيف تُساعد المعطيات التي نجمعها من محطات الرصد في تخطيط البيئة المحيطة؟
3. أ. اختاروا مشروع بناء في منطقة سكنكم، ثم اذكروا تأثير هذا المشروع على جودة الهواء.
   ب. اقترحوا طرقًا لتقليص التأثيرات الضارة للمشروع على جودة الهواء.
4. لماذا من المهم أن نُقدِّم للجمهور تقريرًا حول جودة الهواء في مكان سكنهم؟ ما هي النشاطات التي يستطيع أن يقوم بها الجمهور بناءً على المعلومات التي حصلوا عليها؟
5. كيف يمكنكم المساهمة في الحفاظ على جودة الهواء؟

تلخيص

تلوث الهواء هو عبارة عن وجود مركّبات في الهواء، حيث تكون هذه المركبات على شكل غاز، أو سائل، أو جسيمات صغيرة صلبة بتركيز يؤثر سلبًا على الكائنا الحية، أو على مواد ومنشآت يستخدمها الإنسان. تُقسم ملوثات الهواء إلى ملوثات أولية تصل إلى الهواء مباشرةً من مصدر التلوث، وإلى ملوثات ثانوية تَنْتُج من عمليات مختلفة تشترك فيها مواد انبعثت من الهواء. يتم تحديد تركيز الملوثات في الهواء من خلال مجموع الانبعاث الذي يحدث في منطقة معينة، ومن خلال سرعة تقليص تركيز الملوثات في الهواء. وتتم عملية التقليص من خلال العمليات الآتية: الشطف بواسطة قطرات المطر، ترسب الملوثات في التربة وتحليل الملوثات وتوزيعها.

تنتشر الملوثات أُفقيًا بواسطة الرياح، وعموديًا بواسطة تيارات الهواء العمودية، ويتأثر مدى الانتشار العمودي بسبب تغيُّر درجة الحرارة كلما ارتفعنا إلى أعلى.

تؤثر ملوثات الهواء على صحة الإنسان بشكل كبير.

تُقسم التأثيرات الصحية إلى تأثيرات مزمنة (طويلة الأمد) وإلى تأثيرات حادة.

على الأطفال، المسنين والمرضى الذين يعانون من تلوث الهواء أكثر من غيرهم، ويؤثر تلوث الهواء بشكل سلبي أيضًا على النباتات، وهو يؤذي المحاصيل الزراعية والأنظمة البيئية.

المواصلات والصناعة، هما المصدران الأساسيان للتلوث. في المواصلات، يوجد فرق بين أنواع الملوثات المنبعثة من سيارة تعمل بواسطة البنزين ومن سيارة تعمل بواسطة الديزل. تشمل طرق مواجهة مشكلة تلوث الهواء – الناجم عن السيارات – عدة وسائل، مثل: استعمال محوّل حفّاز، صيانة السيارات بالشكل الصحيح، تحسين جودة الوقود، استعمال محركات غاز وكهرباء، تبديل سيارة قديمة بسيارة جديدة وتخطيط المواصلات.

تُنْتَج ملوثات الهواء في الصناعة أثناء إنتاج الكهرباء، ومن خلال عمليات صناعية أخرى، مثل: إنتاج الإسمنت ومُنْتَجات بتروكيميائية. تتم عملية مواجهة تلوث الهواء الأساسية في الصناعة من خلال استعمال وسائل تكنولوجية تقوم بتقليل التلوث.

مشكلة تلوث الهواء موجودة في المباني أيضًا.

في إسرائيل، تعمل وزارة جودة البيئة المحيطة وأقسام البيئة المحيطة في السلطات المحلية على تطبيق القوانين التي أُعِدَّت لتقليل تلوث الهواء، وفي هذا الإطار أُقيم نظام قطري لرصد تلوث الهواء.

الفصل السادس

تأثير الإنسان على المناخ والغلاف الجوي العالمي

خلال سنة 1998، حدثت عدة أحداث شاذة في حالة الطقس، في العالَم، ففي سواحل غرب الولايات المتحدة، حدثت أعاصير قوية جدًا، وقد أدت إلى فيضانات وإلى انهيارات طين، وفي شرق إفريقيا، هطلت في شتاء 1998 أمطار كثيرة، وقد كانت أكثر بخمسة أضعاف من الكمية العادية، وفي إندونيسيا التي تهطل فيها عادةً كميات أمطار كثيرة، فقد حدث قحط صعب جدًا، مما أدى إلى احتراق آلاف الكيلومترات المربعة من غابات المطر. أما في الهند، أستراليا، والأرجنتين فقد جنوا محاصيل زراعية كثيرة بسبب حالة الطقس الجيدة التي سادت هناك بشكل خاص، وفي خليج المكسيك استمتع المواطنون بموسم فيه أعاصير هادئة. هذه الأحداث أشغلت فكر باحثي مناخ العالَم في السؤال الآتي: ما الذي أدى إلى هذه الأحداث الشاذة؟ يعتقد قسم كبير من العلماء أن هذه الأحداث حدثت بسبب التغيّرا في الغلاف الجوي، في أعقاب نشاط الإنسان. وهذا هو موضوعنا المركزي في هذا الفصل.

تأثير الإنسان على الاحتباس الحراري (تأثير الدفيئة)

ما هو تأثير الدفيئة (الاحتباس الحراري)؟

كلنا نعرف، عندما ندخل دفيئة نباتات، أو سيارة تقف تحت أشعة الشمس، فإننا نشعر أن درجة الحرارة في الداخل أعلى بكثير من الخارج. هذه الظاهرة تشبه ظاهرة دفيئة الغلاف الجوي[1].

يوجد غلاف جوي حول الكرة الأرضية، ولو لم يكن غلاف جوي، لكانت درجة حرارة الكرة الأرضية أقل بكثير مما هو عليه اليوم. لكي نفهم، كيف تحدث هذه الظاهرة؟ من المهم أن نتعرف قليلاً على الأشعة.

معلومات قليلة عن الإشعاع

الإشعاع هو نقل طاقة من خلال اهتزازات حقول إلكترومغناطيسية. والأشعة الإلكترومغناطيسية معروفة لنا، لأننا نشعر بأنواعها المختلفة في حياتنا اليومية.

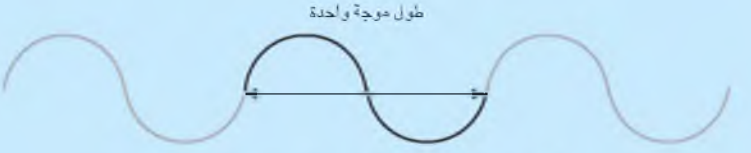
النوع المعروف بكثرة، هو الأشعة في مجال الضوء المرئي. تَنْتُج أشعة الضوء من جميع الأجسام التي يوجد لها درجة حرارة عالية، مثل: الشمس ومصابيح الكهرباء. ومعظم الأجسام من حولنا، يوجد لها درجة حرارة منخفضة نسبيًا، إذا الأشعة المنبعثة منها هي أشعة في مجال الأشعة تحت الحمراء. وبمساعدة أجهزة مناسبة يمكن استيعاب هذه الأشعة والتمييز بين الأجسام خلال الليل. نحن نعرف أيضًا أنواع أشعة أخرى، مثل: الأشعة فوق البنفسجية التي تؤدي إلى تصفع الجسم، أشعة رنتجن المُستعملة في التصوير الطبي وأشعة الراديو المُستعملة لنقل بث الراديو والتلفزيون.

الأشعة هي طاقة تتقدم بشكل موجي. إنَّ سرعة تقدم الموجة الإلكترومغناطيسية في الفراغ، هي السرعة الكبرى الموجودة في الطبيعة، وتصل سرعتها إلى 300،000 كلم في الثانية. هذه السرعة معروفة على أنها سرعة الضوء. في هذه السرعة، يستطيع الضوء أو كل موجة إلكترومغناطيسية أُخرى أن تدور سبع مرات ونِصف حول الكرة الأرضية خلال ثانية واحدة، أو أن تصل من الكرة الأرضية إلى القمر. تستطيع الأشعة – أيضًا – أن تمر عبر فراغ يخلو من المادة، وهكذا تنتقل أشعة الشمس في الفراغ.

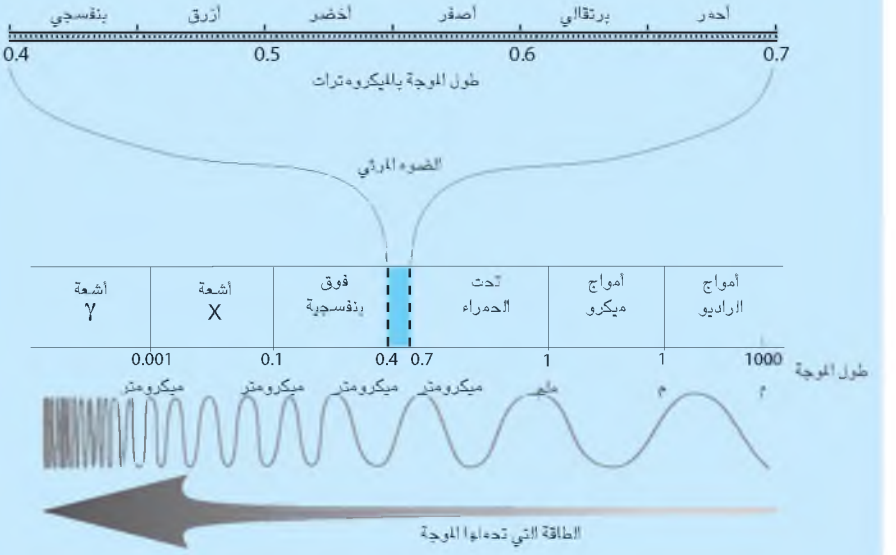
البُعد بين قمتين متتاليتين مُعرَّف على أنه طول الموجة. الفرق بين نوع معين من الأشعة وبين نوع آخر، ينبع من الفرق في طول الموجة. مثلاً: يبلغ طول موجة أشعة الراديو عشرات ومئات الأمتار، أما أشعة ميكرو يبلغ طول موجتها بضع سنتمترات، والأشعة تحت الحمراء يبلغ طول موجتها بضع ميكرومترات (الميكرومتر الواحد يساوي واحد على ألف من المليمتر)

[1] العامل الذي يؤدي إلى تسخين الغلاف الجوي يختلف عن العامل الذي يؤدي إلى تسخين الدفيئة، لكن النتيجة متماثلة. انظروا إلى الشرح فيما بعد.

يقع طول موجة الضوء المرئي بين 0.4 إلى 0.7 ميكرومتر. إنَّ تسلسل جميع الإشعاعات الإلكترومغناطيسية المختلفة نسمّيه الطيف الإلكترومغناطيسي.



الرسمة 6.1: وصف تخطيطي الموجة



الرسمة 6.2: الطيف الإلكترومغناطيسي

كلما كان طول الموجة أصغر، فإنَّها تحمل طاقة أكثر، مثلاً: أشعة رنتجن (أشعة X) تحمل طاقة أكثر من أشعة في مجال الضوء المرئي. لهذا السبب يخرج مصور أشعة رنتجن من الغرفة أثناء التصوير، وهكذا لا يتعرض إلى أشعة قوية.

يُطاق كل جسم أشعة بحسب درجة حرارته. كلما كانت درجة حرارة الجسم عالية، فإنه يُطاق أشعة ذات طول موجة أقصر. الشمس التي درجة حرارة سطحها 6000°C تُضيء بضوء معظمه أصفر، وهذا يعني بطول موجة يصل طولها إلى 0.58 ميكرمتر تقريبًا. جسمنا الذي درجة حرارته 37°C،

يُطلق أشعة في مجال الأشعة تحت الحمراء، التي طول موجتها 10 ميكرومترات تقريبًا.

انتقال الأشعة: عندما تنتقل الأشعة من مكان إلى آخر، فقد تحدث إحدى العمليات الآتية:

- الانتقال دون تشويش– تمر الأشعة دون تشويش، مثلاً: الضوء الذي ينتقل عبر شباك زجاج.
- ابتلاع – تقوم جزيئات المادة بابتلاع الأشعة التي اصطدمت بها، وتزداد وتيرة حركة هذه الجزيئات. مما يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة المادة. هكذا يحدث –على سبيل المثال – عندما تصطدم أشعة الشمس بشارع وتؤدي إلى تسخينه.
- انعكاس – تنعكس الأشعة التي تصطدم بجزيئات مادة. في هذه الحالة تستمر الأشعة بطريقها، لكن اتجاه حركتها يتغيّر، وهذا يشبه الكرة التي تصطدم بالحائط وتنعكس عنه. مثال لهذه العملية، هو انعكاس الضوء عن سطح ثلج أو عن قمم غيوم.

أسئلة

1. اشرحوا من خلال استعمال أمثلة، ماذا يحدث عندما تبتلع مادة ما أشعة؟
2. أ. عندما نضع مسمارًا داخل لهب، فهو يُطلق أشعة حمراء. لماذا؟
   ب. هل يُطلق المسمار أشعة قبل تسخينه؟
3. لماذا نشعر بالحرارة عندما نقف تحت أشعة الشمس؟

هيا بنا نتابع ما يحدث للأشعة التي تصلنا من الشمس. تحتوي هذه الأشعة على أطوال أمواج متنوعة، وتقع معظمها في مجال الضوء المرئي، وفي مجال الأشعة تحت الحمراء.

ينعكس 30% من أشعة الشمس – إلى الفضاء – عن الغلاف الجوي، وعن سطح الكرة الأرضية دون أن تؤدي إلى تسخين. وكلما كان السطح أملسًا وفاتحًا، فإن عملية انعكاس الضوء المصطدم به يكون كبيرًا. لذا الغيوم، والمناطق المغطاة بالثلج والمناطق الصحراوية الفاتحة، تقوم بعملية انعكاس الضوء بشكل كبير جدًا.

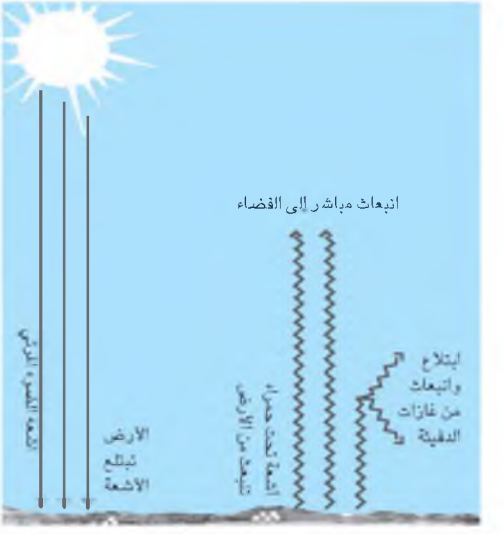
يُبتلع حوالي 19% من أشعة الشمس التي تدخل حيز الغيوم والهواء، وهي تؤدي إلى تسخين الغلاف الجوي بشكل مباشر. وتخترق حوالي 51% من أشعة الشمس (معظم الأشعة!) طبقة الغلاف الجوي، دون أن تؤدي إلى تسخينه. تصطدم هذه الأشعة بالأرض والبحر، وهي تُبتلع من خلالها وتؤدي إلى تسخينها. الطاقة التي يبتلعها البحر والأرض تنعكس وتنبعث إلى الهواء، وهي المصدر الأساسي لتسخين الهواء الذي يبدأ من سطح الكرة الأرضية إلى أعلى.

يتم تسخين الهواء من خلال عدة عمليات منها الإشعاع. يقوم سطح الكرة الأرضية بإطلاق أشعة تحت حمراء ذات طول موجة طويل، وذلك وفقًا لدرجة حرارتها. الغلاف الجوي ليس شفافًا لقسم من هذه الأشعة، لأن جزيئات ثاني أكسيد الكربون، بخار الماء وغازات أخرى في الهواء، تقوم بابتلاع الأشعة تحت الحمراء. وفي أعقاب ذلك ترتفع درجة حرارة الغازات التي ابتلعت الأشعة، وهي تُسخن الهواء من حولها، وتُطلق أشعة تحت حمراء.

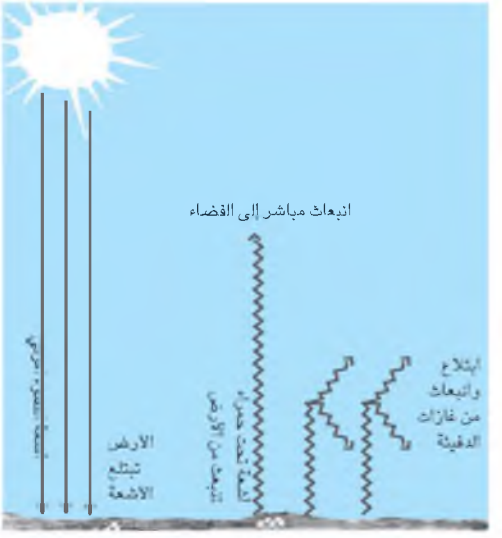
يخرج قسم من هذه الأشعة إلى الفضاء، ويعود قسم آخر منها إلى الكرة الأرضية ويسخن الأرض مرةً أخرى.

الظاهرة التي تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة في الغلاف الجوي نسمِّيها **تأثير الدفيئة** أو **الاحتباس الحراري**. ولهذه الظاهرة يوجد أهمية كبيرة. تُشير الحسابات أنه لولا "تأثير الدفيئة" لكان معدل درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية 18°C– وليس 15°C كما هو اليوم. ومعظم أشكال الحياة على الكرة الأرضية، لا تستطيع البقاء في درجة حرارة 18°C–.

مصدر الاسم "تأثير الدفيئة"، هو التشابه بين هذه الظاهرة وبين ما يحدث في الدفيئة التي ننمي فيها نباتات. اعتقدوا في الماضي أن الدفيئة تسخن كما هو الأمر مع الغلاف الجوي، وهذا يعني أن الأشعة تحت الحمراء التي تُنتَج في الدفيئة، لا تستطيع الخروج عبر جدرانها. لكن من المعروف اليوم أن الأشعة تحت الحمراء تستطيع أن تخرج عبر جدرانها، لكن الهواء الساخن الذي يُنتَج فيها، لا يستطيع الخروج، اذا في داخل الدفيئة يكون الهواء أسخن مما هو في الخارج.



الرسمة 6.3: تأثير الدفيئة في حالة عادية



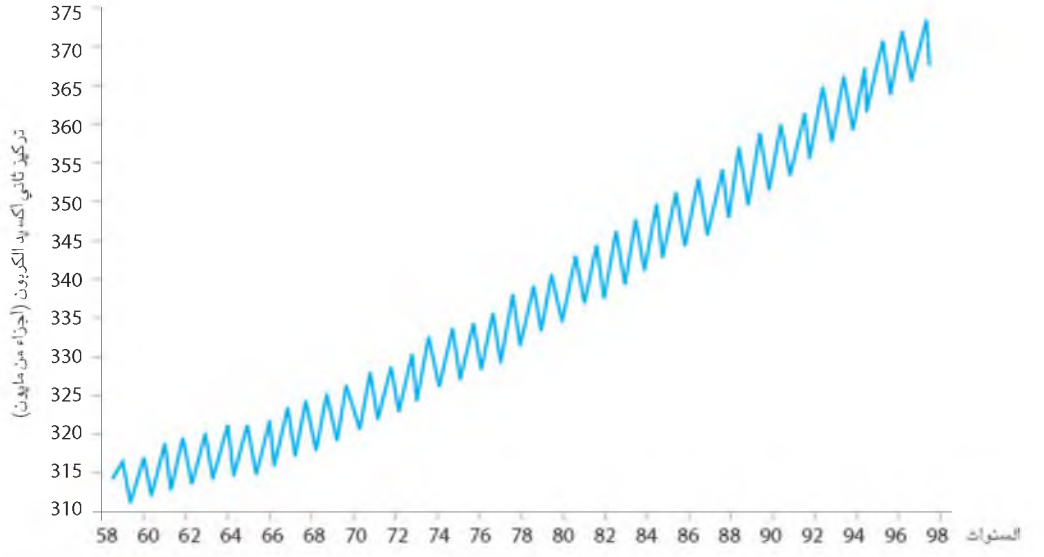
الرسمة 6.4: يزداد تأثير الدفيئة في أعقاب نشاط الإنسان

تأثير الإنسان

منذ الثورة الصناعية، وخصوصًا خلال القرن العشرين، تزداد – بشكل متواصل– كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بسبب حرق الوقود (الفحم والنفط). إنَّ قطع الأشجار من الغابات، في أنحاء العالَم، يساهم أيضًا في ازدياد كمية ثاني أكسيد الكربون في الهواء، لأن النباتات تستوعب كمية قليلة من ثاني أكسيد الكربون أثناء عملية التركيب الضوئي. وازدياد كمية ثاني أكسيد الكربون CO_2، يؤدي إلى ارتفاع تأثير الدفيئة. وذلك لأن قسمًا كبيرًا من الأشعة تحت الحمراء – التي تنبعث من سطح الكرة الأرضية – يتم ابتلاعها في الغلاف الجوي، وكمية قليلة من الأشعة تنبعث إلى الفضاء. هناك غازات أخرى متعلقة بنشاط الإنسان، وهي تؤدي أيضًا إلى ارتفاع تأثير الدفيئة، وهي تسمّى **غازات الدفيئة**، مثل: غاز الميثان (CH_4) المنبعث من حقول الأرز، من الأبقار المجترَّة ومن أكوام النفايا الصلبة، أكاسيد النيتروجين التي تَنْتُج بسبب درجة الحرارة المرتفعة أثناء احتراق الوقود وغازات الـ CFC التي تنبعث من مكيفات الهواء، من الثلاجات ومن عبوات الرش.

(غازات الـ CFC معروفة على أنها العامل الأساسي الذي يؤدي إلى هدم الأوزون في الستراتوسفيرا، لكن هي أيضًا ذوات صفات تشبه غازات الدفيئة).

يعتقد معظم العلماء في العالَم أن ارتفاع كمية غازات الدفيئة، يؤدي إلى تسخين الكرة الأرضية، لذا من المتوقع أن يرتفع – خلال القرن الواحد والعشرين – معدل درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية بـ 1.5°C حتى 4.5°C.



الرسمة 6.5: *ارتفاع كمية ثاني أكسيد الكربون الذي تمَّ قياسه في جُزُر هاواي في المحيط الهادي. انتبهوا: في كل سنة، في فصل الصيف، يطرأ انخفاض على كمية ثاني أكسيد الكربون مع ازدياد وتيرة عملية التركيب الضوئي في النباتات. ومع قدوم الشتاء، تنخفض عملية التركيب الضوئي وترتفع كمية ثاني أكسيد الكربون.*

التجربة الكبرى

في منتصف سنوات الثمانينيات، قال الكيميائي وواس بركير من جامعة كولومبيا أمام لجنة الشيوخ – في الولايات المتحدة – التي تناقشت حول موضوع تأثير الدفيئة، ما يلي:

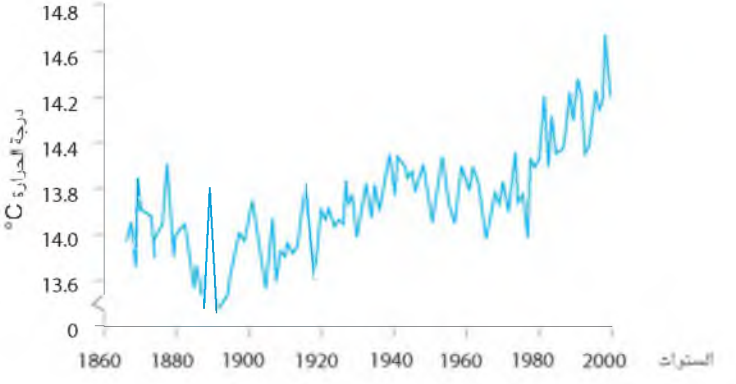
" إنَّ سكان الكرة الأرضية يقومون – اليوم بهدوء ودون أن يشعروا – بتجربة على البيئة المحيطة بمقاييس ضخمة جدًا. وانعكاسات هذه التجربة ذات معنى واسع جدًا، ولو قُدِّمت هذه التجربة لمسؤول معين لاتخاذ قرار بشأنها لرفضها بشكل قاطع بسبب النتائج الخطيرة الممكنة. وعلى الرغم من ذلك، فإن التجربة مستمرة اليوم دون تشويش أي سلطة أو دولة معينة. ففي هذه التجربة، يُطلقون ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى إلى الغلاف الجوي ويفحصون، كيف يؤثر ذلك على "تأثير الدفيئة"؟

التأثيرات المتوقعة في أعقاب ارتفاع تأثير الدفيئة – قد يؤثر ارتفاع درجة الحرارة في مجالات كثيرة. سنذكر فيما يلي التأثيرات المهمة منها:

- يتوقع العلماء أنه في عالَم حار يرتفع مستوى سطح البحر بعشرات السنتمترات (هناك تنبؤات متطرفة تتوقع أن يرتفع مستوى سطح البحر مترًا واحدًا تقريبًا). فيما يلي الأسباب لذلك:
  أ. انصهار الجليد في الأقطاب وازدياد كمية المياه في البحر.
  ب. تتمدد مياه المحيطات، لأنها ستكون أكثر حرارةً وستحتل حيزًا كبيرًا. في المناطق المنخفضة التي تقع بالقرب من البحر، يعيش ملايين بني البشر، ومكان سكنهم مهدد بالخطر، لأنها ستُغْمَرُ بمياه البحر. إنَّ ارتفاع مستوى سطح البحر، سيؤدي إلى ملوحة المياه الجوفية العذبة الموجودة بالقرب من الشاطئ، وذلك بسبب تغلغل مياه البحر إليها.
- خلال القرن الواحد والعشرين، من المتوقع أن يحدث شذوذ متطرف في حالة الطقس، مثل: فيضانات وأعاصير. السبب في ذلك أن الغلاف الجوي والمحيطات التي حرارتها ترتفع تُنْتِج ظروفًا مناسبة لحدوث أعاصير مدمرة. ومن المتوقع أن تشتد أحداث القحط.
- ستتغيّر درجة الحرارة في مناطق مختلفة، وفي أعقاب ذلك، تتغيَّر كميات الرواسب. ففي مناطق قاحلة، قد تزداد كمية الرواسب، وتقل في مناطق أخرى. مما يؤدي ذلك إلى أضرار كبيرة في المناطق التي تزوِّد العالَم بكميا غذاء كبيرة جدًا، مثلاً: في المناطق التي يزرعونها بالحنطة في الولايات المتحدة، وفي مناطق أخرى، قد تتحسن ظروف النمو الزراعي.
- في عالَم أكثر حرارةً، قد تنتشر الأمراض بسهولة، لأن البكتيريا، الحشرات والكائنات الحية الأخرى – التي تؤدي إلى أمراض – تتطور وتتكاثر بشكل سريع في درجات حرارة مرتفعة. ملايين بني البشر الذين يعيشون في دول نامية، يستهلكون مياه شرب ذات جودة منخفضة، ولا تُعالج لإبعاد البكتيريا، اذا تتضرر جودة هذه المياه أكثر إذا استطاعت كائنات حية ضارة أن تتكاثر فيها بسهولة.

هل كل ذلك صحيح؟ وهل يحدث حاليًا؟ ترددات وتساؤلات كثيرة ترافق الأبحاث والنقاش حول موضوع تأثير الدفيئة. الدلائل الموجودة لظاهرة ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي ليست ذات معنى واحد. أحيانًا، عندما تحدث الظواهر التي ذكرناها من قبل، فمن الصعب أن نبرهن أن حدوثها ينبع من ازدياد تأثير الدفيئة وليس من تغيُّرات الطقس الطبيعية. تُشير معظم الأبحاث إلى أنه منذ بداية القرن العشرين وحتى سنوات التسعينيات، ارتفع معدل درجة الحرارة في الكرة الأرضية بـ 0.3°C–0.6°C السنوات العشر الأخيرة في القرن العشرين، كانت الأكثر حرارةً منذ أن قاموا بتسجيل حالات الطقس في العالَم.

في أماكن مختلفة من الأقطاب، يوجد دلائل على انصهار جايد. وهناك من يعتقد أن ارتفاع تأثير الدفيئة، أدى إلى أحداث صعبة في حالة الطقس، في السنوات الأخيرة، مثل: الأعاصير القاتلة بشكل خاص في مركز أميركا، والقحط الطويل في إفريقيا.



الرسمة 6.6: *معدل درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية، سلسلة قياسات على اليابسة*

تعتمد التنبؤات المستقبلية بالأساس على نماذج محوسبة تتنبأ مناخ الكرة الأرضية في حالة كون كمية غازات الدفيئة أكبر من كميتها الموجودة اليوم. يدعي بعض الباحثين أن هذه النماذج لا تأخذ بالحسبان عوامل كثيرة تؤدي إلى تخفيف، أو إيقاف ارتفاع درجة الحرارة على الكرة الأرضية. كما يفترض بعض العلماء أن مركّبات الكربون المنبعثة من التلوث الصناعي ومن جبال البركان تؤدي إلى انعكاس أشعة الشمس إلى الفضاء وتقلل من ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. إدعاء آخر، هو أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى تبخر كبير من مصادر المياه والنباتات، وهكذا تَنْتُج غيوم كثيرة. وتغطية الغيوم الواسعة تؤدي إلى زيادة كمية أشعة الشمس المنعكسة مباشرةً من الكرة الأرضية إلى الفضاء دون أن ترفع درجة الحرارة، وفي أعقاب ذلك لا يحدث ارتفاع كبير في درجة الحرارة.

طرق المواجهة

السؤال، كيف نواجه مشكلة ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي؟ هو سؤال معقد جدًا، ويجب على جميع دول العالَم أن تتعاون لحل هذه المشكلة. منذ سنوات الثمانينيات القرن العشرين، عُقد مؤتمرات دولية، وقد بحث علماء، ومُمثلو حُكم ومنظمات من أجل البيئة المحيطة السؤال أعلاه.

الحل المطلوب، هو تقليص انبعاث غازات الدفيئة، التي ينبعث معظمها من احتراق الوقود (فحم ونفط) لإنتاج الطاقة. وتقليص استهلاك الطاقة يؤدي إلى تقليص احتراق الوقود من مصادر أحفورية. لكن هذه العملية صعبة التطبيق، لأنها تمس بمستوى الحياة.

الإمكانية الأخرى، هي استعمال مصادر طاقة بديلة لا تُطلق ثاني أكسيد الكربون، مثل: الطاقة النووية، طاقة شلالات المياه، طاقة الرياح والطاقة الشمسية.

هناك أخطار مختلفة من استعمال الطاقة النووية، وتختلف الآراء حول استعمالها، اذا هناك شك أن يكون هذا النوع من الطاقة هو الحل المناسب. يمكن استعمال طاقة شلالات المياه في الأماكن التي يوجد

استغلال الرياح لإنتاج الطاقة

فيها أنهار كبيرة، حيث تُبنى هناك محطات كهرباء كهرومائية. التكنولوجيا التي تُنْتِج طاقة من خلال مصادر بديلة، مثل: الشمس، أو الرياح، لا تستطيع أن تُنْتِج كميات كبيرة من الكهرباء المطلوبة. في حالات كثيرة، تكاليف إنتاج الكهرباء بهذه الطرق يكون أعلى من تكاليف الكهرباء التي تَنْتُج بالطرق المقبولة.

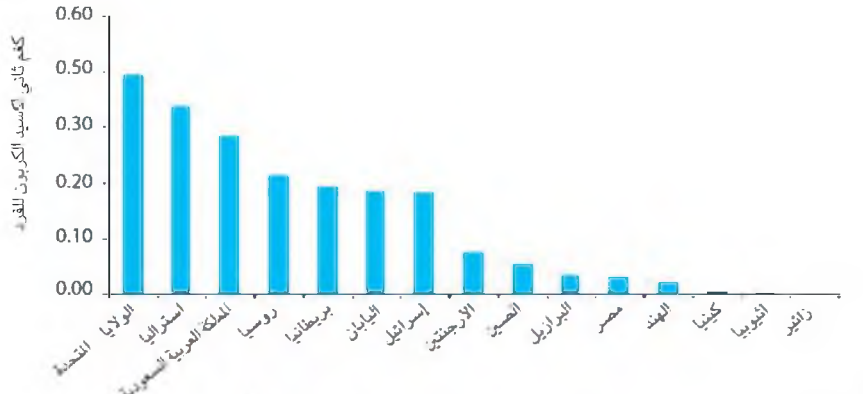
حل آخر، هو غرس أشجار وتقليص قَطْع أشجار الغابات. وهذا أيضًا المشاكل كبيرة جدًا، لأن قسمًا كبيرًا من الغابا – في العالَم – موجود في الدول النامية التي تعتمد على تسويق الأخشاب كمصدر

دَخْل. وهناك مشكلة أخرى في هذه الدول، وهي مواجهة الحاجة إلى تطوير أراضٍ زراعية وبادان جديدة على حِساب أراضٍ فيها غابات.

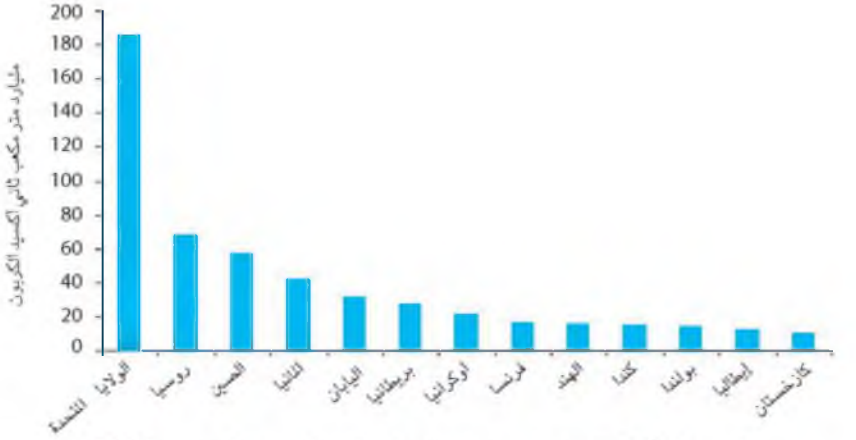
اتجاه آخر لمواجهة المشكلة، هو أن نُحضِّر أنفسنا لعالَم تكون فيه درجة حرارة عالية، وهذا يعني – على سبيل المثال – تطوير نباتات زراعية ذات قدرة على مواجهة درجات حرارة عالية، وتخطيط البناء بالقرب من البحر، يجب أن يأخذ بالحسبان ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع وغير ذلك.

نشاطات دولية – الاتفاق بين دول العالَم بشأن النشاطات التي يجب القيام بها، تواجهه صعوبات في أعقاب مصالح الدول المختلفة، وبسبب عدم التأكد من تفاقم الظاهرة وأسبابها.
يوجد فروق كبيرة جدًا بين الدول النامية والدول المتطورة بشأن انبعاث غازات الدفيئة.
الدول المتطورة التي تعداد سكانها خُمس تعداد سكان العالَم، تُطلق ثاني أكسيد الكربون بنسبة أربعة أخماس من مُجمل الكمية المُنبعثة في العالَم. لهذا السبب، تطالب الدول النامية من الدول المتطورة أن تُقلص من انبعاث غازات الدفيئة. وهناك مصلحة أخرى للدول التي تُنْتِج النفط بكميات كبيرة، فهي غير معنية باتخاذ إجراءات لتقليص استهلاك النفط، لأن هذا التقليص سيؤثر سلبًا على اقتصاد هذه الدول.
المشكلة لا تنجم فقط من الاستهلاك العالي للطاقة في الدول المتطورة، بل تنجم أيضًا وبشكل كبير جدًا من الازدياد السنوي السريع في استهلاك الطاقة في الدول النامية. وذلك في أعقاب الازدياد السريع في تعداد السكان في هذه الدول، وبسبب ارتفاع مستوى الحياة فيها.
وارتفاع استهلاك الطاقة في هذه الدول، هو وسيلة ضرورية، لكي نُحقق غايات النمو الاقتصادي الذي قد يُقلص الفجوات بين الدول المتطورة والدول النامية، اذا، لو نجحت الدول المتطورة في تقليص انبعاث ثاني أكسيد الكربون، فان نتوقع انخفاضًا في مُجمل انبعاث ثاني أكسيد الكربون.

الدول التي يزداد فيها "تأثير الدفيئة"، هي التي تواجه المصالح التي وصفناها، لأن هذا التأثير سيؤدي إلى أضرار جسيمة فيها. ويوجد في هذه الدول مساحات كبيرة جدًا تقع بالقرب من البحر، مثل: بنغلادش، مصر، هولندا ودول الجزر الصغيرة في الكاريبيم وفي المحيط الهادي. والدول التي تعاني في السنوات الأخيرة من قحط، مثلاً: أثيوبيا، فإنَّها تنتمي إلى هذه الدول التي تُطالب في اتخاذ إجراءات واستعمال وسائل سريعة لمنع ارتفاع درجة الحرارة.



الرسمة 6.7: انبعاث ثاني أكسيد الكربون الفرد في الدول النامية، وفي الدول المتطورة، 2001 بحسب (World resources)



الرسمة 6.8: الدول الرائدة في انبعاث ثاني أكسيد الكربون، 1996 بحسب (World resources)

عُقد مؤتمر كيوطو في سنة 1997، وهو يُعتبر معلم طريق للإجراءا التي تقوم بها دول العالم لكي تواجه "تأثير الدفيئة". اشترك في هذا المؤتمر 161 دولة، وقد تمّ الاتفاق على أن تُقاص الدول المتطورة من انبعاث غازات الدفيئة حتى سنة 2010 لمستوى أقل بـ 5% من الكميات التي أطلقتها في سنة 1990. على الرغم من هذا الاتفاق، لم تنجح معظم الدول حتى الآن من تقليص انبعاث غازات الدفيئة. بعض الدول، ومن بينها الولايات المتحدة، تخشى أن يتضرر اقتصادها، اذا لم توافق حتى الآن على هذا الميثاق ولا تلتزم به.

تغيّرات في مناخ إسرائيل

في السنوات الأخيرة، يبحث علماء الغلاف الجوي في إسرائيل السؤال الآتي، هل يحدث تغيّر في مناخ إسرائيل؟ تُشير قسم من الأبحاث أنه يوجد تغيّر في انتظام كميات الأمطار. وقد وُجِدَ في هذه الأبحاث أنه خلال الثلاثون سنة الأخيرة ازداد تكرار السنوات التي قيست فيها قيم متطرفة (سنوات ماطرة بشكل خاص، أو سنوات قحط بشكل خاص). إضافةً إلى ذلك، طرأ انخفاض معين بمعدل كمية الأمطار السنوية، وازدادت تكرارية الأحداث التي قيست فيها درجات حرارة متطرفة. في القدس على سبيل المثال، فقد ازدادت تكرارية الأيام التي قيست فيها درجات حرارة أعلى من 35°C.

على الرغم من هذه الأبحاث، فمن الصعب حتى الآن أن نُشير بالتأكيد إلى حدوث تغيّر في مناخ إسرائيل بسبب ارتفاع تأثير الدفيئة، وقد يكون هذا التغيّر بسبب تغيُّرات عشوائية أو دورية في مناخ المنطقة.

لا توجد حتى الآن إجابة واضحة السؤال، كيف تتأثر إسرائيل في المستقبل من ازدياد تأثير الدفيئة؟ في أعقاب تغيّر انتظام هطول الأمطار، يمكن أن يتحرك خط الصحراء شمالاً وتصبح إسرائيل كلها أكثر جفافًا وحرارة.

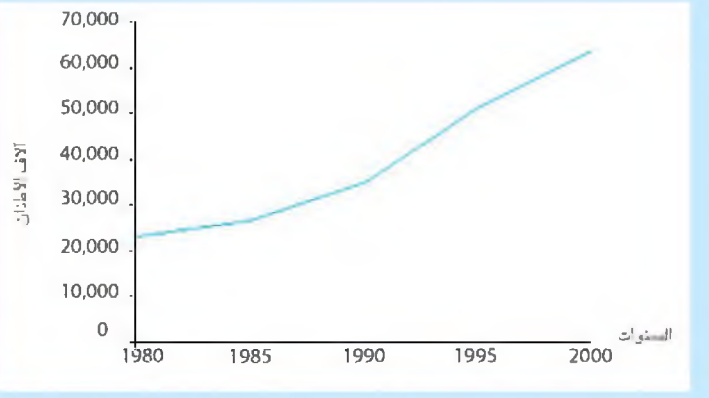
وبحسب تصور آخر، قد يؤدي المناخ الحار إلى ارتفاع الأمطار في المناطق الصحراوية بالذات، وهكذا يتراجع خط الصحراء إلى الجنوب. موضوع آخر، هو التأثير الذي قد يحدث على ارتفاع منسوب سطح البحر مقارنةً مع المياه الجوفية. وإذا ارتفع مستوى سطح البحر، فمن المتوقع أن تدخل مياه البحر إلى مجمعات مياه الشاطئ الجوفية، مما يؤدي ذلك إلى تناقص المياه الجوفية.

لكي نُحضّر أنفسنا أمام الأحداث المتوقعة وغير المتوقعة في إسرائيل، فقد أُقيمت في وزارة جودة البيئة المحيطة، في سنوات الثمانينيات لجنة قطرية مكونة من مختصين في مجالات مختلفة، ومن وظيفتها أن تبلور توصيات حول كيفية مواجهة التغيّرات التي يمكن أن تحدث في مناخ إسرائيل. عقدت هذه اللجنة مؤتمرًا دوليًا لفحص الجوانب المتعلقة بالتغيّر الذي قد يحدث في مناخ إسرائيل. قدمت اللجنة توصيات بشأن طرق الاستعداد لتطبيق التزامات إسرائيل وفقًا للمواثيق الدولية التي تمّ التوقيع عليها، كما أوصت اللجنة توجيه موارد لبحث تنبؤات تأثير المناخ العالمي على منطقتنا.

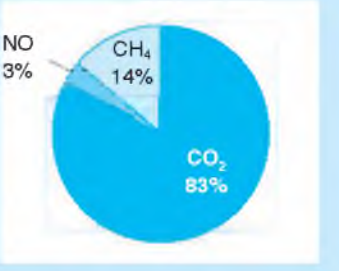
التزامات إسرائيل اتجاه مواثيق المناخ – تشترك إسرائيل مع سائر دول العالم بالنقاش الذي يدور حول طرق مواجهة إمكانية ازدياد تأثير الدفيئة. ففي هذا الإطار، وقعت إسرائيل على ميثاق مناخ كيوطو، وقد التزمت أن تتابع انبعاث غازا الدفيئة في البلاد. في هذه المرحلة، عُرِّفت إسرائيل على أنها من الدول النامية، اذا لم يُطلب منها أن تُقلص انبعاث غازات الدفيئة بنفس النسبة المقبولة من الدول المتطورة، وهي نسبة تفوق الـ 10%.

على الرغم من ذلك، من المتوقع أن يُطلب من إسرائيل في المستقبل أن تعمل في هذا المجال.

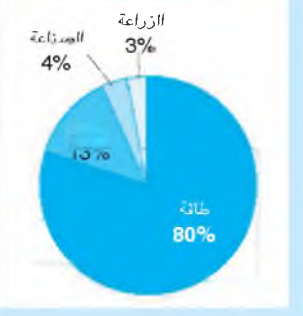
تعرض الرسومات الآتية معطيات عن انبعاث غازات الدفيئة في إسرائيل.



الرسمة 6.9: انبعاث ثاني أكسيد الكربون خلال السنوات المختلفة في إسرائيل (بحسب دائرة الإحصاء المركزية)



الرسمة 6.10: انبعاث غازات الدفيئة في إسرائيل (1996)
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)



ملاحظة: يتطرق الانبعاث من الصناعة إلى انبعاث الغازات أثناء عمليات الإنتاج (مثلا: إنتاج الإسمنت)، وليس الانبعاث الناجم نتيجة لاستعمال الطاقة في الصناعة.

الرسمة 6.11: مصادر انبعاث غازات الدفيئة في إسرائيل (1996)
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)

أسئلة

1. لماذا من الصعب الإجابة عن الأسئلة الآتية:
   أ. هل تتأثر إسرائيل من ازدياد تأثير الدفيئة؟
   ب. كيف يؤثر ازدياد تأثير الدفيئة على إسرائيل في المستقبل؟
2. تمعّنوا في المعطيات التي وردت في الرسمات 6.9–6.11 حول انبعاث غازات الدفيئة في إسرائيل.
   أ. كيف تشرحون التوجه الموصوف في الرسمة 6.9؟
   ب. في أي نشاطات تنبعث – في إسرائيل – غازات الدفيئة التي تظهر في الرسمة 6.10؟
   ج. اشرحوا الملاحظة التي تظهر في الرسمة 6.11.
3. أ. ما هي النشاطات – برأيكم – التي يجب تطبيقها في إسرائيل لتقليل ازدياد تأثير الدفيئة؟
   ب. كيف يجب على إسرائيل أن تستعد لعالَم أكثر حرارة مما هو عليه اليوم؟

أسئلة

1. كيف نَتَج تأثير الدفيئة وما هي أهميته؟
2. كوكب الزُّهرة السيّار، هو الكوكب الثاني من بين الكواكب القريبة من الشمس. ولهذا الكوكب، يوجد غلاف جوي كثيف بشكل خاص، وهو مكون بالأساس من ثاني أكسيد الكربون (90%). ماذا تستنتجون بالنسبة لمعدل درجة حرارة الزُّهرة؟
   هل يوجد حياة على سطح كوكب الزُّهرة؟
3. لماذا من الصعب أن نُحدِّد بشكل مؤكد أن تأثير الدفيئة يزداد؟
4. اكتبوا – في جدول – العمليات العالمية التي تؤدي إلى ارتفاع غازات الدفيئة مقارنةً مع العوامل التي تؤدي إلى انخفاضها.
5. إنَّ مساهمة الدول المتطورة في ازدياد تأثير الدفيئة أكبر بكثير من جزءها النسبي في تعداد سكان العالَم. لماذا؟
6. اشرحوا، لماذا يمكن أن يكون انبعاث ثاني أكسيد الكربون مقياسًا لمستوى الحياة؟
7. في أي دول العالَم، قد يتضرر السكان بشكل خاص من ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية؟
8. صِفوا الصعوبات التي قد تنجم عند تطبيق كل حل من الحلول لتقليل تأثير الدفيئة؟

9. في الفصل السابق، في الصفحتين 178–179، وصفنا بدائل مختلفة لوسائل النقل التي نستعملها اليوم. ما هي البدائل التي تقلل من انبعاث غازات الدفيئة؟
10. لماذا تعتبر الغابات الاستوائية مهمة بشكل خاص من ناحية تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟
11. تمعّنوا في الرسوما 6.7–6.8 التي تصف انبعاث ثاني أكسيد الكربون في دول العالَم.
   أ. كيف تبدو – برأيكم – هذه الرسومات بعد 25 سنة؟
   ب. ما هي الانعكاسات التي يمكن أن تكون لذلك على ازدياد تأثير الدفيئة؟
12. أ. ماذا يمكن أن تكون التبريرات المضادة للدولة النامية التي يوجد فيها غابا واسعة، إذا طُلب منها الحفاظ على الغابات، لكي تُقلل من ازدياد تأثير الدفيئة؟
   ب. ماذا يمكن أن نقترح على هذه الدولة، لكي نُتيح لها تقليص الضرر على الغابات؟
13. اقرأوا (في صفحة 205) أقوال الكيميائي واس بروكر بشأن "التجربة الكبرى". هل برأيكم أقواله صحيحة؟ هل لا توجد محاولات "تشويش" على التجربة؟

تأثير الإنسان على المناخ المحلي

رأينا حتى الآن أمثلة لتأثير الإنسان على المناخ العالمي. يؤثر نشاط الإنسان بطرق مختلفة على المناخ المحلي أيضًا. نَصف فيما يلي مثالين.

جزيرة الحرارة داخل المدينة

منذ 100 سنة وزيف، من المعروف أن المناخ في المُدن حار أكثر من البيئة التي تحيطها. هذه الظاهرة نُسمّيها "جزيرة الحرارة في المدينة"، وهي تنبع من عدة عوامل:

تصل نفس كمية أشعة الشمس إلى المدينة، وإلى البيئة المحيطة القريبة منها، لكن يوجد فرق بالطريقة التي تؤثر بها هذه الأشعة في كل منطقة. في المناطق التي ليست داخل المدينة، يُستغل قسم كبير من طاقة أشعة الشمس لتبخير المياه الموجودة في النباتات والتربة، وهذه الطاقة لا تؤدي إلى تسخين الهواء. ويتم تسخين الهواء بواسطة قسم آخر من الطاقة، وهو القسم الذي ابتُلع في الأرض. وهذه الطاقة تُسخن الأرض التي تُسخن الهواء الذي يقع فوقها. بما أن المُدن، يوجد فيها أقل نباتات، ومعظم الأرض الطبيعية غير مكشوفة، إذا كمية قليلة – فقط – من الطاقة تُستغل لتبخير الماء، وتُبتلع معظم

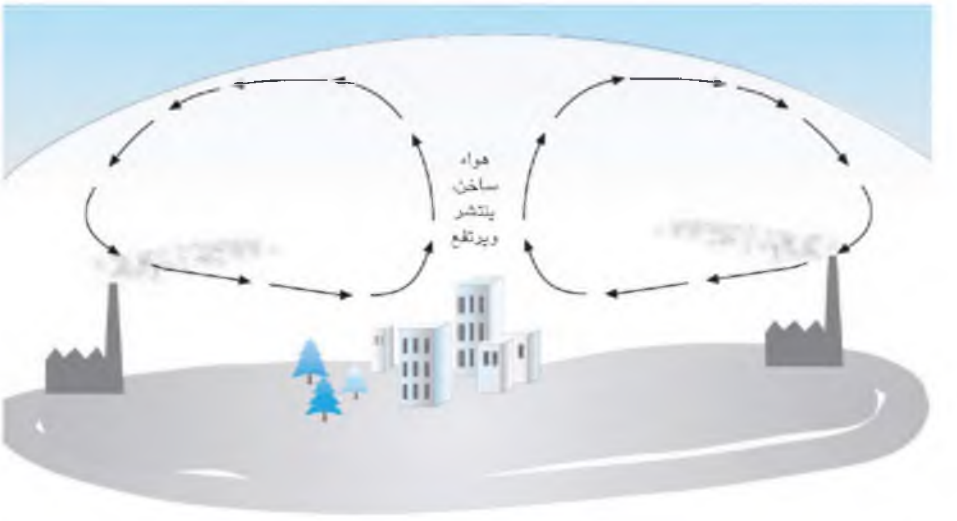
الطاقة في البنايات والشوارع التي تقوم بإطلاق الطاقة على شكل حرارة إلى البيئة المحيطة. وتمنع حوائط البنايات من انتشار الحرارة من داخل المدينة إلى خارجها. هناك مصدر حرارة إضافي يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة في المدينة، وهو الأجهزة التي تستهلك طاقة، مثل: السيارات، أجهزة تبريد وتسخين، ومصانع صناعية.

الرسمة 6.12: فروق في تسخين الهواء في مناطق تقع داخل المدينة مقارنةً مع مناطق طبيعية مجاورة

خلال اليوم تكون درجة الحرارة في المُدن أكبر من درجة حرارة البيئة المحيطة بها، والفروق في درجة الحرارة بين النهار والليل في المدن تكون أقل من خارج المدينة.

وهذا ينبع من الحقيقة أن المباني والشوارع التي ابتلعت أشعة كثيرة خلال ساعات النهار، تستمر بإطلاقها إلى البيئة المحيطة أثناء الليل، وهكذا تسخن البيئة المحيطة.

في حالات طقس معينة، يوجد لجزيرة حرارة المدينة تأثير على توزيع ملوثات الهواء التي تَنْتُج في المنطقة. مثلاً: في ليلة صافية دون رياح قوية، ينتشر الهواء الساخن في المدينة، ويكوّن منطقة فيها ضغط الهواء منخفض. وفي أعقاب ذلك، تهب رياح من المناطق الموجودة حول المدينة (التي يوجد فيها ضغط عالٍ) إلى داخل المدينة. وهذه الرياح قد تنقل إلى المدينة ملوثات انبعثت إلى الهواء من مصانع صناعية تقع في أطراف المدينة.



الرسمة 6.13: نقل ملوثات إلى داخل المدينة بسبب جزيرة الحرارة في المدينة

تأثير على كمية الغيوم والرواسب

المناطق داخل المدينة تكون عادةً غائمة أكثر من المناطق الأخرى.

كما رأينا، الهواء في المدن أسخن من البيئة المحيطة له، اذا فهو يصعد إلى أعلى، يبرد ويكوّن غيومًا. الجسيمات الموجودة في هواء المدينة أكثر من خارجها، اذا فهي تساعد في تكوين الغيوم. وتُشكّل هذه الجسيمات ذوى تكاثف، حيث تتكون من حولها قطرات الغيمة. إنَّ تأثير المدن على كمية الرواسب غير واضح. هناك أبحاث تُشير إلى أن كمية الرواسب عالية في مدن معينة، لكن هناك أبحاث أخرى، تُشير إلى أن كمية الرواسب منخفضة. يبدو أن هناك تأثير كبير جدًا لمناخ المنطقة التي تقع فيها المدينة. في المناطق التي فيها رطوبة عالية عادةً (مثلاً: أوروبا)، فإنّ الغيوم التي تتكون فوق المُدن تزيد من كمية الرواسب العامة. أما في المناطق الأقل رطوبةً، كما هو الأمر في جنوب إسرائيل، فإنّ فائض ذوى التكاثف يؤدي إلى تكاثف كميات بخار الماء القليلة على عدد كبير جدًا من ذوى التكاثف، وهكذا تَنتُج قطرات صغيرة جدًا. وفي هذه الحالة، يقل احتمال أن تكبر هذه القطرات، وأن تتحول إلى قطرات مطر، اذا تقل كمية الرواسب.

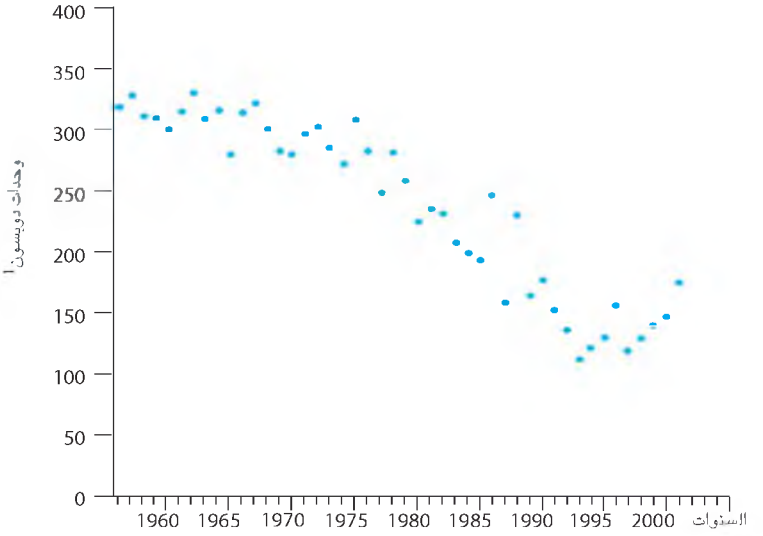
أسئلة

1. اقترحوا طرقًا لتقليل جزيرة الحرارة في المدينة من خلال تخطيط المدينة بالشكل المناسب.
2. كيف يمكن أن تؤثر منطقة في المدينة على كمية الرواسب؟

تناقص الأوزون في الستراتوسفيرا

ذكرنا في الفصل السابق الأوزون على أنه ملوث هواء يَنْتُج بالقرب من الأرض خلال عملية كيميائية ضوئية. في قمة الغلاف الجوي، وعلى ارتفاع بين 20–40 كلم (في طبقة الستراتوسفيرا)، يكون التركيز الطبيعي للأوزون عاليًا نسبيًا. في هذا الارتفاع، يوجد للأوزون أهمية كبيرة، لأنه يقوم بابتلاع كمية كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية (UV) التي تصل من الشمس، وهكذا يحمي الكائنات الحية – التي تعيش على سطح الكرة الأرضية – من أضرار هذه الأشعة.

في سنوات السبعينيات، عملت مجموعات أبحاث في انتراكتيكا، وقد قاسوا تركيز الأوزون في طبقة الستراتوسفيرا، في كل سنة، في فترة الربيع، ووجدوا انخفاضًا ملحوظًا في الأوزون في منطقة القطب الجنوبي. وقد سُمِّيت هذه الظاهرة باسْم "ثقب في الأوزون". منذ ذلك الحين تمّت مراقبة متعددة السنوات، وأشارت النتائج أنه مع مرور الوقت يتفاقم انخفاض الأوزون في فترة الربيع. وتُشير قياسات الأوزون، في أماكن أخرى في العالَم، إلى أن الأوزون يتناقص في الستراتوسفيرا، لكن بكميات قليلة جدًا مقارنةً مع انتراكتيكا.



الرسمة 6.14: كمية الأوزون فوق القطب الجنوبي في شهر أكتوبر
(بحسب NASA)

[1] تُعبر وحدات دوبسون عن كثافة جزيئات الأوزون في طبقة الستراتوسفيرا.

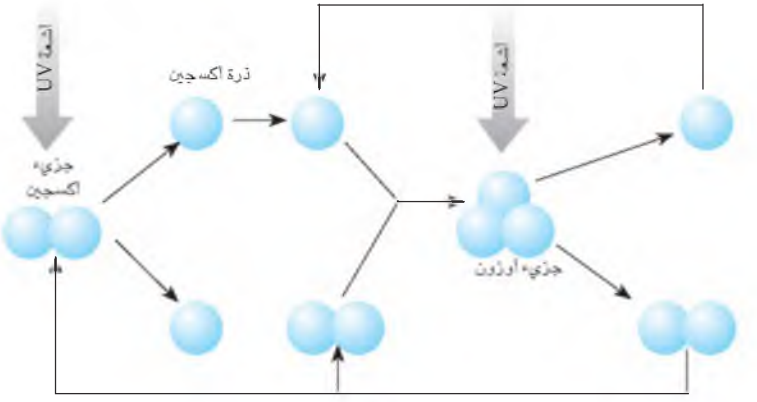
عمليات طبيعية في طبقة الأوزون

تتم عمليات تحليل وبناء الأوزون في الستراتوسفيرا كل الوقت وبشكل طبيعي، وتقوم جزيئات الأوزون(O_3) والأكسجين (O_2) بابتلاع الأشعة فوق البنفسجية.

يتم تحليل الأوزون عندما يبتلع الأوزون أشعة UV ، ويتحول إلى جزيء أكسجين (O_2) وذرة أكسجين (O).

وبشكل تدريجي تتم عملية عكسية، وهي عملية إنتاج الأوزون، حيث يتم ذلك، عندما يبتلع جزيء الأكسجين (O_2) أشعة UV ويتحلل إلى ذرتي أكسجين (O)، وعندما تصطدم هذه الذرات بجزيئات الأكسجين يَنْتُج من جديد الأوزون (O_3).

يوجد توازن بين عمليتي التحليل والإنتاج، اذا كمية الأوزون تبقى ثابتة في الستراتوسفيرا.



الرسمة 6.15: تحليل وإنتاج جزيئات أوزون في الستراتوسفيرا

كيف تتناقص طبقة الأوزون؟

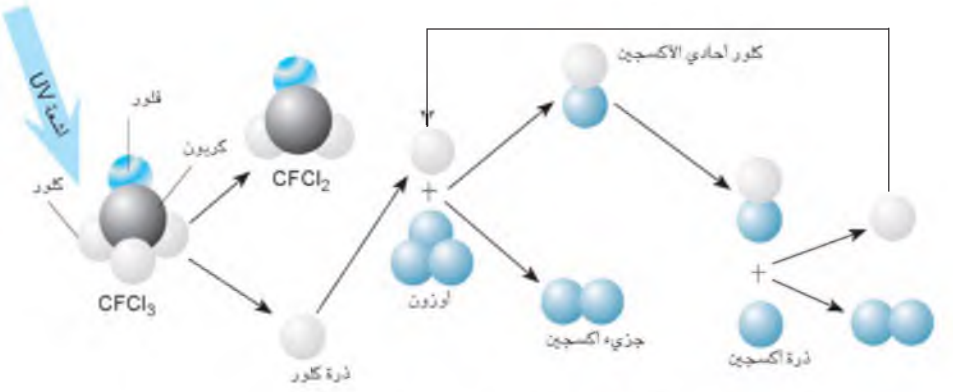
تُشير أبحاث مختلفة إلى أنَّ هناك مواد مختلفة يستعملها الإنسان وتنطلق إلى الهواء، وتؤدي إلى تحليل الأوزون في طبقة الستراتوسفيرا بشكل كبير جدًا. المواد الأساسية التي تؤذي طبقة الأوزون، هي غازات مكونة من ذرات كلور، فلور وكربون، ونسميها فيروئنات وباختصار CFC (Chlorofluorocarbon). الفيروئنات هي مواد اصطناعية، لا يوجد لها رائحة وغير سامة، ويستعملها الإنسان كثيرًا. يُستعمل غاز الفيروئين في أجهزة التبريد (ثلاجات ومكيفات هوائية)، في عبوات الرش، في إنتاج المطاط، الكاكار وغير ذلك.

عندما تصل جزيئات الـ CFC الستراتوسفيرا، فإنّها تتحلل بواسطة الأشعة فوق البنفسجية التي تصل من الشمس، وتنطلق منها ذرات الكلور إلى الهواء. يتفاعل الكلور مع الأوزون، ويَنْتُج أكسجين،

وكلور أحادي الأكسجين غير ثابت. يتفاعل هذا الناتج بسرعة مع الأكسجين، ويَنْتُج جزيء أكسجين وذرة كلور، حيث تقوم ذرة الكلور المنفردة بتحليل جزيء أوزون إضافي.

تستطيع ذرة كلور واحدة أن تُحلِّل حوالي 100،000 جزيء من الأوزون قبل أن تتحد مع مادة أخرى لإنتاج مركب ثابت مع ذرة الكلور. عندما يُهدم الأوزون بسرعة أكبر من إنتاجه، يحدث عدم توازن بين إنتاجه وتحليله (الرسمة 6.16).

يوجد مواد أخرى (قسم منها من مصادر طبيعية) تؤدي إلى تحليل الأوزون بطريقة شبيهة، مثلاً: مثيل بروميد المُستعمل في الزراعة لتعقيم التربة من الآفات الزراعية. هذه المادة، هي إحدى مُنْتَجا التصدير المهمة لصانع البحر الميت في إسرائيل.

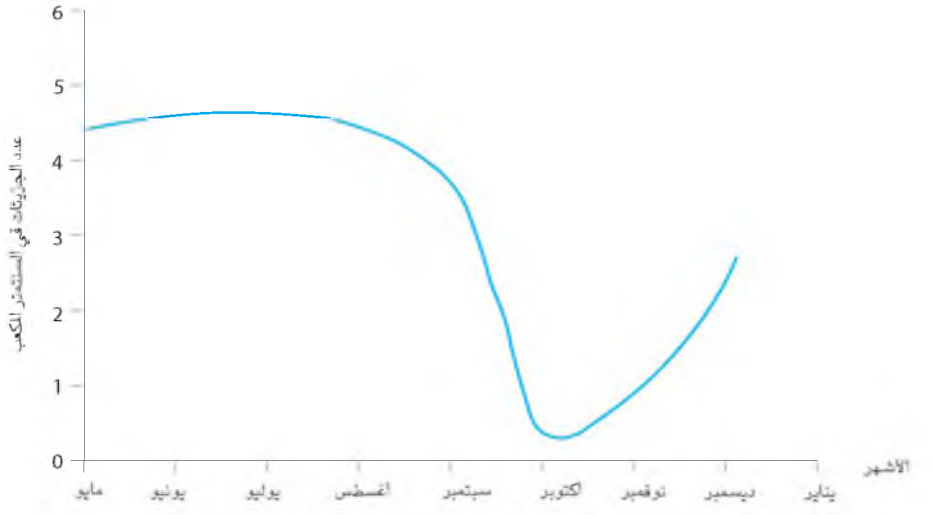


الرسمة 6.16: انطلاق ذرات كلور من جزيء فيرئون وتحليل الأوزون

لماذا حدث "ثقب الأوزون" في القطب الجنوبي بالذات؟ إنَّ تكوين "ثقب الأوزون" متعلق بالظروف الخاصة السائدة في القطب الجنوبي في فترة الشتاء. في هذه الفترة، في طبقة الستراتوسفيرا التي تقع فوق انتراكتيكا تكون درجة الحرارة منخفضة جدًا، وهي تصل إلى $80^{\circ}C$– وأقل من ذلك. في هذه الظروف، تَنْتُج غيوم تحتوي على باورات ماء وعلى حامض نيتريك متجمد. عندما تتلامس هذه الغيوم مع مركّبات الكلور الثابتة التي ذكرناها على أنها لا تشترك في هدم الأوزون، فقد تحدث تفاعلات كيمائية تُطلِق جزيئات كلور (Cl_2) إلى الهواء. في هذه المرحلة، هذه الجزيئات لا تمس بالأوزون.

في نفس الوقت، تحدث ظاهرة إضافية، وهي نشوب رياح غربية قوية حول القطب، في المنطقة التي تقع على خط عرض 60°. وهذه الظاهرة تؤدي إلى أن يكون هواء انتراكتيكا منعزلاً عن البيئة المحيطة به، ولا يختلط مع هواء آخر من شمال انتراكتيكا. وفي أعقاب ذلك، تتراكم جميع جزيئات الكلور المنبعثة فوق القطب الجنوبي. ومع قدوم الربيع، عندما تظهر الشمس، فإنّ أشعة الشمس تقوم بتحليل جزيئات الكلور (Cl_2) – الذي تراكم خلال الشتاء – إلى ذرات كلور (Cl).

وهذه الذرات تُحلِّل الأوزون وتؤدي إلى انخفاض ملحوظ في تركيزه. وخلال فترة الربيع، ينتهي عزل الهواء الموجود فوق انتراكتيكا وهو يختلط مع الهواء القادم من الشمال. وهذا الاختلاط الهواء يؤدي إلى انخفاض حاد في تركيز الأوزون في المناطق المجاورة لانتراكتيكا أيضًا. وهذا يعني في نيوزيلاندا وفي جنوب أميركا. ففي هذه الدول، يوجد نشاطات توعية واسعة حول ضرورة الحماية من أشعة الشمس. وفي فصل الصيف يعود ويرتفع تركيز الأوزون فوق انتراكتيكا. وفي القطب الشمالي أيضًا، يوجد تناقص معين في الأوزون في فصل الربيع، لكنه قليل جدًا مقارنة مع ما يحدث في القطب الجنوبي. السبب في ذلك، هو التشويش الذي تقوم به القارات الموجودة حول القطب الشمالي على الرياح الغربية التي تَنْتُج حول القطب الشمالي، وهكذا لا ينعزل الهواء عن البيئة المحيطة به. وفي أعقاب ذلك تكون درجات الحرارة في ستراتوسفيرا القطب الشمالي أعلى من درجات الحرارة السائدة في ستراتوسفيرا القطب الجنوبي، وعندما تتوفر الظروف التي تُطلَق فيها ذرات الكلور من المركّبات الثابتة، فإنّها تتوزع وتختلط مع كل الهواء الموجود في النصف الشمالي الكرة الأرضية.



الرسمة 6.17: *معدل تغيُّر كثافة الأوزون خلال السنة فوق انتراكتيكا على ارتفاع 20 كلم، في السنوات 1993–1996*
(بحسب NASA)

تأثيرات تناقص طبقة الأوزون

إنَّ انخفاض كمية الأوزون في الستراتوسفيرا يؤدي إلى ازدياد كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل سطح الكرة الأرضية. والتعرض الكثير لهذه الأشعة، قد يؤدي إلى تغيُّر في مبنى المادة الوراثية (DNA) وفي مواد أخرى في الخلايا. ولهذا السبب يزداد خطر الإصابة بسرطان الجلد، وبمرض

القطب الجنوبي

إعتام عدسة العين – كتاركت (أمراض في العينين تؤدي إلى العمى).
كما أنهم يعتقدون أن أشعة UV المتزايدة تؤذي عملية التركيب الضوئي في الطحالب التي تعيش في المحيطات، والتي تعتمد عليها الشبكة الغذائية البحرية. وفي اليابسة، تتضرر المحاصيل الزراعية الحساسة لأشعة UV.

طرق المواجهة

خلال سنوات الثمانينيات والتسعينيات في القرن العشرين، عُقد عدة مؤتمرات دولية لمناقشة تقليص استعمال الفيرئونات ومواد أخرى تضر الأوزون. ففي مؤتمر مونتريال الذي عُقد في سنة 1987، وقعت الدول المُشتَركة في المؤتمر على ميثاق يقضي إلى التوقف التام عن استعمال الفيرئونات حتى سنة 2000. حتى منتصف سنوات التسعينيات، انضمت 139 دولة إلى هذا الميثاق ومن بينها إسرائيل.
ومع تقليص إنتاج الفيرئونات، فقد تمّ تطوير مواد بديلة، وأُجريت نشاطات توعية لتشجيع الناس على استعمال مُنْتَجات صديقة البيئة المحيطة لا تمس بطبقة الأوزون. على الرغم من هذه النشاطات، قد يستمر على ما يبدو تناقص الأوزون حتى منتصف القرن الواحد والعشرين، لأن طول عُمرُ جزيئا الفيرئون في الغلاف الجوي طويل، والجزيئات التي انبعثت في الماضي ما زالت مستمرة في هدم الأوزون.

أسئلة

1. أ. ما هي العوامل التي تؤدي إلى تناقص طبقة الأوزون؟
   ب. كيف تتم هذه العملية؟
2. أ. أين – برأيكم – يحدث الانبعاث الأساسي للفيروزات في العالَم؟
   ب. كيف تشرحون الانخفاض الحاد الأكبر في كمية الأوزون فوق القطب الجنوبي – بالذات – الذي لا يعيش فيه سكان؟
3. أ. ما هي تأثيرات تناقص طبقة الأوزون؟
   ب. كيف نحمي أنفسنا من هذه التأثيرات؟
4. أ. ما هي النشاطات التي يجب أن ننفّذها، لكي نحافظ على طبقة الأوزون؟
   ب. ما هي – برأيكم – الصعوبات التي تواجهكم عند تطبيق هذه النشاطات؟
5. كيف – برأيكم – يجب على حكومة إسرائيل أن تتصرف إزاء طاب منظمات جودة البيئة المحيطة – في البلاد والعالَم كله – التوقف عن إنتاج مثيل بروميد؟
6. كيف يستطيع كل واحد منكم أن يعمل على تقليص الضرر بطبقة الأوزون؟

فعالية في الانترنيت

وضع الأوزون في العالَم وفي إسرائيل

1. في الموقع ا ، يمكنكم إيجاد خريطة العالَم التي تُبيّن قياسات تركيز الأوزون على سطح الكرة الأرضية في كل يوم، ومنذ سنة 1978.
   انتبهوا! يمكن قياس تركيز الأوزون بواسطة الأقمار الاصطناعية خلال ساعات الضوء فقط، اذا لا توجد خرائط قياس لفترة الشتاء في الأقطاب.
   أ. اختاروا 4 تواريخ خلال السنة في الأشهر الآتية: يناير، إبريل، يوليو وأكتوبر. تمعّنوا في الخرائط، ثم صِفوا تغيُّرات تركيز الأوزون خلال السنة في الكرة الأرضية.
   تطرقوا بشكل خاص إلى مناطق الأقطاب وإلى إسرائيل. يمكنكم إيجاد القيمة الدقيقة لتركيز الأوزون في كل نقطة من العالَم، من خلال الموقع الآتي:

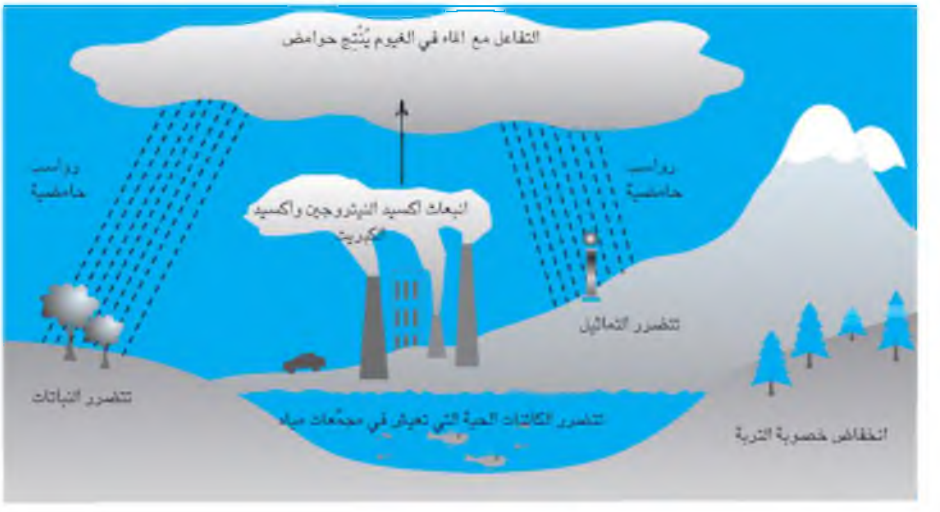
   ب. اختاروا سنة معينة من السنوات السابقة، ثم نفّذوا – مرة أخرى – الفحوصات بحسب البند أ. هل توجُّه تغيُّر تركيز الأوزون خلال السنة يتشابه مع السنوات المختلفة؟
2. شاهدوا الرسوم المتحركة لتغيُّر الأوزون في فصل الربيع:
   أ. فوق القطب الشمالي
   ب. فوق القطب الجنوبي
   صِفوا الفروق بين الأقطاب.

رواسب حامضية

الرواسب الحامضية، هي أمطار وثلج بدرجة حامضية عالية، وهي تُعتبر من الملوثات الثانوية. مصادر الرواسب الحامضية هي أكاسيد الكبريت وخصوصًا (SO_2)، وأكاسيد النيتروجين (NO_X) التي تُعتبر من الملوثات الأولية. تذوب هذه المركّبات في قطرات ماء الغيوم وتُنْتِج حوامض.

في المناطق الجافة التي كمية الرواسب فيها قليلة، تستطيع مركبات الكبريت الصلبة أن تصل التربة كجسيم غبار يؤدي إلى أضرار في التربة. تعتبر الرواسب حامضية إذا كان الـ pH فيها أقل من 5.5. ومن غير المتوقع، نجد أن مياه المطر النقية في منطقة ليست ملوثة، هي مياه ليست متعادلة، ومعدل الـ pH فيها 5.6، وذلك لأن ثاني أكسيد الكربون يذوب في مياه المطر، ويكوّن حامض كربونيك ضعيف.

الأمطار والثلوج الحامضية تؤذي أنظمة بيئية في اليابسة والماء. أدت الرواسب الحامضية إلى إصابات بالغة في غابات وبحيرات كثيرة في أنحاء أوروبا وشمال أميركا. الرواسب الحامضية تؤذي النباتات وتؤدي إلى اصفرار أوراقها. وتتضرر النباتات أيضًا من العمليات الكيميائية التي تحدث في التربة في أعقاب هطول أمطار حامضية. فهذه العمليات تؤدي إلى نقص في المواد الغذائية، وإلى إطلاق معادن (خصوصًا الألومينيوم). تتدفق مياه التربة الغنية في هذه المعادن إلى البحيرات والأنهار، وهي تؤذي نباتات البحر، الأسماك وكائنات حية أخرى تعيش في الماء.



الرسمة 6.18: رواسب حامضية

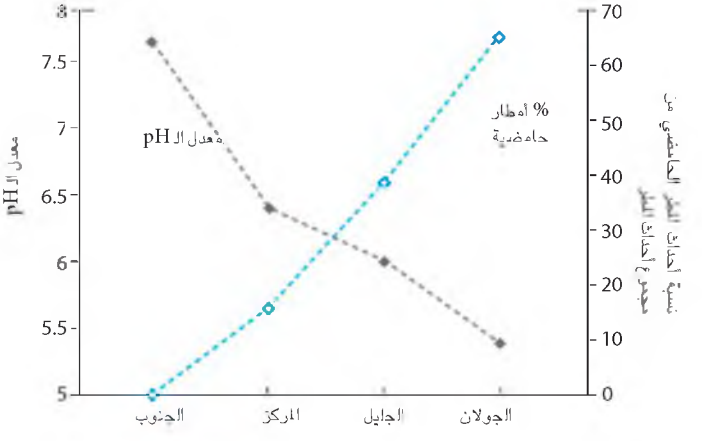
[1] يمكنكم قراءة الشرح عن مقياس الـ pH في فصل مورد المياه في صفحة 23.

هناك مشكلة خطيرة أخرى، وهي أن المياه التي تحوَّلت إلى مياه حامضية تؤذي أنابيب مياه الشرب، وتؤدي إلى انطلاق معادن ضارة من الأنابيب إلى الماء.

تؤدي الرواسب الحامضية إلى أضرار في المباني والتماثيل أيضًا، حيث يتم ذلك من خلال تآكلها، فعلى سبيل المثال، في السنوات الأخيرة، تضرر تمثال بنتاون في أثينا، وتاج محل في الهند. الرواسب الحامضية لا تعرف حدود الدول. وتستطيع الرياح أن تنقل أكاسيد الكبريت والنيتروجين والغيوم الحامضية آلاف الكيلومترات عن مصادر التلوث. مثلاً: تعاني دول اسكندنافيا من رواسب حامضية نَتجت بسبب ملوثات هواء مصدرها من الصناعة البريطانية.

ما هو الأمر في البلاد؟ أُجري بحث في بداية سنوا التسعينيات، وقد فحصوا 569 يومًا ماطرًا في أنحاء البلاد، وتمَّ قياس pH مياه الأمطار في ست مناطق مختلفة في أنحاء البلاد. وُجِدَ مطر حامضي (pH أقل من 5.5) في 25% من العينات، وكان معدل القياسات 6.5، ووُجِدَ تباين كبير عند المقارنة بين المناطق المختلفة.

الأحداث الكثيرة الأمطار الحامضي، شوهدت في شمال البلاد، وانخفض عددها كلما توجهنا إلى الجنوب. يُخمن الباحثون أن الغبار الموجود في الهواء، والذي مصدره من تآكل الصخور الجيرية، يصل بكميات كبيرة من منطقة الصحراء، ويقوم بإبطال مفعول الحامضية. أما بالنسبة لمصدر المطر الحامضي، فإنهم يُخمنون أن قسمًا كبيرًا من الملوثات التي تُنْتِج المطر الحامضي مصدرها من خارج إسرائيل. يعتمد هذا التخمين بالأساس على حقيقة أنه وُجِدَ في حالات كثيرة مطر حامضيّ في محطات تقع على شاطئ البحر. بما أن معظم غيوم المطر في إسرائيل تأتي من الغرب، فإنَّ قياس حامضية المطر على شاطئ البحر تُمثِّل صفات مياه الأمطار قبل دخولها إسرائيل.



الرسمة 6.19: أحداث المطر الحامضي في إسرائيل في بداية سنوات التسعينيات (بحسب المعهد لبحث البحار والبحيرات في إسرائيل)

أسئلة

1. كيف يتكون المطر الحامضي؟ ولماذا ينتمي إلى مجموعة الملوثات الثانوية؟
2. لماذا يُعتبر المطر الحامضي مشكلة بيئية محيطية دولية؟
3. اقترحوا طرقًا لتقليل تكوين المطر الحامضي.
4. ما هي الأضرار الاقتصادية الناجمة من الرواسب الحامضية؟
5. تمعَّنوا في الرسمة 6.19 التي تصف أحداث المطر الحامضي في إسرائيل:
   أ. ما هو معدل الـ pH في جنوب البلاد، وفي الجولان؟
   ب. ما هي نسبة أحداث المطر الحامضي في كل منطقة من هاتين المنطقتين؟
   ج. اعتمدوا على الرسم التخطيطي، ثم اذكروا التوجه الذي يمكن الإشارة إليه حول انتشار المطر الحامضي في البلاد.
   د. كيف يمكن شرح هذا الانتشار؟
6. ماذا يمكن أن تكون مصادر التلوث التي أنتجت المطر الحامضي في إسرائيل؟

تمثال أُصيب من المطر الحامضي

تلخيص

تأثير الدفيئة هو ظاهرة طبيعية تؤدي إلى تسخين الغلاف الجوي. أشعة الشمس التي تصلنا، تمر عبر الغلاف الجوي دون تشويش تقريبًا، وتؤدي إلى تسخين سطح الكرة الأرضية. أما انتقال الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض إلى الفضاء، لا يتم بشكل جزئي بواسطة غازات الدفيئة (بالأساس ماء وثاني أكسيد الكربون)، وفي أعقاب ذلك يسخن الغلاف الجوي. فلولا وجود تأثير الدفيئة لكانت درجة حرارة الكرة الأرضية منخفضة بالنسبة لمعظم الكائنات الحية، ولا تستطيع معظم الكائنات الحية العيش في هذه الظروف.

منذ الثورة الصناعية، تزداد كمية ثاني أكسيد الكربون في الهواء بشكل متواصل. اذا يعتقد الباحثون أن معدل درجة حرارة الكرة الأرضية يرتفع. إن ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، قد يؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر وإلى تغيُّرات في المناخ وإلى أحداث متطرفة في حالة الطقس. الحلول لحل مشكلة ارتفاع درجة الحرارة تشمل ما يلي: تقليص انبعاث غازات الدفيئة، الحفاظ على الغابات والاستعداد لعالَم أكثر حرارةً. إنَّ تطبيق الحلول بحاجة إلى استعداد جميع دول العالَم على التعاون. تواجه هذا التعاون صعوبات بسبب مصالح مختلفة للدول المتطورة والدول النامية.

يؤثر نشاط الإنسان على المناخ المحلي أيضًا. الظاهرة البارزة في هذا المجال، هي جزيرة الحرارة داخل المدينة – مدن أسخن من البيئة المحيطة بها.

في قمة الغلاف الجوي، وفي الستراتوسفيرا على ارتفاع بين 20 إلى 40 كلم، يوجد تركيز أوزون عالٍ نسبيًا. يقوم الأوزون بابتلاع قسم ملحوظ من الأشعة فوق البنفسجية التي تصل من الشمس، وهكذا يحمي الكائنات الحية من أضرار هذه الأشعة. وفي الحالة الطبيعية، يُنْتَج ويتحلل الأوزون، اذا يبقى تركيز الأوزون ثابتًا في الستراتوسفيرا.

المواد المختلفة التي يستعملها الإنسان، تنبعث إلى الهواء وتؤدي إلى تحليل الأوزون بشكل كبير، وإلى انخفاض تركيزه في الستراتوسفيرا بالأساس في القطب الجنوبي. يؤدي انخفاض تركيز الأوزون إلى زيادة كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل الكرة الأرضية، وفي أعقاب ذلك تزداد الإصابة بأمراض معينة عند الإنسان. إضافةً إلى ذلك، تتضرر على ما يبدو عملية التركيب الضوئي في الطحالب التي تعيش في المحيطات، وفي النباتات الزراعية.

تواجه الدول المختلفة تناقص الأوزون بواسطة ميثاق دولي، في إطاره تلتزم معظم دول العالَم بالتوقف أو تقليص استعمال مواد تؤذي الأوزون.

الرواسب الحامضية، هي ملوثات ثانوية تَنْتُج نتيجةً لتفاعل كيميائي يتم بين قطرات الغيوم وبين أكاسيد كبريت وأكاسيد نيتروجين. الرواسب الحامضية، تؤذي بالأساس أنظمة بيئية ومبانٍ، وتستطيع أن تبتعد كثيرًا عن المكان الذي نَتَجت فيه الملوثات الأولية التي تؤدي إلى إنتاج المطر الحامضي.

القسم الثالث

مواد يستعملها الإنسان

الفصل السابع

المواد كمورد للإنسان

العصر الحجري، عصر البرونزا وعصر الحديد – ليس صدفةً أن يُسمّي علماء الآثار أسماء الفترات القديمة بأسماء المواد التي استعملها الإنسان في تلك الفترة. إنَّ القدرة على استعمال مواد طبيعية وإنتاج أدوات منها، هي قدرة خاصة للإنسان وتُميِّزُه عن باقي الكائنات الحية. المواد الطبيعية، هي مورد ضروري للإنسان. المُنْتَجات التي يُنْتِجها الإنسان تُتيح له منذ قبل التاريخ أن يُحسِّن – باستمرار – جودة حياته، وأن يُطوِّر حضارته وثقافته. سنتعرف في هذا الفصل على مميزات هذا المورد.

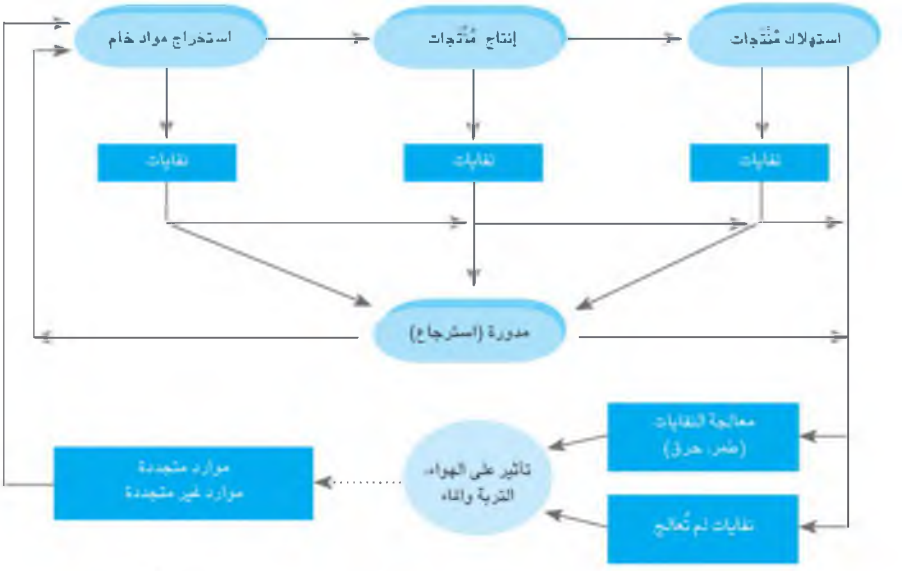
دورة المواد في النظام التكنولوجي

الغذاء الذي نأكله، الملابس التي نرتديها، السيارة التي نسافر فيها، وكل مُنْتَج آخر، نعرف أن مصدرها من مواد خام مصدرها من البيئة المحيطة الطبيعية. ويعتمد إنتاج معظم الطاقة التي نستعملها على مواد خام مصدرها من البيئة المحيطة في الطبيعة.

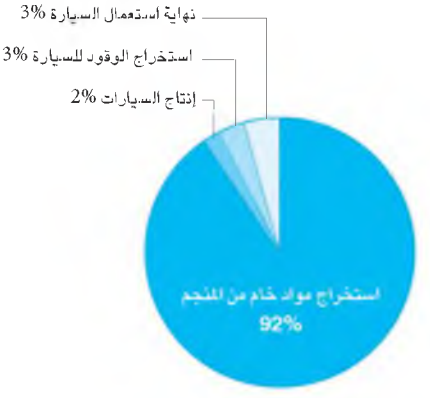
تُبرز الرسمة 7.1 مسار المواد التي تُستعمل لإنتاج مُنْتَجات. في البداية، تكون المواد الخام الأولية في البيئة المحيطة الطبيعية. في المرحلة الأولى، يستخرج الإنسان المواد الخام، وبعد ذلك يُنْتِج منها مُنْتَجات. يستعمل الإنسان المُنْتَجات لفترة معينة، وبعد ذلك، تتحول إلى نفايات. وتَنْتُج النفايات في مراحل إنتاج المُنْتَجات وخلال استعمالها أيضًا. النفايات التي تَنْتُج يمكن أن تكون في حالات المادة الثلاث: غاز، سائل وصلب.

في الفصول السابقة، بحثنا تأثيرات النفايات الغازية والسائلة على البيئة المحيطة. في هذا القسم من الكتاب، سنبحث تأثير النفايات الصلبة.

تُلقي معظم هذه النفايات في أغلب الحالات إلى البيئة المحيطة، وهي تؤدي إلى مشاكل في البيئة المحيطة. وفي حالات معينة، يمكن أن تُستخدم كمواد خام لإنتاج مُنْتَجات جديدة.



الرسمة 7.1: مدورة (استرجاع) مواد في نظام تكنولوجي لإنتاج مُنْتَجا



الرسمة 7.2: *إنتاج السيارات واستعمالها يؤدي إلى إنتاج نفايات. يعرض الرسم البياني الدائري توزيع النفايات التي تَنْتُج منذ بداية إنتاج السيارة وحتى الانتهاء من استعمالها.*

معدل كتلة السيارة العائلية هو طنٌ واحدٌ تقريبًا، وخلال عملها حتى توقفها عن العمل تمامًا تُنْتج حوالي 10 أطنان من النفايات.

الجانب الإضافي لاستعمال المواد الخام لاحتياجات الإنسان هو تناقصها.

قسم كبير من المواد، هي **موارد متناقصة**، ولا تتجدد هذه الموارد في البيئة المحيطة بشكل طبيعي.

(مثل: الحديد، النحاس والألومينيوم)، أو أن وتيرة تجددها بطيئة جدًا وتستمر ملايين السنين (مثل: النفط والفحم). كل استعمال للموارد المتناقصة يؤدي إلى تناقصها.

مواد أخرى، هي **موارد متجددة**، وهذا يعني أن عمليات طبيعية تؤدي إلى تجديدها (مثل، صيد الأسماك والغابات).

تتناقص هذه الموارد إذا كانت وتيرة استعمالها أعلى من وتيرة تجدُّدها.

أخشاب: مورد متجدد

المورد	عدد السنوات التي تمر من سنة 2000 حتى تناقص المورد
الومينيوم	110
فحم	190
نحاس	25
حديد	150
غاز طبيعي	45
نفط	35
رصاص	12
خارصين	37

الرسمة 7.1: تنبؤات لموعد تناقص موارد متناقصة (بحسب *World Resources*)

أسئلة

1. بأي اسم مادة تقترحون تسمّية الفترة التي نعيشها؟ عالوا اختياركم.
2. أ. اختاروا مُنْتَجًا معيّنًا، ثم ارسموا الدورة التي تمر فيها المواد التي تُكوِّنه خلال حياة المُنْتَج.

   ب. في أي مراحل من دورة حياة المُنْتَج – الذي اخترتموه – تتضرر البيئة المحيطة؟ وكيف؟
3. يوجد تشابه واختلاف بين النظام البيئي وبين النظام التكنولوجي (الرسمة 7.1). صِفوا أوجه الشبه والاختلاف بين هذين النظامين.
4. تمعّنوا في الرسمة 7.1، ثم اكتبوا تعريفًا للمصطلح "نفايات".
5. تمعّنوا في الرسمة 7.2.

   أ. احسبوا النسبة بين معدل كتلة سيارة وبين كتلة النفايات التي تُنْتِجها.

   ب. اشرحوا، كيف تَنْتُج النفايات في كل مرحلة من "حياة" السيارة؟
6. تمعّنوا في الجدول 7.1.

   أ. ما هو نوع الموارد التي تظهر في الجدول؟

   ب. كيف – برأيكم – وجد الباحثون المعطيات التي تظهر في الجدول؟

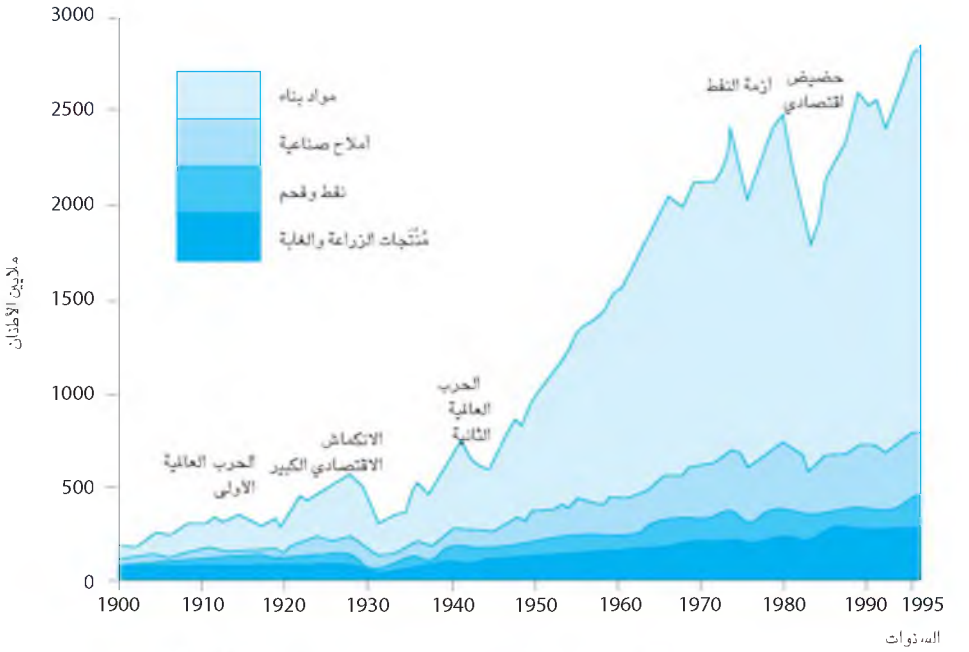
   ج. هل تتغيَّر قيم الجدول بعد عدة سنوات؟
7. بحسب الرسمة 7.1، يوجد دورة مواد. كيف تشرحون الدقيقة أن قسمًا من المواد المُشْتَرِكة في دورة المواد مُعرَّفة على أنها موارد متناقصة.

تأثير مستوى الحياة وتعداد السكان على إنتاج مُنْتَجات ونفايات

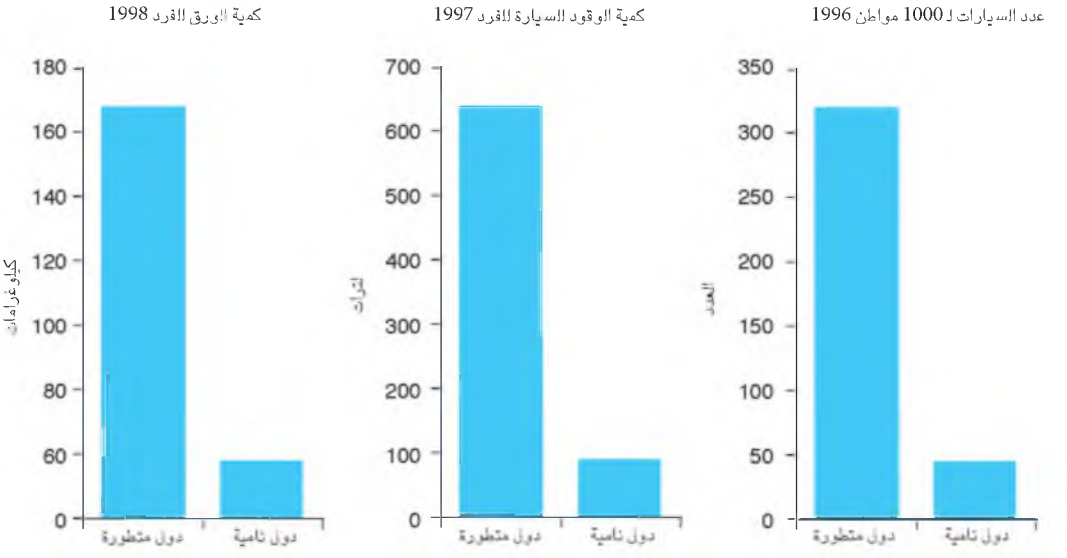
يذبع مدى استعمال المواد في مجتمع معين من مستوى الحياة وتعداد السكان. وكلما ارتفع هذان المستويان، فإننا نستخدم مواد كثيرة، لكي نُنْتِج مُنْتَجات كثيرة. إنَّ تطور التكنولوجيا وتعداد السكان أديا إلى زيادة مستمرة عبر التاريخ في استعمال المواد. مَعْلَم طريق ذو معنى في هذا المجرى، هو الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر، وحتى ذاك الحين أُنْتِجَت مُنْتَجات قاياة من خلال الأعمال اليدوية التي نفَّذها فنانون وأصحاب حرف. أَدَّ التكنولوجيا الجديدة – التي طُوِّرت في القرن التاسع عشر – إلى إنتاج كميات كبيرة من المُنْتَجات بواسطة الآلات. وقد ازداد تنوع المُنْتَجات في أعقاب اختراع مُنْتَجات جديدة.

تستمر هذه التوجهات منذ ذاك الحين وحتى يومنا هذا بشكل متزايد وكبير. وخلال القرن العشرين،

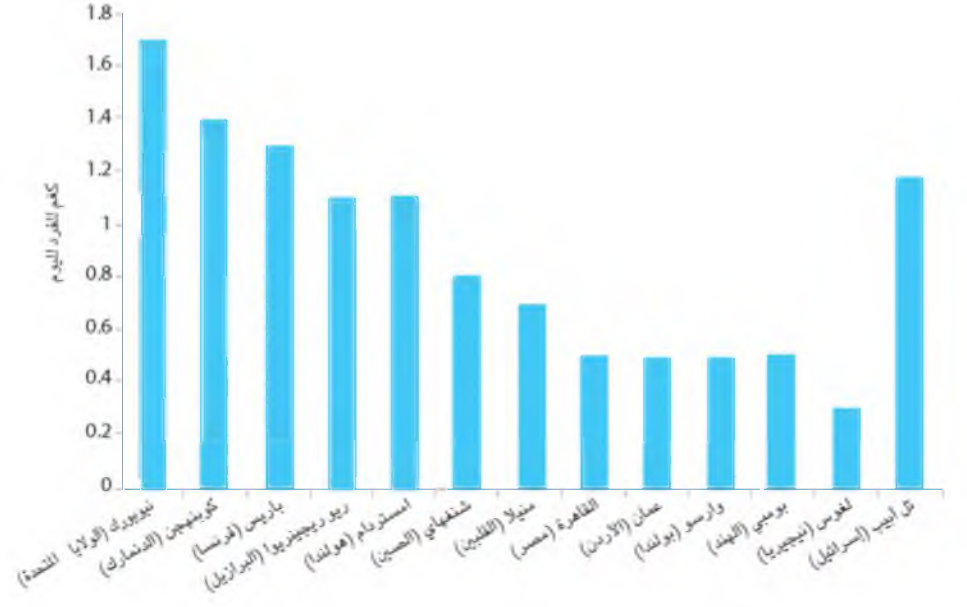
تطوّرت ثقافة الاستهلاك في الدول المتطورة، ومن مؤشرات هذه الثقافة: ارتفاع اقتناء المُنْتَجات من خلال دعايات التسويق، إنتاج مُنْتَجات ذوات طول حياة قصيرة، استعمال رُزَم لمرة واحدة واستعمال مُنْتَجات لمرة واحدة. يوجد مميزات كثيرة لثقافة الاستهلاك في الدول النامية، لكن مستوى الحياة المنخفض فيها يؤدي إلى استعمال كميات منخفضة من المُنْتَجات مقارنةً مع الدول المتطورة، اذا يقل استعمال المواد، وَتَنْتُج نفايات أقل.



الرسمة 7.3: *استعمال مواد في الولايات المتحدة خلال القرن العشرين*
(بحسب U.S Geological Survey1998)

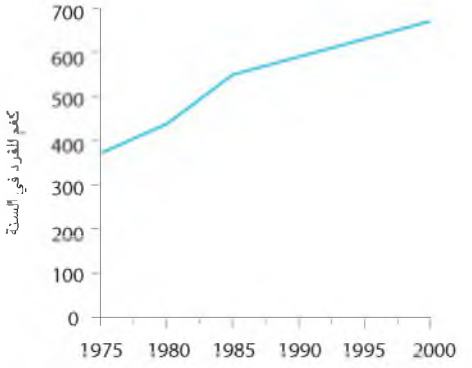


الرسمة 7.4: استهلاك مُنْتَجات مختلفة في دول متطورة وفي دول نامية خلال سنة واحدة
(بحسب *World Resources 2000*)

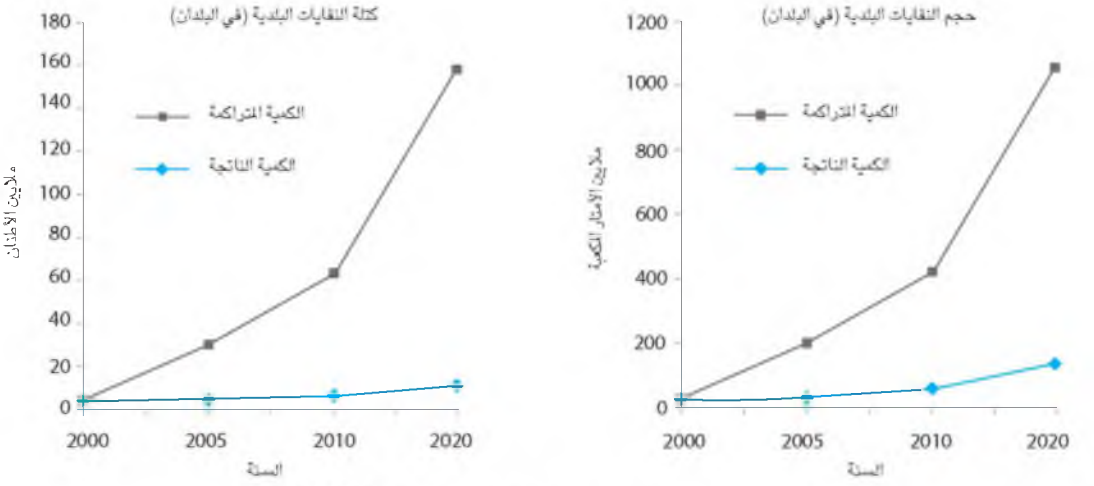


الرسمة 7.5: كمية النفايات السنوية الفرد في دول في العالم
(بحسب *World Resources 1993*)

الوضع في إسرائيل – تنتمي إسرائيل إلى مجموعة الدول المتطورة. ومستوى الحياة فيها عالٍ، وهو آخذ بالازدياد. إضافةً إلى ذلك، منذ سنة 1975، يزداد تعداد سكانها في كل سنة بنسبة معدلها 2% تقريبًا. ومع مرور السنين، أدت هذه العوامل إلى ازدياد استهلاك المُنْتَجات، وإلى ازدياد النفايات. ومنذ سنة 1975، ازداد معدل كمية النفايات بنسبة 5% في كل سنة. في سنة 2000، أنتَج كل فرد، في إسرائيل في بيته، ما يقارب الـ 1.14 كغم نفايات في اليوم، وإذا أضفنا النفايات التي أنتجها الفرد خارج البيت، فإنّ الفرد الواحد يُنْتِج في إسرائيل حوالي 2.34 كغم نفايات في اليوم الواحد.



الرسمة 7.6: *النفايات التي يُنْتِجها الفرد في السنة، في إسرائيل*
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)



الرسمة 7.7: *تنبؤ حجم وكتلة النفايات في إسرائيل حتى سنة 2020*
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)

أسئلة

1. أعطوا أمثلة تُجسد الدقيقة أن الإنسان يُنْتِج نفايات اليوم أكثر من الماضي؟
2. تمعّنوا في الرسمة 7.3: صِفوا واشرحوا معطيات الرسم التخطيطي. انتبهوا إلى السنوات التي ذُكرت فيها أحداث تاريخية مختلفة، ثم حاولوا أن تشرحوا العلاقة بين هذه الأحداث وبين المعطيات التي وردت في الرسم التخطيطي.
3. تمعّنوا في الرسمة 7.4:
   أ. صِفوا واشرحوا المعطيات التي وردت في الرسم التخطيطي.
   ب. ماذا يمكن القول بحسب هذه الرسوم التخطيطية حول استهلاك الموارد وإنتاج النفايات في الدول المتطورة والدول النامية؟
4. تمعّنوا في الرسمة 7.5: كيف تشرحون الفروق في إنتاج النفايات في المدن المختلفة في العالَم؟
5. صِفوا واشرحوا المعطيات التي تظهر في الرسم التخطيطي 7.6.
6. تمعّنوا في الرسمة 7.7.
   أ. ما هي الانعكاسات البيئية المحيطية للمعطيات المعروضة في الرسم التخطيطي؟
   ب. لماذا يوجد أهمية للمعطيات عن النفايات المتراكمة (كتلة وحجم)؟

تلخيص

تتوفر عند الإنسان المعرفة والقدرة التكنولوجية أن يستغل موارد بيئية محيطية لرخائه. ويستغل الإنسان المواد الخام التي مصدرها من البيئة المحيطة الطبيعية بواسطة التكنولوجيا، لكي يُنْتِج منها مُنْتَجات. تَنْتُج نفايات في جميع مراحل "حياة" المُنْتَج، وهذا يعني أثناء استخراج المواد الخام، إنتاج المُنْتَجات، وأثناء استعملها، وعند الانتهاء من استعمالها. تعود معظم النفايات إلى البيئة المحيطة، وقسم منها يُستغل كمواد خام لإنتاج مُنْتَجات جديدة خلال عملية المدورة (الاسترجاع). كمية النفايات الناتجة في مجتمع معين متعلق بكبر وبتعداد السكان، وبمستوى حياتهم. وكلما كان هذان المتغيِّران عاليين، فإنَّ إنتاج المُنْتَجات واستهلاكها يزداد، وتزداد معهما كمية النفايات الناتجة.

الفصل الثامن

مشكلة النفايات

كل من يسافر اتجاه تل أبيب من الشرق، فإنّه يشاهد تلة عالية، هذه التلة هي مزبلة خيرية، وقد استُعملت حتى سنوات التسعينيات ولمدة 50 سنة كموقع لنفايات منطقة دان. وخلال هذه الفترة، تكوّنت تلال نفايات كثيرة أدت في نهاية الأمر إلى تكوين تلة ضخمة يصل ارتفاعها حوالي 80 مترًا.

لكنها كانت وما زالت مزبلة خيرية مضّرة للبيئة المحيطة: وقد انبعثت منها روائح كريهة انتشرت إلى مسافات بعيدة، وكانت موطنًا للحيوانات الضارة، مثل: الذباب، البعوض والكلاب المتجولة. مياه الأمطار التي تغلغلت عبر النفايات، جمعت في طريقها مواد ملوثة من المزبلة، حيث تغلغل قسم منها إلى المياه الجوفية، وقسم منها تسرب إلى وادي آيلون الذي يمر بالقرب من المزبلة. في شتاء 1997 انهار القسم المقابل للوادي وسدَّ مجرى الوادي. وفي أعقاب ذلك، فاضت مياه الفيضانات التي تدفقت فيه وغمرت مساحات أراض بالقرب من الوادي، وقد كان هناك مضّرة خطيرة أخرى على الطيران. فقد أقيمت المزبلة بالقرب من مطار طيران الاد الذي تهبط فيه طائرات. آلاف الطيور التي وجدت غذاءها في المزبلة شكلت خطرًا حقيقيًا على الطائرات، لأن اصطدام طائرة بطير، قد يؤدي إلى تحطمها.

وقد أدى إغلاق المزبلة إلى حل قسم من هذه المشاكل التي وصفناها، لكن حتى بعد إغلاقها أيضًا، يُشكل الموقع مضّرة في المجالات المختلفة، مثل: تلوث المياه الجوفية، تلوث الهواء بغاز الميثان وتشويه المنظر الطبيعي. اذا يحتاج هذا الموقع إلى ترميم لمعالجة المضّرات التي بقيت فيه. تُعتبر قصة مزبلة "خيرية" مثالاً للمشاكل التي حدثت في أعقاب إنتاج النفايات في مجتمع متطور. سنركز في هذا الفصل على معرفة وبحث هذه المشاكل.

مزبلة خيرية

مصادر النفايات ومكوناتها

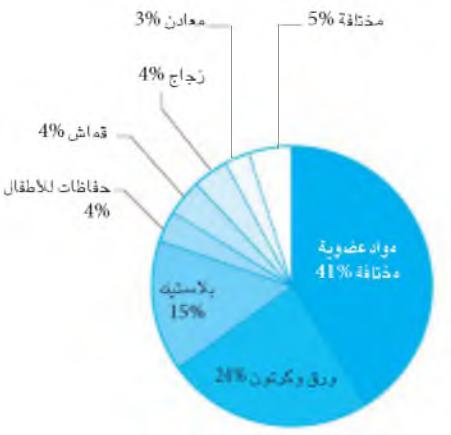
كما لاحظنا في الفصل السابق، فإنَّ النفايات تَنْتُج في كل مرحلة من مراحل "حياة" المُنْتَج وأثناء كل نشاط يقوم به بنو البشر. معظم النفايات (في البلاد 65%) معرَّفة على أنها نفايات بادية (من البادان)، لأنَّ السلطات والمؤسسات المحلية في البادان المختلفة تقوم بجمعها وبمعالجتها، وهي تشمل النفايات التي تَنْتُج في البيوت، المكاتب، المحلات التجارية، وتشمل أيضًا معظم النفايات التي تَنْتُج عن الصناعة وفي ورشات الحرف المختلفة. هناك نفايات أخرى، وهي النفايات الخاصة التي تُعالج مع معظم النفايات التي تُعالجها السلطات المحلية. وكل نوع من أنواع النفايات، يوجد له صفات ومكونات مختلفة، كما نلاحظ ذلك في الجدول 8.1.

نوع النفايات	مميزات
نفايات بلدية	
نفايات بيتية	بقايا غذاء، بلاستيك، معادن، ورق، قماش، زجاج ومُنْتَجات غير مستعملة
نفايات مكاتب	خصوصًا أوراق
نفايات تجارية	رُزَم فارغة
نفايات حرف صناعية	بقايا مواد خام مُنْتَجات مرافقة (وسطية) ومُنْتَجات ثانوية غير صالحة للاستعمال، رُزَم
نفايات أخرى	
نفايات بناء	بقايا مواد بناء من البناء الجديد، صيانة أو هدم بيوت. محتواها الأساسي: باطون، حجارة، حديد، خشب، صمغ، دهان ورُزَم
نفايات زراعية	بقايا أسمدة كيميائية، مواد لمكافحة آفات زراعية، بلاستيك، رُزَم نباتات تمَّ قصُّها من الحدائق
نفايات طبية	أدوات طبية مستعملة، مثل: محاقن، مضمدات، بقايا مواد تُستعمل في المختبرات والأجهزة الطبية ورُزَم
خردوات	هياكل معادن اسيارات وآلات قديمة غير مستعملة
حمأة مياه مجاري مطورة	مواد صلبة فُصِلَت خلال عمليات تطهير مياه المجاري
رماد فحم	بقايا احتراق فحم لإنتاج الطاقة
نفايات مناجم	بقايا مشقية بعد فصل المواد الخام من الصخور

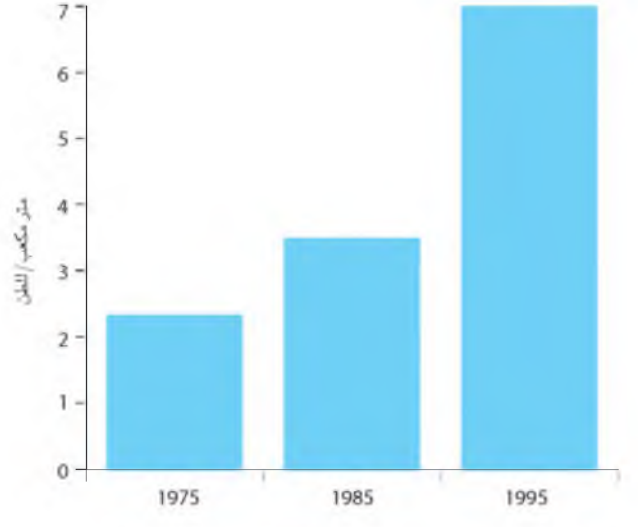
جدول 8.1: *أنواع النفايات ومميزاتها*

النفايات البيتية تُشكل نِصف النفايات البلدية، وهي تتميّز بدرجة رطوبة عالية (80% تقريبًا) بسبب كمية المواد العضوية الكثيرة الموجودة فيها. تتغيّر كمية النفايات البيتية ومكوناتها وفقًا لمستوى الحياة القائم في البيت الذي أُنتجت فيه. ومع ارتفاع مستوى الحياة، فإنَّ كتلة وحجم النفايات يرتفع ونسبة المواد العضوية فيها تنخفض.

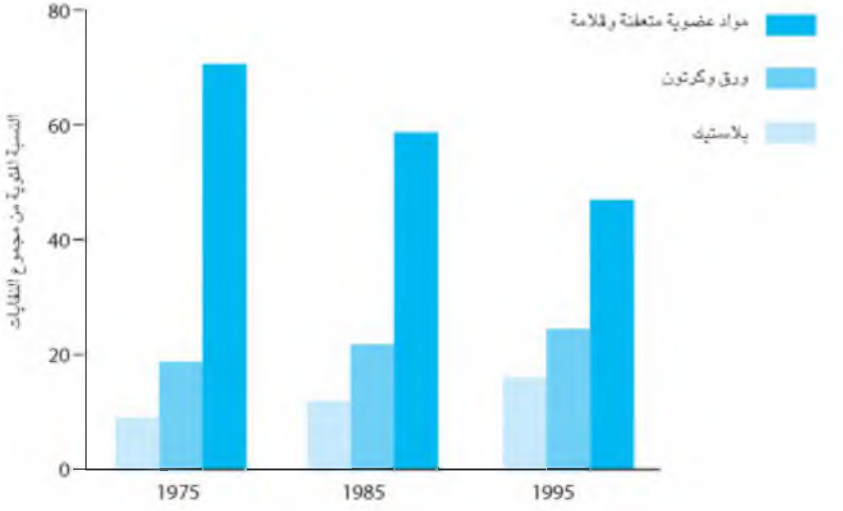
يَنْتُج الانخفاض في كمية المواد العضوية، من ارتفاع مستوى الحياة، حيث يزداد شراء مواد غذائية تمَّ تحضيرها خارج البيت، اذا تَنْتُج بقايا الغذاء في المصنع وليس في البيت. ترتفع النفايات العامة بسبب الرزم التي يُرْزَم فيها الغذاء الذي يُحضَّر خارج البيت، وعادةً يكون حجم وكتلة هذه الرزم كبيرًا مقارنة مع رُزَم المواد الغذائية التي تُحضَّر في البيت. وهذا ما يؤدي إلى ارتفاع كتلة وحجم النفايات التي تَنْتُج. ومعظم النفايات الإضافية التي تَنْتُج مع ارتفاع مستوى الحياة لا تكون نفايات عضوية.



الرسمة 8.1: مكونات النفايات البيتية في إسرائيل في سنة 1995 بحسب كتلتها
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)



الرسمة 8.2: النسبة بين حجم وكتلة النفايات في إسرائيل
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)



الرسمة 8.3: *مكونات النفايات البلدية الصلبة*
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)

تحوي أنواع نفايات كثيرة على مواد خطيرة، وهذه المواد تؤذي صحة الإنسان، أو تؤذي موارد في البيئة المحيطة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة. يوجد اليوم مواد خطيرة ومتنوعة في مُنْتَجات كثيرة، مثل: البطاريات، مُنْتَجات إلكترونية، أدوية، مصابيح، مواد لمكافحة الآفات الزراعية، دهان، صمغ وزيوت السيارات. النفايات الطبية، ونفايات صناعية، مثلاً: صناعة المواد الكيماوية تبرز بشكل خاص في قائمة المواد الخطيرة.

المُنتجات الإلكترونية – مصدر نفايات خطيرة

في كل سنة ونصف، تزداد قدرة الحواسيب في العالَم على تنفيذ عمليات سريعة. ويتم تحسين وتجديد أجهزة إلكترونية كثيرة، مثل: الجهاز الخلوي (النقال)، أجهزة التافاز وغيرها. النتيجة تكون أنَّ مؤسسات ومستهلكين كثيرين يُجدِّدون حواسيبهم ومنتجاتهم الإلكترونية الأخرى بوتيرة كبيرة، وفي نفس الوقت، يصبح تصليح هذه الأجهزة غير مُجدٍ، اذا في أعقاب ذاك تزداد النفايات الإلكترونية في العالم بوتيرة عالية.

يُقدِّر الباحثون أنَّ كمية الحواسيب التي أُلقيت – في الولايات المتحدة – في حاويات النفايات خلال 10 سنوات، بين السنوات 1997 إلى 2007، يصل إلى نصف مايارد حاسوب.

تحتوي النفايات الإلكترونية على مكونات خطيرة كثيرة، مثل: الزئبق، الكروم الزرنيخ الكادميوم، ومركبات أخرى، مثل: الكلور والبروم. إنَّ إلقاء النفايات الإلكترونية مع النفايات العادية، يؤدي إلى تفاقم المشاكل في البيئة المحيطة بمواقع طمر النفايات، وفي المنشآت التي تُحرق فيها النفايات.

نفايات إلكترونية

أسئلة

1. أ. ما هي المشاكل التي تُسببها النفايات في البيئة المحيطة؟
   ب. ما هي الطرق – برأيكم – التي من خلالها يمكن تقليل الأضرار الناجمة من إلقاء النفايات الإلكترونية؟
   ج. ما هي حسنات وسيئات كل طريقة من الطرق التي ذكرتموها؟
3. أ. قامت وزارة جودة البيئة المحيطة في النرويج بتشريع قانون جديد يُلزم مُنْتِجي ومستوردي الأجهزة الإلكترونية أن يعالجوا الأجهزة التي تُعاد إليهم بعد الاستعمال. أصبح القانون ساري المفعول في شهر يوليو من سنة 1999. ما هو رأيكم "بالقانون النرويجي"؟
   ب. لو كنتم مُنْتجين أو مستوردين نرويجيين، كيف تعالجون الأجهزة التي تُعاد إليكم بعد الاستعمال؟
4. كيف يمكن تحقيق التعاون المُشْتَرك مع الجمهور الواسع لمعالجة النفايات الإلكترونية؟

أسئلة

1. اجمعوا خلال يوم واحد أنواع النفايات الآتية: قشور فواكه وخضروات، أوراق، بلاستيك وزجاج. قيسوا كتلة كل نوع بشكل منفصل، ثم قدّروا حجم كل نوع من أنواع النفايات. ضعوا كل نوع من أنواع النفايات على ورقة ماصة للتجفيف لمدة أسبوع في مكان حار وجاف. وبعد أسبوع، قيسوا – مرةً أخرى – كتلة النفايات وقدّروا حجمها.
   أ. قارنوا بين التغيُّرا التي طرأت على كتلة وحجم أنواع النفايات المختلفة. ما الذي أدى إلى هذه التغيُّرات؟
   ب. في أي أنواع نفايات طرأ تغيُّرات كبيرة في الكتلة أو الحجم؟
   ج. قارنوا بين أضرار النفايات الرطبة وبين أضرار النفايات الجافة.
2. معلوم أنه يوجد علاقة وطيدة بين نشاط الإنسان ومستوى حياته وبين كمية ومكونات النفايات الصلبة التي يُنْتِجُها. هل – برأيكم – كل مكونات النفايات تُشير بنفس المقدار إلى مستوى الحياة؟
   إذا كانت الإجابة كلا، فما هي المكونات التي تُشير أكثر من المكونات الأخرى إلى مستوى حياة عال؟ اشرحوا.
3. ما هي الفروق التي تتوقعون مشاهدتها بين النفايات التي تَنْتُج في الدول المتطورة وبين تلك التي تَنْتُج في الدول النامية؟
4. اختاروا ثلاثة أنواع نفايات من الجدول 8.1. صِفوا تأثيرات هذه النفايات على البيئة المحيطة واقترحوا طرقًا لتقليص هذه التأثيرات.
5. ما هي الفوائد الاقتصادية التي يمكن أن تكون النفايات البيتية؟
6. إحدى الطرق المستعملة لمعالجة النفايات الناجمة عن قص النباتات، هي تقطيع أجزاء النباتات إلى قطع صغيرة جدًا (أو نشرها إلى قطع خشب).
   أ. ما هي حسنات استعمال هذه النفايات النباتية (التي تمّ تقطيعها) لتغطية التربة في الحدائق؟
   ب. ما هي سيئات نقل النفايات النباتية (التي لم يتم تقطيعها) إلى موقع تجميع النفايات؟
7. أ. تمعّنوا في الرسمة 8.1. ما هي أنواع النفايات التي تُساهم بمعظم كتلة النفايات؟
   وما هي النفايات التي تساهم بمعظم حجم النفايات؟
   ب. ما هي انعكاسات نسبة المواد العضوية في النفايات؟
8. تمعّنوا في الرسمتين 8.2–8.3. صِفوا واشرحوا التوجهات الموصوفة في الرسمتين التخطيطيتين.

عمليات تحليل نفايات

مع مرور الوقت، يتحال قسم من مكونات النفايات. المواد العضوية الطبيعية الموجودة خصوصًا في النفايات البيتية تمر بعملية تحليل بيواوجية[1]، فهي تُستغل كمواد غذائية للكائنات الحية المُحلِّلة التي تُحلِّلها خلال تنفسها من مواد عضوية إلى غير عضوية بسيطة وغير ضارة بالأساس كثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء (H_2O).

إذا توفرت ظروف لا هوائية، فإنَّ عمليات التحليل تكون بطيئة أكثر والنواتج المرافقة لعملية التنفس، هي غازات، مثل: الميثان، كبريتيد الهيدروجين والأمونيا. قسم من هذه الغازات، يوجد لها رائحة كريهة. الميثان (CH_4) الذي يُشكل معظم الغازات التي تَنْتُج أثناء العمليات اللاهوائية، هو قابل للاشتعال. مقارنةً مع المواد العضوية الطبيعية، فإنَّ المواد العضوية الاصطناعية لا تُستخدم كغذاء لمعظم المُحلِّلات، اذا هذه المواد لا تتحال تقريبًا. أحد الأمثلة على ذلك هو البلاستيك. وهو مادة اصطناعية يتم إنتاجها من النفط الخام. ويستغرق تحليل البلاستيك مئات السنوات.

المواد غير العضوية الموجودة في النفايات، تتحال بعمليات كيميائية لا أحيائية. وهكذا تتحال معادن في عملية التأكسد (الصدأ).

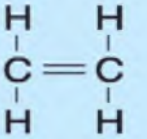
تستمر عادةً عمليات تحال المواد اللاعضوية فترة زمنية طويلة. الشرط الضروري لمعظم عمليات التحال هو وجود بيئة محيطة رطبة. وذجاعة التحال متعلقة بمكونات النفايات، فالنفايات التي تحتوي على مواد عضوية طبيعية تتحال بسهولة. التركيز العالي للمواد الخطيرة في النفايات، قد يؤذي عشائر البكتيريا المحلِّلة، وقد يعطل عمليات التحال.

الرسمة 8.4: *زمن تحال مواد مختلفة في الظروف السائدة في كومة النفايات*

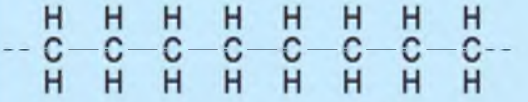
[1] تستمر مدة التحال بين عدة أسابيع إلى عدة سنوات. وذلك وفقًا لمكونات المادة والبيئة المحيطة الموجودة فيها المادة.

بلاستيك قابل للتحلل

تُلقى أكياس بلاستيك كثيرة في الأماكن العامة، وهي تقوم بتلويثها. على الرغم من أن البلاستيك مادة عضوية، إلا أنَّه يتحلل بشكل بطيء جدًا. وقد تبقى أكياس البلاستيك مدة زمنية طويلة جدًا في البيئة المحيطة. تتكون المواد البلاستيكية من جزيئات بسيطة وصغيرة، وهي تتحد معًا لتُنْتِج عشرات آلاف الجزيئات معًا (بوليمير). مثلاً: اتحاد آلاف الجزيئات لغاز الإثلين – (C_2H_4) الذي يُعتبر من النواتج المرافقة لإنتاج الوقود يُنْتِج بولي إثلين $(n(C_2H_4))$[1] . البولي إثلين، هو نوع من أنواع البلاستيك الصلب والقوي.

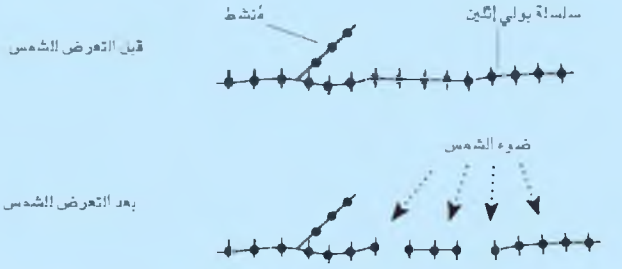


الرسمة 8.5: جزيء إثلين



الرسمة 8.6: جزيء بولي إثلين

في كيبوتس زوريع في مرج ابن عامر، قاموا بتطوير بلاستيك قابل للتحليل. تعتمد طريقة إنتاج هذه الأكياس على إضافة مادة كيميائية خاصة، بحيث لا تكون فعَّالة طالما أنَّ المُنْتَج غير متعرض لأشعة الشمس. إنَّ تعرض المُنْتَج للشمس مع وجود الأكسجين، يؤدي إلى أن تعمل المادة كمنشط يُهاجم سلاسل البولي إثلين ويؤدي إلى انفصالها، وإذا أصبحت السلاسل قصيرة، فإن البولي إثلين يفقد متانته ويتحال إلى غبار. وتصبح السلاسل الصغيرة غذاءً البكتيريا الهوائية، وهي تمر بعملية تحليل كيميائية لا أحيائية بمساعدة الأكسجين الموجود في البيئة المحيطة. والنواتج النهائية للعملية هي: بخار ماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2).



الرسمة 8.7: بلاستيك قابل للتحليل

[1] يُشير الحرف n إلى عدد المرات التي تتكرر فيها جزيئات إثلين داخل بولي إثلين.
[2] مُنشط – مادة كيماوية تقوم بتنشيط التفاعل الكيميائي دون أن تمر بتغير.

أسئلة

1. لماذا على الرغم من أن البلاستيك مادة عضوية، إلا أن عمليات تحلله بطيئة جدًا؟
2. مع أي مُنْتَجات – برأيكم – يمكن استعمال بلاستيك قابل للتحلل؟ ومع أي منها لا يمكن استعماله؟
3. اشرحوا، كيف يمكن أن يكون البلاستيك القابل للتحلل مادة غذائية للبكتيريا؟

أسئلة

1. صنفوا واشرحوا ما يحدث للمُنْتَجات الآتية بعد التوقف عن استعمالها وإلقائها إلى كومة نفايات:
   أ. قميص مصنوع من قطن.
   ب. هيكل سيارة.
   ج. قشرة برتقال.
   د. قنينة بلاستيك فارغة.
   هـ. جريدة.
2. رَتِّبوا المُنْتَجات التي تظهر في سؤال 1 بحسب زمن تَحَلُّلها من السريع جدًا إلى البطيء جدًا.
3. هل يمكن تقصير زمن تحلل المُنْتَجات؟ إذا كانت الإجابة نعم، فكيف؟

النفايات كمضرة

النفايات مضرة وتشوش على جمال المناظر المختلفة. تنطلق روائح نتنة من أكوام النفايات، وهي وسط جيد لنمو بكتيريا تُسبب أمراضًا. لذا نُبعد النفايات من المكان الذي تَنْتُج فيه.

حتى منتصف القرن العشرين، طريقة العلاج المقبولة في معظم النفايات، كانت إبعاد النفايات إلى المزابل التي أقيمت على أطراف المدينة. وإم يعملوا أكثر من ذلك لمعالجة النفايات. ونتيجةً لذلك، أد **المزابل** إلى مضَّرات كثيرة. وما زالت هذه الطريقة مُستعملة لإبعاد النفايات في معظم دول العالَم. في الدول المتطورة، ومن بينها إسرائيل، يتم استعمال وسائل وطرق معالجة إضافية، كما سنتعلم عن ذلك في الفصل القادم.

مضرات في المزابل

إلحاق أضرار في مصادر المياه – كما ذكرنا، فإنَّ النفايات البيتية تحتوي على نسبة عالية من المياه، وعندما تسقط أمطار على النفايات، تضاف كمية أخرى من الماء إلى كوم الزبل. ويقوم الماء بإذابة ونقل مواد مختلفة موجودة في النفايات. المياه التي تتلوث بهذه الطريقة نسمِّيها **عصارة**، وهي إحدى المشاكل الصعبة الموجودة في مواقع تجميع النفايات. وهذه المياه غنية بمواد عضوية (وهي ذات استهلاك أكسجين بيولوجي عالٍ) وقيمة الـ pH فيها منخفضة. والـ pH المنخفض يؤدي إلى إذابة معادن ثقيلة، مثل: الحديد، الزئبق، الرصاص والخارصين. كما أن هذه المياه تحتوي على مواد كيميائية مختلفة، مثل: دِهان، مواد تنظيف وحبر. تتغلغل هذه المياه الملوثة عبر النفايات وتؤدي إلى تلوث المياه الجوفية. وخلال فترة الأمطار، يتدفق قسم من المياه الملوثة مع مياه الأمطار إلى قنوات الجدوال التي تقع بالقرب من موقع النفايات. إنَّ مدى تأثير هذه المياه الملوثة على البيئة المحيطة متعلق بالظروف المناخية والجيولوجية. في المناخ الماطر تكون كمية المياه الملوثة كبيرة. الصخور في منطقة موقع النفايات هي المكون الأساسي الذي يُحدد مدى الخطورة على المياه الجوفية، وفوق الأكفيفر (مجمع المياه) الحر[1] يكون تلوث المياه الجوفية عاليًا.

موقع نفايات غير مُنظَّم

[1] انظروا إلى الأكفيفر الحر في صفحة 45.

انبعاث غازات، خطورة الحريق والانفجار – نتيجةً لعملية تنفس مُحلِّلات لا هوائية تتغذى على النفايات، في ظروف نقص في الأكسجين، تنطلق غازات مختلفة [1] (بيوغاز). وينطلق بالأساس ميثان وثاني أكسيد الكربون بنسب حجم متساوية. الميثان هو غاز قابل للاشتعال، وقد يؤدي في ظروف معينة إلى انفجار. إضافةً إلى ذلك، هو غاز دفيئة، وتأثير جزيء واحد منه على ازدياد ظاهرة الدفيئة أكبر من تأثير جزيء ثاني أكسيد الكربون. وفي الفحص الذي أجرته وزارة جودة البيئة المحيطة، اتضح أن مواقع النفايات في إسرائيل، تساهم حوالي 13% من انبعاث غازات الدفيئة في إسرائيل. الغازات الأخرى التي تَنْتُج خلال عمليات التحلل اللاهوائية، مثل: الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين، تؤدي إلى روائح نتنة.

قد تشتعل أكوام النفايات بشكل فجائي نتيجةً لانبعاث طاقة حرارية أثناء التحلل، أو نتيجةً لتركيز أشعة الشمس بواسطة بقايا زجاج موجودة في النفايات.

في حالة احتراق كوم النفايات، يشتعل غاز الميثان (الذي يعتبر ناتج تحلل النفايات) ومواد أخرى قابلة للاشتعال موجودة فيه. تُعاني البلدان المجاورة لموقع النفايات من تلوث الهواء الناجم عن الدخان والغازات المنبعثة.

انتشار أمراض بواسطة حيوانات – مواقع النفايات هي مواطن (بيوت تنمية) لنمو بكتيريا تُسبب أمراضًا، ولطفيليات أخرى. المواد الغذائية الموجودة في النفايات، تجذب إليها حيوانات ضارة، مثل: الذباب، البعوض، القوارض، ابن آوى وكلاب متجولة. وهذه الحيوانات تؤدي إلى انتشار الأمراض. والطيور التي تزور مواقع النفايات، قد تنقل بكتيريا تُسبب أمراضًا. إضافة إلى ذلك، في الأماكن التي يوجد فيها موقع نفايات بالقرب من مطار طيران، قد تصطدم الطيور بالطائرات التي تمر في المكان، مما قد تؤدي إلى حادث جوي خطير يؤدي في نهاية الأمر إلى تحطم الطائرة.

يتضرر المنظر وقيمة الأرض – مواقع تجميع النفايات، هي مضَرة المنظر. الأضرار الناجمة عن موقع النفايات تؤدي إلى انخفاض قيمة الأرض في منطقة كبير تقع حول النفايات. حتى لو أُغلق موقع النفايات وتوقف فيه العمل فإنَّ المضَرات المختلفة قد تستمر فيه عشرات السنين. إنّ عمليات ترميم الموقع باهظة جدًا، وفي حالة ترميمه أيضًا، فإن الاستعمالات الممكنة للأرض تكون محدودة. وهذه مشكلة كبيرة جدًا في إسرائيل بشكل خاص، لأن مورد الأرض فيها قليل جدًا.

مضَرات نابعة من إلقاء النفايات في الأماكن العامة

تُلقى نفايات كثيرة في الأماكن العامة، وهي لا تصل مواقع تجميع النفايات. فعلى جوانب الطرق، وعلى شواطئ البحار، وفي مواقع طبيعية تتراكم مع مرور السنين المواد الآتية: عُلب مشروب، رُزم بلاستيك، أكياس، أوراق وغير ذلك.

[1] للمزيد عن نشاط المحلِّلات اللاهوائية، انظروا إلى الفصل الذي يبحث تطهير مياه المجاري في صفحة 87.

جميع هذه النفايات تؤدي إلى مضرة في جمال البيئة المحيطة. وقد تصاب أحيانًا الحيوانات من هذه النفايات، مثلاً: تنجرف الأكياس التي تُلقى على الشواطئ إلى البحر، وقد تحاول الكائنات الحية التي تعيش في الماء أن تبتلعها، مما يؤدي إلى اختناقها وموتها.

تأكل الوعول أكياس نفايات، اذا تعاني فيما بعد من انسداد في الأمعاء، وهذا الانسداد يهدد حياتها بالخطر.

أسئلة

1. اختاروا عدة مضرات تُنْتِج نفايات، ثم سجِّلوه – في دفاتركم – في الجدول الآتي:

مضرات تُنتج نفايات وطرق معالجتها	
المضرة	طريقة العلاج الممكنة

2. كيف يمكن – برأيكم – أن نُقلِّل من خطر اشتعال النيران في أكوام النفايات؟
3. لماذا يكون استعمال الأراضي محدودًا في مواقع النفايات وفي الأراضي القريبة منها؟
4. جدوا في منطقة سكنكم مضرات بسبب إلقاء النفايات في الأماكن العامة.
   اكتبوا عن كل مضرة ما يلي:
   أ. وصف المضرة.
   ب. كيف كان يمكن أن نمنع حدوث المضرة؟
   ج. كيف – برأيكم – يجب أن نعالج هذه المضرة الآن؟
5. هناك من يطالب أن تُعالج الحيوانات المتجولة في مواقع النفايات من خلال وضع السُم لها.
   ما هو رأيكم في هذا الأمر؟ ما هي فوائد وأضرار تطبيق هذه الفكرة؟

تلخيص

تنتج النفايات خلال كل نشاط بشري. معظم النفايات معرَّفة على أنها نفايات بلدية (بلدان)، وتتم معالجتها من خلال المعالجة العادية التي تعتمد على جمع النفايات التي تقوم بها السلطات المحلية. أما أنواع النفايات الأخرى، فهي خاصة وتشمل نفايات بناء، نفايات زراعية، نفايات طبية وغير ذلك. وأنواع كثيرة من النفايات تحتوي على مواد خطيرة للإنسان والكائنات الحية الأخرى التي تعيش في البيئة المحيطة.

المواد العضوية الطبيعية الموجودة في النفايات، تمر بعملية تحليل بيولوجية تقوم بها مُحلِّلات. أما معظم المواد العضوية الاصطناعية، فهي لا تتحلل من خلال عملية بيولوجية أو أنها تتحلل بعملية بطيئة جدًا. وتمر المواد غير العضوية بعمليات تحليل كيميائية. وهذه العمليات تكون طويلة في معظم الحالات.

حتى منتصف القرن العشرين، كانت طريقة المعالجة المقبولة في معظم دول العالَم، هو إبعاد النفايات إلى مواقع النفايات التي أُقيمت في أطراف المُدن. تؤدي مواقع النفايات المختلفة إلى مضرات بيئية محيطية مختلفة، مثل: تلوث مصادر المياه، انبعاث غازات الدفيئة، إنتاج غازات قابلة للاشتعال ويمكن أن تحدث انفجارات تشوه المنظر الطبيعي وتقلل من قيمة الأرض وتخلق موطنًا (بيت تنمية) الحيوانات الضارة.

الفصل التاسع

مواجهة مشكلة النفايات

في سنة 1993، عقدت لجنة وزارات تنسيقًا وأدارة نقاش حول موضوع معالجة النفايات الصلبة في إسرائيل. وقد اتُخذ القرار الآتي: إنَّ حل مشكلة النفايات هو دمج بين التكنولوجيا الآتية: تقليل مصادر النفايات، استعمال متكرر، إنتاج الطاقة من النفايات وطمرها". هذه السياسة مُتبعة اليوم في دول متطورة، ومنذ سنوات التسعينيات بدأت إسرائيل في تطبيقها أيضًا. سنتعرف في هذا الفصل على التكنولوجيا التي ذُكرت في قرار الحكومة وسنفحص الاعتبارات في تحديد سياسة معالجة النفايات، وسنتعرف على الطرق التي تساعد في تطبيق هذه السياسة.

وسائل لمعالجة النفايات

تقليل مصدر النفايات

إنَّ الطريقة الفُضلى لمواجهة مشكلة النفايات ومشكلة الموارد المتناقصة، هي الإنتاج القليل للنفايات منذ البداية. يمكن تحقيق هذا الهدف من خلال تغيير عمليات إنتاج المُنْتَجات، ومن خلال تغيير عادات الاستهلاك. فعلى سبيل المثال: تُنْتَج اليوم عُلب مشروب خفيفة تحتوي على كميات الومينيوم أقل مما كان في الماضي. هناك طريقة أخرى لتقليل كمية النفايات التي تَنْتُج، وهي إنتاج مُنْتَجات ذوات مدة حياة طويلة.

مثلاً: يُنْتِجون اليوم حفاظا أطفال تحتوي على جل يمتص السوائل، وهذا يُتيح استعمال الحفاظات مدة زمنية طويلة.

إنَّ تقليل إنتاج النفايات متعلق بشكل كبير جدًا في عادات استهلاك الجمهور. كل واحد منا يستطيع أن يُقلص كمية النفايا التي يُنْتِجها، ويستفيد أحيانًا اقتصاديًا من هذا التوفير. يجب علينا أن نعي، أن ثقافة الاستهلاك في معظم الدول المتطورة تُشجع كل الوقت على اقتناء مُنْتَجات جديدة. الاستهلاك الحكيم الذي من خلاله نفحص احتياجاتنا قبل اقتناء مُنْتَجات، يمكن أن يوفر علينا تكاليف زائدة، وأن يوفر من تكدس نفايات زائدة في البيئة المحيطة.

ويمكن أن نقلل من إنتاج النفايات إذا امتنعنا عن شراء أغراض زائدة، وامتنعنا عن إلقاء مُنتجات قديمة إلى النفايات، وإذا قمنا بتصليح مُنْتَجات بدلاً من إلقائها في النفايات.

عندما نشتري أغراضًا، فمن الأفضل أن نشتري رُزمًا كبيرة، لأنها تُنْتِج كميات قليلة من النفايات، وتوفِّر علينا في سعر شرائها. إنَّ الامتناع عن استعمال أدوات وأكياس تُستعمل لمرة واحدة، يؤدي إلى تقليص كميات النفايات التي نُنْتِجُها.

استعمال متكرر للمُنْتَجا

الاستعمال المتكرر معناه أن نجمع المُنْتَجات بعد الانتهاء من استعمالها، ونقوم باستخدامها مرةً أخرى لنفس الغرض والهدف. المثال الشائع لذلك، هو الاستعمال المتكرر الرُزْم.

يمكن إعادة قناني مشروبات خفيفة مصنوعة من زجاج إلى الدكان والحصول على النقود التي دُفعت أثناء الشراء مقابل القنينة الفارغة. تُعاد القناني الفارغة إلى المصنع، ويتم تنظيفها وإعادة تعبئتها من جديد. وهناك استعمال متكرر – على نطاق واسع – الصناديق التي تُسوق فيها مُنْتَجات غذائية، والوحات الخشبية التي تُستعمل لنقل المُنْتَجات. طريقة أخرى، هي الاستعمال المتكرر الرزم، وهذا يعني استعمال نفس الرزمة مرات كثيرة لغرض التعبئة. يمكن اليوم شراء مُنْتَجات، مثل: مساحيق غسيل ومواد تنظيف برزم خفيفة، وبعد ذلك نقوم – في البيت – بتفريغ محتواها داخل وعاء بلاستيك قاس.

إمكانية أخرى لاستعمال متكرر، هي تجديد مُنْتَجات قديمة ومتآكلة، مثل: تجديد عجلات الشاحنات والحافلات وقِطَع غيار أخرى للسيارات.

لكي يكون الاستعمال المتكرر للمُنْتَج مُجديًا، يجب أن تكون جودة المُنْتَج جيدة عند الاستعمال، ويجب أن تكون تكلفة عملية التجديد مساوية لتكلفة المُنْتَج الجديد أو أقل منها. إضافةً إلى ذلك، يجب فحص مُجمل التأثيرات البيئية المحيطية التي تحدث بسبب الاستعمال المتكرر للمُنْتَج ومقارنتها مع إلقاء المُنْتَج في النفايات. مثلاً: إذا قارنا بين الاستعمال المتكرر القناني الزجاجية وبين إلقائها في النفايات وطمرها، فإننا نلاحظ أنه عند الاستعمال المتكرر القناني الزجاجية، يحدث تلوث الهواء بسبب نقل القناني إلى المصنع، وتتلوث المياه أثناء تنظيف القناني.

وإلقاء القناني في النفايات ونقلها وطمرها، يؤدي أيضًا إلى تلوث الهواء أثناء نقلها، وإلى تبذير موارد الطاقة التي بُذلت أثناء إنتاج الزجاج وغير ذلك.

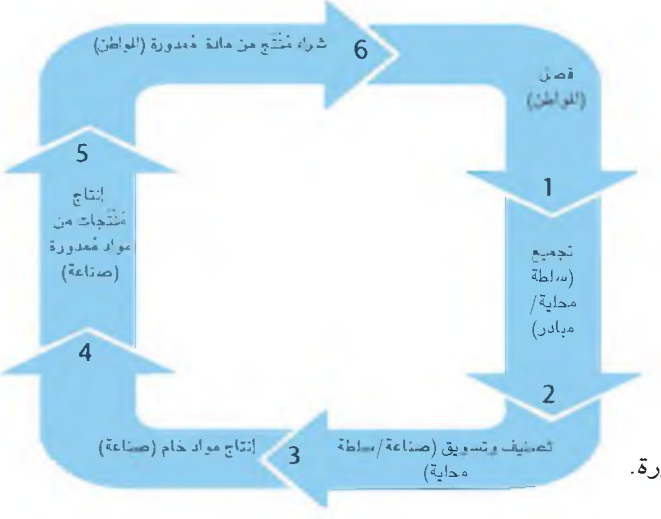
مدورة (استرجاع)

المدورة هي عملية نفصل فيها بين مواد معينة وبين النفايات، ونستعمل هذه المواد مرة أخرى كمواد خام لإنتاج مُنْتَجا جديدة. وبهذه الطريقة نُقلِّل كمية النفايات ونُقلِّل من استغلال الموارد. في قسم من عمليات المدورة نُنْتِج من جديد المُنْتَج الأصلي، مثلاً: إنتاج ورق من نفايات ورقية. وفي حالات أخرى، نُنْتِج مُنْتَجات أخرى، مثلاً: إنتاج سلة الفواكه من قناني مشروب خفيف. يُعتبر مجال إنتاج السيارا اليوم، من الأمثلة البارزة بشكل خاص لمساهمة المدورة في تقليل كمية النفايات.

إذا تمعّنا في الرسمة 7.2، في صفحة 230، فإننا نلاحظ أن 92% من النفايات التي تَنْتُج أثناء "حياة" السيارة مصدرها من عمليات استخراج المواد الخام التي تكوّنها وخصوصًا المعادن. إنَّ إنتاج هياكل سيارات من معادن ممدورة، يوفِّر موارد كثيرة ويُقلِّل من إنتاج النفايات. مثال آخر، هو مدورة الورق التي تُقلِّل من استعمال مورد الأشجار.

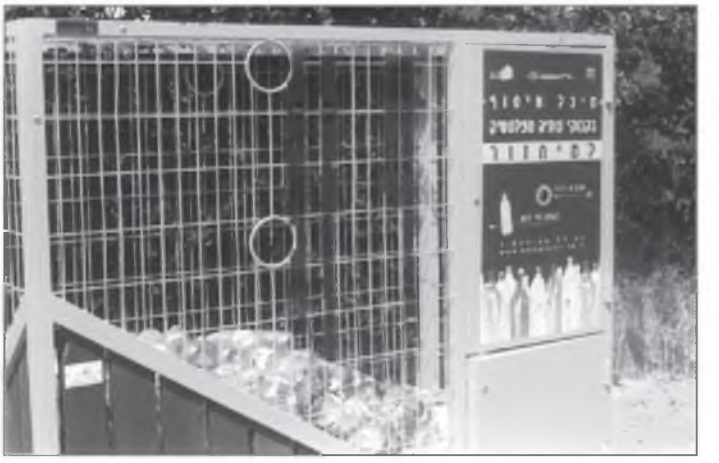
تشمل عملية المدورة عدة مراحل:

1. فصل المادة التي نستعملها المدورة من مُجمل النفايات التي نَتجت.
2. تجميع المادة التي تمَّ فصلها ونقلها إلى المصنع المناسب.
3. تصنيف المواد.
4. معالجة المادة وتحويلها إلى مادة خام لإنتاج المُنْتَج من جديد.
5. إنتاج مُنْتَج من جديد من المواد الممدورة.



الرسمة 9.1: دورة المدورة.

يمكن أن تتم عملية المدورة بنجاعة إذا تحققت جميع المراحل التي ذُكرت، وإذا كانت هناك جدوى اقتصادية وبيئية محيطية لتنفيذ **دورة المدورة** التي ظهرت في الرسمة 9.1.
إذا لم تتم إحدى المراحل، فإن يكون هناك جدوى من المراحل السابقة، مثلاً: إذا فصلنا المواد المُعدَّة المدورة عن النفايات، ولا توجد جدوى اقتصادية لإنتاج مُنْتَج جديد منها، فإن قسمًا من دائرة المدورة يتحقق، وقد يحدث تبذير موارد (مالية وبيئية – محيطية) بدلاً من توفير في الموارد.



حاوية نفايات لتجميع قناني المدورة

هناك عدة طرق مختلفة لفصل المواد المدورة عن النفايات البيتية. سنذكر قسمًا منها:
تصنيف النفايات في منشآت تصنيف خاصة – تُنقل النفايات إلى مُنشآت تصنيف خاصة، حيث يتم فيها الفصل بين مكونات النفايات المختلفة. تُرفع النفايات من خلال شريط مُتحرك وتمر عبر شبكة من خلالها تتساقط المكونات الصغيرة والرطبة النفايات. هذه المكونات هي بالأساس المواد العضوية لبقايا الغذاء. ومن هذه المواد العضوية يتم تحضير الكومبوست. أما باقي مكونات النفايات المسمّاة "جافة"، فهي تستمر في الحركة فوق الشريط المُتحرك، ويتم الفصل بينها بطريقة يدوية بين مجموعات المواد المُعَدة المدورة، مثل: الكرتون، الورق، الزجاج، البلاستيك والمعادن.
مراكز مدورة في الأحياء – يقوم المواطن في بيته بفصل مكونات نفايات مختلفة ذوات جدوى اقتصادية المدورة (ورق، زجاج، قناني بلاستيك، عُلب مشروب من الومينيوم وغير ذلك).
وبعد ذلك يضع هذه المكونات في حاويات نفايات تجميع خاصة موجودة بالقرب من مكان سكنه. أما باقي النفايات فإنَّه يلقيها في حاويات نفايات عادية.
الفصل منذ البداية بين النفايات الرطبة والنفايات الجافة – يقوم المواطن في بيته بالفصل بين النفايات الرطبة (النفايات العضوية) والجافة.

وهو يُلقي أنواع النفايات في حاويات نفايات منفصلة. تُنقل النفايات العضوية لإنتاج الكومبوست، والنفايات الجافة تُنقل إلى مراكز تصنيف يقومون فيها بالفصل بين المواد المُعدَّة المدورة.

فصل المادة العضوية وإنتاج الكومبوست في ساحة البيت – يقوم المواطن بنقل المادة العضوية من مُجمل النفايات، وينقلها إلى جهاز خاص – موجود في بيته – لإنتاج الكومبوست.

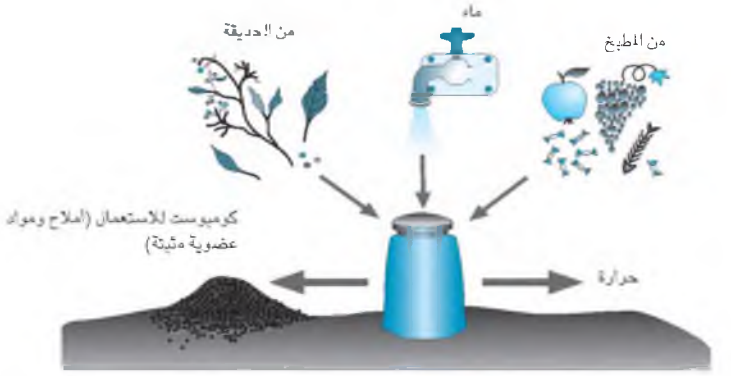
التربية والترشيد – إنَّ نجاح المدورة متعلق إلى حدٍّ كبير جدًا بالتعاون بين المواطنين. اذا يوجد أهمية كبيرة جدًا لنشاطات التربية والترشيد التي من خلالها يتعرف المواطن على أهمية الموضوع.

الكومبوست – من النفايات إلى الأسمدة

الكومبوست هو سماد عضوي، يتم إنتاجه من النفايات بواسطة كائنات حية دقيقة (بالأساس المُحلِّلات) في عملية هوائية. كمادة خام للعملية، يمكن استعمال بقايا نباتات، بقايا حيوانات وإفرازات حيوانات. وهكذا يمكن إنتاج كومبوست من مكونات عضوية موجودة في نفايات بيتيه، نفايات زراعية، مثل: زبل البهائم، الحمأة التي تبقى في نهاية عملية تطهير مياه المجاري (انظروا صفحة 92).

يتم إنتاج الكومبوست بالطريقة الآتية: نجمع مواد النفايات، ونخلطها مع نبات مقصوصة، أو مع أوراق نباتات تساقطت من الأشجار، أو مع عشب أخضر مقصوص، أو مع رماد من موقد نار. نضع المخلوط في أكوام في مكان مفتوح أو داخل أوعية خاصة أُعدَّت لهذا الأمر.

تستمر عملية تحويل النفايات إلى سماد عدة أشهر، اذا يجب الاهتمام أن يكون المخلوط رطبًا وفيه تهوية كل الوقت.



الرسمة 9.2: إنتاج كومبوست من نفايات بيتية

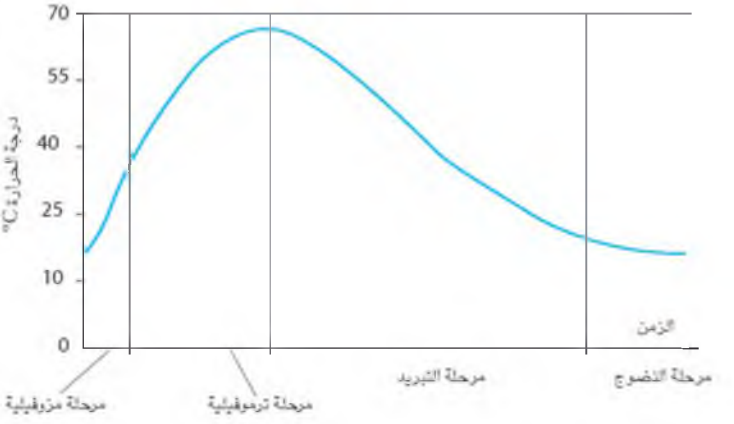
العماية الايبواوجية (عملية إنتاج الكومبوست) – المادة العضوية التي تُنْتَج منها الكومبوست، هي موطن (بيت تنمية) تسوده ظروف مناسبة بشكل خاص لنشاط مكثف لمُحلِّلات (بكتيريا وفطريات). وهذه المُحلِّلات موجودة بشكل طبيعي في النفايات وفي التربة التي نضع فوقها الكومة. تستغل المُحلِّلات المادة العضوية كغذاء، ومن خلاله تقوم ببناء أجسامها وتستخلص الطاقة المطلوبة لبقائها. يغيِّر نشاط المُحلِّلات مع الوقت مكونات المواد والشروط السائدة في الكومة، وفي أعقاب ذلك، تتغيَّر أيضًا مكونات عشيرة المُحلِّلات. نلاحظ خلال عملية إنتاج الكومبوست أربع مراحل:

1. **مرحلة مزوفيلية (درجة الحرارة في الكومة $40^{\circ}C$)** – هذه مرحلة ابتدائية تستمر عدة أيام. تسود كومة الكومبوست ظروف تتكاثر فيها المُحلِّلات الموجودة في الكومة بشكل كبير جدًا. وأثناء نشاطها، يتحول قسم من الطاقة التي تُنْتِجها من النفايات إلى حرارة. وبما أن عشيرة البكتيريا تكبر بشكل كبير جدًا، فإنَّ درجة حرارة الكومة ترتفع.
2. **مرحلة ترموفيلية (درجة الحرارة في الكومة أعلى من $40^{\circ}C$)** – تتغيَّر الظروف في الكومة، في أعقاب ارتفاع درجة الحرارة. المُحلِّلا التي بدأت العماية ليست مناسبة لدرجة الحرارة العالية، وتحتلُّ مكانها مُحلِّلات ترموفيلية أخرى مناسبة لهذه الحرارة (ترموفيلي = محبة الحرارة، ترمو: حرارة، فيلي = يُحب)، وهي البكتيريا بالأساس، لأن الفطريات غير فعَّالة في درجات حرارة عالية. في هذه المرحلة التي تستمر عدة أسابيع، تتحلل معظم المواد العضوية التي من السهل تحليلها، مثل: معظم السكريات، الدهنيات والبروتينات. إضافةً إلى ذلك، تتم إبادة معظم البكتيريا المسببة الأمراض عند الإنسان والنباتات بسبب الحرارة. ويؤدي نشاط البكتيريا المتزايد إلى استمرار ارتفاع درجة الحرارة التي تصل إلى أعلى من $60^{\circ}C$.
عندما تقل كمية المادة التي من السهل تَحَلُّلُها، يبدأ تعداد عشيرة البكتيريا بالانخفاض، وتبدأ درجة الحرارة أيضًا في الانخفاض.
3. **مرحلة التبريد (تنخفض درجة الحرارة في الكومة)** – مع انخفاض درجة الحرارة، يبدأ نشاط الكائنات الحية الموجودة في الكومة، والمناسبة لدرجات حرارة عادية، والتي تتغذى على مواد عضوية من الصعب تحليلها كالسيلواوز[1]. تستمر هذه المرحلة عدة أسابيع.
4. **مرحلة النضوج (درجة حرارة الكومة مماثلة لدرجة حرارة البيئة المحيطة)** – في هذه المرحلة، تستمر البكتيريا والفطريات بنشاطها، وإلى جانبها تتكاثر كائنات حية أكثر تطورًا منها، مثل: الدود والخنافس التي تكوِّن شبكة غذائية معقدة. وتتم في الكومة تفاعلات كيميائية أيضًا، وخلال هذه التفاعلات، تتحول المركّبات التي نَتَجت إلى مركّبات أخرى ذات ثبات أكبر. تستمر هذه العماية عدة أشهر.

---

[1] السيلواوز – متعدد السكريات، وهو المكون الأساسي الذي يبني جدران خلايا النباتات. في النفايات البيتية، يوجد سيلواوز كثير في قشر الخضروات والفواكه.

الكومبوست الذي يتم تحضيره بالشكل الصحيح، يحتوي على مركّبات متنوعة، مثل: مركّبات النيتروجين، الفوسفور والبوتاسيوم الضرورية النباتات. إضافةً إلى ذلك، يوجد في الكومبوست عشائر من الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بتثبيط تطور الكائنات الحية الضارة. ومبناه الفيزيائي يُتيح تهوية جيدة التربة، وتغلغل جيد للمياه، كما أن المياه تبقى مدة طويلة في التربة.



الرسمة 9.3: تغيُّر درجة الحرارة أثناء إنتاج الكومبوست

الشروط الضرورية لعملية إنتاج الكومبوست بشكل جيد – اكي تتم عملية إنتاج الكومبوست بنجاح، يجب أن تتوفر عدة شروط. سنذكر أهمّها.

نسبة النيتروجين/ الكربون – تتعلق وتيرة إنتاج الكومبوست بالنسبة القائمة بين عدد ذرات النيتروجين (N) وعدد ذرات الكربون (C). المادة النباتية الخضراء غنية بالنيتروجين، والمادة النباتية الجافة غنية بالكربون. عندما يكون هناك فائضٌ بالكربون يَنْتُج نقص في النيتروجين وتصبح العملية بطيئة. أما فائض النيتروجين، فإنّه يُنشِّط العملية بشكل كبير جدًا وترتفع درجة الحرارة كثيرًا لدرجة أن الكومة تشتعل. وفي هذه الحالة، تَنْتُج أمونيا تؤدي إلى رائحة نتنة.

الرطوبة – كمية الماء المطلوبة من كتلة المادة هي 30% –40%.

إذا كانت الكومة جافة جدًا، فإنَّ المُحلِّلات ينقصها ماء، ولا تتكاثر، ولا تسخن الكومة.

أما فائض الرطوبة، فإنّه يُنْتِج في الكومة ظروفًا لا هوائية، ونواتج التحليل اللاهوائي تؤدي إلى انبعاث روائح نتنة، وتتباطأ عملية التحليل.

التهوية – اكي نمنع تطور ظروف لا هوائية، يجب أن نبني الكومة بطريقة تسمح للهواء أن يتغلغل إلى داخلها، ومن حين إلى آخر يجب خلطها من جديد.

طريقة تحضير الكومبوست في ساحة البيت

- اختاروا وعاءً من بلاستيك، ثم اثقبوا فيه عدة ثقوب وخاصة في الجزء السفلي الذي يُوضع على التربة، أو سيجوا في الحديقة منطقة صغيرة بمساعدة حجارة أو عصي وشبكة.
- ضعوا في الطبقة الأولى مواد جافة وخشنة (أجزاء نباتات مقصوصة، قش)، لكي يكون هناك تصريف وتهوية جيدة.
- ضعوا – فوق الطبقة الأولى – طبقات من بقايا المواد العضوية من المطبخ، وطبقات مواد جافة من الحديقة، بحيث تكون هذه الطبقات بالتوالي، وسُمك كل طبقة 10 سم.
- لا تضعوا في الكومة بقايا لحوم، دهنيات أو عظام. لأن هذه المواد تجذب قوارض، وقد تؤدي إلى إنتاج رائح نتنة.
- غطوا الكومة بغطاء يوجد فيه ثقوب تهوية. من حين إلى آخر، رشوا ماءً على الكومة، ثم اخلطوها بمساعدة معول أو مذراة وإذا بدأت تنبعث رائحة نتنة من الكومة، اتركوا الكومبوست لعدة أيام لكي يجف، ثم قوموا بتهويته.

بعد عدة أشهر، ستجدون أن البقايا التي وضعتموها تحوَّلت إلى تربة بُنية غنية. انقلوا التربة الجديدة إلى الأصص أو الحديقة. بالنجاح!

حاوية لتحضير الكومبوست

أسئلة

1. إنَّ تقليل النفايات منذ البداية، يتم من خلال تغيير عمليات الإنتاج، أو من خلال تغيير عادات الاستهلاك. اشرحوا – من خلال أمثلة – الصعوبات التي قد تنجم عند تنفيذ نشاطات لتقليل النفايات.
2. اختاروا مُنْتَجًا يمكن شراؤه برزمة كبيرة أو رزمة صغيرة.
   أ. احسبوا – لكل رزمة – النسبة بين كتلة المُنْتَج وحجم الرزمة.
   ب. اشرحوا بحسب النتائج الحسابية، أيُّهما أفضل من ناحية إنتاج النفايات؟ وأيُّهما أفضل شراؤها من ناحية الاقتصادية؟
3. أ. اختاروا مادة قابلة للمدورة، ثم خطِّطوا جهازًا مناسبًا لفصل وتجميع النفايات، بحيث يكون مناسبًا للحي الذي تعيشون فيه.
   ب. ما هي نشاطات التربية والترشيد – برأيكم – التي يجب تنفيذها، لكي يتحقق التعاون بين المواطنين بشأن طريقة المدورة التي اقترحتموها في بند أ؟
   ج. هل يجب – برأيكم – بناء جهاز تجميع وفصل خاص للمادة في منطقتكم، بحيث يختلف عن مناطق أخرى تختلف بطابعها عن منطقتكم؟
4. اختاروا مادة يمكن مدورتها، اعتمدوا على المراحل الموصوفة في الرسمة 9.1 ، ثم سجِّلوا النشاطات التي يجب تنفيذها للمدورة.
5. أعطوا مثالاً لمادة يمكن مدورتها من ناحية تكنولوجية، لكن لا توجد جدوى اقتصادية، أو أي جدوى أخرى لمدورتها.
6. لماذا تتغيَّر درجة الحرارة أثناء عملية إنتاج الكومبوست؟
7. لماذا تقل كتلة وحجم مخلوط المادة العضوية التي تحوَّلت إلى كومبوست؟
8. لماذا من الأفضل إضافة أجزاء نباتات مقصوصة إلى الكومبوست، وليس غصون وفروع نباتات كاملة؟ لماذا يمكن أن تكون نشارة الخشب أحد المواد الخام لتحضير الكومبوست؟
9. تعرض الرسمة 9.2 المواد الخام ونواتج عملية إنتاج الكومبوست. اشرحوا وظيفة كل مادة من المواد الخام، واشرحوا، كيف يُنْتَج كل واحد من النواتج؟
10. اقرأوا تعليمات تحضير إنتاج الكومبوست، ثم اشرحوا السبب لكل واحدة من التعليمات.

المطمر

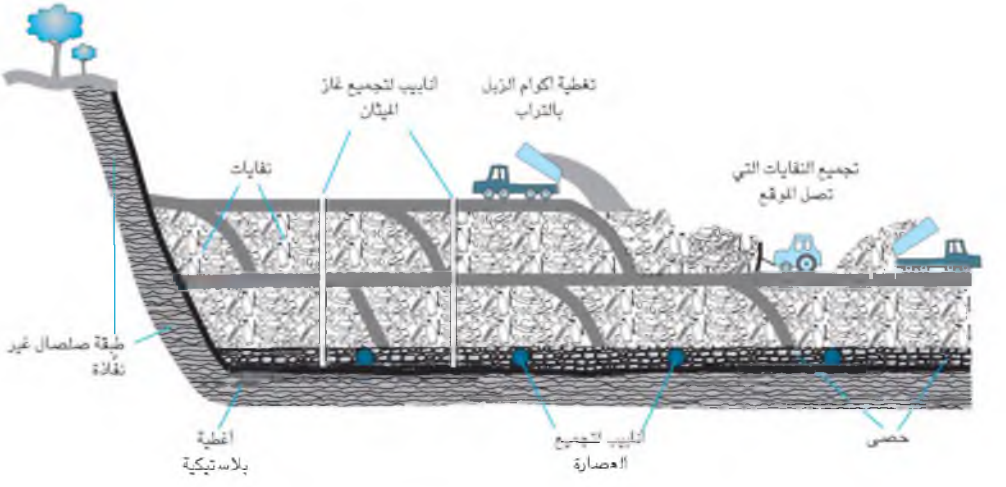
إنَّ نقل النفايات إلى المواقع التي أُعدَّت لإبعاد النفايات، هي الطريقة المقبولة والشائعة لمعالجة النفايات. في بداية الفصل، وصفنا المضرات التي يمكن أن تحدث في المزابل وبيئتها المحيطة. يمكن تقليص هذه المضرات بشكل ملحوظ من خلال تنفيذ نشاطات مختلفة. إحدى الطرق المقبولة، هي دفن النفايات. وهذه العملية نُسميها **طمرًا**، والموقع المُنَظَّم والمُعَدّ لإبعاد النفايا نسمّيه **مطمر**.

إنَّ إقامة وتفعيل المطمر يشمل المكونات الآتية:

اختيار المكان – يوجد عدة محدوديات يذبغي أخذها بالحسبان. ممنوع اختيار مكان فيه تغلغل كبير جدًا إلى المياه الجوفية، أو مكان تحدث فيه فيضانات. كما يجب منع إقامة مطمر بالقرب من مطار طيران، لكي لا تأتي إلى المطمر طيور، لأن هذه الطيور قد تشكل خطرًا إذا اصطدمت بالطائرات.

تحتل المطامر مساحات واسعة، وهي تحد من إمكانية استعمال الأراضي التي تقع بالقرب منها. ويوجد عادةً اعتراض كبير جدًا من قبل الناس الذين يسكنون بالقرب من المطمر الذي سيقام. يجب على مُتخذي القرار أن يأخذوا بالحسبان هذا الاعتراض، ويجب أن يأخذوا بالحسبان نواحٍ اجتماعية واقتصادية عند اتخاذ القرار بشأن مكان المطمر الجديد. سنتوسع فيما بعد خلال هذا الفصل في هذه الاعتبارات.

إقامة المطمر – نحفر بئرًا كبيرًا أو نبحث عن موقع منخفض عن بيئته المحيطة (المحيط)، بحيث يكون عبارة عن بئر كبيرة. نُغطي البئر الذي اخترناه بطبقات من تربة الصلصال وبقطع بلاستيك غير نفَّاذة، بحيث توجد البلاستيك القدرة على مقاومة المواد الموجودة في النفايات البيتية. نضع حصًا على هذه الطبقات، ثم نبني في داخل البئر قنوات لتجميع عصارة النفايات وتصريفها إلى منشآة للمعالجة. وبعد معالجتها، يتم تصريفها إلى شبكة المجاري، كما أنه يجب بناء جهاز لتجميع الغازات (خصوصًا غاز الميثان) التي تَنْتُج في الموقع.



الرسمة 9.4: مطمر

من الأفضل بناء منشأة لإنتاج الكهرباء من غاز الميثان الذي تمّ تجميعه، لأنه في حالة عدم وجود هذه المنشأة، فإنَّ الغاز ينبعث إلى البيئة المحيطة (المحيط)[1].

تفعيل المطمر – تقوم الشاحنات بتفريغ النفايات داخل البئر وبمساعدة أدوات ميكانيكية تُوزع النفايات كطبقة متجانسة. وفي نهاية كل يوم تُغطى النفايات التي تراكمت بالتراب. عندما تمتلئ البئر، يمكن الاستمرار في استغلال الأرض من خلال تكويم النفايات عليها. وفي هذه الحالة تتكون تلة في المكان، لذا يجب الاهتمام بتغطية المنحدرات بالتراب. كما يجب أن تكون حول المطمر أجهزة رصد لمتابعة تأثير المطمر على البيئة المحيطة. ومن المهم بشكل خاص، أن نتابع جودة مياه الشرب، حيث يتم ذلك من خلال تنقيب المياه لإجراء عملية الرصد.

المعالجة والترميم بعد إغلاق المطمر – بعد أن يمتلئ المطمر، يجب تغطيته بشكل نهائي بواسطة طبقة تربة صلصال غير نفّاذة لمياه الأمطار. ويجب زرع نباتات على هذه التربة لتثبيت المنحدرات ولمنع جرف التربة وكشف المنحدرات. بما أن عمليات تحلل النفايات تستمر سنوات كثيرة بعد إغلاق الموقع، فيجب الاستمرار بصيانة جهاز تجميع الغاز من الموقع.

بعد عدة سنوات، وعندما تقل شدة عمليات التحلل في المطمر، تَثْبُت التربة، ويمكن استعمال الموقع لاحتياجات أخرى. يوجد في العالَم مطامر تمّ تحويلها إلى حدائق عامة وإلى ملاعب رياضة.

إنتاج الطاقة من النفايات

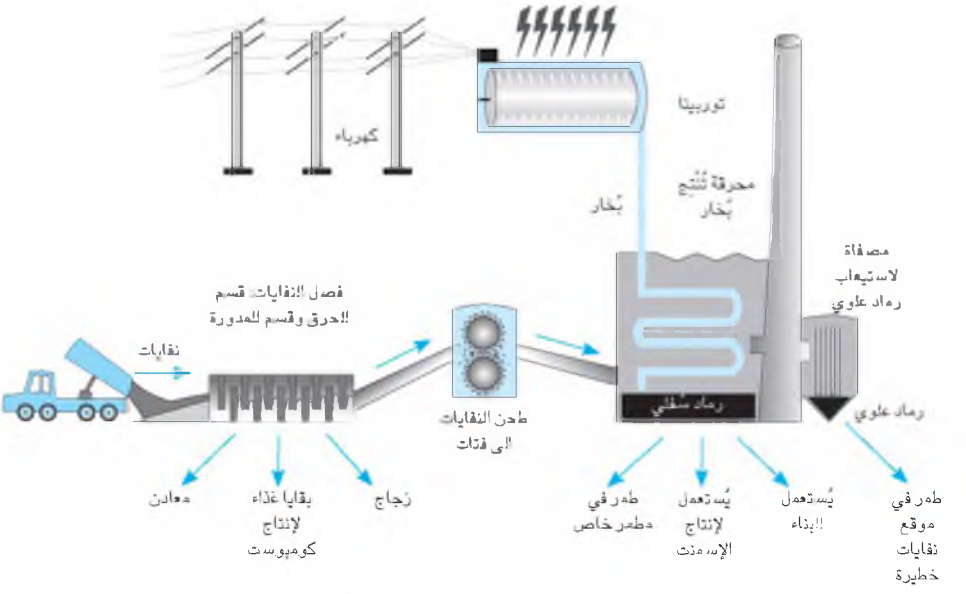
تحتوي النفايات على مواد عضوية غنية بالطاقة. إنَّ استغلال الطاقة لإنتاج الكهرباء أو لعمليات صناعية أخرى، يُتيح تقليل النفايات بشكل ملحوظ ويوفِّر في مصادر الطاقة المتناقصة. يوجد عدة طرق لإنتاج الطاقة من النفايات:

حرق النفايات –إذا قمنا بحرق النفايات، فإنَّ هذه العملية تُقلل من حجم النفايات بنسبة 90% ، وتقلل من كتلتها بنسبة 75%. والنفايات التي تبقى، هي الرماد الذي يبقى في نهاية الحرق.

يوجد طريقتان مقبولتان لحرق النفايات:

- الطريقة الأولى، هي **حرق دون معالجة**. بهذه الطريقة، يتم حرق النفايات دون أي معالجة، وهذا يعني كما تأتي من المصنع.
- الطريقة الثانية، هي **حرق نفايات تمّت معالجتها** (RDF–Refuse Derive Fuel). بهذه الطريقة، نفصل عن النفايات المواد التي يمكن مدورتها، مثل: المعادن والزجاج وبقايا الغذاء الذي يمكن أن نصنع منه الكومبوست.

[1] انظروا صفحة 244 أيضًا.



الرسمة 9.5: منشأة لحرق نفايات تمّت معالجتها

في أعقاب هذا النشاط، تبقى بالأساس نفايات من بلاستيك ومن ورق، وهي ذات **قيمة حرارية**[1] عالية بشكل خاص. وبهذه الطريقة (المدورة والحرق أيضًا)، يمكن أن نتوصل إلى استغلال حوالي 85% من مجموع النفايات.

في المرحلة القادمة، نقوم بطحن النفايات إلى فتات متجانسة قطر كل منها 10 سم. وهذه العملية، تُحسِّن نجاعة الاحتراق، لأن قطع النفايات الصغيرة ذوات مساحة سطح خارجي كبير تُتيح تلامسًا جيدًا مع الأكسجين أثناء عملية الاحتراق.

يمكن حرق فتات النفايات الصغيرة في المنشأة، أو نقلها إلى مصانع بحاجة إلى مواد الاحتراق. عند حرق نفايات تمّت معالجتها، فإنَّ كمية الطاقة التي نُنْتِجها من وحدة نفايات أكبر من كمية الطاقة الناتجة من نفايات لم تتم معالجتها.

كما ذكرنا، في معظم الحالات، يُستعمل حرق النفايات لإنتاج الطاقة التي من خلالها نُنْتِج الكهرباء. اذا في هاتين الطريقتين، نُدخل النفايات إلى فرن درجة حرارته حوالي 1000°C–800°C.

تُستغل حرارة الاحتراق لإنتاج البخار الذي بواسطته يتم تشغيل التوربينا، التي تُدوِّر المولد الكهربائي.

---

[1] قيمة حرارية – كمية الطاقة التي يُمكن إنتاجها.

[2] وَرَدَ إنتاج الكهرباء في التوسع، في صفحة 183.

معالجة مشاكل البيئة – المحيطة (المحيط) التي يُسببها احتراق النفايات – أثناء عملية حرق النفايات، تَنْتُج غازات وجسيمات، وهي تصل إلى مدخنة الفرن (**رماد علوي**)، ويتراكم الرماد في أسفل الفرن (**رماد سُفلي**). تحتاج هذه المكونات إلى معالجة، لكي نمنع من تلوث البيئة المحيطة. لأن النفايات تحتوي على تنوعًا كبيرًا جدًا من المواد، ومن بينها مواد سامة كثيرة، والنواتج المرافقة لحرق النفايات، قد تلوث البيئة المحيطة بشكل خاص.

الغازات التي تصل بالأساس المدخنة هي: بخار الماء (H_2O)، ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، HCl، SO_2، NO_x، بخار معادن ومركّبات عضوية متطايرة. والغازات السامة بشكل خاص تُسمَّى ديوكسينيم، وهي تَنْتُج من حرق البلاستيك. والجسيمات الصلبة الموجودة في الرماد العلوي، هي أيضًا سامة وتحتوي على مواد خطيرة كثيرة.

لمنع انبعاث الغازات والجسيمات إلى الهواء، يجب أن تكون – في منشأة الاحتراق – مصافٍ وأجهزة خاصة لأبطال مفعول الغازات السامة ولتجميع الرماد العلوي. والرماد الذي يُجمع، يجب طمرُهُ في موقع نفايات خاص للنفايات الخطيرة.

يشمل الرماد السفلي تنوعًا كبيرًا من المواد التي لا يمكن حرقها، أو أنها لم تحترق، لأن عملية الاحتراق لم تكن كاملة. ومن بين هذه المواد نجد معادن مختلفة، أملاح زجاج، صلصال وبقايا مركّبات عضوية. تحدث عمليات كيميائية في أكوام الرماد التي تتلامس مع الماء، ونتيجةً لذلك تتغيّر صفات الرماد. وفي أعقاب ذلك، يمكن أن تنطلق غازات مختلفة إلى الهواء، وتَنْتُج مركبات جديدة في الكومة. هناك عدة إمكانيات لمعالجة الرماد السفلي. يمكن أن نفصل – من الرماد – مكونات قابلة للمدورة والتي لم يتم فصلها في مرحلة سابقة. المعالجة الشائعة، هي فصل المعادن بواسطة مغناطيس، ونقل المعادن المدورة. يمكن استعمال الرماد كأحد مكونات إنتاج الإسمنت، لكن إضافة الرماد، قد يؤدي إلى انخفاض جودة الإسمنت. إمكانية أخرى، هي استعمال الرماد كمادة بدلاً من استعمال الحصى في تعبيد الشوارع، لكن هذا الاستعمال، قد يؤدي إلى إنتاج مياه تحتوي على مواد تؤدي إلى التلوث. الرماد الذي لا نجد له استعمال، يجب طمره في مطمر خاص لهذا النوع من الرماد.

حسنات وسيئات حرق النفايات – إضافةً إلى إنتاج الطاقة في منشآت الحرق، يوجد لهذه المُنْتَجات حسنات إضافية. لا تحتاج منشآت الحرق إلى مساحات واسعة كالمطامر، وهكذا نوفّر مورد الأراضي بشكل ملحوظ. حسنة أخرى، هي أن منشآت الحرق تؤثر على الاحتباس الحراري (تأثير الدفيئة) أقل من تأثير المطامر، لأنه أثناء حرق النفايات يَنْتُج بالأساس غاز الدفيئة من نوع ثاني أكسيد الكربون. أما في المطامر، يَنْتُج ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان الذي يؤثر على الاحتباس الحراري (تأثير الدفيئة) أكثر من ثاني أكسيد الكربون.

السيئة الأساسية لمنشأة الحرق، هي التلوث الذي ينطلق منها. على الرغم من أن هناك تَحَسُّنًا في التكنولوجيا لمنع التلوث الناجم من هذه المنشآت، إلا أن المنشآت الأكثر تطورًا لا تستطيع أن تمنع التلوث، وإقامتها تثير اعتراض السكان الذين يعيشون بالقرب منها. سيئة إضافية في منشآت الحرق، هي التكاليف المادية العالية المطلوبة لإقامتها ولتفعيلها من قبل أشخاص مختصين.

حرق غاز الميثان – أحد نواتج تحليل النفايات البيتية، هو غاز الميثان الذي تُنْتِجُه بكتيريا مُحَلِّلَة في ظروف لا هوائية. هذا الغاز الذي يَنْتُج في المطامر، يجب تجميعه، لكي نمنع من حدوث انفجار في المطامر. ويمكن استغلال هذا الغاز كمصدر للطاقة لمحطة الكهرباء المبنية بالقرب من المطمر. على الرغم من أن كمية الكهرباء التي تُنْتِجها من هذا الغاز قليلة، إلا أن إقامة محطة كهربائية، قد يكون مجديًا، لأننا نجمع الغاز في جميع الحالات.

معالجة النفايات البيتية بشكل عام – تكنولوجيا إسرائيلية جديدة

في السنوات الأخيرة، طوِّرت منشأة خاصة لمعالجة النفايات، وقد قامت شركة إسرائيلية باسم "سهم عام البيئة" بتطوير هذه المنشأة.

وبحسب أقوال الذين طوَّروا المنشأة، فإنَّها تُتيح استغلال حوالي 95% من النفايات بطرق مختلفة، حيث يتم تصنيف النفايات – في المنشأة – بحسب الفروق في الوزن النوعي لمكونات النفايات المختلفة. تصل المنشأة نفايات بيتية غير مُصنَّفة.

في المرحلة الأولى، يتم سحق النفايات، وبعد ذلك تُنقل إلى الماء وتبقى فيها. المكونات الثقيلة، مثل: المعادن، الرمل والزجاج فإنَّها ترسب فوق الأرضية، أما المواد المصنوعة من بلاستيك، فإنها تطفو. بقايا الغذاء والمنتجات الورقية التي وزنها النوعي قريب من الوزن النوعي للماء، فإنها تبقى في الماء.

بعد مرحلة الفصل الأولى، يُستعمل مغناطيس لفصل المعادن التي رسبت على الأرضية، ويقوم جهاز الكتروضوئي بتمييز الزجاج وفصله، ويتم تجميع البلاستك الذي يطفو على سطح الماء، وتُنقل المواد التي تمَّ فصلها كمواد خام إلى المصانع المناسبة. والمواد التي لا يوجد لها استعمال، فإنَّها تُنقل إلى المطمر.

يُنقل الماء وباقي المواد التي في داخله (المواد العضوية بالأساس) للمعالجة البيولوجية اللاهوائية. ناتج هذه العملية، هو حمأة ثابتة تُستعمل كسماد. وخلال عملية إنتاج الحمأة، يَنْتُج غاز الميثان الذي يُستعمل لإنتاج الكهرباء الذي يستهلكه المصنع، ويُباع فائض الكهرباء الذي يبقى. والماء الذي يبقى بعد انتهاء العملية، يُنقل إلى منشأة لتطهير مياه المجاري.

أسئلة

1. أ. ما هو الفرق بين المزبلة والمطمر؟
   ب. كيف يحلّون في المطمر المشاكل التي لم تُعالج في المزابل؟
2. نفترض أن المطمر الذي تُعالج فيه نفايات سكنكم امتلأ.
   أ. اقترحوا مكانًا آخر لإقامة مطمر في المنطقة التي تسكنون فيها، ثم عللوا اقتراحاتكم.
   ب. ما هي مشاكل البيئة المحيطة (المحيط) التي يمكن أن تحدث في المكان الذي اخترتموه؟
3. اختاروا 5 مواد موجودة في النفايات، ثم سجّلوها تنازليًا بحسب قيمتها الحرارية.
4. لماذا يُنْتِج حرق النفايات ملوثات أكثر من حرق الوقود؟
   معدل قيمة حرارة النفايات البيتية في الدول النامية أقل من معدل قيمة حرارة النفايات البيتية في أوروبا والولايات المتحدة. ما هي – برأيكم – الأسباب لذلك؟

معالجة نفايات خطيرة

كما ذكرنا في الفصل السابق، فإنَّ أنواع نفايات كثيرة تحتوي على مواد خطيرة، وعند تلامسها تتضرر صحة الإنسان أو يحدث ضرر مباشر أو غير مباشر للبيئة المحيطة.

في حالات كثيرة، يوجد تأثير متبادل بين المواد الخطيرة المختلفة الموجودة في النفايات، ونتيجةً لذلك يرتفع مستوى الخطورة مقارنة مع الحالة التي تكون فيها كل مادة منفردة.

يمكن تصنيف المواد الخطيرة إلى عدة مجموعات:

- مواد تُطلق أشعة راديواكتيفية (نشاط إشعاعي).
- مواد تشتعل بسهولة وبشكل تلقائي[1].
- مواد مُتفجرة.
- مواد فعّالة (مثلاً: الأحماض) تتفاعل بسهولة مع مواد أخرى.
- مواد سامة، مثل: مواد لمكافحة الآفات الزراعية، معادن ثقيلة ونفايات طبية تحتوي على بكتيريا تُسبب أمراضًا.

عند معالجة نفايات خطيرة يمكن تطبيق قسم من الطرق لمعالجة النفايات العادية، مثل: التقليل في المصدر، الحرق والطمر. هناك طرق أخرى خاصة لمعالجة النفايات الخطيرة.

يمكن تنفيذ التقليل في المصدر، في المرحلة التي تَنْتُج فيها النفايات الخطيرة في المصانع.

تدعم وزارة جودة البيئة المحيطة المصانع التي تُغيِّر من طرق الإنتاج وتُقلل من إنتاج النفايا الخطيرة.

[1] اشتعال عشوائي – تشتعل المادة بشكل ذاتي في حالة تلامسها مع الهواء فقط.

تلة حبيبة – موقع لمعالجة نفايات خطيرة

أحيانا يمكن مدورة نفايات خطيرة واستعمالها كمادة خام في عمليات إنتاج صناعية.

يجب معالجة النفايات الخطيرة التي نَتَجت بطريقة منفردة عن النفايات العادية. وبموجب قانون ترخيص المحلات التجارية، يجب على المصانع التي تنْتِج نفايات خطيرة أن تهتم بنقلها إلى موقع خاص لمعالجة النفايات الخطيرة. وكذلك الأمر بالنسبة للمستشفيات التي يجب عليها أن تُعالج النفايات الطبية بشكل ذاتي، أو تنقلها إلى المواقع المناسبة. أما نفايات خطيرة من مصادر أخرى فلا تتم معالجتها تقريبًا.

في السنوات الأخيرة، تعمل وزارة جودة البيئة المحيطة (المحيط) على تجميع بطاريات من النفايات البيتية، لكن في معظم المناطق لا توجد مراكز تجميع لمعظم السكان.

يتم تحديد طريقة معالجة النفايات الخطيرة بحسب نوع النفايات. يوجد ثلاث طرق أساسية:

الطمر المُراقب – هذه الطريقة، هي الأرخص من بين الطرق الأخرى، وهي مناسبة لنفايات غير متطايرة، غير قابلة للاشتعال أو الانفجار.

يجب أن يكون موقع الطمر منعزلاً بشكل تام عن التربة التي تُحيطه، لكي نمنع تسرب مواد إلى المياه الجوفية.

[1] تُعالج النفايات البيولوجية في المستشفيات عادةً، أما النفايات الكيميائية والراديواكتيفية، فإنّها تُنقل إلى مواقع نفايات سامة.

ويجب الاهتمام أن يكون هناك نظام خاص لمعالجة المياه الملوثة. أحيانًا تُغطى النفايات بالباطون.

الحرق – عملية الحرق مناسبة للمواد العضوية. ومن خلال الاحتراق، تتحلل معظم المواد العضوية إلى مكونات غير سامة، مثل: ثاني أكسيد الكربون والماء. ويجب تنفيذ الحرق في درجة حرارة حوالي 1000°C.

المشاكل الأساسية عند حرق النفايات السامة، هي تلوث الهواء وإنتاج الرماد. بما أن الحديث يدور حول المواد السامة، فيجب استعمال منشآت معقدة أكثر من المنشآت المُعدَّة لحرق نفايات عادية. ويجب على هذه المُنشآت أن تُبطل مفعول المواد الخطيرة، وأن تستوعب ملوثات الهواء بواسطة مصافٍ وأن تُعالج الرماد الذي نَتَجَ.

معالجة كيميائية – يوجد مواد خطيرة يمكن إبطال مفعولها من خلال تفاعلات كيميائية مع مواد أخرى. فعلى سبيل المثال، يمكن إبطال مفعول التسيانيد من خلال تفاعله مع الكلور. التفاعل الكيميائي بين هاتين المادتين يُنْتِج ثاني أكسيد الكربون ونيتروجين، وهما غير ضارين للبيئة المحيطة (المحيط). تحتاج المعالجة الكيميائية إلى بناء مُنشآت خاصة لأنواع المواد المختلفة.

أسئلة

1. بماذا تختلف النفايات الخطيرة عن النفايات العادية؟
2. اقترحوا طرقًا لتقليل النفايات الخطيرة التي تُنْتَج في البيت، الصناعة والزراعة.
3. ما هي حسنات وسيئات كل طريقة من طرق معالجة النفايات الخطيرة؟

اختيار طريقة لمعالجة النفايات

كل نفاية تُتْرك دون معالجة، هي مضَّرة، لكن معالجة النفايات، قد تؤدي إلى مضَّرات وإلى استهلاك موارد. مثلاً: يؤدي حرق النفايات إلى تلوث الهواء، وإلى إنتاج نفايات جديدة (رماد) تحتاج معالجة خاصة. إنَّ استعمال المطامر يحتاج إلى مساحات أراضٍ كبيرة، وقد يلوث المياه الجوفية. يوجد لطريقتيْ معالجة النفايات جوانب اجتماعية. على الرغم من أن الجميع يُدرك أهمية المواقع المختلفة لمعالجة النفايات، إلا أنه لا أحد يرغب في أن تُبنى مواقع كهذه بالقرب من مكان سكنه.

ونُطلق على هذه الظاهرة اسم **NIMBY** (Not In My Back Yard)والتي تعني " ليس في ساحتي الخلفية ".

عند اختيار طريقة معالجة معينة، يجب على مُتخذي القرارات أن يفحصوا طريقة المعالجة مقارنةً مع الطرق الأخرى البديلة لمعالجة نفس النفايات. يجب على المقارنة أن تأخذ بالحسبان تكاليف المعالجة في كل طريقة من الطرق البديلة الأخرى، ويجب اختيار الطريقة البديلة التي تكلفتها هي الأقل. عندما نتحدث عن مصطلح "تكاليف" فإننا لا نقصد فقط التكاليف المالية المباشرة لمعالجة النفايات بطريقة معينة، بل نقصد أيضًا التكاليف النابعة من الأضرار التي تحدث للبيئة المحيطة (المحيط) والمجتمع خلال معالجة النفايات، وهذه التكاليف نسمِّيها **تكاليف اجتماعية (تكاليف خارجية)**.

تكاليف اجتماعية (تكاليف خارجية)[1]

التكاليف الاجتماعية، هي تكاليف تحدث للمجتمع نتيجةً لنشاط أفراد أو منظمات. مثلاً: إذا سافر شخص في سيارة تلوث الهواء، قد يمرض الناس بسبب تلوث الهواء، وقد يؤدي ذلك إلى تكاليف طبية. وهذه التكاليف لا تؤخذ بالحسبان عند حساب تكاليف السائق الذي يلوث الهواء، والذي يدفع مقابل الوقود الذي يستعمله، لكنه لا يدفع مقابل المعالجة الطبية للمواطنين الذين أُصيبوا بمرض معين. والمجتمع هو الذي يدفع تكاليف المعالجة الطبية للشخص الذي يُصاب بأذى، لذا تُسمى هذه التكاليف باسم تكاليف اجتماعية. واسم آخر لهذه الظاهرة، هو تكاليف خارجية، لأن هذه التكاليف خارج حسابات تكاليف السفر التي يحسبها السائق.

من الجدير بالذكر، أننا نشمل الأضرار التي تلحق بالأنظمة البيئية في إطار التكاليف الاجتماعية، لأن هذا الضرر يلحق في نهاية الأمر بالمجتمع البشري أيضًا.

نوضح هذا الموضوع من خلال المقارنة بين معالجة النفايات بواسطة الطمر وبين معالجتها بواسطة المدورة. يعرض الجدول 9.1 التكاليف المباشرة والتكاليف الاجتماعية الأساسية لهاتين الطريقتين. من الجدير بالذكر، أنه من السهل تقدير التكاليف المباشرة، لكن من الصعب أن نُقدِّر التكاليف الاجتماعية المعقدة. لذا، التقدير النهائي لمُجمل التكاليف، قد يكون مختلفًا عند مُقدرين مختلفين.

[1] يمكنكم القراءة عن هذا الموضوع بتوسع في كتاب "אדם וסביבה" (من إصدار معلوت) صفحات 112–116.

الطمر	المدورة
تكاليف مباشرة	
تكاليف بناء المطمر، تجميع النفايات ونقلها إلى الموقع، تكاليف معالجة النفايات في المطمر، تكاليف ترميم المطمر بعد إغلاقه.	تكاليف تجميع النفايات، تصنيفها ونقلها إلى مصنع المدورة، تكاليف بناء مصنع المدورة، تكاليف إنتاج المُنْتَجات.
ربح مباشر	
إنتاج طاقة من غاز الميثان (CH_4)	ربح من بيع المُنْتَج الذي تمّ استرجاعه (مدورة)
تكاليف اجتماعية	
تلوث الهواء أثناء نقل النفايات إلى المطمر، تلوث الهواء في البيئة المحيطة (المحيط) للمطمر، يوجد خطورة تتمثل في تلويث المياه الجوفية، استغلال موارد الأرض يُشكل مكرهة للمواطنين الذين يعيشون في المنطقة، انخفاض قيمة الأرض والعقارات في المنطقة، انطلاق غازات الدفيئة	تلوث الهواء أثناء نقل النفايات إلى المصنع المدورة، مضرّات بيئية محيطية يُنْتجها المصنع أثناء المدورة.

الجدول 9.1: *تكاليف مباشرة وتكاليف اجتماعية أساسية لمعالجة النفايات بواسطة الطمر والمدورة*

طريقة معالجة النفايات، هي التي تُحدد بشكل كبير جدًا العوامل التي يجب أن نأخذها بالحسبان عند مقارنة تكاليف الطرق المختلفة. فعلى سبيل المثال، في سنوات التسعينيات طرأ تغيُّر كبير جدًا في مجال طمر النفايات. وقد أثر هذا التغيّر بشكل كبير جدًا على جدوى المدورة.

حتى نهاية سنة 1993، كانت تكاليف الطمر في البلاد رخيصة جدًا (حوالي 5 شواقل الطن). وقد كانت الكثافة منخفضة، لأن معظم مواقع النفايات كانت مزابل، والنفايات التي جُمعت فيها لم تمر أية معالجة. في سنة 1993، أصدرت الحكومة قرارًا يقضي بإغلاق جميع مواقع النفايات غير المنظَّمة، ويجب إلقاء جميع نفايات الدولة في عدد قليل من المطامر التي تتم فيها معظم العمليات المطلوبة لمنع المضرات في البيئة المحيطة.

وقد أدى هذا القرار إلى ارتفاع تكاليف نقل النفايات بشكل ملحوظ (من 20–30 دولارًا الطن). وبدأ الارتفاع بالأساس بسبب الارتفاع الملحوظ في تكاليف تفعيل الموقع، وبسبب المسافات البعيدة لمعظم البلدان التي تُنقل منها النفايات إلى المواقع.

وفي هذه الحالة، تحوَّلت مدورة قسم من مكونات النفايات إلى عملية مجدية. إنَّ إدخال التكاليف الاجتماعية (التكاليف الخارجية) إلى الحسابات، قد يحوِّل مدورة مكونات أخرى في النفايات إلى عملية مجدية.

مطمر

المعالجة المدمجة

كما ذكرنا، يجب أن يعتمد اختيار طريقة المعالجة على فحص بدائل جميع الطرق، مع الأخذ بعين الاعتبار جميع الجوانب.

الطريقة المتبعة اليوم في البلاد والعالَم، هي طريقة الدمج التي تُستعمل فيها جميع الطرق التي وصفناها، وتُستعمل كل طريقة لمعالجة جزء من النفايات بحيث تكون هذه الطريقة أفضل من الطرق الأخرى، مثلاً: إذا وجدنا أن مدورة الورق، هي الأفضل من الناحية الاقتصادية والبيئة المحيطة (المحيط) والاجتماعية، فإننا نختار المدورة التي تُعالج نفايات الورق، وتُعالج باقي النفايات بالطرق الأخرى المناسبة. وبهذه الطريقة، يحاولون الوصول إلى النجاعة القصوى في معالجة النفايات.

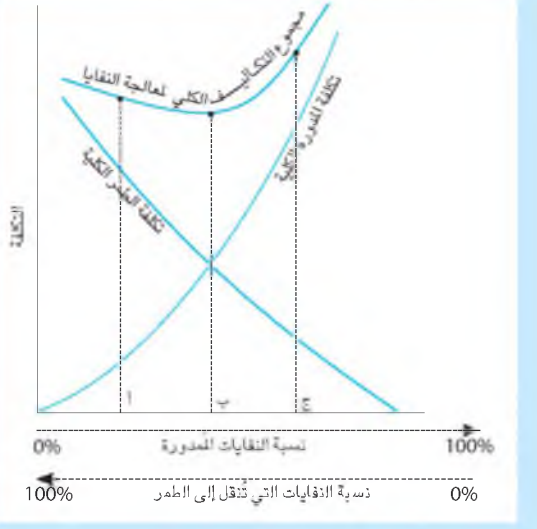
معالجة مدمجة بين المدورة والطمر

طريقة الدمج المتبعة اليوم لمعالجة النفايات، هي دمج عدة طرق معالجة. كما ذكرنا يتحول اختيار المدورة إلى عملية مجدية، إذا كانت تكلفة المدورة أرخص من الطمر.

نحن نعرف أن النفايات ليست متجانسة، وتختلف تكلفة المكونات التي نُمدورها، اذا مدورة 100% من النفايات تكون أغلى من مدورة كمية قليلة من النفايات. ومن ناحية أخرى، كلما طمرنا نفايات كثيرة في المطامر، فإنّ التكاليف الاجتماعية الطمر تكون عالية، لأن المطامر الأولى التي نفتحها تكون في أماكن ذوات تأثيرات منخفضة على البيئة المحيطة (المحيط)، لكن كلما فتحنا مواقع أكثر، فإننا نضطر إلى اختيار مواقع ذوات تأثيرات كبيرة على البيئة المحيطة.

تتحقق النجاعة القصوى لمعالجة النفايات بواسطة هاتين الطريقتين، إذا نجحنا في تقسيم معالجة النفايات بطريقة تؤدي إلى أن يكون مجموع تكاليف معالجة النفايات (ومن ضمنها التكاليف الاجتماعية) بواسطة المدورة والطمر هو الأقل.

يعرض الرسم البياني في الرسمة 9.6 الطريقة التي بواسطتها يمكن أن نحسب نسبة النفايات التي من المجدي أن نمدورها، ونسبة النفايات التي من الأفضل أن نطمرها. يوجد ثلاثة خطوط في الرسم البياني: يصف أحد الخطوط تكاليف المدورة في كل نسبة مدورة، ويصف الخط الثاني تكاليف الطمر في كل نسبة طمر، والخط الثالث، هو مجموع التكاليف العام (المدورة والطمر) في تراكيب مختلفة لنسب المدورة ونسب الطمر.



الرسمة 9.6: تكاليف معالجة النفايات بواسطة المدورة والطمر

مثلاً: في النقطة أ، يُنفِّذون المدورة بنسبة 20% والطمر بنسبة 80%، والتكلفة العامة لمعالجة النفايات في هذه النقطة أشير إليها في نقطة على الخط الثالث. وهذه التكلفة أقل من التكلفة في النقطة ج، التي يمدورون فيها نسبة 60% من النفايات ويطمرون 40% من النفايات. النقطة ب، هي التوزيع المرغوب بين المدورة والطمر، لأن مجموع تكاليف معالجة النفايات في هذه النقطة – بواسطة المدورة والطمر– هو الأقل.

عرضنا مثالاً نظريًا، لكنه يُمثِّل الطريقة التي نتخذ بها قرارًا بشأن كيفية دمج البدائل المختلفة لمعالجة النفايات بالطريقة الأنجع.

سؤال

1. اشرحوا الرسم التخطيطي في الرسمة 9.6، ثم تطرقوا إلى النقاط الآتية:
   أ. لماذا مدورة كل ما يمكن مدورته من النفايات يجعل التكاليف الكلية[1] لمعالجة النفايات باهظة جدًا؟
   ب. لماذا معالجة النفايات بواسطة الطمر فقط تجعل التكاليف الكلية[1] لمعالجة النفايات باهظة جدًا؟
   ج. كيف نُحدِّد – بحسب الرسم التخطيطي – النسبة بين كمية المادة التي نريد مدورتها وبين كمية المادة التي نريد طمرها؟

أسئلة

1. اختاروا طريقتين لمعالجة النفايات، بحيث لا تظهر في الجدول 9.1، ثم حضِّروا لهما جدولاً شبيهًا.
2. اشرحوا، كيف يُشجع ارتفاع سعر طمر النفايات على المدورة؟
3. كيف يؤثر بُعد مكان البلدة – عن المطمر، المحرقة ومصانع المدورة – على اختيار طريقة معالجة النفايات؟
4. أ. اشرحوا، ما هو NIMBY؟
   ب. اكتبوا تعليلاً ضد إقامة موقع نفايات بالقرب من مكان سكنكم.
   ج. ما هي الصعوبات التي تُسببها ظاهرة الـ NIMBY أثناء معالجة النفايات التي تقوم بها السلطات المحلية؟
   د. كيف – برأيكم – يجب على السلطات المحلية أن تواجه الصعوبات التي ذكرتموها في الإجابة عن بند ج؟

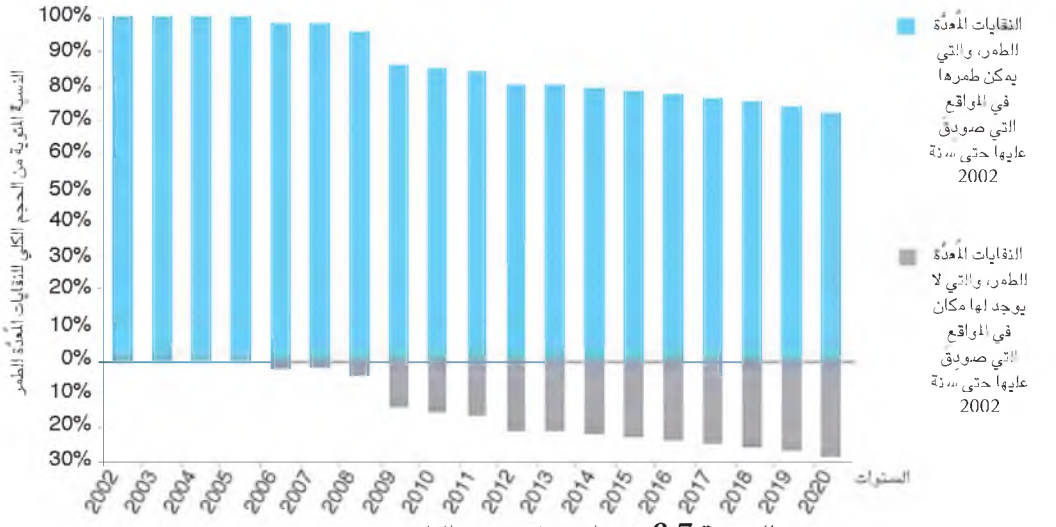
[1] التكلفة الكلية، هي مجموع التكاليف المباشرة والتكاليف الاجتماعية (تكاليف خارجية).

سياسة طرق معالجة النفايات في إسرائيل

المعالجة المدمجة، هي المبدأ المركزي الذي يوجِّه اليوم مُتخذي سياسة معالجة النفايات في إسرائيل، وعلى رأسهم وزارة جودة البيئة المحيطة (المحيط). في هذا الإطار، هناك انتباه واهتمام خاص للحاجة إلى تقليص المعالجة بطريقة طمر النفايات، وذلك بسبب وجود نقص كبير جدًا في مورد الأرض في إسرائيل.

لقد ذكرنا قرار الحكومة في سنة 1993 الذي أمر بإغلاق جميع المزابل (حوالي 500 مزبلة) التي كانت في البلاد. وقد اتُّخذ هذا القرار بعد أن صدرت في سنة 1989 خريطة هيكلية قطرية لمواقع نفايات معينة (خ هـ ق 16)، وقد تمَّ تحديد 19 موقعًا مُنظَّمًا لطمر النفايات في أنحاء البلاد. وحتى سنة 2000، تمَّ إغلاق معظم المزابل.

ومع صدور الخريطة الهيكلية القطرية، فقد تمَّ تحديد الحجم النهائي للنفايات التي يمكن إبعادها بواسطة الطمر في السنوات القريبة. وعندما يمتلئ هذا الحجم، تُقام مواقع جديدة.



الرسمة 9.7: تنبؤات توافر حجم الطمر
(بحسب وزارة جودة البيئة المحيطة)

لمساعدة السلطات المحلية في مواجهة الارتفاع الملحوظ الذي طرأ في أسعار طمر النفايات، تحصل السلطات المحلية على مساعدة مادية من وزارة جودة البيئة المحيطة (المحيط). وهذه المساعدة محدودة لعدة سنوات، وهي تنخفض في كل سنة. وخلال السنوات، يجب على السلطات المحلية أن تُمدور قسمًا من النفايات التي نتجت عندها، أو يجب عليهم أن يجدوا حلولاً أخرى بحسب مبادئ معالجة النفايات المدمجة.

في سنة 1993، شُرع قانون المدورة الذي في إطاره أصدر وزير جودة البيئة المحيطة (المحيط)، في سنة 1998، الأمر التالي:

" يجب على السلطات المحلية أن تُقلل تدريجيًا من كميات النفايات التي تَنْتُج عندها، وذلك من خلال مدورة قسم من النفايات بالنسب المفصَّلة الآتية:

- 10% على الأقل – حتى 31 ديسمبر 1999
- 15% على الأقل – حتى 31 ديسمبر 2000
- 25% على الأقل – حتى 31 ديسمبر 2007

على الرغم مما وَرَدَ في الأمر، إلا أن كل سلطة محلية تستطيع أن تتوجه إلى وزير جودة البيئة المحيطة، وتطلب منه إعفاء من تطبيق الأوامر، أو أن يُحدِّد لها نسبة مدورة أقل مما هو مطلوب.

إذا اقتنع وزير جودة البيئة المحيطة أن هناك حاجة لإعفاء سلطة محلية معينة، فيجب على هذه السلطة أن تُقدم بدائل لإبعاد النفايات، وأن تكون هذه البدائل ذوات جدوى من ناحية اقتصادية، وأن لا تؤدي إلى أضرار في البيئة المحيطة ".

هناك نشاط إضافي يَهدف إلى تقليص طمر النفايات بقدر الإمكان، وهذا النشاط يقع ضمن مبادرة وزير جودة البيئة المحيطة في أن يُشرع قانونًا في إطاره يستطيع أن يفرض ضرائب على الطمر.

يتم تحديد مبلغ الضريبة بحسب التكاليف الاجتماعية التي تكلفها طمر النفايات.

قانون آخر متعلق بمجال معالجة النفايات، هو **قانون الرهن** (1999). ففي إطار هذا القانون، يجب على مُنْتجي المشروبات الخفيفة أن يجبوا رهنًا مقداره 25 أغورة على كل قنينة، أو علبة مشروب فارغة مصنوعة من معدن، أو زجاج، أو بلاستيك والتي سعتها أكبر من 100 مال وأقل من 1500 مال.

يُعاد الرهن للمستهلك الذي يُعيد الوعاء الفارغ إلى الدكان. أُعِدَّ هذا القانون لتحسين مستوى نظافة الأماكن العامة ولتشجيع عملية المدورة.

وبحسب أوامر القانون، يجب على شركات المشروبات أن تصل في سنة 2005 إلى تجميع حوالي 85% من الأوعية التي تُنْتجها هذه الشركات.

الشاحنة الأولى التي فرغت نفايات في موقع دودائيم – في النقب – الذي فُتح في سنة 2000

معلومات للجمهور حول قانون الرهن

هناك قانون آخر ضمن مسؤولية وزارة جودة البيئة المحيطة، وهو قانون الحفاظ على النظافة (1984). الهدف من هذا القانون أن يمنع إلقاء النفايات في الأماكن العامة. كما أن القانون يمنع إلقاء النفايات من السيارات، ويمنع أيضًا إلقاء نفايات بناء وخردوات. يُشرف على تطبيق القانون كل من: مراقبي جودة البيئة المحيطة من وزارة البيئة المحيطة، السلطات المحلية وسلطة حماية الطبيعة والحدائق.

إضافةً إلى ذلك، يعمل أُمناء نظافة (وهم مراقبون متطوعون) – في إطار هذا القانون – على تطبيق القانون، ومن يخالف القانون يدفع غرامة.

إضافةً إلى القوانين التي غايتها الأساسية موضوع النفايات، إلا أنه يمكن مقاضاة كل من يُلقي نفايا في الأماكن العامة ويلوث البيئة المحيطة، في إطار **قانون منع المضرات** (1961).

أسئلة

1. بأية طرق تعمل وزارة جودة البيئة المحيطة لإدخال التكاليف الاجتماعية في حساب تكاليف معالجة النفايات؟
2. ما هي أهمية خ ق ن 16؟
3. مطحنة نفايات، هي جهاز تُدخل فيه نفايات عضوية تَنْتُج في المطبخ. يقوم هذا الجهاز بطحن النفايات، ومن ثَمَّ تتدفق النفايات المطحونة مع المياه إلى شبكة المجاري. تعترض وزارة جودة البيئة المحيطة على استعمال هذا الجهاز.
   أ. ما هي – برأيكم – حسنات وسيئات هذا الجهاز؟
   ب. ما هي – برأيكم – تعليلات وزارة جودة البيئة المحيطة بخصوص عدم استعمال مطحنة النفايات؟

تلخيص

يوجد خمس طرق أساسية لمعالجة مشكلة النفايات:

- تقليل في المصدر – وهذا يعني أن نمنع إنتاج نفايات منذ البداية، حيث يتم ذلك من خلال اتخاذ خطوات مختلفة في عمليات الإنتاج، ومن خلال تغيير عادات الاستهلاك عند المواطنين.
- إعادة استعمال المُنْتَجات – تجميع المُنْتَج الذي تحوَّل إلى نفايات ومعالجته، لكي يتم استعماله مرة أخرى للغرض الذي أُعِدَّ من أجله.
- مدورة (استرجاع) – فصل مواد عن النفايات، واستعمال هذه المواد مرةً أخرى كمادة خام لإنتاج مُنْتَجات جديدة.
- إنتاج طاقة من النفايات – استغلال المواد العضوية الموجودة في النفايات من خلال حرق النفايات وإنتاج الطاقة. ويمكن استغلال الميثان الناتج في عمليات تحليل النفايات كمصدر للطاقة.
- الطمر – نقل النفايات إلى موقع دفن مُنَظَّم، حيث تتم فيه جميع العمليات التي تمنع من مضَّرات في البيئة المحيطة الناجمة من النفايات.

إنَّ اختيار الطريقة المناسبة لمعالجة النفايات، يُلزمنا فحص كل طريقة معالجة ومقارنتها مع الطرق الأخرى. وعند إجراء المقارنة، يجب أن نأخذ بالحسبان التكاليف المادية المباشرة (التكاليف الخارجية) التي تُسببها كل طريقة.

طريقة الدمج، هي الطريقة المتبعة اليوم في السلطات المحلية، وهذا يعني استعمال طرق مختلفة بحسب مكونات النفايات المختلفة.

ملحق - ذوبان الأكسجين في الماء

الضغط / درجة الحرارة °C	625	650	675	700	725	750	760	775
0	12.0	12.0	12.9	13.5	13.9	14.4	14.6	14.9
1	11.7	12.0	12.6	13.1	13.6	14.1	14.2	14.5
2	11.4	11.8	12.3	12.9	13.2	13.7	13.9	14.1
3	11.1	11.5	12.0	12.4	12.9	13.3	13.5	13.8
4	10.8	11.2	11.7	12.1	12.5	13.0	13.2	13.4
5	10.5	10.9	11.4	11.8	12.2	12.6	12.8	13.1
6	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.5	12.7
7	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.2	12.4
8	9.8	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	11.9	12.1
9	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.6	11.8
10	9.3	9.7	10.1	10.4	10.8	11.2	11.3	11.6
11	9.1	9.5	9.8	10.2	10.6	10.9	11.1	11.3
12	8.9	9.2	9.6	10.0	10.3	10.7	10.8	11.1
13	8.7	9.1	9.4	9.8	10.1	10.5	10.6	10.8
14	8.5	8.9	9.2	9.5	9.9	10.2	10.4	10.6
15	8.3	8.7	9.0	9.3	9.7	10.0	10.2	10.4
16	8.1	8.5	8.8	9.1	9.5	9.8	9.9	10.1
17	8.0	8.3	8.6	9.0	9.3	9.6	9.7	9.9
18	7.8	8.1	8.4	8.8	9.1	9.4	9.5	9.7
19	7.6	8.0	8.3	8.6	8.9	9.2	9.3	9.5
20	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.1	9.2	9.3
21	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.0	9.2
22	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	8.8	9.0
23	7.1	7.4	7.7	8.0	8.2	8.5	8.7	8.8
24	7.0	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.5	8.7
25	6.8	7.1	7.4	7.7	8.0	8.3	8.4	8.5
26	6.7	7.0	7.0	7.6	7.8	8.1	8.1	8.5
27	6.6	6.9	7.1	7.4	7.7	8.0	8.1	8.2
28	6.5	6.7	7.0	7.3	7.6	7.8	7.9	8.1
29	6.4	6.6	6.9	7.2	7.4	7.7	7.8	7.9
30	6.2	6.5	6.8	7.0	7.3	7.6	7.7	7.8

دليل المصطلحات

أ

إثراء غذائي 18–20، 22، 68–69
احتباس حراري (تأثير الدفيئة) 200–213، 248، 263
ازدياد بيولوجي 24
استهلاك أكسجين بيولوجي 26–27
في مياه المجاري 90، 92–94، 96–97، 99
استهلاك أكسجين كيميائي 26–27
أسبست 189
استيراد مياه 116، 117، 119
إسفين مائي 46–47، 49–50
أسماك 19–20، 24–25، 62–65، 67، 83، 222
أسمدة 69
اسموزا (تنافذ عكسي) 106–108
إشعاع 200–202
أشعة تحت حمراء (IR) 200–204
أشعة راديواكتيفية (نشاط إشعاعي) 15، 28–29، 190–191، 265
أشعة فوق بنفسجية (UV) 82، 127، 200، 216–218
أكاسيد الكبريت (SO_x) 23، 168، 194
انظر ثاني أكسيد الكبريت أيضًا (SO_2)
أكاسيد النيتروجين (NO_x) 136، 139–141، 143، 153، 168، 194–195، 263
تأثير الدفيئة 204
تأثير على الإنسان 157–158
تأثير على النباتات 165
في السيارات 172–174
في الصناعة 184–185
رواسب حامضية 222
أكسجين 126–127
في بحيرة طبريا 62–63
في طبقة الأوزون 217–218
في عمل محرك السيارة 172، 179
في عمليات تلوث الهواء 138–139، 140–142
في الماء 21–23، 26–27، 277
في مياه المجاري 87–88، 91–94
إكفيفر 41–55، 60–61، 72
إكفيفر حر 42، 46، 49، 53، 247
إكفيفر محبوس 42
إكفيفر محصور 42، 46، 49، 53
إكفيفر مرتكز 42
أوزون (O_3) 126
بالقرب من الأرض 127، 136، 139–142، 195
تأثيره على النبات 165–166
تأثيره على الإنسان 157–158
تعقيم المياه 82
في الستراتوسفيرا 127–129، 204، 216–221
أول أكسيد الكربون (CO) 168، 173، 194، 196
تأثيره على الإنسان 157، 161، 163
انقلاب حراري 146
انقلاب حراري أرضي 146–148، 151
انقلاب حراري علوي 146، 149–150، 151

ب

بازلتية 44، 52
بحيرة الحولة 69–70
بحيرة طبريا 32–34، 39، 55–72، 82–83
بركة تأكسد 91–93
بريديزيوم 63–66
بكتيريا 19، 22، 26–28، 64، 205
تأثير على الإنسان 157، 162
تأثير على النبات 165
في مياه الشرب 82–85
في مياه المجاري 88–99، 102–103، 126
في النفايات 244–246، 248، 256، 265–264
بكتيريا مزرقة 66
بوتاسيوم 257
بنزن 173
بنزين 169–172، 177
بورون (B) 110
بيوت من أكياس 186

تأثير الدفيئة (احتباس حراري) 200–213، 248، 263
تحلية 105–110، 116، 119
تحليل كهربائي 109
تدخين 160، 161–165، 190
تدفق بضغط تدريجي 106
تركيب ضوئي 17، 21، 91–92، 127، 165، 204، 220
ترموسفيرا 129
تروبوسفيرا 128
تعقيم مياه 24، 82–83، 90
تعكر 17، 85
في مشروع المياه القطري 83–84
تكاليف اجتماعية (تكاليف خارجية) 268–269
تكرار استعمال منتجات 101، 252–253
تلوث حراري 16–17
تناضح (اسموزا) عكسي 106–108
تنفس 23، 127
في الإنسان 18، 135، 140، 156–160، 162–163، 189
في المحلِّلات 26، 87، 91، 94، 97، 242، 244

ث

ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) 139، 143، 153، 184–187، 195، 222–223
تأثيره على الإنسان 157–158
تأثيره على النباتات 165
ثاني أكسيد الكربون (CO_2) 11، 15، 23، 126–127، 138، 168، 171، 179، 184، 244، 245، 263، 267
في تأثير الدفيئة 203–205، 207، 209، 211، 248
في مياه المجاري 92–94

ج

جريان علوي 12، 46، 104
جزيرة الحرارة في المدينة 213–215
جُسَيْمات 127، 138–139، 143، 152–153، 189، 194–195، 215، 263
انبعاث من السيارة 168، 172
انبعاث من الصناعة 168، 184–186، 187
تأثير على الإنسان 155–158، 162
تأثير على الغيوم والرواسب 130، 215
تأثير على النبات 165
جهاز دوراني 186
جير 23، 44، 52–53، 110، 184، 223

ح

حرق 137–139، 172، 174، 177، 182–184، 189، 204، 207
حرق نفايات 261–265، 267
حمأة 94–97، 264
حمأة منشطة 94–97
حوض التجميع 38، 55–56، 68–71

خ

خريطة هيكلية قطرية 71، 273
خزان (مخزن) غير فعَّال 32، 34
خزان (مخزن) فعَّال 33–34
خط أحمر 33–34، 57

د

دورة المواد 229–231
دورة المياه 11
دوامة سفلية 37–38
دوامة علوية 37–38
دولايت 44، 52
ديوكسنيم 263
ديناميزا كهربائية 109

ر

رادون 190–191
راسب الكتروستاتي 185
الربو 157–158
رصاص 157، 165، 174، 176، 194، 231
رماد علوي 263
رماد سفلي 263

رمل 44–45، 52، 54، 136
مصفاة رملي 82، 95
روائح 19، 74، 88، 192، 244، 246، 248، 257
رواسب 10، 11، 31–32، 34، 45، 128، 130–133، 143
زيادة الرواسب 111–112
رواسب حامضية 23، 153، 222–223

ز

زئبق 25، 85، 157، 242، 247
زرنيخ 242
زنترة 93
زيادة الرواسب (انظروا رواسب)

س

ستراتوسفيرا 127، 128–129، 204، 216–219
سرطان 157، 162، 173، 189–191، 219
سفر متراكم 179–180
سوار 170، 177، 183، 189
سناج 138

ص

صخور نفّاذة 43–44
صاصال 17، 44، 260

ض

ضبخان 140
ضبخان فوتوكيميائي 140–141، 149
ضبخان اندن 140

ط

طبقة خاط 149–151
طبقة صخرية صماء 41–44
طحالب (عوالق نباتية) 17، 19–20، 22، 83، 220
في بحيرة طبريا 63–66
في مياه المجاري 88، 91–93
طمر (انظروا مطمر)

ع

عُسر 23، 85، 110
عصارة 247، 260، 263
عوالق حيوانية 19، 24، 63–64
عوالق نباتية (انظروا طحالب)

غ

غازات الدفيئة 204، 208–211، 269
غاز طبيعي 183، 185، 231
غلاف جوي ثابت (مستقر) 145
غلاف جوي غير ثابت (غير مستقر) 145
غاز هيدروكربوني مكثف 177

ف

فاورة 83
فيضانات 104–105، 117
فيرئونات (CFC) 217، 220

ق

قوانين
في موضوع جودة الهواء 163–164، 177، 187–188، 193
في موضوع المياه 15، 37، 57، 59، 82، 84–85، 114، 116–117
في موضوع النفايات 266، 274–275
قيمة التفاعل (pH) 22–23، 85، 222–223، 247
قيمة حرارية 262
قواونيات (كوايفورميم) 27–28، 99

ك

كابول 69–70
كادميوم 101، 157، 161، 165، 195، 242
كبريتيد الهيدروجين (H_2S) 19
كولوئيدات 89
كلور (Cl) 17، 65، 82، 85، 217–219، 242
كلورة 82
كهرباء (إنتاج) 96، 106، 182–186، 207، 261–262،

264
كومبوست 97، 255–258
كيرتون 44، 51، 104
كيرست 44–45، 52

م

مازوت 184، 185
مثيل بروميد 218
مجاري 11–12، 18، 27، 54، 66، 69، 74–75، 77، 86–99، 120، 239، 255
مجاري زراعية 18، 87، 103
مجاري صناعية 25، 51، 87، 101–103
محرك
محرك بنزين 169–177، 186
محرك ديزل 169–173، 177
محرك كهربائي 177– 178
محللات 11، 19–20، 22، 139، 264
في بحيرة طبريا 63
في الكومبوست 255–257
في مياه المجاري 87–88، 92، 96–97
في النفايات 248
محول حفاز 174–177
مداخن 148–150، 187
مدورة (استرجاع) 253–255، 261، 263، 268–272، 274
مديرية المياه 116–118
مركبات عضوية متطايرة (VOC) 138–139، 141،157، 184، 263
مصاف 185، 263، 267
مطمر 260–261، 263–264، 266، 268–274
معادن ثقيلة 24، 85، 87، 101، 157، 165، 166، 247، 265
معيار
جودة الماء 177، 192–193
جودة الهواء 28، 82، 84–85
معيار جودة الهواء 196
مركبات فوسفات 18–19، 62، 66، 90، 257
مركبات الميثان ثلاثي الهلوجين 82، 85
مركبات النترات 18–19، 97، 109
تأثير على الإنسان 18–19
في بحيرة طبريا 66، 68–69
في المياه الجوفية 41
مزبلة 237، 246–248، 269، 273
مطر اصطناعي (انظروا رواسب)
مطر حامضي (انظروا رواسب)
المشروع القطري 56، 58، 72، 83–84
المشروع القطري المالح 60–61
مريض 69–70
معالجة مدمجة 270–272
مكرِّرة 34، 75، 82، 86، 90، 93، 96–97، 98–99، 105، 117
ملوحة 17–18، 99، 102
في بحيرة طبريا 59–61
في المياه الجوفية 47، 49–50، 54
في مياه المجاري الصناعية 102
في المياه المكررة 99
ملوثات أولية 136–139
ملوثات ثانوية 136، 140–141، 153، 165، 222
مؤشرات 28، 166
مواد اصطناعية 24، 217، 244
مواد صلبة عائمة (TSS) 15–16، 17، 89–97
مواد مذابة 15، 89
مواد مكافحة الآفات الزراعية 24، 189، 239، 241، 265
موارد متجددة 231
موارد متناقصة 230
مياه
مياه جوفية 41–55، 205، 247
مياه جريان علوية 32
مياه الشرب 15، 28، 41، 82–85، 101، 205
مياه عذبة (حلوة) 10
مياه مالحة 10، 47، 49–50، 54، 60–61، 105–109، 108
مياه نظيفة 32، 75، 117
ميثان (CH_4) 19، 96، 138–139، 204
في النفايات 237، 244، 248، 261، 263، 264، 269
ميزوسفيرا 128

ن

نترجة 93
نسبة خاط 171–172
نفايات بيتية 239–240
نفايات خطيرة 102، 241–242، 263، 265–267
نفايات مدينية 238–241
نهر 9، 11–12، 22، 36–40، 56، 87، 119، 222
نهر دولي 36

هـ

هيدروكربونات 138، 157، 165، 172–174، 194

و

وادي 39، 56، 74–79، 104، 116–117، 237

ي

ينبوع 46
ينابيع مالحة 56، 58، 60

اختصارات ووحدات قياس

ppm – عدد الجسيمات في المليون: عدد جزيئات المادة التي نقيسها عندما يكون مليون جزيء من انواع مختلفة.

ملغم – ميليغرام

كوب – متر مكعب

مليون كوب – مليون متر مكعب

ميكرومتر – واحد على الف من الملمتر، يُطلق عليها إسم ميكرون أيضًا.

قائمة مصادر الصور والرسومات

نشكر جميع المصورين والمؤسسات الذين سمحوا لنا استعمال الصور والرسومات التي وردت في هذا الكتاب.

جميع الحقوق محفوظة المصورين والمؤسسات.

ايلي جذور — 149

زئيف شتاسيل — 38، 45 أعلى الصفحة، 57، 61، 70، 72، 77، 78، 92، 95، 98، 119، 133، 176، 184، 190، 196، 224، 238، 247، 254، 266

يكير بن حور — 18

تسيبي بسدوفيش رحمها الله — 132

روذين لاهف — 112

جمعية مكافحة السرطان — 162

مكتب جودة البيئة المحيطة (المحيط) — 171، 258، 274، 275

شركة الكهرباء — 183

شركة مكوروت — 83، 85، 105، 108

شركة SDL التكنولوجية — 102

دائرة الصحافة الحكومية — 12، 45 أسفل الصفحة، 67، 71، 74، 89

قطار اسرائيل — 181

Digital Vision — 14، 22، 136، 207، 220، 242، 270

Photo Disc — 231

يبحث كتاب "الموارد والبيئة المحيطة (المحيط)" بتوسع الجوانب الأساسية لتأثير الإنسان على موارد الطبيعة، مثل: الماء، الهواء والمواد الخام. يركز النقاش في هذا الكتاب حول صفات كل مورد ووظيفته في الطبيعة وفي المجتمع البشري، كما أنه يركز ايضا على المشاكل والصراعات البيئية المحيطية الناجمة في أعقاب إستعمالها من قبل الإنسان. إضافة إلى ذلك، يبحث هذا الكتاب طرق مواجهة هذه المشاكل من خلال التركيز على مبادئ الحياة المستديمة. اختيرت المواضيع من وجهة نظر إسرائيلية لكننا نطرقنا إلى جوانب عالمية ايضا.

أعد هذا الكتاب لتلاميذ المرحلة الثانوية المتخصصين في موضوع علوم البيئة المحيطة (المحيط)، وهو استمرار للكتابين: "الحياة والبيئة المحيطة (المحيط)" و"الإنسان والبيئة المحيطة (المحيط)"، اللذان صدرا في إطار هذا المنهج التعليمي.

الترقيم الدولي ISBN 965-295-027-0