المنشورة التقنية رقم ١٠ لإقليم شرق البحر المتوسط

# برك تثبيت المخلفات السائلة

## مبادىء
## التخطيط والممارسة

منظمة الصحة العالمية
المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط
١٩٩٠

# بِـرك تـثبِيتُ المُـخلفـاتُ السَّـائِلة

# WASTEWATER STABILIZATION PONDS

المنشورة التقنية رقم ١٠ لإقليم شرق البحر المتوسط

# برك تثبيت المخلفات السائلة

## مبادىء
## التخطيط والممارسة

منظمة الصحة العالمية
المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط
الاسكندرية
١٩٩٠

ISBN 92-9021-106-7

© منظمة الصحة العالمية ، ١٩٩٠

تتمتع منشورات منظمة الصحة العالمية بالحماية المنصوص عليها في البروتوكول الثاني للاتفاقية العالمية لحقوق الملكية الأدبية . وينبغي لإعادة طبع أو ترجمة منشورات المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط ، سواء جزئياً أو كلياً ، التقدم بطلب إلى مدير برنامج الإعلام الصحي والطبي ، المكتب الإقليمي ، الإسكندرية ، مصر . والمكتب الإقليمي يرحب دائماً بأمثال هذه الطلبات .

والتسميات المستخدمة في هذه المنشورة ، وطريقة عرض المواد الواردة بها ، لا تعبر إطلاقاً عن رأي الأمانة العامة لمنظمة الصحة العالمية بشأن الوضع القانوني لأي بلد ، أو إقليم ، أو مدينة ، أو منطقة ، أو لسلطات أي منها ، أو بشأن تحديد حدودها أو تخومها .

لقد بُذلت عناية بالغة لضمان دقة المعلومات الواردة في هذا الكتاب . ومع ذلك لا تعتبر المنظمة مسؤولة عن ما قد يوجد من أخطاء ، ولا عن العواقب الناجمة عن استخدام تلك المعلومات .

طبع في الإسكندرية ، مصر

بسم الله الرحمن الرحيم

# تصدير

بقلم

الدكتور حسين عبد الرزاق الجزائري
المدير الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية لشرق البحر المتوسط

أعتقد يقيناً أن الصحة لا يمكن أن تكون مسؤولية قطاع الصحة منفرداً بل لابد من مشاركة قطاعات أخرى في تحمل المسؤولية . فأية معالجات أو عقاقير يصفها الأطباء مهما كان حجمها لا يمكنها مغالبة آثار تلوث مياه الشرب وتدهور خدمات الإصحاح ، هذا على سبيل المثال .

ولقد أدت قوة الزخم نحو تحسين هذه الخدمات بفضل العقد الدولي لمياه الشرب والإصحاح الذي أعلنته الأمم المتحدة إلى تحقيق تقدم ملموس في كافة أرجاء العالم . وتلعب منظمة الصحة العالمية دوراً كبيراً في إطار هذه العقد . ولكن العمل اللازم لتوفير المياه الصالحة للشرب والإصحاح الكافي لكل الناس يتطلب جهوداً هائلة . فقد أكدت الدراسات التي أجريت في أقطار إقليم شرق البحر المتوسط الأمر الذي ثبت كذلك في أماكن أخرى . إن توزيع الخدمات بين الناس أبعد ما يكون عن المساواة . فلا تزال المجتمعات الحضرية تتلقى على الدوام خدمات أفضل مما تتلقاه المجتمعات الريفية . ثم إن البون لا يزال شاسعاً بين توفير خدمات الإصحاح وبين إتاحة مياه الشرب وتقريبها إلى الناس .

ومن هذا المنطلق ينشر المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط هذا الكتاب عن برك تثبيت المخلفات السائلة ، التي تستطيع معالجة المجاري المتأتية من المجتمعات الكبيرة والصغيرة على السواء . ويمكن للسيب النهائي من المخلفات السائلة المعالجة في بركة تثبت مصممة على نحو جيد أن يصرف في التجمعات المائية المحلية دون تلويثها . بل أكثر من ذلك فإن السيب النهائي effluent يمكن أن يمثل مصدراً له قيمته حين يستعمل لأغراض الري أو تربية الأسماك .

لقد أخذت برك تثبيت المخلفات السائلة تنشأ في مناطق كثيرة من العالم منذ حوالي ٧٥ عاماً ، فهي أرخص الطرق وأكثرها فاعلية لمعالجة المخلفات السائلة من المجتمعات الحضرية والريفية حينما تتوفر الأرض الرخيصة . وبينما تحد المتطلبات اللازمة من الأراضي الواسعة من استعمالات برك التثبيت في الأقطار المزدحمة بالسكان ، فإن نقص الأراضي الواسعة لا يمثل مشكلة في بلدان شرق البحر المتوسط ، الأمر الذي يزيد من جاذبية هذا النوع من المعالجة في هذا الإقليم .

وتستثمر برك التثبيت قوى الطبيعة كأشعة الشمس ، والرياح والحرارة ونمو الطحالب ، وذلك للحصول على سيب effluent يمكن إعادة استعماله ، وهنا يكون عمل المصمم هو الوصول بتآثرات هذه العوامل إلى أفضل الظروف التي تعطي سيباً معالجاً يمكن استعماله بأمان من جديد .

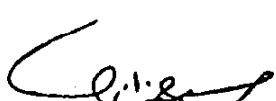
وثمة أمر يهم البلدان النامية بصفة خاصة ، هو أن متطلبات هذه البرك من احتياجات التشغيل والصيانة أقل ما يمكن من حيث المهارات اللازمة والمصاريف الجارية لتوفير الطاقة مثلاً . أضف إلى ذلك أنه يمكن الحصول على الغالبية العظمى من المواد والمعدات اللازمة للإنشاءات محلياً . ونادراً ما تلزم بنود تتطلب عملات أجنبية . ثم إن التنفيذ يمكن أن يتم بعمالة محلية وتحت إشراف محلي متوفر بالفعل لدى البلدان النامية .

والكتاب مقسم إلى جزئين : الجزء الأول موجه للإداريين على المستوى الوطني والمحلي وصناع القرار أياً كانت تخصصاتهم ومجالات أعمالهم ، وكذلك لمن عليهم الاختيار بين وسائل متنافسة لعلاج المخلفات السائلة . ثم إنه يوفر ملخصاً شاملاً عن الاعتبارات المختلفة لتنفيذ وتشغيل وصيانة مشاريع برك التثبيت . كما يهم بخير ذلك من الاعتبارات كإدارة المشاريع وأمنها . وبينما لا يمكن لهذا الجزء إلا أن يكون ذا طبيعة تقنية وإلا افتقرت القرارات إلى الأساس السليم ، فقد كتبت مادته بلغة سهلة الفهم . وإنا لنعتقد أن غير المتخصصين لن يجدوا صعوبة كبيرة في إدراك محتوى هذا الجزء من المفاهيم والمزايا .

أما الجزء الثاني فقد قصد تقديمه للأشخاص الذين يقومون بالتصميم الابتدائي وتقدير التكاليف ، حتى يمكنهم الاختيار بين بدائل المعالجة المختلفة . ومن المتوقع أن يستطيع المعماريون والمهندسون استعمال الكتاب لهذا الغرض حتى ولو كان لديهم قليل من الخبرة في هذا المجال . ويقدم الملحق المرفق على الأخص مثالاً عملياً ومنهجية مبسطة لمساعدة المصممين في تحضير تصميمات تفصيلية بالقدر الكافي .

وللكتاب استعمال آخر مهم ، هو مساعدة الطلبة والمحاضرين في كليات الهندسة باعتباره مقدمة أساسية مفصلة للموضوع . وفوق كل هذا فهو يبحث عدداً من عوامل إدارة المشروعات التي تنال اهتماماً قليلاً في الكتب الدراسة ، ولكنها مع ذلك تؤثر على استمرارية التكنولوجيا وحيويتها في الممارسة العملية . وخير مثال لذلك هو تأثير مساندة المجتمعات المحلية لمثل هذه المشاريع .

وكلي ثقه في أن هذا الكتاب سيهدم الشيء الكثير لزياده الوعي بهذه التكنولوجيا الملائمة في بلدان إقليم شرق البحر المتوسط ، وفي غيرها من البلدان .



# المقـــــدّمَة

كان تحضير كتاب عن برك تثبيت المخلفات السائلة موضوع توصية من حلقة دراسية مشتركة بين بلدان إقليم شرق البحر المتوسط عقدت في بداية هذا العقد بشأن هذا الموضوع ، وأبدى المشتركون فيها أن هناك حاجة إلى كتاب كهذا في الإقليم . ثم عهد إلى المهندس ماكس لوثر هس بتحضير المسودة الأولى باعتباره مستشاراً مؤقتاً لمنظمة الصحة العالمية . وقد أرسلت هذه المسودة إلى عدد من الخبراء لاستعراضها والتعليق عليها وأخذت وجهات نظرهم في الاعتبار عندما أعد المستشار مسودته الثانية للعرض والمناقشة أمام مجموعة خبراء عقدت في لاهور بباكستان في كانون الأول / ديسمبر ١٩٨٤ .

وبعد دراسة المخطوط أوصت لجنة مراجعة اقتراحات النشر في المكتب الإقليمي بأن تجمع الفصول التي لها صفة عمومية في جزء أول يسبق الفصول الأخرى الموجهة بصفة خاصة إلى المصممين . وكان المعتقد أن الكتاب بهذا الشكل سيخاطب على نحو أفضل فئة مستهدفة من القراء من بينهم كبار صناع القرار والإداريين في الحكومات المركزية والإدارات المحلية ، تلك الفئة المحتاجة إلى معلومات إدارية سليمة عن موضوع ربما كان خارج دائرة أنشطتهم العادية . ومن المعروف جيداً أن القرارات النهائية فيما يتعلق مثلاً باختيار نوع التكنولوجيا ، بينما يعكس تقديرات الخبراء إلا أنه عادة مايكون في أيدي الرسميين والقادة المدنيين من غير ذوي الخبرة في هذا المجال ، والذين يكونون بالتالي محتاجين إلى معلومات عامة غير متميزة لرأي معين . إن اعتبارات النقد الأجنبي المطلوب للحصول على التكنولوجيات المعينة وإدارتها وخاصة في البلدان النامية ، وكذلك مقدرة الخبرة المحلية على إقامتها وتشغيلها ، ومسألة الحصول على نواتج نهائية وجانبية من شأنها أن تزيد الثروة الوطنية بإتاحة فرص العمل ، كل هذه عوامل يمكن أن تفوق قيمتها حسابات التكاليف البسيطة . وقد كان إقتراح اللجنة هذا متمشياً من كل الوجوه مع السياسة الجديدة لمنظمة الصحة العالمية بشأن المنشورات .

وقد قام المحرران الدكتور محمد إسلام شيخ والسيد روبير بيك من المكتب الإقليمي بإعادة تنظيم الكتاب ومراجعته للتأكد من أنه يناسب قراءه المستهدفين . وبناء على توصية اللجنة أضيفت بعض الصور الملونة حتى تعطي انطباعاً أفضل عن حجم برك تثبيت المخلفات السائلة وملامحها العملية . وكذلك أعاد السيد بيك كتابة المرفق وأضاف ملحقاً يوضح فيه منهجية حسابية يمكن إجراؤها بحاسب الجيب Pocket Calculator .

وبعد تنقيح الدليل تم تقييمه من قبل هيئة إدارة صحة البيئة بالمقر الرئيسي لمنظمة الصحة العالمية في جنيف ، والأستاذ م . ب . بسكود من جامعة نيوكاسل والأستاذ أ . ف جلوينا من جامعة تكساس . وقد أحذب تعليقاتهم واقتراحاتهم في الاعتبار وأدرجت في النص على النحو الملائم .

إن منظمة الصحة العالمية لتعتقد أن قيمة هذا الكتاب قد زادت باتساع دائرة قرائه المستهدفين ، وأنه سيحتل مكانه كوسيلة للتعليم والتعلم لطلاب الهندسة في دول الإقليم .

ومما لا شك فيه أن إصدار هذه الطبعة العربية لهذا الكتاب سوف يزيد دائرة الانتفاع به . فسوف تكون الطبعة العربية في متناول المزيد من القراء والمستفيدين . كما أنه سيضيف إلى المكتبة العربية مزيداً من المصطلحات والمفاهيم والمعادلات التقنية ، التي ستساعد مع غيرها من ثمار المجالات العلمية الأخرى في إزدهار حركة تعريب العلوم .

ولقد باشر عملية تعريب هذا الكتاب بجدارة تذكر له بالشكر والتقدير الأستاذ الدكتور حسن متولي ، أستاذ الهندسة الصحية بالمعهد العالي للصحة العامة بجامعة الإسكندرية ، الذي سبق له أن شارك في اجتماع خبراء برك تثبيت المخلفات السائلة المعقود في لاهور بباكستان في كانون الأول / ديسمبر ١٩٨٤ .

# شكر وتقدير

يذكر المحرران بالعرفان الجهد الذي قام به المهندس ماكس لوثر هس الذي تولى إعداد المسودتين الأولى والثانية للكتاب ، وللخبراء الذين راجعوا المسودة الأولى ، وترى أسماؤهم أدناه مع أسماء المشاركين في اجتماع مجموعة الخبراء المنعقد عام ١٩٨٤ . ولإسهاماتهم جميعاً يقدم الشكر والتقدير .

ويخص بالشكر الأستاذ أ. ف جلوينا والأستاذ م. ب بسكود اللذين قاما بقراءة المسودات اللاحقة وقدما التشجيع المستمر للمحررين . كما نشكر الزملاء العاملين بإدارة صحة البيئة بالمقر الرئيسي لمنظمة الصحة العالمية في جنيف لمراجعتهم الكتاب ، ولما بذلوه من جهود للحصول على المواد المرجعية وعلى الكثير من الصور الملونة التي يشملها الكتاب .

## أسماء مراجعي المسودة الأولى

| | |
|---|---|
| الأستاذ الدكتور حمدي إبراهيم علي | كلية الهندسة ، جامعة عين شمس ، القاهرة ، مصر . |
| الأستاذ س. ج. أرسيفلا | الرئيس السابق لقسم صحة البيئة بالمكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية بجنوب شرق آسيا نيودلهي ، الهند . |
| الأستاذ أ. م. بلقادر | المدرسة المحمدية للهندسة ، الرباط ، أجدال ، المغرب . |
| الدكتور أ. د. دي بريتو | ريودي جانيرو ، البرازيل . |
| السيد ك. ف. إلس | محاضر في هندسة صحة البيئة ، جامعة لفبورو ، المملكة المتحدة . |
| السيد ج. أ. دامبدو | مهندس صحي ، مكتب ممثل منظمة الصحة العالمية ، باكستان . |
| الدكتور بشير الحسن | عميد مدرسة الصحة ، جامعة الخرطوم ، السودان . |

| | |
|---|---|
| الأستاذ الدكتور إبراهيم الحطاب | أستاذ الهندسة الصحية ، كلية الهندسة ، جامعة القاهرة ، مصر . |
| السيد د. هـ. هرناندز | المهندس الصحي السابق لمنظمة الصحة العالمية في الرياض ، المملكة العربية السعودية . |
| السيد م. ل. هس | مهندس استشاري ، ساوباولو ، البرازيل . |
| الأستاذ أ. ف. جلوينا | عميد كلية الهندسة ، جامعة تكساس ، أوستن ، الولايات المتحدة الأمريكية . |
| الأستاذ إ. أ. جليسون | قسم الهندسة المدنية ، جامعة ميشيجان ، آن آربور ، الولايات المتحدة الأمريكية . |
| الأستاذ د. لابونتي | أستاذ قسم هندسة البيئة ، كلية الهندسة ، مونتريال ، كندا . |
| السيد ج. ب. لمبرز | محاضر بقسم الهندسة المدنية ، الكلية الأمبراطورية للعلوم والتكنولوجيا ، لندن ، المملكة المتحدة . |
| **الدكتور م. س. ماك جاري** | نائب الرئيس ، مؤسسة كواتر العالمية ، أوتوا ، كندا . |
| الأستاذ و. ج. أوزوالد | أستاذ الهندسة الصحية وهندسة الصحة العامة ، جامعة كاليفورنيا ، مدرسة الصحة العامة ، بركلي ، كاليفورنيا ، الولايات المتحدة الأمريكية . |
| الأستاذ م. ب. بسكود | رئيس قسم الهندسة المدنية ، جامعة نيوكاسل ، المملكة المتحدة . |
| السيد س. م. رافعي أحمد | المدير الإداري السابق ، المؤسسة الاستشارية للعمارة والتخطيط البيئي بالباكستان ، لاهور باكستان . |
| الدكتور و. شيفر | كيماوي صحي بمنظمة الصحة العالمية سابقاً ، باكستان . |
| السيد ر. شرتنليب | مدير المعهد الاتحادي السويسري للتكنولوجيا ، دوبندورف ، سويسرا . |
| الأستاذ الدكتور س. ب. ستروب | مدير برنامج صحة البيئة ، مدرسة الصحة العامة ، جامعة مينيسوتا ، مينيسوتا ، الولايات المتحدة الأمريكية . |
| السيد محمود سليمان | مهندس صحي بمنظمة الصحة العالمية ، جنيف . |
| الدكتور ب. ب. ساندارسان | نائب مدير جامعة مدراس ، مدراس ، الهند . |

| | |
|---|---|
| الأستاذ الدكتور م. طارق نواز | مدير معهد هندسة وأبحاث الصحة العامة ، جامعة الهندسة والتكنولوجيا ، لاهور ، باكستان . |
| الأستاذ ن. س. ثانة | مدير قسم هندسة البيئة ، المعهد الآسيوي للتكنولوجيا ، بانكوك ، تايلند . |
| الدكتور ت. هـ. ي. تيود. | محاضر أول ، قسم الهندسة المدنية ، جامعة برمنجهام ، برمنجهام ، المملكة المتحدة . |
| السيد س. أناكول | المدير السابق ، قسم صحة البيئة ، توريدات وتكنولوجيا صحة البيئة ، منظمة الصحة العالمية ، جنيف ، سويسرا . |
| السيد ف. يانز | مدير مركز الهندسة الصحية والعلوم البيئية بالبلدان الأمريكية ، ليما ، بيرو . |

## اجتماع مجموعة خبراء
## بزك تثبيت المخلفات السائلة

## لاهور ، باكستان ، ٤ ، ٨ كانون الأول / ديسمبر ١٩٨٤

### المشـاركون

| | |
|---|---|
| السيد ك. ف. إلس | محاضر بقسم الهندسة المدنية ، جامعة التكنولوجيا ، لفبورو ، المملكة المتحدة . |
| الأستاذ أ. ف. جليونا | عميد كلية الهندسة ، جامعة تكساس ، أوستن ، تكساس ، الولايات المتحدة . |
| الدكتور بشير الحسن | عميد مدرسة الصحة ، جامعة الخرطوم ، الخرطوم ، السودان . |
| السيد م. ل. هيس | مهندس استشاري ، ساوباولو ، البرازيل . |
| السيد ج. ب. لمبرز | محاضر بقسم الهندسة المدنية ، كلية العلوم والتكنولوجيا الامبراطورية ، لندن ، المملكة المتحدة . |
| الدكتور حسن متولي | أستاذ الهندسة الصحية ، المعهد العالي للصحة العامة ، جامعة الإسكندرية ، مصر . |
| الأستاذ م. ب. بسكود | رئيس قسم الهندسة المدنية ، جامعة نيوكاسل ، المملكة المتحدة . |
| الدكتور م. طارق نواز | مدير معهد هندسة وأبحاث الصحة العامة ، جامعة الهندسة والتكنولوجيا ، لاهور ، باكستان . |

**منظمة الصحة العالمية**

| | |
|---|---|
| الدكتور محمد إسلام شيخ ( أمين الاجتماع ) | رئيس برنامج صحة البيئة ، المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية بشرق البحر المتوسط . |
| السيد ج. أ. ديميديو | مهندس صحي بمنظمة الصحة العالمية ، باكستان . |

**مراقبـــان**

| | |
|---|---|
| الأستاذ جواد أنور عزيز | معهد هندسة وأبحاث الصحة العامة جامعة الهندسة والتكنولوجيا ، لاهور ، باكستان . |
| الدكتور خورشيد أحمد | أستاذ مشارك ، معهد هندسة وأبحاث الصحة العامة ، جامعة الهندسة والتكنولوجيا ، لاهور ، باكستان . |

# الصـــــور

يقدم المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط شكره للسادة المذكورين فيما يلي ، لتفضلهم بالموافقة على نشر الصور الواردة بالكتاب على النحو التالي :

الواجهـــة ..... معهد هندسة وأبحاث الصحة العامة ، جامعة الهندسة ، لاهور ، باكستان

الأشكال ١ ، ٢ ، ٩ ، ١٢ ب ، ١٤ ب ( والغلاف الأمامي ) ، ١٧ ، والغلاف الخلفي ..... الأستاذ م . ب . بسكود

الأشكال ٦ ب و ٨ ..... هيئة سياه الأردن

الأشكال ١١ أ ، ١١ ب ، ١٥ ..... السيد م . لوثر هيس

الشكلان ١٢ ج ، ١٨ ..... الدكتور ر . س . بالانس

# المحتوى

## الجزء الأول – الإعتبارات الأساسية في تخطيط وتشغيل
## برك تثبيت المخلفات السائلة


الفصل الأول – التحدي ..... ٣

الفصل الثاني – أهداف الكتاب ومجاله ..... ٥

٢–١ أهداف الكتاب ..... ٥

٢–٢ مجال الكتاب ..... ٧

الفصل الثالث – تعاريف ..... ٨

الفصل الرابع – اعتبارات عامة ..... ١١

الفصل الخامس – اعتبارات أساسية ..... ١٣

٥–١ الغرض من معالجات المخلفات السائلة ..... ١٣

٥–٢ المعالجة في برك التثبيت اللاهوائية ..... ١٣

٥–٣ المعالجة في برك اختيارية ..... ١٤

٥–٤ المعالجة في برك الانضاج ..... ١٠٧

٥–٥ ترتيبات وتسلسل نظم البرك ..... ١٨

٥–٦ مكان واتجاه موقع البحيرة ..... ١٨

الفصل السادس – العوامل المؤثرة على المعالجة في البرك ..... ٢١

٦–١ عوامل الطبيعة ..... ٢١

٦–١–١ تأثير الرياح ..... ٢١

٦–١–٢ درجة الحرارة ..... ٢٢

٦–١–٣ المطر المتساقط ..... ٢٣

٦–١–٤ الإشعاع الشمسي ..... ٢٤

٦–١–٥ البخر ..... ٢٥

٦–١–٦ التسرب ..... ٢٥

٦-٢ العوامل الفيزيائية ..... ٢٦
٦-٢-١ مساحة السطح ..... ٢٦
٦-٢-٢ عمق المياه ..... ٢٦
٦-٢-٣ اختزال المسار ..... ٢٧
٦-٣ العوامل الكيماوية ..... ٢٧
٦-٣-١ قيمة الرقم الهدروجيني ..... ٢٧
٦-٣-٢ المواد السامة ..... ٢٨
٦-٣-٣ الأكسجين ..... ٢٩
٦-٤ خصائص المخلفات السائلة والمياه المستقبلة لها ..... ٣٠
٦-٤-١ تصرف المخلفات السائلة ..... ٣٠
٦-٤-٢ تكوين المخلفات السائلة ..... ٣٠
٦-٤-٣ خصائص المياه المستقبلة ..... ٣١

الفصل السابع - فشل البركة ..... ٣٣
٧-١ الأعراض ..... ٣٣
٧-٢ معايير الفشل ..... ٣٤

الفصل الثامن - العوامل الإيجابية والسلبية المتعلقة بالبرك الاختيارية في المناطق الدافئة ..... ٣٥
٨-١ العوامل الإيجابية ..... ٣٥
٨-٢ العوامل السلبية ..... ٣٥

الفصل التاسع - معالجة المخلفات السائلة في المناطق الحارة والقاحلة ..... ٣٨
٩-١ تصميم البركة في المناطق الحارة والقاحلة ..... ٤٠
٩-٢ الاعتبارات الأساسية في التصميم ..... ٤٢

الفصل العاشر - تحسين نوعية السيب من البركة ..... ٤٤
١٠-١ معايير إعادة استعمال السيب ..... ٤٤
١٠-٢ تحسين النوعية بهايسينات الماء ..... ٤٠٥

الفصل الحادي عشر - التشكيل الهندسي للبركة ..... ٤٧
١١-١ العوامل المؤثرة على شكل البركة ..... ٤٧
١١-٢ أشكال البركة ..... ٤٧
١١-٣ أركان البركة ..... ٤٨

الفصل الثاني عشر بناء وتطبيق البركة وملحقاتها ..... ٤٩
١٢-١ تحريك الأتربة ..... ٤٩
١٢-١-١ رفع القاع للوصول إلى أقل ما يمكن من حجم تحريك الأتربة .... ٤٩
١٢-٢ الأشكال الهندسية للجسور ..... ٥٠
١٢-٣ التطبيق ..... ٥١
١٢-٣-١ تبطين القاع ..... ٥١
١٢-٣-٢ تبطين الميول ..... ٥١
١٢-٣-٣ تبطين البركة وتلوث المياه الجوفية ..... ٥٤
١٢-٤ الملحقات ..... ٥٤
١٢-٤-١ المواسير ..... ٥٤
١٢-٤-٢ المداخل ..... ٥٤
١٢-٤-٣ المخارج ..... ٥٧
١٢-٤-٤ قياس التصرف ..... ٥٨
١٢-٤-٥ المواسير المتصلة بين البرك ..... ٥٨
١٢-٥ مراجعة تصميم ماسورة المجاري الداخلة ..... ٥٩
الفصل الثالث عشر - إنشاء البركة وتجهيزاتها ..... ٦٠
١٣-١ الإقلال من التعقيدات إلى أدنى حد ..... ٦٠
١٣-٢ محطات الضخ ..... ٦١
١٣-٣ قياس التصرف ..... ٦٢
١٣-٤ استعمال المصافي ..... ٦٣
١٣-٥ استعمال أحواض ( غرف ) حجز الرمال ..... ٦٣
١٣-٦ أجهزة التهوية ..... ٦٤
١٣-٧ إسكان العاملين ..... ٦٥
١٣-٨ توفير مياه الشرب ..... ٦٥
١٣-٩ التجهيزات الصحية ..... ٦٥
١٣-١٠ التركيبات الكهربية ..... ٦٥
١٣-١١ المعمل ( المختبر ) ..... ٦٦
١٣-١٢ محطة الأرصاد ..... ٦٧
١٣-١٣ معدات الطوارىء ..... ٦٧
١٣-١٤ التسوير ..... ٦٧

١٣-١٥ الخدمات الأخرى ..... ٦٨

الفصل الرابع عشر – التحكم في تشغيل برك تثبيت المخلفات السائلة ..... ٦٩
١٤-١ الاحتياج ..... ٦٩
١٤-٢ متطلبات العمالة ..... ٦٩
١٤-٣ الأعمال الروتينية اليومية ..... ٧٠
١٤-٣-١ قياسات الأرصاد ..... ٧٠
١٤-٣-٢ البيانات الطبيعية والكيماوية والبيولوجية ..... ٧٣

الفصل الخامس عشر – تشغيل البرك وصيانتها ..... ٧٤
١٥-١ تشغيل وصيانة البرك اللاهوائية ..... ٧٤
١٥ ٢ تشغيل وصيانة البرك الاختيارية وبرك الانضاج ..... ٧٤

الفصل السادس عشر – مشاكل التشغيل وحلولها ..... ٧٦
١٦-١ الاحتياج للصيانة ..... ٧٦
١٦-٢ مشاكل البرك اللاهوائية ..... ٧٦
١٦-٢-١ الروائح غير المستحبة ..... ٧٦
١٦-٢-٢ البعوض والحشرات الأخرى ..... ٧٧
١٦-٢-٣ نمو الأعشاب ..... ٧٨
١٦-٣ مشاكل البرك الاختيارية وبرك الانضاج ..... ٧٨
١٦-٣-١ الخبث ..... ٧٨
١٦-٣-٢ الروائح غير المستحبة ..... ٧٩
١٦-٣-٣ اختزال المسار ..... ٨٠
١٦-٣-٤ البعوض والحشرات الأخرى ..... ٨١
١٦-٣-٥ نمو الأعشاب ..... ٨١
١٦-٤ تفريغ الحمأة من البركة ..... ٨٢
١٦-٤-١ إزالة الحمأة السائلة ..... ٨٢
١٦-٤-٢ إزالة الحمأة الجافة ..... ٨٣

الفصل السابع عشر – الصيانة والأمن ..... ٨٤
١٧-١ أهمية الصيانة والأمن ..... ٨٤
١٧-٢ التعامل مع الجمهور ..... ٨٤
١٧-٣ تسوير البركة لتأمينها ..... ٨٤

١٧-٤ الجسور والمناطق المزروعة بالنجيل ..... ٨٥
١٧-٥ الملحقـات ..... ٨٦
١٧-٦ التخلص من المخلفات الصلبة ..... ٨٦
١٧-٧ أمن العاملين ..... ٨٦
الفصل الثامن عشر - إدارة المشروعات ..... ٨٨
١٨-١ التدريب ..... ٨٨
١٨-٢ النواحي المالية ..... ٨٨
١٨-٣ النواحي الإدارية ..... ٨٨

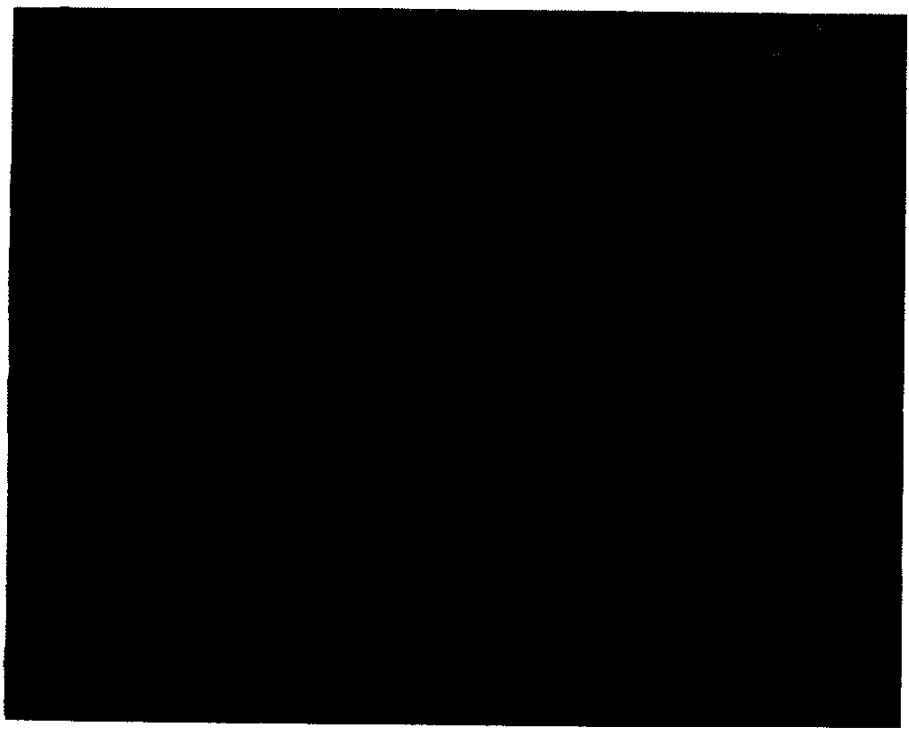
## الجزء الثاني - الإعتبارات التفصيلية لتصميم برك تتبيت
### المخلفـات السـائلة

الفصل التاسع عشر - تصميم البرك اللاهوائية ..... ٩٣
١٩-١ معايير التصميم ..... ٩٣
١٩-٢ معدل التحميل السطحي ..... ٩٤
١٩-٣ التحميل الحجمي ..... ٩٤
١٩-٤ مدة المكث ..... ٩٥
١٩-٥ فقد معايير التصميم ..... ٩٧
١٩-٦ طريقة تصميم موصى بها ..... ٩٧
الفصل العشرون - تصميم البرك الاختيارية ..... ٩٩
٢٠-١ طريقة التحميل السطحي ..... ١٠٠
٢٠-٢ النماذج التجريبية ..... ١٠١
٢٠-٢-١ معادلة أرسيفالا ..... ١٠١
٢٠-٢-٢ معادلة الانحدار لمكجاري وبسكود ..... ١٠١
٢٠-٢-٣ معادلة جلوينا ..... ١٠٣
٢٠-٣ نماذج الحركة والانتشار ..... ١٠٤
٢٠-٣-١ معادلة مارياس وشاو ذات الدرجة الأولى للتفاعل ..... ١٠٤
٢٠-٣-٢ معادلة ثيرومورثي لانتشار التصرف ..... ١٠٥
٢٠-٤ عمق البركة الاختيارية ..... ١٠٦
٢٠-٥ طرق التصميم الموصى بها ..... ١٠٦
٢٠-٥-١ البرك الاختيارية الابتدائية ..... ١٠٦

٢٠-٥-٢ البرك الاختيارية الثانوية ..... ١٠٧
٢٠-٥-٣ مدة المكث ..... ١٠٨
الفصل الحادي والعشرون - تصميم برك الأنضاج ..... ١٠٩
٢١-١ وظيفة برك الانضاج ..... ١٠٩
٢١-٢ نماذج تخفيض الجراثيم ..... ١١٠
المرفق ١ - تصميم نظام برك تثبيت المخلفات السائلة ..... ١١٣
المراجـــع ..... ١٢٨
الملحق ١ - حساب أحجام الحفر والردم ..... ١٣١
قائمة الرموز والاختصارات ..... ١٤٧
عوامل التحويل ..... ١٤٨

الجزء الأول

# الاعتبارات الأساسية في تخطيط وتشغيل برك تثبيت المخلفات السائلة



انشئت برك تثبيت المخلفات السائلة في لاهور بباكستان في عام ١٩٦٧ وتخدم ٣٠٠٠٠ نسمة في المدينة . وقد استخدمت في أغراض البحث حول خصائص التشغيل ، وقد استعمل السيب النهائي في مزارع الأسماك وفي الري ( وتظهر بعض المحاصيل في مقدمة الصورة ) . وقد كان المشروع أكثر من ناجح مما أدى إلى توسعته بمساعدة مؤسسة العلوم القومية الباكستانية والبنك الدولي وهيئة المعونة الأمريكية .

# الفصـل الأول
# التحـــــــدي

وافقت الدول الأعضاء في منظمة الصحة العالمية في عام ١٩٧٨ على مفهوم الرعاية الصحية الأولية كجزء من استراتيجية توفير الصحة للجميع . ووفقاً لهذا النهج ، تعتبر الصحة جزءاً من التنمية الإجتماعية والاقتصادية ، كما أنه يشمل ضمن عناصره الأساسية الثمانية ، الإمداد الكافي بالمياه النقية والإصحاح الأساسي ، حيث تحقق أن كل الجهود للنهوض بالصحة سوف تفشل بدون تحقيق هذين المطلبين . ولقد عاصرت هذه الفترة استهلال برنامج الأمم المتحدة للعقد الدولي لمياه الشرب والإصحاح (١٩٨١-١٩٩٠) والذي شهد مبادرات هامة لزيادة وعي الحكومات بالعلاقات التي تربط بين الماء والإصحاح والصحة والتنمية الوطنية . وكانت أنشطة المنظمة في هذا المجال متكاملة بدرجة وثيقة مع مجهودات الحكومات ومنظمات الأمم المتحدة الأخرى في تدعيم أنشطة العقد على مستوى العالم .

وقد أوضحت التجارب والخبرات المكتسبة في غضون هذا العقد أن توفير مياه الشرب فقط ليس بالاستجابة الكافية ، حيث أن زيادة استهلاك المياه يتطلب جهازاً مقابلاً لجمعها والتخلص منها بعد استعمالها ، وذلك حين يحدث على سبيل المثال أن تشكل برك المياه الراكدة غير النظيفة مخاطر صحية في بعض الأحيان .

وقد تبين من الإحصاءات العالمية لعام ١٩٨٥ أن ثلاثة من كل خمسة أفراد في البلدان النامية يمكنهم الحصول على مياه صالحة للشرب ، بينما وجد أن فرداً واحداً من كل أربعة أفراد يمكنه الحصول على خدمات إصحاحية كافية . وكيفما كان الأمر فإن هذه الأرقام تخفي وراءها الحقيقة ، وهي أن حالة الناس في المناطق الريفية أسوأ بكثير من حالة زملائهم في المناطق الحضرية . ففي إقليم شرق البحر المتوسط وحده ، حيث يوجد ١٣٤ مليون نسمة في الحضر و ١٩٦ مليون نسمة في الريف ، فإن ٢١ مليوناً من سكان الحضر (١٦٪) و ١١٩ مليوناً من سكان الريف (٦١٪) لم تتوفر لهم مياه صالحة للشرب ، وكذلك فإن ٣٧٫٥ مليوناً من الحضريين (٢٨٪) و ١٧٠ مليوناً من الريفيين (٨٧٪) كانوا محرومين من الخدمات الإصحاحية الكافية .

ويلاحظ أن توفير مياه الشرب وخدمات الإصحاح للجميع معناه توفيرهما لأكثر من ثلاثة آلاف مليون نسمة في العالم أجمع . وإذا استمرت مستويات الخدمات وطرق تنفيذها والتكنولوجيا المطبقة فيها على ما كانت عليه في الماضي القريب فربما لا نصل إلى الهدف أبداً . هذا وبينما يكون الوضع

حرجاً بالنسبة لتوفير مياه الشرب ، فإنه أسوأ في حالة معالجة المخلفات السائلة . ومن هنا يظهر التحدي الحقيقي للمؤسسات المرتبطة بالتخطيط والإنشاء والتمويل . وإذا كنا سنقبل التحدي فلابد من تبني وسائل تقنية قليلة التكاليف . ولهذا فقد أجريت أبحاث كثيرة على معالجة المخلفات السائلة بواسطة برك التثبيت ( وتسمى أحياناً برك الأكسدة وأحياناً أخرى بحيرات الأكسدة ) stabilization ponds وذلك في البلدان النامية والمتقدمة على السواء . وتم اكتساب خبرات في تشغيلها . وتزايد عددها على مدى أكثر من خمسين سنة مضت . ويعتبر نظام برك التثبيت المصمم بإتقان نظاماً اقتصادياً وبسيطاً ويعتمد عليه في عملياته وخطواته لمعالجة المخلفات السائلة والمخلفات الصناعية .

ولنظم برك التثبيت مزاياها المعروفة أكثر من النظم الأخرى لمعالجة المخلفات السائلة . ومن مزاياها الكبرى مقدرتها على سرعة التخلص من جراثيم الأمراض ، وتلك فائدة صحية لها أهميتها ، حيث يكون السيب النهائي أكثر أماناً من نواتج كثير من النظم الأخرى ، الأمر الذي يسمح بإعادة استعماله في الزراعة والمزارع السمكيه .

ويناسب نظام البرك ، إضافة إلى ذلك ، كل التعدادات السكانية سواء اكانت صغيرة أو كبيرة . وعلى سبيل المثال فإن بعض البرك الكبيرة المعروفة عالمياً تعالج المخلفات السائلة لأكثر من مليون شخص .

ولا يجب على الإطلاق التقليل من دور برك التثبيت في حل مشاكل التخلص من المخلفات السائلة في البلدان النامية سواء كان ذلك من قبل المخططين أو السلطات الصحية والمهندسين والاقتصاديين على المستوى الوطني ، فهذا النظام لمعالجة المخلفات السائلة بتكاليف إنشائه وتشغيله ليس منافساً فقط لأنظمة المعالجة الأخرى المعقدة ، بل إنه ليتطلب أقل كثيراً من رأس المال حينما تتاح الأرض الرخيصة ، أضف إلى ذلك أن التكنولوجيا اللازمة لهذا النظام ملائمة تماماً لاقتصاديات البلدان النامية فهي لا تزيد أعباء الموارد التقنية أو البشرية . وفضلاً عن ذلك يمكن تعديل تصميم هذه الأنظمة لتناسب الأجواء المتغيرة والظروف المختلفة تبعاً للاحتياجات المحلية .

# الفصـــل الثـاني
# أهـــداف الكتـــاب ومجـــاله

## ٢-١ أهداف الكتاب

يهدف الجزء الأول من هذا الكتاب إلى تقديم معلومات لكل من له علاقة بتصميم وإنشاء وتشغيل برك تثبيت المخلفات السائلة بمن فيهم أصحاب القرار على المستويات المحلية والوطنية الذين يقع عليهم عبء اختيار وتمويل مشاريع الصرف الصحي المزمع تطبيقها في أي مجتمع . أما الجزء الثاني والمرفق الأول فيضيفان معلومات أكثر تخصصاً عن التصميم ليستعملها الفنيون . ومن المعتقد أن هذا الكتاب سيكون ذا فائدة خاصة في البلدان النامية التي لا تتوافر لديها بعد الخبرات التقنية . وسوف يكون فضلاً عن ذلك مفيداً كأداة فعالة في التدريس والتدريب ، كما أنه سوف يفيد كثيراً مديري العمليات الذين يشرفون على عمال التشغيل وغيرهم من العاملين في مثل هذه المشروعات .

ويستعرض الكتاب أكثر التقنيات استعمالاً ويبرز الخبرات العملية المكتسبة في كل بقاع العالم بأقطاره الصناعية وغير الصناعية . ويعكس الشكل ١ والشكل ٢ بمقاييس مختلفة مدى قدرة برك تثبيت المخلفات السائلة على الوفاء بمتطلبات المجتمعات الكبيرة والصغيرة على السواء .

إن النماذج الرياضية الموضوعة للبرك لاتزال حتى الآن مبسطة ولا تعكس العوامل العديدة التي تؤثر على بيئة برك التثبيت كالطبقات المائية (stratification) وانتشار ملتهمات الطحالب كالروتيفرات والدافنيا (rotifers and daphnia) في البرك الاختيارية (facultative ponds) أو سيطرة الطحالب الخضراء الزرقاء (blue-green algae) . وتبعاً لذلك فإن أي طريقة معقدة لعمل نموذج رياضي ليس لها أي ميزة على الطرق الأقل تعقيداً في الوقت الحاضر . وذلك أن كثيراً من هذه الظواهر ليس لها إلا القليل من الأهمية في المناطق المعتدلة والباردة . هذا وقد أخذت في الاعتبار الآثار السلبية والإيجابية لارتفاع درجة الحرارة في الجو المحيط بالبركة .

وسيتناول هذا الكتاب ثلاثة أنواع فقط من برك التثبيت وهي :

- البرك اللاهوائية – anaerobic ponds .
- البرك الاختيارية – facultative ponds .
- برك الإنضاج – maturation ponds .

ولن يتناول الكتاب البرك المهواة ميكانيكياً mechanically – aerated ponds حيث أن استثماراتها أعلى وتحتاج إلى دراية فنية أكثر تعقيداً في تشغيلها وصيانتها .

الشكل ١ – بركة تثبيت في قرية سمراء بالقرب من عمان ، الأردن .

الشكل ٢ – بركة تثبيت في خون خان ، تايلند .

## ٢-٢ مجـال الكتـاب

يغطي هذا الكتاب المواضيع التالية :

- غرض التنقية .
- معلومات أساسية عن عمليات التنقية .
- معايير التصميم .
- الأوضاع غير العادية ، أو الفشل الوظيفي ، ومتاعب التشغيل .
- تسلسل عمليات التشغيل والصيانة والأمان وأخذ العينات .
- إصلاح الخلل في حالة وجود مشكلة ناتجة عن التشغيل .

وإنه لمن المتوقع خلال استعمال هذا الكتاب أن يجد المصمم والقائم على التشغيل والصيانة مزيداً من المعلومات الخاصة بالتصميم والتشغيل والصيانة وطرق إنشاء البركة والأجهزة والأدوات المتعلقة بها وطرق التحكم فيها .

وتوجد كذلك بعض النماذج البسيطة لاستمارات تسجيل البيانات ، كما توجد تعليمات بشأن جمع العينات ، وكيفية تقدير الحاجة إلى الصيانة والإصلاح . وهذه النماذج مقدمة على سبيل المثال فقط ، حيث يلزم تطويرها لتناسب المكان الذي ستطبق فيه تبعاً لخصائصه ومؤهلات القائمين على أمره .

# الفصـــل الثـالث
# تعـــــاريف

ربما كان من المفيد تعريف بعض المصطلحات الواردة في هذا الكتاب كنوع من المساعدة للقارىء على النحو التالي .

**المخلفات السائلة wastewater** ، وهذه ربما تكون مياه المجاري المنزلية أو مخلفات صناعية أو خليط منهما كما في حالة مياه المجاري العامة في المناطق الصناعية . وسيستعمل لفظ المخلفات السائلة في هذا الكتاب أينما يتمشى اللفظ بالتساوي مع المجاري والمخلفات الصناعية .

**المجـاري sewage** ، وهي كما تستعمل في هذا الكتاب تدل على المجاري المنزلية وليس بها مخلفات صناعية .

**بركـــة pond** ، تجمع مائي محتوي في حفرة في الأرض أو في حوض مشكل فوق الأرض بمساعدة جوانب ترابية أو في كليهما ( وأحياناً يستعمل لفظ بحيرة lagoon في نفس موقع البركة pond ولكن كلمة بركة تفضله لأغراض هذا الكتاب ) .

**بركة تثبيت المخلفات السائلة wastewater stabilization pond** ، بركة من صنع الإنسان ( وحدة معالجة ) وفيها يسمح للمخلفات السائلة بالمكث مدة تحت تأثير الكائنات المجهرية وقوى الطبيعة ، وبهذا تتحول إلى سيب له المواصفات المعيارية التي تفي بمتطلبات التخلص النهائي أو متطلبات إعادة الاستعمال .

**بركة لا هوائية anaerobic pond** ، وهي بركة تثبيت مخلفات سائلة خالية من الأكسجين الذائب وفيها تقوم البكتريا اللاهوائية بتحليل المواد العضوية إلى مكوناتها الأولية .

**بركة اختيارية facultative pond** ، وهي بركة تثبيت مخلفات سائلة طبقاتها العليا تحتوي على الأكسجين الذائب ( طبقة هوائية ) بينما تكون طبقاتها السفلى خالية من الأكسجين ( طبقة لا هوائية ) . ويتم التعرف كذلك على طبقة وسطى بينهما ، وفي الطبقة العليا تتواجد الطحالب وكلاً من البكتريا الهوائية والاختيارية .

**بركة الإنضاج ( أو التحسين ) maturation (or polishing) pond** ، وهي بركة تثبيت هوائية تعطي معالجة ثانوية أو كاملة ووظيفتها الأساسية هي إزالة ما تبقى من جراثيم الأمراض من السيب المعالج ، وهي تزيل كذلك بعض المواد العالقة والغذيات ، وتخفض تركيز المواد العضوية

القابلة للتحلل البيولوجي ، وعندما تكون إزالة جراثيم الأمراض هي الهدف الأساسي فإن تعبير « برك الإنضاج » يكون هو المفضل وهو الوارد في هذا الكتاب .

**بركة إبتدائية primary pond** ، وهي بركة تثبيت مخلفات سائلة منفردة ، أو هي البركة الأولى من مجموعة بركتين أو ثلاثة متصلة على التوالي ، وهي تستقبل المخلفات السائلة الخام ويمكن أن تكون بركة لا هوائية أو اختيارية .

**بركة ثانوية secondary pond** ، وهي بركة لتثبيت المخلفات السائلة تسبقها بركة ابتدائية . ويمكن أن تكون لا هوائية أو اختيارية أو بركة انضاج .

**بركة ثلاثية أو رباعية tertiary or quarternary pond** وهي امتدادات للبرك المسماة سابقاً .

**عملية هوائية aerobic process** ، وهي عملية بيولوجية تتطلب الأكسجين ، وذلك بالنسبة لبرك تثبيت المخلفات السائلة .

**عملية لا هوائية anaerobic process** ، وهي عملية بيولوجية تستمر في حالة غياب الأكسجين .

**الأكسجين اللازم ( المطلوب ) oxygen demand** ، وهو بند مهم عند التعامل مع معالجة المخلفات السائلة ، ويمثل كمية الأكسجين اللازم لتحليل المواد العضوية في المخلفات السائلة ( وتكون نهاية التفاعل كائنات حية حيوانية أو نباتية ) . والأكسجين المطلوب يمكن اعتباره الأكسجين اللازم لأكسدة (١) كل الكربون ، (٢) النيتروجين القابل للتأكسد ، (٣) مركبات معينة قابلة للتأكسد ، وتأتي أهمية إزالة المواد العضوية القابلة للتأكسد من أن نواتج التفاعل لا توجد فيها جراثيم ممرضة ، ولا تمثل حملاً على البيئة بمواد بيولوجية قابلة للتحلل وذلك عند صرف المخلفات السائلة بعد المعالجة .

**الأكسجين الكيماوي الممتص chemical oxygen demand (COD)** ، ويمثل كمية الأكسجين الكلية اللازمة لأكسدة المواد العضوية في المخلفات السائلة .

**الأكسجين الحيوي الممتص ( المطلوب أو اللازم ) biochemical oxygen demand (BOD)** ويمثل كمية الأكسجين الكلية المطلوبة للتحليل البيولوجي لما يلي (١) المواد المحتوية على كربون ، (٢) المواد المحتوية على نتروجين ، أي أنه كمية الأكسجين اللازمة للإبقاء على النشاط البيولوجي في بركة هوائية .

**الأكسجين الحيوي الممتص ٥ ( لخمسة أيام ) 5 – day biochemical oxygen demand ($BOD_5$)** ، ويمثل كمية الأكسجين اللازمة للإبقاء على النشاط البيولوجي خلال خمسة أيام وفي درجة حرارة ٢٠° س ، وقد تم اختياره كمرجع معياري حتى يمكن مقارنة المخلفات السائلة ببعضها بالنسبة لهذا البند .

والعملية اللاهوائية في البركة اللاهوائية تحلل كذلك المواد العضوية ( انظر البد ٥-٢ فيما بعد ) . والفرق بين الأكسجين الحيوي الممتص للمخلفات السائلة الداخلة إلى البركة اللاهوائية ومثيله للمخلفات الخارجة منها يستعمل في قياس فائدة المعالجة اللاهوائية ( أي كفاءة البركة ) .

**التصرف الداخل influent** ، وهو التصرف الداخل إلى البركة قبل المعالجة .

**السيب effluent** ، وهو التصرف الخارج من وحدة المعالجة بعد معالجته .

# الفصـــل الرابـــع
# اعتبـــارات عامـــة

يعتمد اختيار عملية معالجة المخلفات السائلة على عوامل عدة بعضها فقط يمكن تقديره على أساس مالي . فتكاليف الإنشاء وتكاليف التشغيل يسهل تقديرها ، أما بقية العوامل الأخرى كمعرفة مدى الاعتماد على العملية المختارة وقوتها وتحملها فيصعب تقديرها في بنود اقتصادية وإن كانت تفوق غيرها في الأهمية . والعوامل الأساسية في اختيار عملية المعالجة هي :

- الحماية الكافية للصحة العامة ( إزالة مسببات الأمراض ) ،
- المستوى المتاح لكفاءة العامل ( القائم على التشغيل ) وقدراته الفنية ،
- الإقلال من تكاليف التشغيل ما أمكن ( الطاقة والصيانة وقطع الغيار ) ،
- الإكثار من استثمار الموارد المحلية ( العمالة والمواد والمعدات ) ،
- التكاليف الرأسمالية .

وثمة سؤال وجيز يوفر التوجيه السليم في اختيار عملية معالجة المخلفات السائلة هو « هل العملية بسيطة وغير معقدة ؟ وهل تؤدي الوظيفة المطلوبة ؟ »

وتكون الإجابة « نعم » في حالة برك تثبيت المخلفات السائلة ، فهي تمثل أبسط طريق حاولها الإنسان لتثبيت المواد القابلة للتحلل في المخلفات السائلة ، وذلك بتوفير الظروف الملائمة لعمليات التنمية الطبيعية حيث يسمح لقوى الطبيعة بالتعامل مع المخلفات السائلة ( كأشعة الشمس والرياح ودرجات الحرارة والحياة التلقائية الحيوانية والنباتية ) . وهكذا لا يوجد إلا مكان محدود فقط للمصمم للقيام بعمله لتحسين عملية برك التثبيت ، بل إن دور المصمم أقل من ذلك الذي يؤديه العامل القائم على التشغيل لتحريك أو تطوير ظروف البركة إن سارت الأمور على غير ما ينبغي . ولهذه الأسباب فإن برك التثبيت قلما تحتاج إلى صيانة معقدة أو إشراف مستمر على تشغيلها .

ويتم توظيف واستثمار أكثر العمليات البيولوجية بداءة لمعالجة المخلفات السائلة في برك التثبيت ، حيث تطور لينتج عنها سيب مناسب يمكن صرفه في معظم التجمعات المائية ، كما يستعمل في استصلاح الأراضي بتكاليف قليلة ولا يتطلب عمالة ماهرة . وهي لا توفر المعالجة الكاملة المثلى ، ولكنها خلال مجموعة برك على التوالي يمكنها إزالة جراثيم الأمراض على نحو أكثر كفاءة من عمليات المعالجة التقليدية الأخرى .

إن المتطلبات من العمالة الماهرة محدودة . وبينما هناك حاجة إلى بعض التدريب ، فهو ليس بالتدريب المتقدم على أية حال .

كذلك فإن متطلبات الطاقة والصيانة أقل ماتكون ، في حدود مايلزم لبعض قطع الغيار . وبتحديد أدق ، فإدارة برك التثبيت لا تحتاج إلى تشغيل يذكر إلا في حالة وجود مضخات pumps أو مصاف screens أو أحواض فصل الرمال grit chambers أو وسائل أخرى مقامة ضمن ملحقات البركة . وحتى في مثل هذه الحالات فالدراية الفنية يمكن توفيرها بسهولة .

أما من ناحية الإنشاء فهو بسيط ويمكن تغطية متطلباته بالمواد المحلية والعمالة المتاحة .

ومن الطبيعي أن تكون برك تثبيت المخلفات السائلة هي الاختيار الأول عند المفاضلة بين عمليات المعالجة في البلدان النامية تحت معظم الظروف . وقد نشرت معلومات مفيدة عن تصميم البرك وإنشائها وتشغيلها في الهند في كتاب أرسيفالا[1]لمن يريد مزيداً من الإطلاع .

وعلى كل حال فمازال هناك بعض الحالات التي لا يمكن اختيار نظام برك التثبيت فيها ، وذلك حين لا تتوفر الأرض الرخيصة ، وهنا يجب مراعاة النقاط التالية قبل إصدار القرار واختيار طريقة المعالجة :

( أ ) مازال معدل نجاح طريقة الحمأة المنشطة في كثير من الدول النامية ضعيفاً .

(ب) هناك إنتاج مستمر من الحمأة الناتجة عن الطرق التقليدية ويلزم معالجتها والتخلص منها بطريقة مأمونة .

( ج ) يمكن إعادة استعمال السيب النهائي من برك التثبيت دون تعقيم في الزراعة مثلاً وذلك على أن يتم تقييم لتفاعل التربة مع السيب ويتم اختيار أنواع محاصيل مناسبة .

( د ) يوفر نظام برك التثبيت الحل المرن لمقابلة الأحمال في المستقبل من المجتمعات الصغيرة والكبيرة على السواء .

(هـ) لا تتطلب معظم مشاريع البرك غير قليل من المعدات الكهربائية أو الميكانيكية وأحياناً ما تكون معدات صغيرة ، بل يمكن الاستغناء عنها في بعض الأحيان .

( و ) يكون المكون الأجنبي من العملة الصعبة في التكاليف الكلية للمعالجة أقل ما يكون في مشاريع برك التثبيت ، وهو أقل من مثيله في غيره من مشاريع المعالجة التقليدية .

# الفصـــل الخامس
# اعتبـارات أســاسية

## ٥-١ الغرض من معالجات المخلفات السائلة

تتكون مياه المجاري المنزلية النمطية من حوالي ٩ر٩٩٪ من الماء والباقي وقدره حوالي ١ر٠٪ من الشوائب ، وأغلبها مواد عالقة وذائبة وغروية ، وكذلك بعض الغازات إضافة إلى وجود كائنات دقيقة ومواد أخرى .

ويشمل علاج المخلفات السائلة فصل المواد الصلبة عن السائلة ، ثم معالجة كل منهما بعد فصلهما للإقلال ما أمكن من الملوثات العضوية التي تحتويها المواد الصلبة والسائلة ، وهذا مما يسمح بالتخلص النهائي من مكونات المخلفات السائلة بعد تثبيتها حيث يتم ذلك في البيئة دون آثار ضارة . وتوفر برك التثبيت تلك المعالجة اللازمة ، إضافة إلى تأثيرها الفعال في إزالة جراثيم الأمراض بدرجة عالية .

ويتم فصل المواد العالقة عن المواد السائلة في المشاريع الأخرى لمعالجة المخلفات السائلة بواسطة وحدات تنقية مكلفة للغاية . وكثيراً ماتزود بأجهزة ميكانيكية في قنوات خرسانية وأحواض ، وكذلك معدات أخرى تشمل الصافي وأحواض فصل الرمال وأحواض الترسيب وأحواض التكثيف وأحواض التهوية وخزانات التخمير وغيرها من وحدات المعالجة . وهذه الأنواع من المعالجة أقل كفاءة من برك التثبيت في إزالة الجراثيم .

ويمكن أن تتم في برك التثبيت جميع عمليات التشغيل والمعالجة في نفس الوحدة . أو يمكن استعمال مجموعة من الوحدات المتشابهة . أما إذا أريدت درجة واحدة من المعالجة فمن الطبيعي أن تكون البركة إما لا هوائية أو اختيارية . وعلى كل حال فيجب أن تتبع البركة اللاهوائية في معظم الحالات بركة ثانوية لمزيد من المعالجة الهوائية البيولوجية .

## ٥-٢ المعالجة في بركة التثبيت اللاهوائية

عند مقارنة البرك اللاهوائية بمشاريع المعالجة الأخرى التقليدية فإنها تقوم مقام الوحدات التالية :

- أحواض الترسيب الابتدائية ،
- أحواض تكثيف الحمأة ،
- خزانات الهضم اللاهوائية ،

- مواسير الغاز ومحارقها ،
- وحدات تجفيف الحمأة ،
- المضخات والمحركات والأجهزة التي تشملها المعالجة الابتدائية ،
- وأحياناً المصافي وأحواض فصل الرمال .

وتحدث التغييرات الآتية بعد مضي بعض الوقت وأثناء المرور البطيء للمخلفات السائلة خلال البركة :

( أ ) تترسب معظم المواد الصلبة إلى قاع البركة .

(ب) يتم بعض التخلص من الكائنات المرضة .

( ج ) يتكون بعض الخبث على سطح البركة من المواد الطافية بما فيها من زيوت وشحوم ومواد فلينية وأعقاب سجاير وبلاستيك وما شابه ذلك من المواد القابلة للطفو مكونة طبقة من الخبث scum layer يمكن حجزها بواسطة حواجز الخبث scum baffles ، أو بوسائل مشابهة وذلك لمنع الخبث من التصرف مع السيب المعالج .

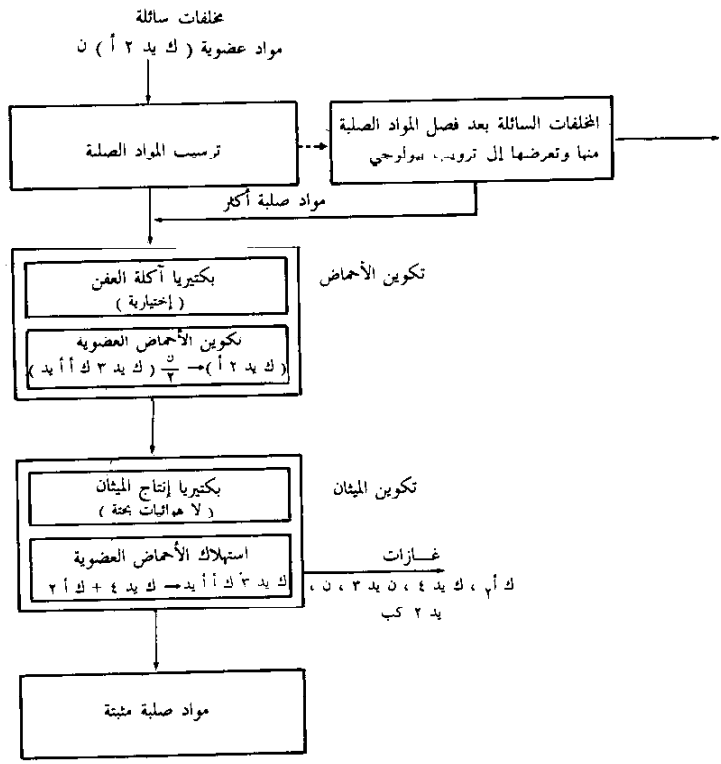
( د ) يترسب جزء من المواد العالقة ومعه بويضات الديدان والطفيليات والجراثيم إلى قاع البركة حيث يحدث له تحلل لاهوائي ، ويتركز ويتحول جزئياً إلى مواد معدنية ، وتتحلل المواد العضوية بالجراثيم اللاهوائية . وخلال استقلاب metabolism تلك الجراثيم فإن جزءاً من المواد العضوية يتحول إلى مواد معدنية . وأثناء هذه المرحلة تتولد الغازات بادئة بثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) والميثان ( $CH_4$ ) وكبريتيد الهيدروجين ( $H_2S$ ) ، وتنتشر هذه الغازات في الجو خلال سطح السائل ( الشكل ٣ ) . ويتحول جزء من الحمأة الناتجة عن ترسيب المواد الصلبة إلى غاز . ويؤدي هذا التفاعل إضافة إلى تكثيف الحمأة إلى تراكم المواد الصلبة في البركة اللاهوائية . وتقدر الحمأة المتراكمة نتيجة لذلك بحوالي ٤٠ لتراً للفرد في السنة[2] .

وغالباً ما يتم تصريف السيب السائل من البركة اللاهوائية إلى بركة اختيارية بما يحمله من كميات قليلة من المواد الصلبة والمواد القابلة للترسيب وبويضات الديدان . وينخفض الأكسجين الحيوي الممتص ($BOD_5$) في هذا السيب بمقدار ٤٠ – ٦٠٪ من قيمته للمخلفات السائلة الداخلة للبركة الابتدائية اللاهوائية ، ويعتمد ذلك على درجة الحرارة ومدة المكث .

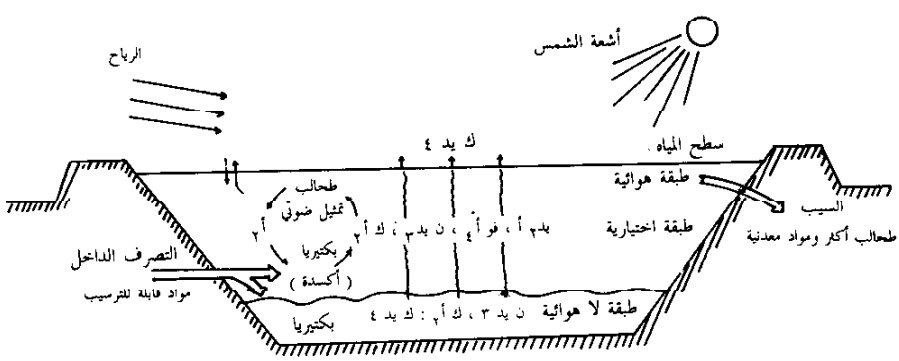
### ٥-٣ المعالجة في بركة اختيارية

تبنى البرك الاختيارية بعمق أقل وبمساحة أكبر من البرك اللاهوائية . ويحاول المصمم الإبقاء على طبقة عليا هوائية « طافية » فوق طبقة سفلى لا هوائية . وتتسبب الظروف الهوائية في الطبقة العليا

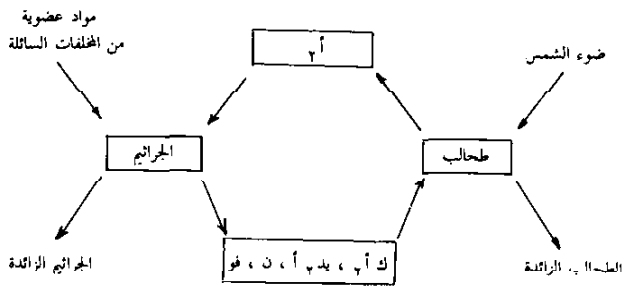
من وجود الأكسجين الذائب الذي يتولد مبدئيا، كنتيجة لعملية التمثيل الضوئي photosynthesis المتسبب من سقوط الإشعاع الشمسي على الطحالب في البركة ( الشكل ٤ ) .




الشكل ٣ – عملية التثبيت في بركه لا هوائية .




التكل ٤ – عمليه التثبيت في بركة اختيارية .




الشكل ٥ – العلاقة التآزرية بين الطحالب والجراثيم في بركة اختيارية .

وتستقلب metabolize الجراثيم الهوائية والاختيارية في الطبقات العليا والوسطى المواد العضوية الذائبة والنروية والعالقة وتستهلك في ذلك الأكسجين الذائب لتنتج ثاني أكسيد الكربون ( ك أ٢ ) وهذا بدوره يتحول إلى المادة التي تشكل خلية الطحالب ( الكربون العضوي ) . وكذلك تستهلك الجراثيم الاختيارية الأكسجين المركب من النترات والكبريتات عندما ينفذ الأكسجين الذائب .

وتلاحظ التغيرات الآتية خلال مرور المخلفات السائلة في البركة الاختيارية :

( أ ) يرسب معظم ما تبقى من المواد الصلبة العالقة إلى قاع البركة مكونة طبقة تقوم بعمل هاضم لا هوائي للحمأة anaerobic sludge digester . وهذه هي المنطقة اللاهوائية في البركة الاختيارية ( الشكل ٤ ) . وإذا كانت البركة ابتدائية فستنخفض بويضات الديدان والطفيليات وبعض الجراثيم كما يحدث في البرك اللاهوائية .

(ب) توجد منطقة وسطى فوق الطبقة اللاهوائية للحمأة وتحتوي أحياناً على الأكسجين الذائب من الطبقة العليا ، وهذه المنطقة الوسطى ذات لون أخضر لوجود الطحالب بها .

(ج) تعمل الطبقة العليا كمزرعة طبيعية لإنتاج الطحالب حيث تكون جهاز تهوية لإنتاج الأكسجين للمناطق الهوائية والوسطى . ويتغير تركيز الأكسجين تبعاً للعمق وتبعاً للوقت من اليوم ، فلا يوجد إنتاج للأكسجين في المساء . ويمكن فقط أن يحدث بعض التخلل السطحي من الأكسجين الجوي .

( د ) تتواجد الطحالب في الطبقة العليا مع الجراثيم في علاقات تآزرية .

(هـ) تتحول كثير من المواد القابلة للتحلل أساساً إلى مواد عضوية حية على هيئة طحالب وجراثيم وأوالي وحيدة الخلية protozoa وغيرها وذلك خلال عملية التطبيب ( ويلاحظ أن الطحالب الحية أو الميتة يتولد عنها أكسجين حيوي ممتص BOD ، ولهذا السبب فإن بعض المؤلفين يعتبرون البرك الاختيارية وسيلة ضعيفة للمعالجة وذلك بسبب تحول نوع من المواد العضوية

ببساطة إلى شكل آخر . وعلى كل حال فيجب أن يلاحظ أن الأكسجين الحيوي الممتص BOD الناتج من الطحالب في السيب النهائي ليس بالضرورة مخرباً للبيئة ) .

( و ) يكون لون السيب النهائي الخارج من سطح البركة الاختيارية أخضر مركز بسبب وجود الطحالب . وكذلك يحتوى السيب على كائنات حية أخرى كالقشريات الدقيقة microcrustaceans والجراثيم والروتيفرات rotifers ، هذا إضافة إلى محتوى مرتفع من الأكسجين الذائب ، وعلى كل حال فلا يوجد من الناحية العملية مواد عالقة يمكن أن تترسب من هذا السيب .

وتستهلك الجراثيم الأكسجين في عمليات التنفس والتكاثر ، وفي نفس الوقت فإنها تحلل مواد عضوية موجودة في المخلفات السائلة . وكنتيجة جانبية لعملية الاستقلاب أي التمثيل الغذائي فإنها تفرز في السائل كميات ملحوظة من ثاني أكسيد الكربون والنترات والكبريتات والفسفات وأملاح المعادن الأخرى . وتستعمل الطحالب في الحقيقة هذه النواتج الجانبية عند امتصاصها للضوء لتصنيع مواد خلاياها ، وهكذا تستمر الدورة ، ويوضح الشكل ٥ العلاقة التآزرية بين الطحالب والجراثيم في بركة اختيارية لتثبيت المخلفات السائلة .

ويذوب جزء من الأكسجين المتولد عن عملية التمثيل الضوئي للطحالب في كتلة السائل ( أي المخلفات السائلة ) ، وكثيراً ما يسبب زيادة التشبع في الطبقة العليا . هذا بينما يتسرب جزء إلى الجو . ويجب أن يلاحظ أنه إضافة إلى البكتريا فإن القشريات الدقيقة واليرقات والأوالي وحيدة الخلية وغيرها من الكائنات الهوائية والاختيارية تستهلك الأكسجين الذائب كما تفعل الطحالب أثناء الظلام .

وتستعمل البركة الاختيارية كبركة ثانوية وذلك حينما تتبع بركة لا هوائية ، ويكون ذلك في الأجواء التي يكون فيها متوسط درجة حرارة الهواء والماء في أبرد شهر لا تنخفض عن ١٠°س وعن ١٥°س على العوالي . ويفضل ألا تقل مدة المكث عن خمسة أيام حينما تكون المخلفات السائلة منزلية نمطية . هذا بينما يتحدد حدها الأعلى ببنود التصميم والمساحة المتوفرة ، ويمكن أن تصل إلى عشرة أيام . أما عندما تستعمل البرك الاختيارية كبرك ابتدائية عند درجات الحرارة المذكورة أعلاه فإن مده المكث ستصل إلى عشرات الأيام .

## ٥-٤ المعالجة في بركة الإنضاج

تستعمل برك الإنضاج لخفض جراثيم الأمراض إضافة إلى إزالة عالية جداً من الجراثيم البرازية والفيروسات والأوالي وجراثيم أخرى ، وكذلك ربما تزيل برك الإنضاج بعض الطحالب والغذيات nutrients . ومع ذلك فأحياناً ماتزدهر براعم الطحالب algal blooms في برك الإنضاج .

ويرجع التأثير المهلك لبرك الإنضاج على الجراثيم إلى عوامل عدة منها الترسيب ، ونقص الطعام والغذيات ، والأشعة فوق البنفسجية ، ودرجة الحرارة العالية ، والرقم الهيدروجيني – pH value ، ووجود الملتهمات predators ، والسموم والمضادات الحيوية التي تفرزها بعض الكائنات ، هذا إضافة إلى الموت الطبيعي natural die off .

وهذه البرك تحسن من نوعية السيب الناتج من البرك الاختيارية أو من إنضاج أخرى ( أو من أي وسيلة معالجة أخرى ) ، ولا يجب أن تستقبل أي سيب من البرك اللاهوائية . ومع أن هذه البرك لم تصمم خصيصاً لتحسين نوعية السيب المتدنية من البرك الأخرى ، إلا أنها تحقق هذا الغرض إلى حد معقول ( ولو أنه محدود ) بما لها من تأثير محسن على السيب من خطوات المعالجة السابقة .

وعادة ما تصمم برك الإنضاج لمدة مكث تتراوح بين ثلاثة وعشرة أيام لكل بركة عندما تكون بركتين أو أكثر على التوالي ( وعندما تستعمل بركة واحدة فلا يجب أن تقل مدة المكث عن خمسة أيام ) هذا بينما يتراوح العمق النمطي بين متر ومتر ونصف .

## ٥-٥ ترتيبات وتسلسل نظم البرك

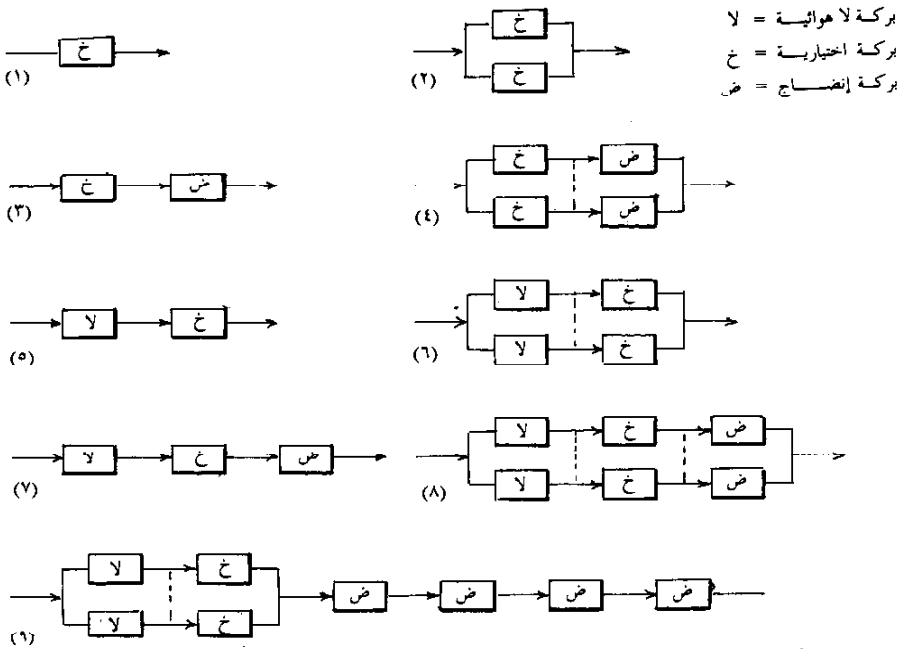
غالباً ما تستعمل البرك اللاهوائية فالاختيارية فبرك الانضاج على التوالي . وكل مرحلة من مراحل التوالي يمكن أن تتكون من بركتين أو أكثر يتم تشغيلها على التوازي .

وعادة ما تستعمل البرك اللاهوائية قبل البرك الاختيارية حتى يمكن تخفيض مساحة الأرض المطلوبة . وقد وردت مقارنة بين خصائص كل من النوعين في الجدول ١ . وتستعمل البرك الاختيارية يتبعها واحدة أو أكثر من برك الانضاج عندما يتطلب الأمر أن يكون السيب على درجة عالية من الجودة خاصة بالنسبة لإزالة جراثيم الأمراض ، كما في الحالات التي يراد فيها استعمال السيب في الزراعة ومزارع الأسماك .

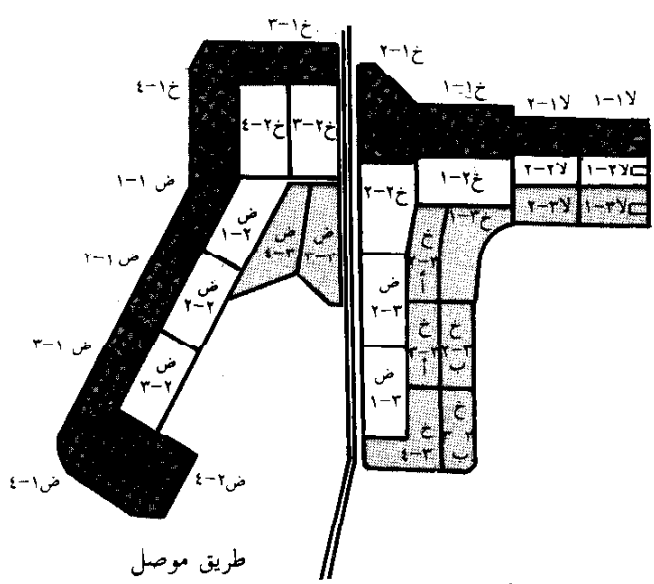
هذا وتظهر بعض الترتيبات والتسلسلات لنظم البرك في الشكل ٦ .

## ٥-٦ مكان واتجاه موقع البحيرة

يلزم اختيار موقع برك التثبيت بحرص وذلك للتقليل من احتمال أي شكوى وللاستفادة من أي ميزة طبيعية أو ظاهرة محلية خاصة ، ولهذا فيجب الأخذ في الاعتبار أن تراعى كل المواقع البديلة وسهولة وصول المخلفات السائلة إليها من المجتمعات و/أو الصناعات التي أنشئت من أجلها . وكذلك لابد من مراعاة متطلبات التوسع المتوقع في المستقبل لمشاريع الصرف الصحي أو التخطيط الحضري




الشكل ٦ – أ مختارات لترتيب برك التثبيت على التوالي وعلى التوازي ، وقد ظهرت الحسابات الأولية للترتيب رقم ٩ في المرفق الأول .




الشكل ٦ – ب تخطيط الثلاث أنظمة المتوازية لبرك تثبيت المخلفات السائلة في خربة سمرا قرب عمان بالأردن .

الشامل . وكذلك يجب ملاحظة كل المعالم الطبغرافية والجغرافية للموقع . فمثلاً يجب تجنب المواقع ذات الميول شديدة الانحدار كلما أمكن وذلك بسبب الحاجة إلى السدود الترابية العالية حولها embankment .

**الجدول ١ – مقارنة بين البرك اللاهوائية والبرك الاختيارية كوحدات ابتدائية**

| الخاصية الأساسية | بركة لاهوائية ابتدائية | بركة اختيارية ابتدائية |
|---|---|---|
| المخلفات السائلة الداخلة | منزلية عادية | منزلية عادية |
| السيب | رصاصي ، مواد قابلة للترسيب قليلة ، ٥٠–٧٠٪ خفض في الأكسجين الحيوي الممتص (٥) (BOD$_5$) رائحة تخمير | رصاصي ، مواد قليلة قابلة للترسيب ٦٠–٩٠٪ خفض في الأكسجين الحيوي الممتص (٥) (BOD$_5$) لا يوجد رائحة |
| الأكسجين الذائب | لا يوجد | يوجد |
| مدة المكث | من ١ إلى ٥ أيام | من ٧ إلى ٥٠ يوماً |
| عمق المياه | من ٢٫٥ إلى ٥ أمتار | من ١٫٥ إلى ٢ متر |
| الرقم الهيدروجيني للسيب pH | من ٦٫٥ إلى ٧٫٥ | من ٧٫٠ إلى ١٠ |
| الطحالب في السيب | لا يوجد | يوجد |
| مجموعة الجراثيم القولونية | كثيرة | ملحوظة |

ويجب أن يبعد موقع البرك اللاهوائية بما لا يقل عن ١٠٠٠ متر من أقرب مسكن . وتقل هذه المسافه إلى ٥٠٠ متر بالنسبة للبرك الاختيارية . ويجب أن تختار مواقع برك التثبيت بحيث يكون اتجاه الرياح السائدة بعيداً عن أقرب مجتمع كلما كان ذلك ممكناً . وكذلك يكون طول الضلع الأكبر للبركة موازياً لاتجاه الرياح . ويلزم اختيار الموقع بحيث يكون منسوب سطح مخرج السيب النهائي من آخر بركة يسمح بالتدفق الطبيعي بالجاذبية إلى التجمع المائي المستقبل له حتى في حالة ارتفاع منسوب الماء وقت الفيضان .

ويجب أن يكون مستوى سطح مخرج السيب في أول بركة تثبيت منخفضاً عن منسوب آخر قاع يفضي إلى مدخل البركة وذلك للاستغناء عن مضخات الرفع .

## الفصـــل الســـادس

# العوامل المؤثرة على المعالجة في البرك

توجد عدة عوامل يمكن أن تؤثر تأثيراً حسناً أو ضاراً على الظروف الهيدروليكية والبيولوجية لبرك تثبيت المخلفات السائلة . وبعض هذه العوامل يمكن أخذه في الاعتبار في مرحلة التصميم ، بينما التحكم في البعض الآخر ليس في مقدرة المصمم أو القائم على التشغيل . وكما سبق ذكره ، فلابد من تفهم هذه العوامل حتى يمكن التقليل من آثارها المخربة ما أمكن . وبالحرص في اختيار المكان والتصميم يمكن تخفيض آثار بعض هذه العوامل .

## ٦-١ عوامل الطبيعة

لا يمكن التحكم في العوامل الطبيعة natural factors بواسطة الإنسان . وهذه تشمل أساساً الظواهر الجوية كالرياح ودرجة الحرارة وسقوط المطر وأشعة الشمس والبخر .

### ٦-١-١ تأثير الرياح

يجب أن تصمم برك التثبيت بحيث تسمح باحتكاك الريح بسطح الماء مما تتسبب عنه عملية المزج . ويا حبذا لو كان الضلع الطويل للبركة في اتجاه الرياح السائدة . ومهما كان الوضع فيجب أن تكون مواقع البرك بحيث لا يكون اتجاه الرياح السائدة تجاه المجتمع السكني أو مناطق تجمع الناس كلما كان ذلك ممكناً وذلك لتجنب مشاكل الرائحة إذا ظهرت .

ويلاحظ أن تأثير الرياح مفيد حيث يقوم بمزج محتويات البركة ، وهكذا ينقل الأكسجين من السطح إلى الطبقات الأعمق ، وينتشر التصرف الداخل والكائنات الدقيقة خلال الحجم الكلي للسائل في البركة . هذا إضافة إلى تأثيرها في انتشار الأكسجين من الجو إلى كتلة السائل في البركة وذلك عندما لايكون التمثيل الضوئي كافياً مما يسبب نقص الأكسجين . أما إذا كان الموقع معرضاً لرياح عاتية فربما تتولد الأمواج العالية بسبب هذه الرياح ، وهذا بدوره يسبب النحر في ميول السدود الترابية المحيطة بالبركة مما يتطلب تكسية الميول slope lining أو القيام بأي إجراء وقائي لصيانة الميول عند سطح الماء ( أنظر الفصل الثاني عشر ، البند ١٢-٣-٢ ) .

### ٦-١-٢ درجة الحرارة

يتحقق تثبيت المخلفات السائلة في البرك بواسطة تفاعلات طبيعية وكيماوية وبيولوجية ، وكلها تتأثر تأثيراً واضحاً بدرجة الحرارة . ومن ثم فإن معدل نشاط التمثيل الضوئي ، وكذلك التمثيل الغذائي لخلايا الكائنات الدقيقة يكون أعلى عند درجة الحرارة العالية ويقل بانخفاضها . وعند التصميم يجب أن تؤخذ في الاعتبار درجات الحرارة الأكثر سوءاً .

ودرجات الحرارة عامل لا يمكن التحكم فيه ، ومع هذا فهي عامل هام للغاية ولازم للأداء السليم لبركة تثبيت المخلفات السائلة . ويميل الأكسجين الذائب للبقاء في البركة مدة أطول عند درجات الحرارة المنخفضة من بقائه عند درجات الحرارة الأعلى . وعند ارتفاع درجة الحرارة يتحرر جزء من الأكسجين الذائب إلى الجو خاصة إذا كان في الماء تحت ظروف ما فوق التشبع super saturation .
ومن ناحية أخرى ، فبينما يعتمد إنتاج الأكسجين بواسطة الطحالب على التمثيل الضوئي الذي يعتمد بدوره على درجة الحرارة ، فإن إنتاج الأكسجين في المياه الباردة سيكون أقل منه في المياه الدافئة . وينخفض النشاط البيولوجي للكائنات الدقيقة بحوالي ٥٧٪ لكل نقص مقداره ١٠°س في درجات الحرارة . ويحدث أكفأ أداء للبرك اللاهوائية والاختيارية وبرك الانضاج في أيام الشمس الساطعة التي ليس فيها سحب وذلك عند درجة حرارة هواء أعلى من ٢٠°س وعندما تكون الرياح معتدلة . وكيفما كان الأمر ، فإن معدل التمثيل الضوئي ينخفض بسرعة عند درجات أعلى من ٣٥°س إلى أن تصل درجة الحراره إلى ٤٥°س فيكون التعبير لا يذكر .

وتنشّط درجات الحرارة العالية نمو الطحالب الزرقاء الخضراء Cyanophyceae بدرجة واضحة لتحل إلى حد ما محل الطحالب الخضراء Chlorophyceae الأكثر كفاءة . وفي نفس الوقت فإن الجراثيم الهوائية تستهلك الأكسجين بمعدلات أعلى مما يتسبب عنه احتمال ظهور بقع لا هوائية في نقاط مختلفة من البركة .

ويمكن للزيادة المفاجئة في درجات الحرارة أن تؤثر تأثيراً سيئاً على كفاءة البرك الاختيارية كما يتضح مما يلي : يزداد نشاط الجراثيم ويتزايد كذلك نموها ، ويزيد تبعاً لذلك الأكسجين المستهلك الذي إذا لم يعوض عن طريق إنتاج المزيد من الأكسجين فستظهر ظروف لا هوائية ، ويصبح السيب مشتملاً على عكارة ، ويحتمل أن تنبعث منه روائح لا هوائية غير مرغوب فيها .

وكذلك يتسبب الانخفاض المفاجيء في درجات الحرارة في الإبطاء من نشاط نمو الطحالب وبالتالي في تخفيض إنتاج الأكسجين . ويترسب عندئذ جزء من الطحالب في الطبقات السفلى . وينقص اللون الأخضر بدرجة ملحوظة وتقل كفاءة البركة . هذا وقد لوحظ في بعض الشهور الباردة زيادة في الفسفور ونيتروجين الأمونيا في سيب البرك الاختيارية .

ويحتمل أن تزدهر براعم الطحالب عند درجات الحرارة العالية . وتظهر حصائر خضراء سميكة على سطح المياه يسبب ظلها ظلمة في الطبقات السفلى مع ما يتبع ذلك من نقص إنتاج الأكسجين . وهذا يعتبر عند البعض ما يسمى « بفشل البركة » . وكيفما كان الأمر فغالباً ما يكون من الممكن إزالة الجزء الأكبر من هذه الحصائر بواسطة كاشطات ( كاسحات ) ذات أذرع طويلة . ويتبع ذلك استعادة شفافية المياه ونفاذ الضوء ثم التمثيل الضوئي في الطبقات السفلى .

وتأخذ بعض أسس التصميم متوسط درجات الحرارة الدنيا للمياه شهرياً على مدار السنة في الاعتبار . وبعض أسس التصميم تأخذ في الاعتبار متوسط درجات حرارة الجو ( وليس الماء ) وهذا المتوسط يوجد في السجلات المناخية . وهناك معادلات لتحويل درجات حرارة الجو إلى درجات حرارة الماء ولكن تطبيقها ليس منتشراً ، ويمكن أن تؤدي إلى نتائج مضللة . ويمكن استعمالها للتقريب في حالة عدم وجود بيانات محلية . وكمثال على تلك المعادلات هذه المعادلة التي وضعها إكنفلدر [5 ] :

$$ح_{ا} - ح_{ب} = \frac{(ح_{ب} - ح_{م})\, م\, س_{ب}}{ك} \qquad (١)$$

$$(T_0 - T_p) = \frac{(T_p - T_a)\, f\, A_p}{Q} \qquad (1)$$

حيث

$T_0$ = $ح_{ا}$ = درجة حرارة التصرف الداخل (°س)

$T_p$ = $ح_{ب}$ = درجة حرارة البركة (°س)

$T_a$ = $ح_{م}$ = درجة حرارة الهواء المحيط (°س)

f = م = معامل نسبي ( = ٠٫٤٨٩ للمنطقة الوسطى من الولايات المتحدة )

$A_p$ = $س_{ب}$ = مساحة سطح البركة بالمتر المربع

Q = ك = كمية التصرف بالمتر المكعب في اليوم .

ويشمل المعامل النسبي «م» معاملات انتقال الحرارة وزيادة مساحة السطح تبعاً للتقليب وتأثيرات الرياح والرطوبة . وقد تم قياس قيمته بقيم مختلفة ووحدات مختلفة لأماكن مختلفة من العالم .

### ٦-١-٣ المطر المتساقط

يظهر بعض التأثير الناتج عن متوسط وأكبر كمية مطر متساقط على أداء البركة ومدى الاعتماد عليها . فتنقص مدة المكث في البرك خلال فترات سقوط المطر ، ويخفف المطر الغزير من تركيزات البرك الضحلة ويؤثر على الغذاء المتوفر للكائنات الحية . وربما تحمل الزيادة المفاجئة في التصرف بسبب المطر معها كميات ملحوظة من المواد العضلية في السيب النهائي . ويسبب سقوط المطر في يوم

حار تبريد سطح الماء في البركة مما ينتج عنه ظاهرة الطبقة المكوسة inversion layer حيث تطفو الحمأة اللاهوائية التي تفسد السيب النهائي . وليس من المستغرب رؤية حصائر من الطحالب على سطح البركة وقد غطست إلى القاع بتأثير برودة المطر الغزير . وكذلك يؤدي سقوط المطر إلى زيادة الأكسجين في البركة من خلال ما به من أكسجين ذائب إضافة إلى مايسببه من زيادة سطح البركة بواسطة التقليب .

والمياه الغزيرة التي تدخل إلى شبكة المجاري تحمل معها كميات ملحوظة من الرمل إلى البركة ، خاصة إذا كانت الشبكة مشتركة للمجاري المنزلية ومياه الأمطار وهذا مما يسبب تخفيف التصرف الداخل للبركة . ويلزم استعمال هدارات زيادة التدفق overflow weirs إذا كان تصرف الجو الممطر wet weather flow أكثر من ثلاثة أمثال الوضع عندما يكون الجو جافاً dry-weather flow . ويجب أن تعرف المعلومات الكافية عن التصرفات الناتجة عن المطر الغزير لاستعمالها في تصميم السدود الترابية حول البركة وحمايتها من النحر .

### ٦-١-٤ الإشعاع الشمسي

تكون شدة الإشعاع الشمسي عامل مهم في التشغيل السليم للبرك الاختيارية حيث أنها تولد الأكسجين بطريقة غير مباشرة وذلك خلال التمثيل الضوئي للطحالب . إلا أن الاعتقاد بأن معدل التمثيل الضوئي يزيد دون حدود بزيادة الإشعاع الشمسي اعتقاد غير صحيح . وفي الحقيقة ، بعد حد معين من الإشعاع الشمسي ينخفض معدل زيادة التمثيل الضوئي حتى يصل إنتاج الأكسجين إلى حد ثابت كحد للتشبع . ولا يزيد إنتاج الأكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي عن هذا الحد مهما زاد الإشعاع الشمسي . وعلى هذا فيمكن القول إنه عند انخفاض قوة الضوء فإن الضوء هو العامل المحدد في إنتاج الأكسجين ، بينما عند شدة الضوء ( ويحدث هذا عند توفر بضع ساعات من الدفء والشمس الساطعة في يوم مشرق ) فإن درجة الحرارة تكون هي العامل المحدد في إنتاج الأكسجين .

وتعتمد البرك الاختيارية على الإشعاع الشمسي . ويختلف هذا العنصر أي الإشعاع الشمسي تبعاً لخطوط العرض . ومهما كان الوضع فإن شفافية الجو عامل آخر له أهميته . فالسحب وتغيم الجو يقللان من وصول الضوء إلى حد ما . ولكن ، كما أوضح سابقاً ، فإن أشعة الشمس المباشرة ليست ضرورية مطلقاً . فهناك مناطق من العالم لا تغلب فيها ظاهرة السماء الزرقاء ، ومع هذا فإن برك التثبيت تعمل تحت ظروف طبيعية بالنسبة لظاهرة التمثيل الضوئي . وكمثال واضح على ذلك وجود برك التثبيت الواحدة والعشرين في ليما ( بيرو ) والتي تم مسحها في عام ١٩٧٩ بواسطة تنسيق تعاوني بين منظمة الصحة العالمية ومركز البلدان الأمريكية للهندسة الصحية والعلوم البيئية CEPIS والمركز العالمي لتطوير الأبحاث بكندا IDRC ووزارة الصحة في بيرو[7] . وكذلك هناك بعض الدلائل على أن زيادة الإشعاع الشمسي ربما تؤدي إما بطريقة مباشرة ( يمكن بالأشعة فوق

البنفسجية ) أو بطريقة غير مباشرة ( بواسطة الظل المتسبب عن انتشار الطحالب ) إلى تأثيرات معاكسة للتمثيل الضوئي ، إلا أن هذا الرأي مازال قيد المناقشة .

## ٦-١-٥ البخـــر

عندما يؤخذ عامل البخر evaporation في الاعتبار مع ما يحدث من تسرب خلال قاع البركة المسامي فإنه يحدد مقدار النقص في التصرف . ويحدد في الحالات القصوى ما إذا كانت البركة سيخرج منها تصرف أم لا .

ويلاحظ أن البخر الشديد ربما يقلب النظام البيئي في برك التثبيت رأساً على عقب كنتيجة لتركيز المواد الصلبة . وكذلك ربما يسبب انخفاضاً غير مرغوب فيه لعمق المياه مما يؤثر على مدة المكث .

ويسبب معدل البخر عندما يكون خمسة ملليمترات في اليوم نقصاً قدره خمسون متراً مكعباً للهكتار في اليوم . ويمكن التجاوز عن كمية ما يسببه البخر من فقدان المياه حتى هذا القدر[8] . وكيفما كان الأمر ، فيمكن أن يزيد معدل البخر عن خمسة عشر ملليمتراً في اليوم في المناطق القاحلة الحارة . ويمكن لمعدل بخر مرتفع كهذا أن يزيد من تركيز محتويات البركة إلى درجة ملحوظة مع احتمال زيادة تركيز الملوحة والمواد العضوية إلى درجة يحدث عندها خلل في التوازن الأسموزي لخلايا الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في المياه . وعند هذه الظروف فإن النمو الطبيعي والتوازن البيولوجي للكائنات الحية يتعطل ويفسد . بل أكثر من ذلك فربما يقلل البخر من تصرفات البركة بدرجة شديدة ، وينقص من عمق المياه في الحالات القصوى إلى مستوى منخفض جداً مما يتسبب معه ظهور النباتات المائية على الحواف عند الميول الداخلية للجسور الترابية في البركة .

## ٦-١-٦ التســرب

إن القيام بعملية مسح لخصائص التربة من الأهمية بمكان وعلى الأخص بالنسبة للخصائص التي تتصل بدرجة النفوذية في الموقع المقترح وذلك في مرحلة التخطيط . وهذا مما يوفر المعلومات اللازمة لتبطين القاع . وكذلك تساعد المعلومات المتاحة عن عمق الطبقة الجوفية الحاملة للمياه واستعمالاتها على اختيار نوع التبطين . كما أن أخذ عينات من التربة وتحليلها سوف يوضح ما إذا كانت نوعية التربة مناسبة لإنشاء الجسور الترابية حول البركة أم لا . وكذلك فإن إجراء اختبار بسيط للرشح سيوضح مدى احتمال حدوث مشاكل يمكن أن تنتج من الرشح .

ويجب تبطين البرك المقامة على تربة مسامية وذلك للحصول على أكبر تصرف ممكن خاصة إذا كان السيب النهائي سيستعمل لأغراض زراعية . والتبطين بمواد غير مسامية هام جداً خاصة في حالة حماية المياه الجوفية من التلوث . وطرق التبطين موضحة في الفصل الثاني عشر .

## ٦-٢ العوامل الفيزيائية

تتعلق العوامل الفيزيائية physical بالتصميم ، ويلزم أن يحسن المصمم الاختيار في قراره بين البدائل المعروضة .

### ٦-٢-١ مساحة السطح

تحدد مساحة سطح بركة التثبيت بناء على التحميل العضوي الداخل في اليوم أي أنها دالة للتحميل العضوي الداخل في اليوم ( ويعبر عن ذلك عادة بوزن الأكسجين الحيوي الممتص (٥) $BOD_5$وذلك بالنسبة للبرك الاختيارية بصفة خاصة . ويطبق التحميل السطحي ( أو الهوائي ) بنجاح في الأجواء الدافئة للبرك الاختيارية ويتراوح بين ١٥٠ إلى ٤٠٠ كيلوجرام أكسجين حيوي ممتص (٥) $BOD_5$ لكل هكتار في اليوم . ويطبق التحميل المنخفض ( ١٥٠ كيلوجرام أكسجين حيوي ممتص (٥) للهكتار في اليوم ) عندما تكون درجة حرارة الهواء المحيط حوالي ٢٠°س ، بينما تطبق التحميلات الأعلى عندما تكون ٣٠°س ، هذا وقد يسبب التحميل العضوي لأكثر من ٢٠٠ إلى ٢٥٠ كيلوجرام أكسجين حيوي ممتص (٥) للهكتار في اليوم رائحة أحياناً بينما من المحتمل أن يؤدي التحميل لأكثر من ٤٠٠ كيلوجرام أكسجين حيوي ممتص (٥) للهكتار في اليوم إلى حياة لاهوائية ( لايوجد فيها أكسجين ذائب ) و/أو يؤدي إلى انخفاض الكفاءة الكلية للمشروع .

### ٦-٢-٢ عمـــق الميـــاه

عادة مايتم تشغيل برك التثبيت عند عمق ثابت ، ومع هذا فيمكن أن يحدث أحياناً انخفاض في عمق المياه مما يسبب المشاكل . وهذا الانخفاض يتسبب عن تسرب شديد وبخر أو سحب بعض محتويات البركة في الحالات الطارئة . وعندما يصبح العمق قليلاً حتى يصل إلى ٦ر٠ متر فمن المحتمل أن تنبت النباتات المائية ، وعندها يغطي جزء كبير من السطح بالحشائش التي تمتد من القاع لمستوى سطح المياه . ومن ثم فيمكن أن يحجز ضوء الشمس وتقل كفاءة البركة إلى مستوى غير مقبول ، وربما ينمو البعوض في مثل هذه الحالة . ويمكن أن تنشأ نفس المشاكل خلال الأشهر القليلة الأولى لملء البركة عندما يكون سطحها منخفضاً . ولهذا السبب ينصح أن تملأ البركة بسرعة ما أمكن إلى منسوب التشغيل قبل تحميلها بالمخلفات السائلة ، وتم ذلك مثلاً بضخ المياه في البركة من تجمع مائي مجاور بمساعدة وحدات ضخ متنقلة ربما كانت من إدارة المطافي والحريق مثلاً .

ومن ناحية أخرى فلو زاد العمق لأكثر من مترين فإن ضوء الشمس لا يكاد يصل إلى الطبقات السفلى حيث تقل عملية التمثيل الضوئي إلى نقطة تتكون عندها طبقة لا هوائية كبيرة يمكنها أن تعوق

عملية التنقية ، والعمق النمطي لتصميم البرك الاختيارية هو ١ر٥ متر بينما يكون عمق المتر الواحد هو أقل عمق يمكن أن تصل إليه أي من أنواع البرك الثلاث .

### ٦-٢-٣ اختزال المسار

يتسبب اختزال المسار short-circuiting في البرك في عدة مشاكل منها ظهور المناطق الراكدة dead or stagnant zones التي تنقص من الحجم المؤثر وكذلك تنقص من مساحة سطح البركة مع احتمال ظهور رائحة في المساحات المحملة أكثر من طاقاتها ، والنتيجة الحتمية لهذه الحالة هي نقص كفاءة البركة .

ويفضل أن يكون مدخل المخلفات السائلة المراد معالجتها تحت سطح الماء وفي موقع ليس قريباً من طرفها . ومما ينصح به اختيار مكان المدخل والمخرج بحرص . مثل توزيع المدخل إلى ماسورتين أو أكثر . ويكون المخرج أبعد ما يكون من أقرب مدخل . ويفضل تجنب اختيار مواقع المدخل والمخرج بالنسبة لبعضهما بما يسمح للمياه أن تسير بينها مباشرة بتأثير الرياح السائدة . وربما كانت التيارات المائية المتسببة عن الرياح أكثر أهمية كعامل لاختزال المسار من اختيار مواقع المدخل والمخرج ، وكذلك يؤدي التشكيل الرديء للبركة إلى اختزال المسار ، ومن العوامل الأخرى في هذا المجال نمو الأعشاب والإطماء silting وتكوين الطبقات المائية stratification .

### ٦-٣ العوامل الكيماوية

تشمل العوامل الكيماوية الرئيسية التي تؤثر على أداة البركة ما يلي :

- قيمة الرقم الهدروجيني .
- تركيز المواد السامة .
- الأكسجين .

### ٦-٣-١ قيمة الرقم الهدروجيني pH value

تعمل كل من البرك اللاهوائية والاختيارية كأكثر ماتكون كفاءة تحت ظروف قلوية . ويجب التحكم في مصادر المخلفات الصناعية التي يمكن أن تسبب قيماً متفاوتة للرقم الهدروجيني حيث ينصح بضبطها عند المصدر قبل دخولها إلى البركة .

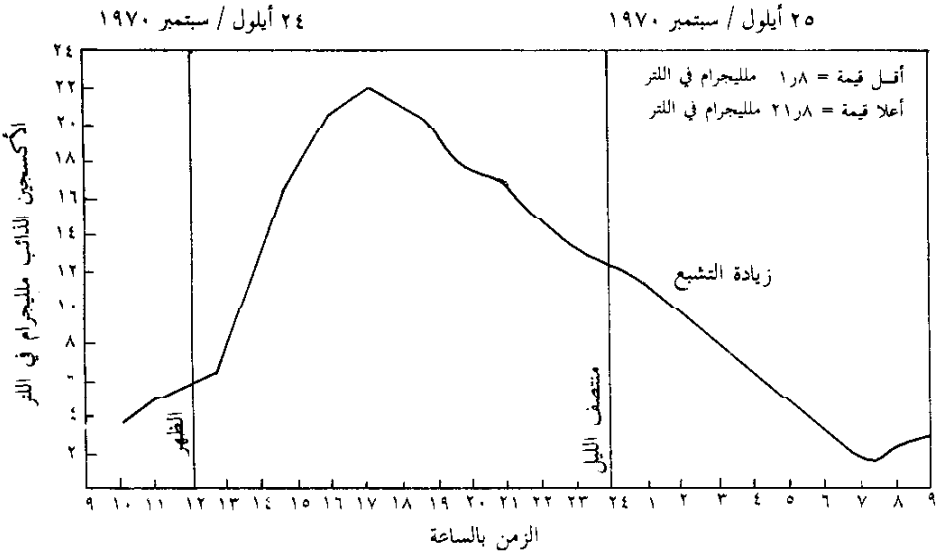
ولا يتوقع في الأجواء الدافئة أن تحدث مشاكل خطيرة في معالجة المخلفات في البرك اللاهوائية عندما تكون مدة المكث من ٣ إلى ٥ أيام ، وستبقى درجة تركيز التأين الهدروجيني أي قيمة الرقم الهدروجيني في الجانب القلوي إلى حد ما ، وسيكون تخمير الميثان تحت هذه الظروف في توازن مع إنتاج الحامض .

وفي حالة البرك الاختيارية عندما يكون اللون أخضر غامق تكون قيمة الرقم الهدروجيني في الجانب القلوي ، بينما إذا كان لون البركة أخضر ويميل إلى الإصفرار أو البياض فيحتمل أن يبدأ الحامض في التكوين أي تكون قيمة الرقم الهدروجيني في الجانب الحامضي وكيفما كان الأمر فهناك تغييرات يومية في قيمة الرقم الهدروجيني للبرك الاختيارية ، فهي تنخفض في ساعات الصباح الأولى تبعاً لوجود ثاني أكسيد الكربون الزائد المتسبب عن تنفس الجراثيم الهوائية أثناء الليل بينما تزيد في آخر العصر كنتيجة لامتصاص الطحالب للجزء الأكبر من ثاني أكسيد الكربون في الماء .

## ٦-٣-٢ المـواد الســامة

إن وجود المواد السامة في برك التثبيت يسبب مشكلة لا يمكن التغلب عليها بسهولة في التشغيل بل يجب التحكم فيها عند المصدر وذلك بالتحكم في طرق التخلص من المعادن الثقيلة والمبيدات والمطهرات والكبريتيدات والمخلفات الصناعية لإنتاج المضادات الحيوية وغيرها من المخلفات الصناعية التي تستقبلها شبكة المجاري ، ويلزم تطبيق الحدود المسموح بعدم تعديها قبل الصب في المجاري العامة .

وعادة ما تكون برك التثبيت أقل حساسية لوجود المواد السامة من غيرها من طرق المعالجة . وتسمح مدة المكث الطويلة بتأقلم متدرج للمياه العضوية مع المواد المثبطة عن طريق الاختيار الطبيعي natural selection حين تعيش وتتكاثر أكثر الكائنات الحية مقاومة ، بينما تموت أكثرها حساسية . وقد أوضحت الاختبارات التي أجريت في الدول الدافئة أن البرك يمكنها استيعاب تركيزات عالية نسبياً من المعادن الثقيلة . ويعتقد أن التركيزات حتى ٦ ملليجرام في اللتر لكل من الكاديوم والكروم والنحاس والنيكل والزنك لا تعوق كفاءة المعالجة في البرك الاختيارية . هذا وقد أوضح كتيب صدر عن هيئة حماية البيئة الأمريكية U.S.E.P.A. أن أول مظاهر عجز الكفاءة يحدث فقط عندما يكون التركيز الكلي للمعادن الثقيلة أكثر من ٦٠ ملليجرام في اللتر ( أي ١٢ ملليجرام في اللتر لكل من المعادن الخمسة المذكورة أعلاه أي ١٢ × ٥ = ٦٠ ملليجرام في اللتر )[9].




الشكل ٧ – التغير في قيمة الأكسجين الذائب لكل ساعة خلال يوم في بركة إختيارية في برازيليا بالبرازيل[27]

### ٦–٣–٣ الأكسجين

يكون الأكسجين الذائب خير دليل على سلامة التشغيل في البرك الاختيارية وبرك الإنضاج . وستفرط في التشبع بالأكسجين محتويات البرك الاختيارية التي تعمل تحت ظروف عادية وذلك بالأكسجين الحر الذائب في الطبقات السطحية وتحت السطحية خلال وقت ما بعد الظهيرة . ومهما كان الأمر فإن الأكسجين الذائب يمكن أن ينخفض إلى أقل من ١ر٠ ملليجرام في اللتر عند الفجر وأحياناً يكون ذلك بعد يوم صافٍ ومشمس على غير العادة . أما انعدام الأكسجين الكامل فيمكن أن يحدث خلال الليل بسبب ازدهار الطحالب .

وتقوم الطبقة الهوائية السطحية بطرد الغازات كريهة الرائحة التي تكونت في الطبقة اللاهوائية . ومع ذلك فمازالت تحدث مشاكل الرائحة في البرك الاختيارية بين آن وآخر على الرغم من وجود الأكسجين الذائب في الطبقة السطحية . ويحدث هذا عندما تنتشر الطحالب الزرقاء الخضراء كنتيجة لارتفاع درجة حرارة الماء أو عندما تظهر بقع لاهوائية على سطح البركة بسبب ارتفاع درجة حرارة القاع بسرعة لأكثر من ٢٢°س وتصاعد الغاز بعنف .

ويوضح الشكل ٧ التغيرات النمطية لتركيز الأكسجين الذائب قرب السطح في البرك الاختيارية خلال ٢٤ ساعة .

## ٦-٤ خصائص المخلفات السائلة والمياه المستقبلة لها

### ٦-٤-١ تصرف المخلفات السائلة

تصمم برك التثبيت أحياناً على أساس مدة مكث هيدروليكية وهو بند يتعلق مباشرة بتصرف المخلفات السائلة wastewater flow ، وبما أن مدة المكث الهيدروليكية تكون عادة بضعة أيام أو أسابيع في البرك ، فإن متوسط معدل التصرف يعتبر أساساً كافياً للتصميم . وتبعاً لحجم نظم البرك الكبير نسبياً فإن التصرفات القصوى والدنيا في الشبكة يتلاشى تأثيرها بينما تؤخذ التصرفات المتوسطة فقط في الاعتبار .

وفي حالة عدم وجود بيانات كافية عن قيمة التصرفات المتوسطة ، فيمكن تقديرها عن طريق معرفة عدد السكان الذين تخدمهم شبكة المجاري ومعدل متوسط استهلاك الفرد في اليوم من المياه ، هذا إضافة إلى مياه الرشح الجوفية .

### ٦-٤-٢ تكوين المخلفات السائلة

يتعلق تصميم برك التثبيت بخصائص المخلفات السائلة بطريقة مباشرة ، وهذه الخصائص تختلف من قطر لآخر . ويتأثر تكوين المخلفات السائلة بنوع مشروع المجاري والصناعات التي تصب فيه ، فالمجاري المشتركة أي التي تشمل مياه المطر مع المجاري المنزلية ، تنقل مخلفات سائلة مخففة في أيام المطر ، بينما المجاري المنفصلة لا تتأثر بالمطر ، مع أن بعض مياه الأمطار تدخل إلى الشبكة دائماً هذا إضافة إلى مياه الرشح وتصرفات الصناعة والمباني العامة وما يلقى في مواسير المجاري من الحمأة المفرغة من حزانات التحليل سواء تم ذلك بطريقة قانونية أو كانت غير ذلك . وتتأثر خصائص المخلفات السائلة كذلك ببعض الظروف غير العادية ، ويستحسن إجراء برنامج لجمع العينات وتحليلها وكذلك قياس التصرفات تحت هذه الظروف .

ويعتبر التحميل العضوي أهم بند أساسي يستعمل في تصميم أي عملية معالجة بيولوجية ، ويحدد هذا التحميل بمتطلبات الأكسجين الحيوي الممتص (٥) أو الأكسجين الكيماوي المطلوب أو بكليهما ، وهذا هو التحديد الأمثل ، وهناك اتجاه لاستبدالهما ( أو على الأقل تعزيزهما ) بالكربون العضوي الكلي total organic carbon TOC . ولكن لا يوصى باتباع هذا الاتجاه حالياً وذلك بسبب نقص الأجهزة المعقدة اللازمة لقياس الكربون العضوي الكلي والبيانات الصحيحة المتاحة . أما إذا جمعت بيانات كافية للتمكين من القيام بتقييم حقيقي للمزايا العملية لقياس الكروبون الكلي العضوي ، هذا إن وجد ، فيؤخذ هذا البند من التحليل في الاعتبار كتحليل روتيني .

وربما كانت بعض البنود غير التحميل العضوي لها أهميتها عندما يتطلب الأمر معالجة المخلفات الصناعية ، أو عندما تكون تلك المخلفات الصناعية موجودة كجزء من المجاري . حيث أن المصمم سيحتاج إلى أن يعرف ما إذا كان يلزم توفير معالجة تحضيرية pre-treatment لحماية الكائنات الحية في مشروع برك التثبيت .

وفي حالة توقع أن المخلفات السائلة ستكون مجاري منزلية نمطية ، ولكنها غير متاحة للتحليل لسبب أو لآخر ، فيمكن افتراض الحمل العضوي لكل فرد من التعداد السكاني المتصل بالمشروع . وقد اقترح بعض المؤلفين مقدار ٤٠ جرام من الأكسجين الحيوي المتص (٥) للفرد في اليوم وذلك كحمل عضوي للفرد في الدول النامية . وفي الهند كان الرقم يتراوح بين ٣٠ و ٤٥ جرام للفرد في اليوم بينما كان في البرازيل ٤٤ جرام للفرد في اليوم وذلك بعد مسح سبعة مدن داخلية وأخذ متوسطاتها . ويرى أن رقم ٤٥ جرام من الأكسجين الحيوي الممتص (٥) للفرد في اليوم يعتبر مقداراً معقولاً .

وفي حالة عدم التمكن من الحصول على عينة ممثلة من المجاري لتحليلها فإنه ينصح بالحصول على عينة من مياه الشرب المتوفرة في المجتمع الذي سيتم تغطيته بشبكة المجاري وذلك لمعرفة خصائصها التحليلية بالنسبة للمواد الصلبة الكلية الذائبة والكبريتات وغيرها .

### ٦-٤-٣ خصائص المياه المستقبلة

في حالة عدم إعادة استعمال السيب النهائي في أي غرض بعد تنقيته ، كاستصلاح الأراضي مثلاً ، فلابد من التخلص منه في مكان ما ، وغالباً ما يتم ذلك في مجرى مائي كنهر أو بحيرة . وفي هذه الحالة لابد من معرفة ظروف التنقية الذاتية والسعة التخفيفية لهذا الجسم المائي تحت أحرج ظروف التدفقات وذلك لتحديد نوعية ودرجة المعالجة المطلوبة . فحيناً تكون المعالجة كافية ببركة تثبيت ابتدائية حتى ولو كانت محملة أكثر من المعتاد . وأحياناً أخرى يتطلب الأمر عدة برك على التوازي أو يحتاج الأمر إلى طرق أخرى للوصول إلى درجة المعالجة المطلوبة .

وعندما يكون الجسم المائي المستقبل بحيرة غير متخمة non-eutrophic lake فإن المحتوى الغذائي للبركة nutrient content يكون هو أكثر البنود حرجاً حيث يتطلب الأمر أخذه في الاعتبار قبل صبه في البحيرة لمنع التخمة أو ليبقي على عدم التخمة eutrophication . وإذا كان السيب النهائي لبركة التثبيت سيتم التخلص منه في البحر أو خليج estuary فإن الأمر يستحق عمل سلسلة من التحاليل على تعايش طحالب المياه المالحة بعد صب المخلفات فيها . وتمثل الطحالب الموجودة في السيب النهائي إذا لم تكن حية حمل عضوي جديد على التجمعات المائية المستقبلة ، وهذا ما كان يجب أخذه في الاعتبار عند اتخاذ قرار المعالجة بواسطة برك التثبيت .

ويلزم أن يعرف مسبقاً أعلى منسوب يمكن أن تصل إليه المياه المستقبلة في وقت الفيضان حيث يتطلب الأمر أن يتدفق السيب النهائي من البركة تدفقاً طبيعياً بالجاذبية by gravity في كل الأوقات . ويتم هذا بأن يكون منسوب البركة أعلى من منسوب المياه في الجسم المائي المستقبل وقت الفيضان .

# الفصـــل الســـابع
# فشـــل البركـــة

تتسبب معظم حالات فشل البركة بسبب التحميل العالي أو بسبب وجود المواد السامة في المخلفات السائلة . وتؤدي حالات التحميل العالي إلى زيادة طلب الأكسجين لتغطية ما يمكن أن يكون أكسجين كيماوي ممتص COD أو الأكسجين العضوي الذائب أو المتطلبات من الأكسجين بسبب تراكم المواد القابلة للترسيب .

وعادة ما تكون المواد السامة مخلفات للأنشطة الصناعية . ويلزم وضع حدود ومعايير لكميات وتركيزات المواد السامة في المخلفات الصناعية قبل صبها من المؤسسات الصناعية منعاً لتأثيرها الضار على التشغيل السليم لنظام البركة . وهذا يتطلب المتابعة والمراقبة للتأكد من الالتزام بهذه الحدود والمعايير . وهنا يجب ملاحظة أنه مع وجود مشاركة إيجابية من جانب المجتمع فإن إدارات المصانع سوف تكون على وعي بضرورة التحكم في تصرفات المخلفات السائلة وسوف تكون مستعدة للقيام بدور إيجابي في هذا العدد .

## ٧-١ الأعـــراض

ليست الأعراض الدالة على فشل بركة التثبيت واضحة دائماً ، فهي ليست كالمنشأة الهندسية عندما يزيد التحميل عليها عن حد معين ويسبب انهياراً مفاجئاً في عنصر أو أكثر من المنشأة . وقد أوضحت الدراسات التى قام بها كثير من المؤلفين [2 ، 4 ، 7 ، 12] أن الزيادة المتدرجة للتحميل العضوي في البركة الاختيارية لا تسبب تغييراً ذا مغزى في كفاءة البركة وذلك بالنسبة للأكسجين الحيوي الممتص (٥) ، وعلى هذا فلا توجد النقطة التي يحدث عندها نقص مفاجىء أو انعدام الكفاءة كما في حالة المنشأة الهندسية إلا إذا استقبلت البركة شحنة من المواد السامة . وقد تتحول البركة الاختيارية إلى بركة لا هوائية جزئياً لبعض الوقت أو كله بدون انخفاض في كفاءتها بالنسبة لتغطية متطلبات الأكسجين الحيوي الممتص ، ولهذا فقد وجد أنه حتى في الحالات القصوى للتحميل العالي فإن إزالة الأكسجين الحيوي الممتص BOD من البركة اللاهوائية تستمر بدرجة ملحوظة [7 ، 13] .

## ٧-٢ معايير الفشـــل

يوجد خلاف واضح في الرأي حول تعيين أسباب الفشل . فإذا أخذ ظهور الرائحة في الاعتبار فإن البركة الاختيارية المنبعث منها رائحة كريهة تعتبر أنها تعدت حدود التحميل الامن دون النظر لمستوى إزالة الأكسجين الحيوي الممتص ، وعادة مايتم تشغيل برك التثبيت بصورة غير مرضية مما يتسبب عنه الإقلال من إزالة الأكسجين الحيوي الممتص . وتوجد عدة عوامل تسبب فقدان الكفاءة ، منها وجود المواد العالقة في السيب النهائي للبركة بسبب عدم حجز المواد الطافية والخبث ، وكذلك بسبب الخلل الهيدروليكي كما يحدث عند اختزال المسار ، ثم بسبب تأثير الرياح في التقليب وما تسببه من تيارات ، والتحلل اللاهوائي لحمأة القاع ، هذا بالإضافة إلى عوامل أخرى لا تعتمد على تحميل البركة .

ولهذا فإن تعريف فشل البركة ومن ثم تعريف أقصى تحميل مسموح به يتطلب استيفاء بعض المعايير منها :

- تصاعد روائح بصفة دائمة أو متقطعة .
- انعدام الأكسجين الذائب في السيب النهائي للبركة .
- وجود مواد عالقة بخلاف الطحالب في السيب .
- المظهر الرديء للبركة والسيب .
- زيادة الأكسجين الحيوي والكيماوي الممتص للمواد الغذائية الذائبة في السيب .

وتعتمد بعض الدلائل السابق ذكرها على التحميل العضوي ، ويمكن اعتبارها أدلة مناسبة لوضع المعايير المسموح بها لتحميل البركة . وقد اقترحت الحدود والمعايير الخاصة بالرائحة والأكسجين الحيوي الممتص والأكسجين الذائب في الفصل التاسع عشر والفصل العشرين .

ولقد عرف الأستاذ آزوالد[3] فشل البركة على أنه « ظهور طبقات من الخبث المتكون من طفو الخلايا الطحلبية المرسبة التي تستأنف قيامها بعملية التمثيل الضوئي أثناء ترسيبها إلى قاع البركة مما تنتج عنه فقاعات صغيرة من الأكسجين تسبب طفوها إلى السطح ( طفو الخلايا الطحلبية ) » . وقد تحدث هذه الظاهرة أثناء فترات ارتفاع حرارة الجو ارتفاعاً كبيراً في الأجواء الصافية عندما تصل درجة حرارة سطح البركة الضحلة ( لعمق أقل من ٢ر١ متر ) إلى ٣٥°س وتصل قيمة الرقم الهدروجيني pH إلى حوالي ١١ . وعندما تحدث هذه الظروف مجتمعة مفادة ماتمهد السبيل لحدوث ترسيب مفاجيء لهدروكسيد المنجنيز وفسفات الكالسيوم ومركبات أخرى . وتعمل هذه المركبات كمروبات تتسبب في ترسيب كل المواد العالقة في البركة بما فيها من طحالب مما يسمح باختزان أشعة الشمس إلى قاع البركة ( أنظر البند ١٥-٢ ) .

## الفصـــل الثـــامن

# العوامل الإيجابية والسلبية المتعلقة بالبرك الاختيارية في المناطق الدافئـــة

### ٨-١ العوامـل الإيجابيـــة

يتوقع ظهور تأثيرات هامة نافعة لبرك التثبيت عند درجة حرارة ٣٠°س ، والعنصر الأساسي الذي يتأثر إيجابياً بارتفاع درجة الحرارة هو ثابت معدل التحليل الحيوي «ك» biodegradation «K» rate constant وذلك لزيادة سرعة تحلل المواد العضوية بارتفاع درجة الحرارة ، ويتم تثبيت المواد القابلة للتحلل العضوي في الظروف العادية عند درجة حرارة ٣٠°س بمعدل ٣ر٢ مرة أسرع منها عندما تكون عند درجة ٢٠°س وذلك بفرض أن معامل درجة حرارة التفاعل يساوي ١ر٠٨٥ . وكما سبق توضيحه ، فمع أن التحلل الحيوي ينشط بارتفاع درجة الحرارة لأعلى من ٣٠°س إلا أن مايصاحبه من تأثيرات ثانوية قد تضر بالنتيجة النهائية .

وينشط كذلك التمثيل الضوئي وهو أهم ظاهرة لإنتاج الأكسجين في البرك بارتفاع درجة الحرارة مع ملاحظة عدم الاستغناء عن الإشعاع الشمسي . وتمتص النباتات الخضراء جزءاً من الطاقة الشمسية الساقطة لتحويل الكربون غير العضوي ( ثاني أكسيد الكربون ) إلى مادة عضوية . وإلى حد ما فإن زيادة التعرض للإشعاع الشمسي يزيد من سرعة التمثيل الضوئي مع أن التعرض لضوء الشمس المباشر ليس لازماً .

والتيارات الناتجة عن تأثير الرياح مفيدة ، وهذا مايجب أخذه في الاعتبار عند الإنشاء . ولكن لسوء الحظ لا توجد رياح نهاراً أو ليلاً في المناطق الدافئة في أغلب الأحيان . ومهما كان الأمر فيرجى اتباع بعض القواعد للاستفادة ما أمكن من تأثير الرياح وسيناقش هذا في أجزاء لاحقة . والهواء الدافىء مع أشعة الشمس المناسبة والرياح المعتدلة تهيء الظروف المثلى للأحوال الهوائية الإيجابية للحصول على نتائج جيدة لنظم برك تثبيت المخلفات السائلة .

### ٨-٢ العوامـل الســلبية

جرت دراسة على العوامل المؤثرة على أداء برك التثبيت للمخلفات السائلة وذلك في البركة التجريبية لتثبيت المخلفات السائلة بمعهد أبحاث وهندسة الصحة العامة بلاهور . وأجريت التجربة في

درجات حرارة مرتفعة ( تصل إلى ٣٥°س وإضاءة شديدة تصل إلى ٧٧٠٠٠ لكس[14] ( اللكس Lux وحدة كفاءة الدفق الإضائي أي الضوء المتدفق الساقط بوحدات اللومن لكل متر مربع من المساحة ) . وقد لوحظ أن البرك الاختيارية تكون أكثر ما يمكن كفاءة عندما يتراوح مستوى الضوء بين ٤٩٠٠٠ و ٦٣٠٠٠ لكس ، وعندما يزداد مستوى الإضاءة فإن الكفاءة تنخفض .

وخلال الفترة المتماثلة تزداد درجة حرارة البركة لما بعد ٣٠°س ، وعندها فإن الطحالب الخضراء تحل محلها حصائر من الطحالب الزرقاء الخضراء التي تبدأ في الظهور على سطح البركة مما يعوق اختراق الضوء للأعماق السفلى ، ويعوق التمثيل الضوئي ويقلل من كفاءة البركة . ولقد لوحظت ظواهر مماثلة في نظام بركة تثبيت المخلفات السائلة ببلدة ميريبوران بالبرازيل حيث استلزم الأمر استعمال كاسحات ذات أذرع طويلة لإزالة الحصر الطحلبية من أجل استعادة كفاءة البركة[13] . وينبعث عن هذا النوع من الحصائر روائح يسهل التعرف عليها .

وغالباً ماتزدهر الطحالب في البرك الدافئة ، وهي تمتص ثاني أكسيد الكربون والبيكربونات بسرعة مما ينتج عنه ارتفاع في قيمة الرقم الهدروجيني (pH) الذي ربما يصل لأكثر من ١٠[15] . وهذه الدرجة تمنع التأكسد البكتيري مما ينتج معه سيب لا يفي بالمتطلبات القياسية للمعايير المقررة . ومهما كان الأمر فإن قيمة الرقم الهدروجيني العالية تساعد في موت جراثيم الأمراض .

وهناك عامل سلبي آخر وهو حدوث الطبقات المائية stratification مع تطابق ظهور الخط الحراري الفاصل في الماء ( الثرموكلين thermocline ) . وحدوث الطبقات في البرك الاختيارية يمكن اعتباره عدواً حقيقياً لكفاءة التشغيل[16] . وخلال الفترات التي تسود فيها درجة الحرارة العالية والإشعاع الشمسي المركز فإن الطبقات العليا للبركة تصبح أكثر دفئاً من الطبقات الدنيا بدرجة ملحوظة . وكنتيجة لذلك تظهر طبقتين للمياه يمكن تحديدهما في البركة وهما الطبقة فوق الخط الفاصل epilimnion والطبقة تحت الخط الفاصل hypolimnion ويفصلها الخط الحراري الفاصل thermocline . ولهذا فليس نادراً أن نلاحظ اختلافاً في درجات الحرارة يصل إلى ١٠°س أو أكثر بين الطبقات السطحية والطبقات التي على عمق نصف متر[2] .

وعادة ما تكون الطبقة تحت الخط الفاصل خالية من الأكسجين الذائب بينما تهيء أشعة الشمس القوية لانتشار الطحالب في الطبقة العليا في نفس الوقت . وكنتيجة لذلك تزيد عكارة الماء ويعاق اختراق الضوء ويمتنع التمثيل الضوئي عن الطبقات الدنيا . وتساعد طبقة الغشاوة هذه opaque blanket على الإبقاء على الطبقات المائية التي كونت فعلاً حيث يكون جزء بسيط من الحجم الكلي مازال هوائياً بينما يكاد ينعدم الأكسجين من الجزء الأكبر ويحدث انتشاره ببطء بين الطبقات ( إن وجد ) . وما لم تهب رياح شديدة قادرة على تكسير هذه الطبقات ومزجها فإنها يمكن أن تستمر كما كانت قبل تكسيرها لأسابيع وشهور خلال الفترات الحارة[16] .

وتحدث ظاهرة اختزال المسار كعيب إضافي لظهور الطبقات المائية ، مع ما يصاحب ذلك من استقبال المخلفات السائلة وانتشارها تحت الطبقة الأدفأ حيث تمر خارجه من البركة وقد استغلت جزءاً بسيطاً من حجم البركة وتعرضت لمدة مكث منخفضة كثيراً . وظاهرة اختزال المسار خلال السطح ممكنة كذلك إذا كانت درجة الحرارة للمخلفات السائلة الداخلة أعلى من الطبقة العليا كما قد يحدث في حالة دخول المخلفات الصناعية .

ويجب ملاحظة أن بعض المؤلفين يرون أن ظهور الطبقات المائية مفيد عندما يحدث المزج في الطبقة العليا فقط ، وذلك بسبب أن وجود الطبقة الخالية من الأكسجين قرب قاع البركة الاختيارية يعتبر حموياً لتخمير الميثان الأمر الذي يعزى إليه جانب كبير من كفاءة المعالجة . وكما في كل شيء آخر فإن المسألة تتوقف على الدرجة ، ولا ينبغي لها أن تؤثر على الأداء الكلي للبركة .

وانخفاض بعض الحرارة المحيطة للبركة في ليل هادىء خاصة بعد نهار صافي ودافىء يخلق أسوأ ظروف مناخية من وجهة نظر فشل البركة خلال نفاذ الأكسجين .

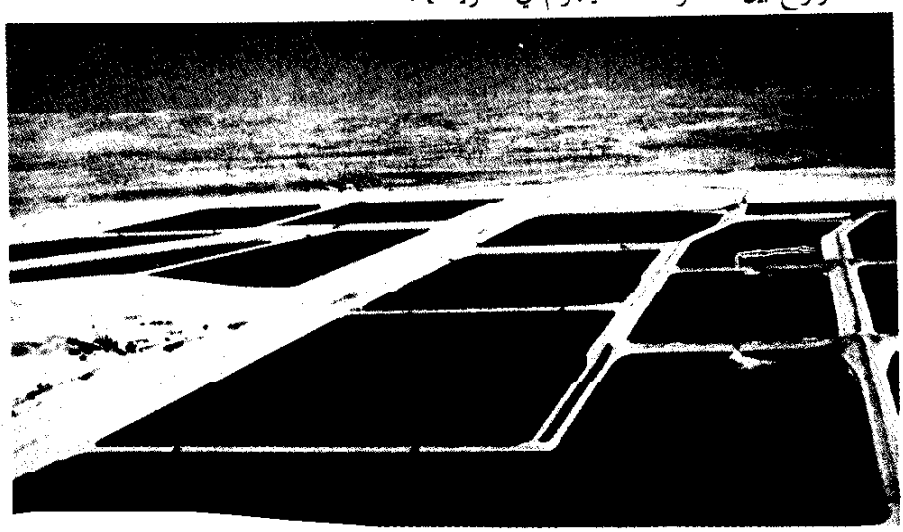
# الفصـــل التاســـع
# معالجة المخلفات السائلة في المناطق الحارة والقاحلة

تندر المياه في كثير من المناطق الحارة أكثر من غيرها من مناطق العالم . ومن هنا فقد ظهرت أهمية إعادة استعمال المخلفات السائلة wastewater reuse . إضافة إلى ذلك فإن كثيراً من الأنهار وروافدها وفروعها والجداول الصغيرة يجف سريانها في بعض أشهر السنة حيث لا توجد تجمعات مائية لتستقبل المخلفات السائلة بعد معالجتها ، ولهذا ففي كلا الحالتين ، أي إعادة استعمال المياه وجفاف التجمعات المائية المستقبلة ، لا يهتم كثيراً بإزالة الأكسجين الحيوي الممتص . إلا أن هناك عوامل أخرى يجب أخذها في الاعتبار كإزالة الجراثيم لحماية عمال المزارع والمحاصيل والحيوانات . وكذلك نجد أن خفض المواد العالقة مطلب آخر في السيب النهائي منعاً لانسداد مسام التربة أو تولد رائحة غير مرغوب فيها بسبب تعفن الطحالب ( وذلك إن وجدت في السيب ) . ولا يجب أن يحتوي السيب المعالج عند استعماله في الزراعة أكثر من ٢٥٠٠ ملليجرام في اللتر من المواد الصلبة الذائبة . ولهذا فإن البخر الذي يزيد من تركيز هذه المواد الصلبة يعتبر عاملاً محدداً هاماً عند استعمال برك التثبيت في معالجة المخلفات السائلة . وكذلك يجب ملاحظة أن التفاعل بين السيب وبين التربة يعتمد على نوعية السيب وكيمياء التربة وخصائصها الطبيعية بالنسبة لمساحة مقطع التربة وهذا من الأهمية بمكان . وكذلك يجب ملاحظة أن نسبة امتصاص الصوديوم هي بند هام في خصائص هذا التفاعل sodium adsorption ratio .

وتقل درجة ذوبان الأكسجين الذائب في الماء بارتفاع درجة الحرارة ، ولذلك فإن البخر المستمر من البركة يزيد في تركيز المعادن بينما يقلل من ذوبان الأكسجين .

ومع أن كثيراً من المؤلفين يعتبرون برك التثبيت ذات كفاءة معروفة في إزالة الأكسجين الحيوي الممتص (٥) "$BOD_5$" إلا أن غيرهم لا يوافق على هذا الرأي وذلك بسبب محتواها العالي نسبياً من المواد العالقة العضوية التي يحملها معه السيب النهائي أحياناً . ولهذا السبب فغالباً ما يقدر الأكسجين الحيوي الممتص (٥) في السيب على أساس عينات مرشحة للتخلص من المواد العالقة . ولذلك فإن الكفاءة المحسوبة تتأثر بطريقة التحليل المتبعة ، وعموماً فعندما تصمم البرك تصميماً سليماً وتدار ويتم تشغيلها بطريقة مناسبة فإن السيب النهائي يمكن أن يكون باستمرار على درجة عالية من الجودة ( راجع الجزء الثاني الخاص بالتصميم ) . وقد لوحظ أن السيب النهائي من مجموعات البرك المصممة كما يجب عند معالجتها للمجاري المنزلية يطابق دائماً المعايير المتطلبة في أغراض استصلاح الأراضي

وإعادة الاستعمال . ويمكن أن يتوقع سيب فيه قليل من القولونيات البرازية faecal coliforms تصل إلى ٣٠٠ لكل ١٠٠ ميليلتر مكعب ، وأكسجين حيوي ممتص ذائب أقل من ١٠ ملليجرام في اللتر ( مع أن المقبول في الزراعة يمكن أن يصل إلى ٦٠ ملليجرام في اللتر )[17] وقليل جداً من المواد العالقة تتراوح بين ١٠ و ٣٠ ملليجرام في اللتر[18] .



الشكل ٨ – منظر من الجو لمجموعة برك التثبيت في خربة سمرا . وتظهر البركة خ٣-٤ ( راجع الشكل ٦ ب ) في مقدمة الصورة ، والتسلسل رقم ١ يرى فارغاً في مؤخرة الصورة ( التسلسلان رقم ٢ ورقم ٣ هما اللذان يعملان فقط ) وطول خط المواسير المتصل بعمان ٣٩ كيلومتر ، ويعطي التسلسلان رقم ٢ ورقم ٣ انخفاضاً في الأكسجين الحيوي الممتص $BOD_5$ في الصيف بنفس الدرجة للتسلسلات الثلاثة في الشتاء تحت نفس الظروف ، ويستعمل السيب النهائي في الري . فكمية ١٨ مليون متر مكعب في السنة كافية لمساحة ٤٠٠٠ هكتار ( ٤٠ كيلومتر مربع ) . وتفرغ الحمأة المتبقية كل بضع سنوات ، وتستعمل كمحسن للتربة في المساحات المنزرعة بجوار البرك وبها ١٠٠٠٠ شجرة تفاح ، ٣٠٠٠ شجرة زيتون ، ٢٦٠٠٠٠ شجرة حور وأوكاليبتوس وصمغ عربي حتى نهاية عام ١٩٨٥ وتزداد بكمية ٣٠٠٠٠٠ من أشجار الغابات لنهاية عام ١٩٨٦ .

وبينما لا تتوقع نتائج حسنة باستمرار من برك التثبيت المحملة أكثر من اللازم خاصة في الأجواء الحارة إلا أن البرك المصممة تصميماً جيداً والتي يتم تشغيلها وصيانتها بطريقة حسنة توفر المعالجة الفعالة للمخلفات السائلة ( الشكل ٨ ) . ويجب إدراك أن برك التثبيت هي الطريقة ذات الاختيار الأول في الدول النامية ، أما وسائل معالجة المخلفات الأكثر تعقيداً من النواحي التقنية techniques فلا يفضل اللجوء إليها إلا عندما تكون هناك أسباب مقنعة للغاية لعدم استعمال نظام البرك .

## ٩-١ تصميم البركة في المناطق الحارة والقاحلة

لا يختلف تصميم بركة تثبيت المخلفات السائلة في المناطق الحارة عن أي مفاعل بيولوجي biological reactor بما في ذلك فن art إيجاد وخلق الموطن الطبيعي لكثير من الفصائل الحية التي تمد بها الطبيعة دائماً مختلف أجزاء بيئة البركة . كما يلزم توفير البنيات الأكلوجية المناسبة لحياة الجراثيم والطفيليات المتوقع وجودها حتى يمكنها القيام بالأعمال المنتظرة منها .

وتكون برك التثبيت ضحلة في عمقها وتغطي مساحات كبيرة من الأرض ، فهي أبسط طرق المعالجة التي حاول بها الإنسان أن ينمي العمليات الطبيعية للتنقية . ولكن هذا لا يعني أن العمليات الكيماوية والطبيعية والبيولوجية التي تحدث في البركة عمليات بسيطة وإنما هي تفيد أن الدور الذي يقوم به المصمم لتسهيل التشغيل دور محدود . بل حتى حالما تنشأ البركة فإن دور القائم على التشغيل لتطوير عملية التنقية يكون محدوداً كذلك .

وتعتبر النماذج الرياضية mathematical models التي تعتمد على التفاعلات الحيوية وعمليات التحلل في المناطق الحارة ذات مساعدة محدودة في تصميم البرك ، وذلك بسبب الظواهر الثانوية الهامة التي لا يمكن أخذها في الاعتبار . فمنذ البداية يجب أن يعترف المصمم بأنه مازال غير ممكن أن يتم التقدير الكمي إلا لبعض البنود ، وأن جميع طرق التصميم المتاحة ما هي إلا طرق تقريبية . ويفضل أن يقاوم المصممون إغواء تبني طرق تصميم معقدة ، بل يجدر بهم أن يتذكروا أنه أحياناً تكون دراسة نتائج تشغيل برك موجودة فعلاً في المنطقة هي أحسن مساعدة يمكن أن يقدموها في ذلك الصدد ، وياحبذا لو طبقوا مثيلاتها لو كانت نتائجها مرضية ، فغالباً ما يكون تطبيق طريقة تجريبية في التصميم مبنية على تشغيل نظام برك موجودة فعلاً ليس أبسط الطرق فقط بل وأكثرها أماناً وأفضلها .

وتصلح برك الإنضاج إلى حد كبير ما أفسدته البرك الاختيارية الابتدائية ، ولكنها لا تصمم خصيصاً لهذا الغرض . ولا تقارن الكفاءة الممتازة في إزالة الجراثيم بواسطة مجموعة البرك الاختيارية والانضاج بأي طريقة معالجة أخرى للمخلفات السائلة إلا إذا استعملت المطهرات . وعادة ما يستغنى بالمعالجة الثانوية أو المتكاملة tertiary في برك الانضاج عن الحاجة لتطهير السيب النهائي المزمع إعادة استعماله في الزراعة .

ويجب تجنب استعمال الكلور لتطهير السيب النهائي من برك التثبيت عن إعادة استعماله لأغراض الري والمزارع السمكية fish rearing وذلك لأسباب بيئية ومالية وأمنية وفنية . كما ترفع عملية إضافة الكلور ( الكلورة ) من قيمة الأكسجين الحيوي الممتص للسيب النهائي وذلك بسبب قتله للطحالب ، وتعرض محتواها العضوي للتحلل بواسطة الجراثيم . هذا بينما لا تسبب الطحالب الحية الحديثة ارتفاعاً كبيراً في الأكسجين الحيوي الممتص مثلما يحدث عندما تكبر في برك التثبيت طويلة

مدة المكث أو الخالية من ثاني أكسيد الكربون في تركيزاتها وذلك حيث تفرز مواداً عضوية قابلة للتحلل البيولوجي مما يسبب تكاثرات ثانوية للجراثيم المستهلكة للأكسجين . ومن هنا يتضح أن الطحالب تسبب أكسجين حيوي ممتص مع أن الطحالب الحية تستهلك يومياً أقل من ١٥٪ من وزنها الجاف من الأكسجين .

ولا تزيل البرك الاختيارية المنفردة جراثيم المجموعة القولونية بدرجة مرضية تسمح بإعادة استعمال السيب . وفي الوحدات ذات الأعمال المالية على الأخص فإن تركيز المواد العضوية يمكن أن يتواجد بحيث يسمح بتكاثر البكتريا القولونية مما يؤثر على نتيجة موتها[19] . ومن الضروري أن تستخدم بركة أو أكثر للانضاج على التوالي مع البركة الاختيارية وذلك للحصول على كفاءة ملحوظة في إزالة جراثيم الأمراض ( راجع البند ٢١-٢ ) .

ووجود الأمونيا في السيب من البرك يعتبر مفيداً لنمو المحاصيل ، بينما نجد من جهة أخرى وجوب مراعاة أنه عندما يتم التخلص من السيب بالتخفيف في تجمع مائي مستقبل ألا يزيد تركيز الأمونيا عن ٥ر٠ ملليجرام في اللتر وألا تتسبب في الإضرار بالأسماك وخلق احتياج للأكسجين ، ومع وذلك فلا يمكن التحكم في أكسدة الأمونيا ( نترتة nitrification ) في البرك كما يحدث في التفاعلات الأخرى .

ولا تحدث عملية أكسدة الأمونيا بصفة مستمرة في برك التثبيت الاختيارية وذلك بالرغم من وجود الجراثيم المتخصصة في تلك الأكسدة وتوافر الأكسجين اللازم لذلك والناتج عن عملية التمثيل الضوئي للطحالب ومن التهوية الطبيعية . وبالرغم من تشابه الظروف إلا أنه لا يعرف سبب حدوث أكسدة الأمونيا في البرك أحياناً بينما لا يحدث ذلك أحياناً أخرى[20] .

ونادراً ما توجد النترات في البرك الاختياريه حيث يحتمل تحول النترات التي تتكون سريعاً إلى نتروجين حر بواسطة بكتريا اختزال النتروجين في الطبقات السفلى ، ولا توجد النترات عادة إلا في البرك التي تلي المعالجات بالمرشحات الرمرافه trickling filters أو بالحمأة المنشطة activated sludge أو بالبرك المهواة aerated lagoons . هذا ويمكن حدوث تركيزات عالية من النترات في برك التثبيت بسبب ارتفاع تركيزها في مصادر مياه الشرب ومنها إلى المخلفات السائلة الخام .

وتتولد أيونات الهدروجين من عملية النترتة ، وتلك الأيونات تتعادل مع جزء من قلوية البركة ، وبمعنى آخر تقلل من قيمة تركيز التأين الهدروجيني أو الرقم الهدروجيني pH ، ذلك أنه بأكسدة ١ ملليجرام في اللتر من الأمونيا يتم معادلة ١ر٧ ملليجرام في اللتر من القلوية . ويؤثر ارتفاع درجة الحرارة في تنشيط عملية النترتة وما يتبعها من تأثير نافع في خفض قيمة الرقم الهدروجيني المرتفعة والناتجة عن الازدهار الطحلبي . وكيفما كان الأمر فإن ارتفاع قيمة الرقم الهدروجيني يسبب زيادة التخلص من المجموعة القولونية وجراثيم الأمراض .

## ٩-٢ الاعتبارات الأساسية في التصميم

هناك عدة اعتبارات يجب أخذها في الحسبان قبل تصميم البركة وأثناء ذلك . وقد ذكرت بعض هذه العوامل في البند ٦-٤-١ إلا أنه مازال على المصمم أن يأخذ في حسبانه أنواعاً أخرى من البيانات كالمعايير واللوائح ومتطلبات المعالجة وتقديرات النمو السكاني وما شابه ذلك . وقد تم مناقشة اعتبارات التصميم العامة من قبل مؤلفين من أمثال جلوينا[8] ولمبرز[21] .

وربما تلزم البيانات الآتية للاسترشاد بها عند تصميم نظام البركة :

- المعايير واللوائح والجهات التنظيمية ،
- فترة التصميم ، والوقت المحدد لبدء التشغيل ،
- عدد السكان الحالي وعددهم في المستقبل وهم الذين ستؤدى لهم الخدمة ( تقدير النمو السكاني ) ،
- المخلفات الصناعية السائلة ( المكافىء السكاني ، ومدى تقبل المخلفات الصناعية ، المعالجة التحضيرية الموصى بها ) ،
- تحليل المجاري ،
- تصرفات التصميم ،
- تحميلات التصميم ،
- متطلبات المعالجة ،
- التخلص النهائي أو إعادة استعمال السيب المعالج ،
- ظروف التعرض لأشعة الشمس ( الإشراق ) ،
- ظروف درجات الحرارة ،
- اتجاه الرياح السائدة ،
- رشح المياه الجوفية إلى شبكة المجاري ،
- تدفق مياه الأمطار ،
- مدى ملاءمة المعالجة بنظام البرك ، وبمجموعات البرك ،
- المواقع المتاحة ( البعد عن أقرب مناطق سكنية أو مجتمعات ) مع اختيار أفضل البدائل ،
- احتمالات تلوث المياه الجوفية ،
- شكل واتجاه البرك ، مكان مداخل ومخارج البرك ،
- تفاصيل الإنشاء ،
- المساحة اللازمة ، الصافية والإجمالية ،
- تراكم الحمأة وإزالتها .

وتوجد عدة طرق للتعامل مع تصميم برك تثبيت المخلفات السائلة المنفردة أو تلك التي في مجموعات . وكذلك فقد ظهرت عدة نماذج تصحيحية وضعتها فرق للتصميم . فمثلاً اعتبر بعض المصممين البرك كأنظمة تامة الخلط والمزج completely-mixed systems وكونوا نماذجهم على أساس أن التفاعلات الداخلية من الدرجة الأولى first order reaction kinetics . ولقد دعمت كثير من الأدلة الغرض القائل بأن درجة الحرارة والتعرض للشمس هي أهم العوامل اللازمة لحسن أداء البركة . وأولت معظم طرق التصميم أهمية خاصة لهذين العاملين . وعلى الرغم من ذلك فمازال التعبير المذكور في البند رقم ٩-١ صالحاً للعمل به ومؤداه « غالباً ما يكون تطبيق طريقة تجريبية في التصميم مبنية على تشغيل نظام برك موجودة فعلاً ليس أبسط الطرق فقط بل أكثرها أماناً وأفضلها فاعلية » .

## الفصـــل العاشـــر

# تحسين نوعية السيب من البركة

### ١٠-١ معايير إعادة استعمال السيب

يلزم التأكد من أن تصميم برك التثبيت الاختيارية وبرك الانضاج يفي بتغطية المواصفات الخاصة بالسيب النهائي حين يعاد استعماله . وأهم استعمالات السيب المستصلح هي :

- الري في الزراعة ، ( الشكل ٩ ) ،
- المزارع السمكية ،
- الحقن في المياه الجوفية .

وتلخص المعايير المطلوبة لهذه الاستعمالات في الجدول ٢[17] . وكثيراً ما يفشل السيب في الوصول لهذه المعايير المتشددة مما يستلزم تحسين نوعيته قبل إعادة استعماله . وكيفما كان الوضع فيجب ملاحظة أنه ليس من الضروري الالتزام بهذه المعايير في جميع الأماكن ، بل يجب في بعض

الشكل ٩ – إن إعادة استعمال السيب ، عندما يفي بالمعايير الجرثومية وغيرها ، في الري لمحاصيل محلية يمكن أن يمد المجتمع بفرص عمل إضافية ومصدر للدخل مما يزيد في رفع مستوى المعيشة .

الأحيان توخي المرونة كلما أمكن ذلك . أضف إلى ذلك أن كثيراً من طرق تحسين نوعية السيب لا تناسب استعمال البلدان النامية لتكلفتها العالية ، ومن أمثلة هذه الطرق المصافي الدقيقة والترشيح الرملي السريع والكلورة ( والتي تجد معارضة شديدة ) والطفو والمعالجة بالكربون المنشط . وكيفما كان الأمر فهناك بعض الأساليب الممكنة للتنقية الطبيعية لما بعد المعالجة .

## ١٠-٢ تحسين النوعية بهايسينات الماء ( النباتات الراقية مثل ورد النيل )

لقد استعمل هايسين المياه water hyacinth بنجاح في تحسين سيب مشروعات المعالجة خاصة لإزالة الطحالب . ومع هذا فإن هايسين المياه هو أكثر الأعشاب المائية إثارة للمخاوف ، ويجب ألا يسمح بدخوله إلى بلد لا يوجد فيه أصلاً . وحين تكون المراقبة محكمة ضده فسوف يكون بالإمكان تجنب دخوله .

ويستهلك هايسين المياه كميات كبيرة من الغذيات nutrients كالنتروجين والفسفور والمعادن الثقيلة . وفي نفس الوقت فإن جذوره توفر سنداً ودعامة لأحياء جيلاتينية تستطيع فيما بعد تثبيت المواد العضوية ، وإنتاج ثاني أكسيد الكربون ومواد غير عضوية ومواد أخرى يتركز معظمها

**الجدول ٢ – معايير إعادة استعمال السيب [17]**

| البند ملليجرام في اللتر | الري للزراعة | مزارع سمكية | الحقن في المياه الجوفية |
|---|---|---|---|
| الأكسجين الحيوي الممتص | لا حدود | أقل من ١٠ | أقل من ٥ |
| المواد العالقة | أقل من ٣٠ | منخفض | أقل من ٣٠ |
| المواد الصلبة الذائبة الكلية | ٢٥٠٠ | أقل من ٢٠٠٠ | منخفض |
| المذاب في الهكسان–ن | أقل من ٥٠ | لا حدود | لا حدود |
| نتروجين كلداحل الكلي | لا حدود | انظر الأمونيا | منخفض |
| نتروجين الأمونيا | لا حدود | أقل من ٥ر٠ | يكاد ينعدم |
| نتروجين النترات | لا حدود | لا حدود | أقل من ٥٠ |
| الفسفور الكلي | لا حدود | لا حدود | أقل من ١٠ |
| العد الإحتمالي الأكبر للقولونيات البرازية | أقل من ١٠٠/١٠٠٠ ملليلتر | أقل من ١٠٠/١٠٠٠ ملليلتر | أقل من ١٠٠/١٠٠٠ ملليلتر |
| الكادميوم والزئبق ومعادن ثقيلة أخرى | يكاد ينعدم | يكاد ينعدم | يكاد ينعدم |
| الفينـــول | أقل من ١ | أقل من ٠٠١ر٠ | أقل من ٠٠٠١ر٠ |

بواسطة النباتات . وتلتصق الجراثيم والكائنات الأخرى بالأجزاء الجيلاتينية المغطاة ، وتزال كل هذه المواد من الماء عند حصاد الهايسين[22] .

ويتكاثر نمو الهايسين بسرعة شديدة في الأجواء الحارة وتتضاعف كتلته كل ستة أيام . ويمكن أن تنتج أربعة أطنان وزن رطب من النبات أو ٢٠٠ كيلوجرام من المواد الجافة في اليوم وذلك من هكتار واحد مغطى بالهايسين من سطح برك التثبيت . ولقد تم حصاد أكثر من ٢٩٠ كيلو جرام من الهكتار في اليوم[23] . وتم تخفيض ٨٠٪ من النتروجين و ٤٤٪ من الفسفور الكلي من بركة هياسين مساحتها ٥٥ر٠ هكتار وعمقها ٦ر٠ متر ومدة المكث فيها تتراوح بين ٢٤ و ٤٨ ساعة ، وتغذى بتصرف قدره ١٠٠٠ متر مكعب في اليوم من سيب بركة اختيارية[24] . وتوجد تركيزات منخفضة جداً من الأمونيا في برك الهايسين ، ويكون ذلك مهماً في مزارع الأسماك حيث ينتج السيب الصافي والمنخفض في الأكسجين الحيوي الممتص .

ولتسهيل عملية حصاد الهايسين تستعمل قنوات طويلة أقل من ١٠ متر في عرضها وتعمل على التوالي[22] . ويتم التخلص من الهايسين بعد حصاده باستعماله وهو أخضر كسماد عضوي أو لتغذية الماشية أو لتخميره لإنتاج الميثان أو تدبيله (composting) لاستعماله في الزراعة ، أو ردمه بطريقة الردم الصحي sanitary-landfill .

وفي الحقيقة فقد أظهرت الخبرات المتزايدة بسرعة عن تأثير هايسينات المياه في إزالة الطحالب والمواد العالقة المتبقية والمواد العضوية الزائدة وحتى الوجود الميكروبي ثقة ملحوظة في استعمالاتها لتحسين حالة السيب من برك التثبيت بما في ذلك إزالة الغذيات مما يعطي مزايا ملموسة(أ) .

ولقد استعملت كائنات أخرى مثل النباتات الكبيرة غير المجهرية ( المكروفيتس macrophytes ) لتحسين حالة السيب النهائي ، ولكن مازال ينقص الكثير من المعلومات عن أدائها .

---

(أ) أ. ف. جلوينا ، إفادة شخصية ، ١٩٨٧ .

# الفصل الحادي عشر
# التشكيل الهندسي للبركة

## ١١-١ العوامل المؤثرة على شكل البركة

يلزم تجنب المواقع ذات المناسيب المتفاوتة حيث يسبب ذلك أماكن خاملة dead spaces واحتوالاً للمسار short circuiting وتضخيماً للأمواج مما يؤدي إلى اضطراب الوظيفة المادية للبركة . ويتأثر شكل البركة في معظم الأحيان بالمستوى الطبوغرافي للموقع مما يتطلب أقل ما يمكن من تحريك الأتربة منعاً لزيادة التكاليف ، إلا أن هذا الحرص في عدم تحريك الأتربة لتخفيض التكاليف لا يجب أن يبالغ فيه .

## ١١-٢ أشكال البركة

### الشكل المربع

غالباً ما يكون المربع هو الشكل الملائم لبركة التثبيت ، ويتطلب ذلك عادة قليلاً من تحريك الأتربة أقل من غيرها من الأشكال ذات المساحة أو الحجم المتساويين . ويمكن استعمال أنواع متعددة من المداخل والمخارج كما هو واضح في البند ١٢-٤ .

### الشكل المستطيل

لا يجب أن تزيد نسبة الطول إلى العرض أكثر من ٢ : ١ في البرك المستطيلة الشكل . إلا أنه إذا لم يمكن تجنب النسبة الكبيرة فيمكن استعمال عدة مداخل . ويفضل بعض المؤلفين البركة الطويلة لأكثر من ذلك لتصل النسبة إلى ٣ : ١ وذلك للاستفادة من نشاط الرياح . إلا أن هذه النظرة لا يجب الاهتمام بها أكثر من اللازم وتوحد تفاصيل المداخل والمخارج في البند رقم ١٢-٤ .

### الشكل غير المنتظم

أحياناً ما تكون المساحة المتاحة غير مستوية أو مائلة قليلاً ومحدودة ولا تتناسب معها الأشكال المربعة أو المستطيلة بطريقة اقتصادية وذلك لفقدان جزء من مساحة البركة عند الأطراف . وفي هذه الحالات تكون الأشكال غير المنتظمة مما يناسب الموقع المتاح هي أنسب ما يمكن على ألا ينتج عن هذا أشباه الجزر أو الزوايا المتداخلة أو المنحنيات ( أنظر البند ١١ ١ ) .

## ١١-٣ أركان البركة

يفضل عدم وجود أركان حادة عند تقاطع ميول الجسور الترابية حول البركة . ويجب استدارة قمم الجسور الترابية ودكها منعاً لتأثير حركة المياه ولتجنب الأماكن الخاملة .

# الفصل الثاني عشر
# بناء وتطبيق البركة وملحقاتها

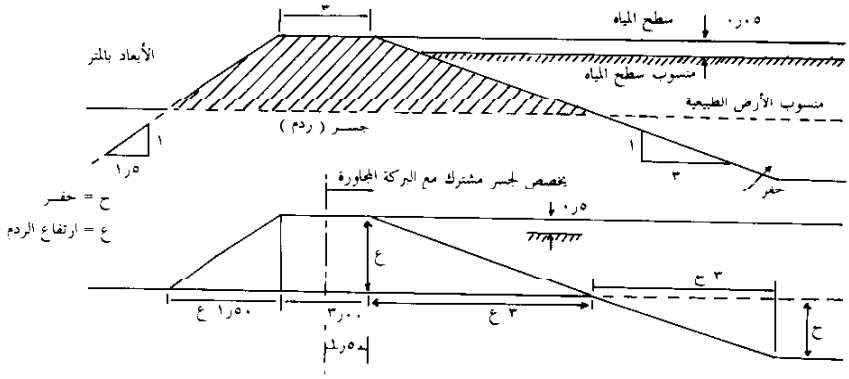
لا يتضمن تصميم البركة تحديد مساحة السطح والعمق فقط ، بل يشمل كذلك عدة إنشاءات تفصيلية وتغطية المواصفات التي تضمن الأداء السليم للبركة طوال عمرها . وقد أوضحت كثير من التقارير التي كتبت عن البرك الموجودة بالفعل أنها تعاني من مجموعة اضطرابات وظيفية وانهيارات إنشائية ، هذا إضافة إلى مضايقات نتجت عن عدم جودة التنفيذ . وتقل هذه المشاكل الوظيفية بالتصميم السليم مع مراعاة الأمانة والدقة في التنفيذ عند الإنشاء وبهذا يمكن تجنب المشاكل التي يكون منها على سبيل المثال وجود المناطق اللاهوائية تماماً في البرك الاختيارية ، وعدم وجود سيب ينصرف منها وذلك لتسرب التصرف خلال قاع البركة ، ونحر الجسور ، والنمو الكثيف للأعشاب المائية ، وتوالد البعوض ، وعدم كفاءة المزج المتسبب عن الرياح ، والأطماء حول المداخل silting . وعلاوة على ذلك فإن التصميم الجيد والتنفيذ المتقن غالباً ما يكون أوفر من ناحية التكاليف بسبب التقليل من احتياجات التبطين والقيام بعمليات الحفر والردم طبقاً للتصميم دون زيادة أو نقصان . وكذلك يتحقق التوفير بالإقلال من تكاليف الصيانة خاصة تلك التي تتضمن تدخل مجالات الهندسة المدنية اللازمة لتصحيح الأخطاء التصميمية وذلك أثناء عمل البركة بالفعل .

## ١٢-١ تحريك الأتربة

### ١٢-١-١ رفع القاع للوصول إلى أقل ما يمكن من حجم تحريك الأتربة

يكفي الحفر في منسوب الموقع إلى عمق ضحل للحصول على المواد اللازمة لإنشاء الجسور . وليس هناك غنى عن اتباع الشرطين الآتيين : (١) أن يكون منسوب المياه في البركة أثناء التشغيل منخفضاً عن منسوب آخر قاع موصل إليه ومرتفعاً عن أعلى منسوب للمياه الجوفية . (٢) تكون نواتج الحفر مناسبة للدك كما يجب أن تحتفظ بتماسكها عند عمرها .

ويمكن أن تكون التربة العضوية السطحية والتربة الرملية غير مناسبة لإنشاء الجسور . إلا أنه غالباً ما توجد تحتها مواد مناسبة تفي بالغرض ، حيث تستخدم هذه المواد في عمل هيكل الجسر الأصم والثابت نسبياً بينما تستخدم التربة السطحية كمادة مالئة لإعطاء شكل وميول الجسر . أما إذا لم تتوفر التربة المناسبة في الموقع فلابد من إحضارها من خارجه مما يسبب تكاليف إضافية . ويجب في هذه الحالة تقدير قوة تحميل التربة في الموقع بدقة وذلك لتجنب انهيار الجسور في المستقبل . وقد يزيد من




الشكل ١٠ – إنشاء الجسور ويوضح مواقع الحفر والردم ، ويبين الخط المتقطع منسوب الأرض الطبيعية .

استخدام التربة القابلة للضغط أو البلاستيكية من تكاليف إنشاء الجسور مما يشكك في اقتصاديات اختيار برك التثبيت كطريقة معالجة .

وفي حالة توفر التربة المناسبة لإنشاء الجسور ، يجب أن تدك نواتج الحفر في طبقات ، عادة ما تكون بسمك لا يزيد عن ١٥ سنتيمتر ، وتتحقق أفضل الظروف الاقتصادية عندما يمكن الحصول على جميع الأتربة اللازمة لبناء الجسور من قاع البرك . وهنا يجب أن يتساوى حجم الأتربة الناتجة عن الحفر مع الحجم اللازم للردم وذلك على أسس الأبعاد الهندسية المعطاة . إلا أنه يلزم عند التطبيق أن يسمح ببعض الإضافات لتغطية متطلبات الانكماش خلال عملية الدك . ويجب أن يزيد حجم الحفر بنسبة تتراوح بين ١٠ و ٣٠٪ لتغطية إمكانية انضغاط التربة تبعاً لنسبة الرطوبة بها وبسبب غير ذلك من العوامل . ثم أنه من اللازم أخذ عينات من تربة الموقع ( جسات soil borings ) لتقدير معامل الانكماش بعد الدك . وعندما يكون الموقع منحدراً فإن الهدف ، وهو الموازنة بين الحفر والردم يظل كما هو ويجب الحفاظ عليه .

ولهذا فإنه ينصح بأخذ رأي مهندس التربة المختص (geotechnical engineer) وذلك قبل البدء في تصميم الجسور ، ويلزم عمل الجسات في الموقع لتحديد نوعيات التربة المتاحة وتقدير تكاليف الإنشاء .

ويوجد في المرفق ١ والملحق ١ مثال تطبيقي على القيام بعملية الحسابات المثلى للجسور .

## ١٢-٢ الأشكال الهندسية للجسور

يجب أن يكون ميل الجسور في الجوانب الداخلية المبتلة بسيطاً بحيث لا يزيد عن ١ : ٣ أو ١ : ٤ ( ٣٣٪ إلى ٢٥٪ ) وذلك للإقلال ما أمكن من البخر الناتج عن حركة الأمواج بسبب

الرياح . ويجوز استعمال ميول أكثر حدة عندما تسمح خواص التربة بذلك أو عند استخدام تكسية واقية للجسر lining ، وغالباً ما يكون ميل الجسور في الجوانب الجافة ١ : ٥ر١ (١٧٪) أو حتى أكثر حدة ( الشكل ١٠ ) . ويجب زراعة grassing الميول في الجوانب الجافة بالنجيل ، وكذلك الشريط الذي يعلو منسوب المياه في الجوانب المبتلة وذلك لحماية الجسر من النخر . وتؤثر أنواع النجيل المختارة لهذا الغرض على تكاليف الصيانة تأثيراً ملحوظاً . ومن ناحية أخرى يلاحظ أنه إذا ما وصل النجيل تحت منسوب مياه البركة فسيؤدي هذا إلى نمو اليرقات والقواقع وغيرها من الحشرات . ولهذا فيجب الإبقاء على شريط ضيق غير مزروع بالنجيل وذلك بسمك يتراوح بين ٣ر٠ و ٥ر٠ متر بين منسوب المياه والشريط المزروع ( الشكل ١١ أ ) .

ويجب أن تكون قمم جسور البرك عريضة بدرجة كافية تسمح بمرور وسائل النقل خاصة بالنسبة للبرك الكبيرة . أما في المشروعات الصغيرة فيكفي أن يكون العرض بمقدار ٥ر١ متراً وذلك للسماح بالمرور على الأقدام . ويكون الطريق على قمة الجسر بعض ٥ر٢ متر على الأقل عند الأخذ في الاعتبار مرور وسائل النقل . وتشكل ميول الجسور بعد تحريك الأتربة مبدئياً وذلك إما يدوياً أو ميكانيكياً بواسطة آلات خاصة blade scraper ويتم هذا قبل زراعتها بالنجيل .

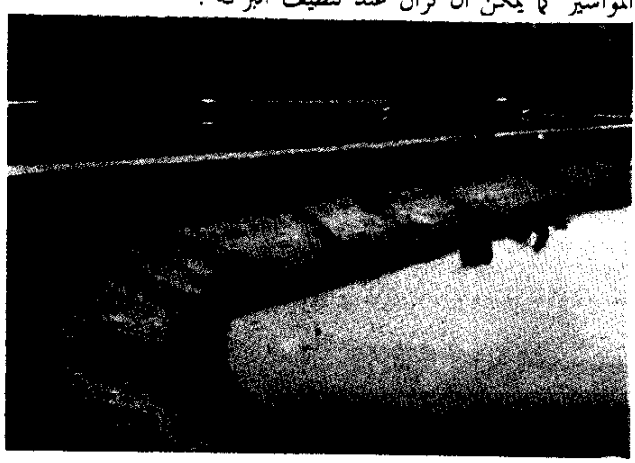
## ١٢-٣ التبطـــين

يجب أن يكون التبطين lining هو الاستثناء وليس القاعدة وذلك حيث أنه يزيد بدرجة ملحوظة من تكاليف الإنشاء . ولهذا فلا ينصح أن يلجأ إليه إلا في حالات الاضطرار .

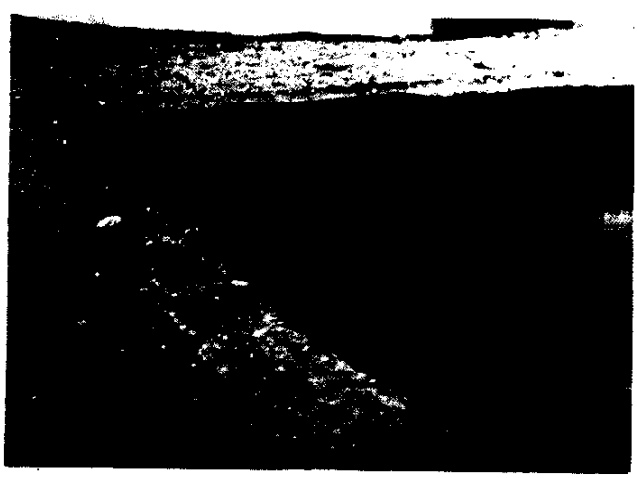
### ١٢-٣-١ تبطين القـــاع

يمكن أن لا تملأ البركة إلى منسوب التصميم أبداً وذلك إذا كانت التربة مسامية أكثر من اللازم مما يسبب تسرب المياه خلال القاع . ويثبت مستوى الماء بالبركة عند منسوب ما وذلك حين يتوازن الضاغط الاستاتيكي static head فوق قاع البركة مع تسرب كل التصرفات الداخلة للبركة إلى التربة . وعندما يقترب الضاغط الاستاتيكي من العمق التصحيحي للمياه الذي سبق تعيينه فلن يسبب هذا اضراراً في المستقبل ، حيث سيصبح قاع البركة غير مسامي بمضي الوقت وذلك بترسيب الحمأة مما يؤدي إلى ظروف التشغيل الطبيعية . أما إذا استقر عمق البركة عند منسوب منخفض عن المنسوب التصميمي فهذا يعني أن التبطين كان واجباً ويصبح من الضروري تبطين قاع البركة لضمان خروج سيب نهائي عندما يكون الغرض هو إعادة استعمال ذلك السيب .

ومن المهم أن يحدد الاحتياج إلى تبطين القاع من عدمه قبل الإنشاء حيث أن أية تعديلات ستطلب فيما بعد ستكون مكلفة . وتساعد نتائج تحليل التربة وتجارب النفوذية في تجنب المشاكل المتعلقة بالتربة إلا أن هذه النتائج أحياناً ما تكون مضللة ولا يمكن اكتشاف الفشل إلا بعد ملء البركة . وهكذا فعندما يتقرر بناء بركة على تربة مسامية نوعاً ما ، فإن ذلك يتطلب جعل قاع البركه مانعاً لنفوذ المياه بواسطة فرد طبقة بسمك ١٠ سنتيمترات على القاع من الطين المدكوك تنقل من موقع قريب . ويحتاج الهكتار الواحد إلى ١٠٠٠ متر مكعب من طين التبطين . وقد يقبل بعض المصممين تقليل السمك من عشره سنتيمرات إلى أقل من ذلك حتى خمسة سنتيمترات وذلك للاقتصاد في تكاليف النقل ، إلا أنه يصعب فرد هذه الطبقة بطريقة منتظمة لقلة سمكها حيث يسبب ضعف التماسك مع التربه الأصلية . وينتج عن ذلك فشل أدائها عند الشقوق وأماكن تركيب المواسير كما يمكن أن تزال عند تنظيف البركة .



الشكل ١١ – أ منظر لشريط من الجسر فوق منسوب المياه ترك خالياً من النجيل والنباتات المائية لتجنب إيواء للحشرات ، ويرى العامل وهو يقطع النجيل .



الشكل ١١ – ب ألواح من البلاستك تستعمل فى تبطين البركة لضمان تشغيل البركة عند السطح التصميمي للمياه وذلك للتعامل مع الرشح الزائد خلال التربة المسامية والرملية .

وقد استعملت رقائق البولي اثيلين والفنيل في بعض الحالات إلا أن تكاليفها غير مناسبة للبلاد النامية . وعند استعمال هذه الرقائق لمنع النفوذية فيبطن القاع والميول عادة بحيث تمتد أطراف مواد التبطين إلى قمة الجسور حيث تثبت بطرق مناسبة ( الشكل ١١ ب ) . وقد استعملت رقائق البلاستيك في تبطين البرك الصغيرة نسبياً فقط وخاصة برك التهوية الميكانيكية ، هذا وتصنع حالياً أغشية تبطين رخيصة من نفايات البلاستيك المعاد تجهيزه .

ومن المواد الأخرى الممكن استعمالها في التبطين مادة التربة الأسمنتية soil-cement إلا أن البيانات الخاصة بهذا الاستعمال في برك التثبيت مازالت قليلة . هذا وتحضر التربة الأسمنتية يدوياً في الموقع وذلك بخلطها مع التراب بنسبة ٨ إلى ١١٪ وزن جاف من الأسمنت البورتلاندي . وتخاخل التربة يدوياً بالجاروف أو الشوكة بعمق حوالي خمسة سنتيمترات ثم يسمح لها بأن تجف نوعاً ما ( ويحتمل أن تفقد التربة تماسكها وذلك إذا ما تركت لتجف أكثر من اللازم وعندئذ يضاف أقل ما يمكن من الماء لاستعادة محتواها الرطب ) . وتوضع الكميات المناسبة من الأسمنت على القاع على هيئة أكوام صغيرة متساوية ، مثلاً ٣٠ كيلوجرام لكل أربعة أمتار مربعة . ثم تنشر بانتظام وتخلط بالتربة المخلخلة لعمل طبقة مستوية ، ثم تدك بعد ذلك بواسطة أداة اسطوانية صغيرة small roller وتكون التربة الأسمنتية مشابهة للخرسانة عندما تكون مكونات التربة الأصلية بها أكثر من ٧٠٪ ( وزناً ) من مواد خشنة الحبيبات كالزلط والرمل والطفل ، وتعالج بنفس الطريقة التي تعالج بها الخرسانة . وقد اتضح أن مقدار ثمانية كيلوجرامات من الأسمنت البورتلاندي لكل متر مربع من قاع البركة المراد تبطينه يقارب في التكاليف الكلية أي طريقة تبطين أخرى وذلك حيث أن تكاليف العمالة عامل مؤثر في التكاليف الكلية لعملية التبطين التي تتطلب كثيراً من العمالة .

## ١٢-٣-٢ تبطين الميول

ليس من الضروري أن تبطن الميول البسيطة ( ١ : ٣ أو ٣٣٪ أو أقل ) وذلك بصفة عامة ، ذلك أن الأمواج المتولدة عن تأثير الرياح سوف تتكسر على الميول وتفرغ ما بها من طاقة بهدوء كما يحدث في الشواطىء دون أن تسبب أذى للجسور . وربما يلزم التبطين عندما تكون الميول حادة ، غير أن قرار التبطين لا يجب أن يصدر إلا بعد دراسة وافية وتقييم حريص للبدائل المتاحة . وتستخدم التكسية الجافة أو التدبيش rip-rap تحت وفوق منسوب المياه ويتم ذلك ببقايا المحاجر والدبش في التبطين أكثر من غيرها من الطرق في تبطين الميول . وتطبق حيث توجد مواد التكسية بتكاليف رخيصة . وتستخدم في هذا النوع من التبطين أحجار ذات أشكال وأحجام مختلفة ترص بجوار بعضها باليد وبدون مونة . واالتكسية الجافة ذات تأثير فعال ضد النحر وضد تأثير الأعشاب ، ويفضل أن تكون بسمك خمسة عشر سنتيمتراً وبعرض متر واحد بحيث يبلغ نصف متر فوق منسوب المياه ونصف متر تحت المنسوب . وعادة ماتحجز عليه المواد الطافية والشحومات والزيوت . ولهذا السبب فإن بعض المصممين يفضلون استعمال بلاطة خرسانية أو طوب في التبطين

ولو بتكاليف أعلى . والطريق البسيطة في تنفيذ التبطين الخرساني هي فرد لفّة من السلك الشبكي chicken wire ثم فرش طبقة بسمك خمسة سنتيمترات من المونة الأسمنتية فوقها cement mortar .

### ١٢-٣-٣ تبطين البركة وتلوث المياه الجوفية

هناك اهتمام عام بتلوث المياه الجوفية إذا تم خلال التسرب من برك التثبيت . وقد ظهر هذا الفهم نتيجة لقصور إدراك مقدرة التربة على إزالة الملوثات . وبمراجعة ماكتب في هذا الموضوع يمكن استنتاج ما يلي :

- يختفي التلوث البيولوجي تماماً بعد حوالي مترين خلال مرور المخلفات السائلة من نقطة بدء ترشيحها وذلك في جميع الحالات تقريباً .
- تزال المواد العضوية تماماً وكذلك المواد المعدنية الغروية .
- تمر المواد العضوية الذائبة خلال التربة دون تغيير يذكر وحتى بعد مضي وقت طويل ، إلا أنه ربما يحدث بعض الاختزال denitrification في الطبقات اللاهوائية السفل .
- لا تتأثر النترات الهاربة من الاختزال بمرورها إلى باطن الأرض ويمكن استعمالها كدليل على تتبع حركة المياه الجوفية .
- يكاد يزال الفسفور تماماً .

وتوضح هذه الدلائل أن تلوث الطبقة الحاملة للمياه aquifer لا يستوجب الاهتمام إلا إذا كانت المياه الجوفية المسحوبة لمياه الشرب قريبة من بركة التثبيت . وحتى في هذه الحالة فإن التلوث الكيماوي فقط هو الذي يمكن أن يحدث . وقلما تظهر مشاكل صحية بسبب ذلك حيث لا يشكل التلوث خطورة إلا في حالات خاصة وتكون واضحة للغاية كوجود طبقة مسامية أكثر من اللازم أو وجود شروخ في صخور التربة .

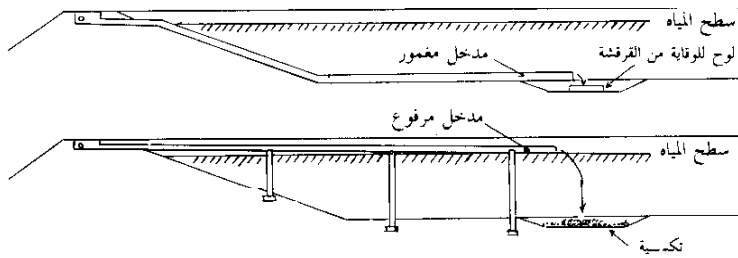
## ١٢-٤ الملحقـــــات

### ١٢-٤-١ المواســـــير

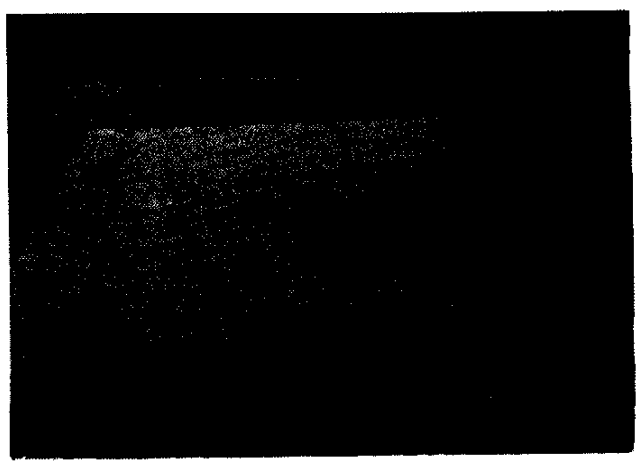
تنفذ المواسير المارة خلال الجسور قبل الإنشاء وذلك لتجنب القطع والردم للمنشآت الجديدة مع مايصاحب هذا من خطورة تواجد نقاط ضعف في الإنشاء .

### ١٢-٤-٢ المداخـــــل

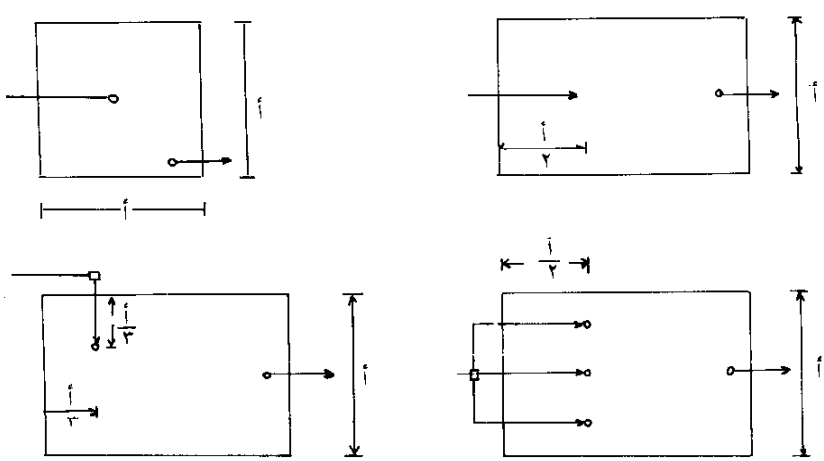
هناك بعض الاختلاف حول ما إذا كانت ماسورة المدخل يجب تصميمها بحيث تكون مغمورة بالمياه أو توضع فوق مستوى المياه ( الشكل ١٢ ) . والمبررات المؤيدة لأن تكون المداخل عند القاع




الشكل ١٢ – أ مدخلان مغمور ومرفوع .



الشكل ١٢ – ب مدخل مرفوع في برك خربة سمرا – الأردن .




الشكل ١٢ – ح المواضع النمطية للمداخل في البرك المربعة والمستطيلة .

هي انخفاض تكلفتها وسهولة إنشائها ، بينما وجهة النظر المعارضة هي إمكانية حدوث السدد عن طريق الإطماء silting وترسيب الحمأة sludge عند التصرفات القليلة وتراكم المواد المترسبة عند مخرجها من المدخل . هذا بينما يرى أن المداخل المرتفعة تكون خالية من المعوقات بسبب عدم انسدادها مع التصرفات القليلة حيث أن السرعات الدنيا اللازمة تحدث حتى عند التصرفات الجزئية بينما تكون المداخل في القاع دائماً مملوءة . وكذلك تحدث ظروف أفضل للخلط والمزج لتصرفات المدخل مع محتويات البركة وذلك في حالة استعمال المداخل المرتفعة بسبب التموج الذي يسببه دخول التصرف من أعلى . وأكثر من ذلك فقد أوضحت المشاهدات تشابه نماذج التصرفات من أي نقطة على حافة الجسور وذلك عند استعمال هذا النوع من المداخل . أما عيوب المداخل المرتفعة فهي ارتفاع تكاليفها بسبب سند ماسوره المدخل ( دعامات من المباني مثلاً ) ثم التعرض للاتلاف المتعمد وكذلك الإطماء حول الأعمدة الساندة .

ويفضل أن تبعد المداخل عن طرف البركة بعض الشيء وذلك سواء أكانت مرتفعة أو مغمورة ، وتنتهي المداخل عادة في منتصف البركة المربعة أو في نهاية الثلث الأول عندما تكون البركة مستطيلة ( كما في الشكل ١٢ – ج ) مما يمنع وصول المجاري الخام من الوصول إلى أطراف البركة .

ولا يلزم أن توضع المداخل بعيدة ما أمكن عن المخارج . ويندر حدوث اختصار المسار بواسطة وضع المدخل بالنسبة للمخرج فقط حيث أن الطبقة العليا من البركة تكاد تكون مخلوطة تماماً ، بل أكثر من ذلك فإن اختصار المسار يكون نتيجة لشكل البركة واتجاه الرياح معظم الوقت حين يكون في الاتجاه من المدخل إلى المخرج[25] . وكيفما كان الأمر فإن ظاهرة اختزال المسار على طول القاع يمكن أن تحدث عند حدوث ظاهرة الطبقات الحرارية thermal stratification .

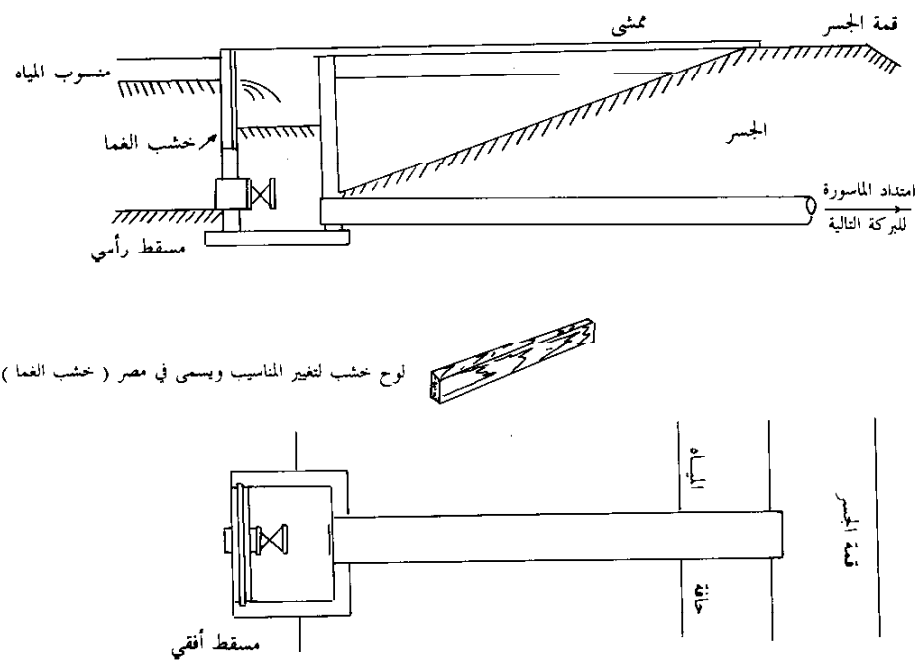
ويوصي بعض المؤلفين أن تنتهي ماسورة المدخل المغمورة عند القاع بكوع يمتد لأعلى وذلك للإبقاء على فوهتها خالية من المواد الصلبة ، ويؤدي هذا الامتداد إلى خطورة كبيرة في انسداد ماسورة المدخل . ومن الأفضل جعل الماسورة أفقية ، وتعلق بحيث تكون أعلى بحوالي مترين من منخفض يقام في داخل البحيرة بسمك أو عمق نصف متر ونصف قطر عشرة أمتار . وهذا المنخفض يسمح بتخزين الرمال والمواد المترسبة لعدة سنوات ويبقيه بعيداً عن فوهة المدخل . أما المنخفض فيقوم بحماية تكوّن الميثان في طبقة القاع .

وغالباً مايكون المدخل المغمور ممتداً فوق قاع البركة منتهياً بوسادة من الخرسانة قطرها حوالي متر واحد لتجنب النحر ، أما بالنسبة للمداخل العليا فإن التوصية هي القيام بالتدبيش الجاف rip-rap lining بمقاس ١ × ٢ متر تحت مدخل الماسورة لمنع النحر في قاع البركة خلال فترة الملء ( الشكل ١٢ – أ ) .

## ١٢-٤-٣ المخـــارج

يمكن أن يقع مخرج البركة في أي نقطة على حافتها إلا أنه عادة مايكون عند قاعدة الجسر في نهاية الاتجاه المواجه للمدخل . وهناك عدة أنواع من المخارج إلا أن كثيراً منها يتصل بماسورة السيب في منسوب القاع لتخترق الجسر . وهذا مما يسمح بتفريغ البركة تفريغاً كاملاً عند اللزوم .

ولا يغيب عن الأذهان أن منسوب سطح البركة يتم التحكيم فيه خلال مستوى المخرج . ويتكون المخرج في أبسط صوره من ماسورة رأسية تضبط نهايتها العليا عند منسوب سطح البركة المرغوب فيه بينما تتصل نهايتها السفلى بماسورة الصرف النهائي أي السيب من البركة . وكيفما كان الأمر فإنه لأكثر ملاءمة أن يجهز المخرج بوسائل تسمح بتغيير مستوى سطح البركة حسب متطلبات التشغيل . هذا ويلاحظ أن خفض منسوب البركة بمقدار نصف متر يسهل عملية إزالة الحشائش والأعشاب وإصلاح ميول الجسور المتآكلة بالبخر . ويتكون هذا النوع من المخارج ببساطة من صندوق مربع رأسي ترتكز قاعدته على قاع البركة عند نهاية الجسر وتمتد نهايته العليا لما فوق سطح الماء . ويبنى أحد أوجه الصندوق جزئياً من الكتل الخشبية المستعملة في ضبط المناسيب ( أو ما يسمى خشب الغما stop logs ) وتلك يمكن إضافتها أو رفعها حسب المنسوب المطلوب ، وبهذا تعمل أعلا كتلة خشبية كأنها هدار weir لارتفاعات مختلفة ( الشكل ١٣ ) .




الشكل ١٣ – مخرج متغير المنسوب ويعمل كهـدار .

ويوصي بعض المصممين بوجوب إنشاء حاجز baffle حول المخرج لمنع تصريف الحبث والمواد الطافية مع السيب النهائي . وفي البرك الجيدة الصيانة يقوم القائم على تشغيلها بإزالة المواد الطافية فور تجميع الرياح لها في أحد الأركان ، وفي هذه الحالة ( أي عندما تكون الصيانة جيدة ) فلا يحتاج إلى حواجز المخرج لحجز الحبث والمواد الطافية .

## ١٢-٤-٤ قياس التصرف

يجب تجهيز كل بركة بجهازين لقياس التصرف على الأقل ، ويكون أحدهما عند المدخل والآخر عند المخرج ( راجع البند ١٣-٣ ) . وأفضل مكان لوضع جهاز قياس التصرف للمدخل أن يكون على قمة الجسر فوق النهاية العليا لماسورة المدخل . أما جهاز قياس التصرف للمخرج فيمكن أن يكون هو نفسه وسيلة التحكم في المخرج وذلك عندما يصمم كهدار مستطيل ، وإلا فإنه من الممكن تركيب جهاز لقياس التصرف على ماسورة الصرف عند امتدادها من الجانب الخارجي للجسر . وتعطي المقارنة بين التصرفات الداخلة والتصرفات الخارجة مؤشراً عن مدى البخر والتسرب أو الرشح ، كما تعطي مدى تأثير التخفيف الناتج عن هطول الأمطار ، وكذلك تفيد هذه المقارنة في تقييم أداء البركة .

## ١٢-٤-٥ المواسير المتصلة بين البرك

تستخدم المواسير بين البرك في نقل سيب بركة ما إلى مدخل أخرى وذلك عند تشغيل وحدتين أو أكثر على التوالي ، وفي أكثر الحالات فإن الماسورة الممتدة خلال الجسر تحت منسوب سطح المياه بين بركتين تكون صالحة كوسيلة مناسبة للربط بينهما ، ويكون الفرق بين منسوب المياه في كليهما مساوياً لفاقد المنسوب head loss في ماسورة الربط . وعندما يتطلب الأمر أن تكون كلا البركتين لها منسوبها المعين فإن مخرج أي بركة يجب أن يزود بوسيلة لضبط المنسوب المطلوب فيها ( الشكل ١٣ ) .

وفي حالة ما تكون نهايتي ماسورة الربط تحت سطح الماء بمقدار ٣٠ سنتيمتراً أو أكثر فلا يحتاج الأمر إلى إجراءات وقائية خاصة بمنع المواد الطافية على سطح البركة الأولى من دخولها للبركة الثانية ، ويضيف بعض المصممين عند نهاية المدخل كوعاً مثنياً مقلوباً لأسفل للسحب من طبقة أكثر عمقاً وبعيد عن منطقة الحبث . وهذه الوسيلة يمكن تصميمها بحيث تستخدم في السحب من مناسيب مختلفة لنقل محتويات الطبقة المطلوبة من البركة الأولى إلى البركة الثانية .

وعادة ما تمتد ماسورة المدخل لأسفل إلى البركة الثانية بطول الميل حتى تصل لقاعدة الجسر ، ويوضع جهاز لقياس التصرف أحياناً على الماسورة الناقلة أي التي تربط بين البركتين ، وأفضل مكان له هو من جانب المدخل ويكون موضوعاً في صندوق مردوم جزئياً داخل الجسر .

ويلزم دائماً حماية المواسير الرابطة بين البرك المتتالية من دخول المواد الطافية إليها وذلك مثلاً بين بركتين لا هوائية ثم اختيارية أو اختيارية ثم بركة انضاج ، ويجب أن تكون مواسير الربط مجهزة بحيث يمكن فصل أي بركة عن أخرى وللوصول إلى ذلك أثناء التشغيل يازم عمل تحويلة لكل بركة يراد فصلها .

## ١٢-٥ مراجعة تصميم ماسورة المجاري الداخلة

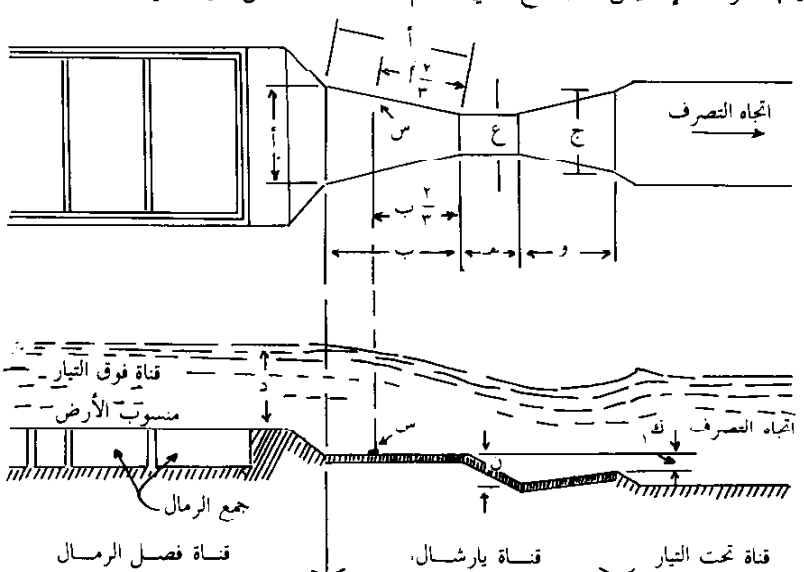
اتضح في البند الخاص بتحريك التربة ( البند ١٢-١ ) أن أكثر التصميمات اقتصاداً في التكلفة هو الذي يوازن بين الحفر والردم والسماح بالدك . فعندما يكون مستوى قاع البركة التي تم تصميمها منخفضاً عن منسوب ماسورة المجاري الداخلة بينما منسوب سطح البركة أعلى من منسوب الماسورة الداخلة فيمكن في هذه الحالة مد الماسورة الداخلة relaid بدلاً من الاستعانة بالضخ . وغالباً ما ينشأ هذا الموقف عند قيام مصمم آخر بتصميم الماسورة ويكون مسؤولاً عن شبكة التجميع فقط . وفي هذه الحالة فسيكون من المستطاع تقليل ميل الماسورة الداخلة بطول مناسب بحيث تصل إلى جسر البركة عند مستوى أعلى من مستوى سطح البركة . وغالباً ما يكون ذلك سهلاً في الأراضي بسيطة الميول . أما إذا لم يتم التمكن من ذلك فإنه يلزم المقارنة بين تكاليف تعميق موقع البركة والتكاليف الإنشائية والتشغيلية لوحدة ضخ .

# الفصل الثالث عشر
# إنشـــاء البركـــة وتجهيزاتهـــا

## ١٣-١ الإقلال من التعقيدات إلى أدنى حد

تشمل برك التثبيت أكثر العمليات البيولوجية بداءة في معالجة المخلفات السائلة ولقد طورت لتنتج سيبا يصلح للصرف في معظم التجمعات المائية . ذلك أنه عندما يتمكن المصمم من إيجاد مأوى لنظام بيئي متوازن ecosystem في البركة ، فإن المخلفات السائلة تستسلم فعلاً لقوى الطبيعة ، وهنا لا يبذل إلا قليل من الجهد للإبقاء على البركة وما يحيط بها في ظروف جيدة . وكنتيجة لذلك يصعب التحدث عن متطلبات تشغيل برك التثبيت حيث أن الصيانة تكاد تكون كل ما يحتاج إليه وكل ما يستطاع من عمل في هذا الصدد .

ولهذا السبب يجب الإقلال إلى أدنى حد من أجهزة ومعدات البركة لعدم التداخل في بساطة النظام . وهنا يجب الأخذ في الاعتبار دائماً أن السبب الرئيسي في اللجوء إلى برك التثبيت هو اقتصادياتها ، ولهذا فإنه ليس مما ينصح به في معظم الأحيان أن تشمل البركة أي ملحقات غالية تزيد




الشكل ١٤ أ شكل تقاربي والمعايير الأساسية لأبعاد قناة بارشال

من تكلفتها وعندما يكون من الضروري أن تشمل البركة محطة ضخ فإن هذا سيستلزم التشغيل اليقظ مع ازدياد متطلبات الصيانة ، وفي هذه الظروف يفضل أن تعالج المخلفات السائلة معالجة تحضيرية pre-treatment ، وذلك قبل معالجتها في البركة حيث أن القائم على هذه الحالة التحضيرية يمكنه أن يراعي متطلبات صيانة محطة الضخ في نفس الوقت ، وبهذا يمكنه استثمار جهده طوال الوقت دون الاحتياج إلى عامل فني لصيانة محطة الضخ فقط .

والمعالجة التحضيرية يمكن أن تشمل أحواض فصل الرمال والمواد الطافية وكبيرة الحجم بالإضافة إلى التخلص من بعض المشاكل الناتجة عن المخلفات الصناعية السائلة مثل ضبط الرقم الهدروجيني وإضافة الغذيات ، إلا أنه إذا استلزم الأمر القيام بهذه المتطلبات ، كما يحدث أحياناً ، فربما تحتاج الأمر إلى أكثر من عامل فني واحد لإنجازها . وعموماً فلا ينصح بالمعالجة التحضيرية لبرك تثبيت المخلفات السائلة حيث يتم فيها الأداء المطلوب بكفاءة دون متطلبات تشغيل تذكر أكثر من الصيانة

## ١٣-٢ محطات الضخ

تقام محطات الضخ pumping station في مشاريع برك التثبيت حيث لا يتم التمكن من إيصال المخلفات السائلة إلى البركة بالانحدار الطبيعي بالجاذبية by gravity . ومهما كان الأمر فيجب بذل كل جهد لاختيار بديل آخر وذلك في حالة التمكن من تجنب الضخ . وأحد البدائل الممكنة هو تغيير ميول الماسورة الداخلة ( البند ١٢-٥ ) . ولا يفضل فقط السعي لتجنب الضخ من الماسورة الداخلة بما في ذلك من مشاكل ضخ المواد الصلبة المحتواة ، ولكن يجب كذلك تجنب إنشاء وحدات ضخ بين البرك وبعضها ، وإذا كان هناك مجال للاختيار فيفضل الوضع الأخير لبساطته وهو الضخ بين البرك وبعضها وليس من الماسورة الداخلة إلى البركة الأولى .

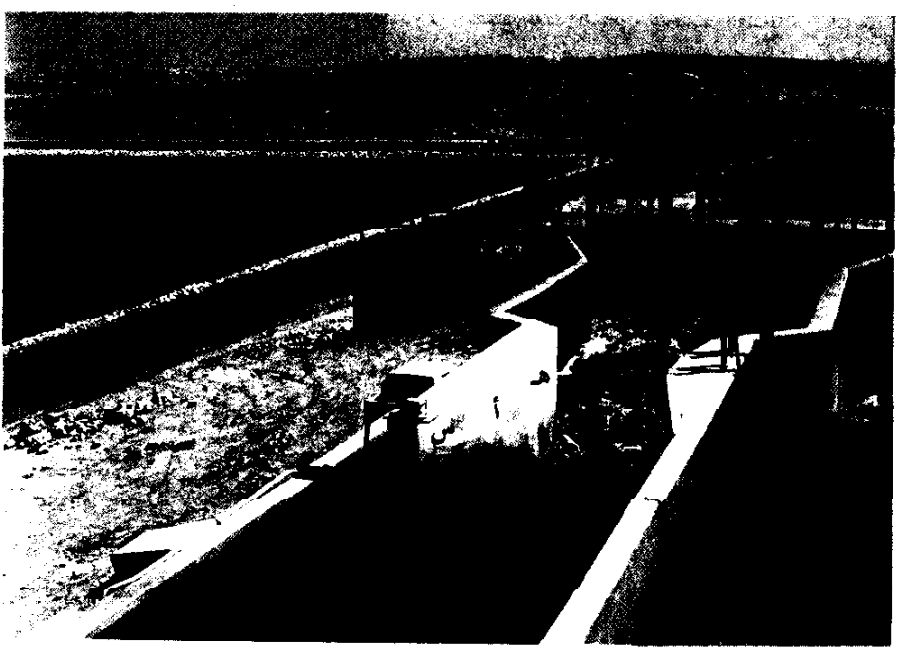
وعادة ما تكون محطات الضخ مصدراً لمشاكل التشغيل والصيانة ، إضافة إلى زيادة التكلفة . فهي تحتاج إلى مصادر للطاقة كالكهرباء أو وقود الديزل ، وكذلك إلى الاهتمام المستمر من العمالة المدربة . ثم إن المضخات عرضة للسد والتلف والتسرب . وحتى في حالة التشغيل السلس فيمكن أن تتوقع المشاكل في أي وقت .

وتعمل المضخات الطاردة المركزية centrifugal pumps على تكسير الندف flocs في التصرفات الداخلة مما يعوق ترسيبها في قاع البركة . وتكون المضخات الطنبورية Archimedean-screw pumps أقل عيوباً وذات ضبط ذاتي حين تعمل كوحدات للتصرف المتغير حتى أنها تلائم متطلبات التصرف المتغير من الماسورة الداخلة . وتكلف المضخة الطنبورية أكثر من المضخة الطاردة المركزية ، ولكنها أقل تكلفة من المضخة الطاردة المركزية ذات السرعات المتغيرة . كما أنها لا تحتاج إلى بيارة سحب wet sump ، ويمكن باستعمالها الاستغناء عن المصافي screens الحاجزة للمواد كبيرة الحجم .

## ١٣-٣ قياس التصرفات

يفضل أن تجهز البركة بجهازين على الأقل لقياس التصرفات flowmetering وذلك كما أوضح سابقاً في البند ١٢-٤-٤ ، ويكون أولهما عند المدخل ويكون الثاني عند المخرج . وأكثر أنواع أجهزة القياس استعمالاً هي الهدار ذو الفتحة المستطيلة rectangular weir والهدار ذو الفتحة المثلثية V-notch weir ، وقناة الموجة الثابتة standing-wave flume . كذلك توجد بعض أجهزة قياس التصرفات المناسبة وغير المكلفة مثل هدار تومسون Thompson weir ، وقناة بارشال Parshall flume ، والقناة الفنتورية Venturi-flume ، وقناة بالمربولس Palmer-Bowlus flume .

وكثيراً ما تستخدم قناة بارشال ( الشكل ١٤ ) لقياس التصرفات المنخفضة جداً وكذلك المرتفعة جداً[26] ، وميزة هذا النوع من أجهزة القياس أنها لا تسد ولا يبقى عليها رمل أو ألياف أو مواد أخرى توجد عادة ملتصقة بالحواف أو مترسبة خلف أنواع أخرى من أجهزة القياس . ويمكن قراءة التصرفات باللتر في الثانية مباشرة على مقياس مدرج ومثبت في مكان مناسب في غرفة العوامة . ويجب هنا أن يلاحظ أن استعمال المقاييس الأتوماتيكية مكلف جداً حين تستعمل في برك التثبيت التي تكون قلة التكاليف من العناصر الهامة والأساسية فيها ، وكذلك يلاحظ أن تدوين النتائج يوفر بيانات قيمة إضافة إلى حسن استعمال وقت القائم على التشغيل .




الشكل ١٤ - ب منظر لقناة بارشال أثناء التشغيل ، وتوضح الحروف الأبعاد في الشكل ١٤ - أ

### ١٣-٤ استعمال المصافي

يلزم استخدام مصفاة من القضبان bar screen بحيث تجهز أمام محطة الضخ لحماية وحداتها من السدد . وتختلف الآراء حول وجوب استعمال المصافي في حالة عدم وجود محطة ضخ . فبينما نجد أن بعض المصممين يفضل تجهيز مداخل برك التثبيت بمصفاة لحجز المواد كبيرة الحجم والمواد الطافية ، نجد أن البعض الآخر يعارض ذلك الرأي حيث أن هذا يتطلب العناية المستمرة . ثم أن المواد المحجوزة على المصفاة تتكون من المواد كبيرة الحجم بصرف النظر عما إذا كانت ستطفو أو ستترسب . فمن الأفضل ترك المواد الثقيلة في المياه الداخلة للبركة لتترسب في البركة الابتدائية .

وفى كل من الحالتين فإنه من الممكن بكل سهولة إزالة المواد الطافية بواسطة مقشدة skimmer طويلة الذراع وذلك فور تجمعها بواسطة الرياح في أحد أركان البركة . ويمكن تغطية الجسور عند أركان البركة المتوقع تجميع المواد الطافية عندها ويتم ذلك ببطانة خرسانية concrete-lined scum ramps لسحب ما تراكم منها ، ومن هناك تزال هذه المواد وتدفن . ويجب حرق المواد المحجوزة على المصافي أو دفنها وتغطيتها بطبقة لا تقل عن أربعين سنتيمتر من التراب .

وتتكون المصافي من قضبان متوازية مستقيمة أو منحنية حيث يتم تنظيفها ميكانيكياً أو يدوياً بواسطة الشوك rakes . وتناسب المصافي المنظفة يدوياً ظروف المؤسسات الصغيرة حتى تصرفات ٥٠ لتر في الثانية وهذا مما يكافىء ٢٠٠٠٠ نسمة . وإن زاد التصرف عن ١٥٠ لتر في الثانية أي ما يكافىء ٥٠٠٠٠ نسمة فيفضل التنظيف الميكانيكي للمصافي . أما عندما تكون التصرفات بين ٥٠ و ١٥٠ لتر في الثانية فيتم الاختيار بعد المقارنة بين مميزات وعيوب المصافي الميكانيكية . ويوصي عادة باستخدام المصافي الميكانيكية فقط في حالة برك التثبيت الكبيرة حيث يضمن توفر وسائل الصيانة المستمرة ، ويفضل معظم المصممين عدم اللجوء إلى المصافي في برك التثبيت حيث أن البرك قادرة على الاستيعاب والتأقلم مع المواد التي كان سيتم حجزها بالمصافي .

### ١٣-٥ استعمال أحواض ( غرف ) حجز الرمال

يصف بعض المصممين أحواض حجز الرمال بأنها وسيلة للإقلال من إطماء البركة silting ، فهناك بعض الحالات التي لوحظ فيها تراكم شديد للرمال وتكوينه جزءاً في وسط برك التثبيت الضحلة . إلا أن هذه الحالات استثنائية والرمال ليست وحدها هي السبب وإنما تراكم كل أنواع الحمأة تؤدي إلى قيام هذه المشكلة .

ويمكن توقع كمية قليلة من الرمال لا تتعدى حجماً يتراوح بين لتر وثلاثة ألتار لكل فرد في السنة وذلك عندما يكون نظام شبكة تجميع المجاري من النوع المنفصل ، أي عندما تكون هناك شبكة مستقلة للمجاري وأخرى لمياه المطر separated system . وهذا يعني أنه عندما تكون المساسة

المخصصة لكل فرد في مشروع البركة متران مربعان من قاع البركة فإن ارتفاع الرمل سيكون في حدود ملليمتر واحد في السنة وذلك عند ترسيبها بالتساوي . وحتى لو كانت هذه القيمة أقل من الواقع أي أقل مما يحدث فعلاً ١٠٠ مرة فإن الأمر سيتطلب عشرين عاماً لملء البركة تماماً وذلك عندما يكون عمقها متران . وفي الواقع لا يحتسب الرمل لأكثر من ٥٪ من وزن المواد المترسبة ، ولهذا فلا ميزة تذكر لإزالة الرمال وحجزها . ويمكن أن تعمل بركة لا هوائية ابتدائية محل أحواض حجز الرمال ، وهذه الوظيفة تعطي المسببات الكافية ليشمل نظام تصميم برك التثبيت ككل على بركة لا هوائية .

ويمكن أن يختلف هذا الوضع عندما يكون نظام الشبكة من النوع المشترك أي النوع الذي يشمل مياه المجاري ومياه الأمطار combined system والتي قد تحمل فيها مياه المطر كمية لا بأس بها من الرمال والحصباء . وحينئذ يكون من الأنفع إضافة أحواض حجز الرمال .

وتحتوي بعض المخلفات الصناعية السائلة كذلك على كمية ملحوظة من الرمال وما شابهها مثل المياه المتخلفة عن عمليات غسيل الجذور والدرنات ونواتج جلي الزجاج والرخام . وتسبب هذه المخلفات السائلة ترسيب المواد الثقيلة في البرك ولهذا فيلزم إدخال أحواض حجز الرمال لإزالة فتات الصخور هذه ، أما في غير هذه الاستثناءات فيجب تجنب أحواض حجز الرمال حيث أنها تزيد دون داع من ساعات العمل اللازمة لتشغيل وصيانة أجهزة برك التثبيت .

ويوجد العديد من أنواع أحواض حجز الرمال ولكن أكثرها ملاءمة للاستخدام في البلاد النامية هي تلك التي يتم توظيفها يدوياً . وأبسط أنواعها هي التي تتكون من قناة مستطيلة يسبب قطاعها المستعرض سرعة ثابتة تقريباً للتصرف تقدر بما لايقل عن ٣ر٠ متر في الثانية ، بصرف النظر عن كمية هذا التصرف . ويحدث ذلك بتجهيز القناة بقاع بيضاوية الشكل أو تجهيز القناة عند نهايتها بهدار مناسب لتلك الوظيفة مثل هدار التصرف المتناسب proportional flow weir . وكثيراً ما تستخدم مجموعة تتكون من قناة على شكل شبه منحرف ومجهزة بقناة الموجه الثابتة trapezoidal channel associated with a standing wave flume . وعادة ما تحتوي الرمال المزالة من أحواض حجز الرمال على بعض المواد العضوية القابلة للتعفن مما يتطلب دفنها .

ويمكن أن تستبدل أحواض حجز الرمال بتجويف منخفض في قاع البركة الابتدائية تحت نهايه ماسورة المدخل ، وتكون سعة هذا بالتجويف بقدر يسمح بتخزين الرمال المترسبة خلال فترة تقدر بحوالي عامين .

## ٦-١٣ أجهـزة التهـوية

تستعمل أجهزة التهوية في البرك المهواة ميكانيكياً فقط ، ولهذا فهي خارج نطاق هذا الكتاب .

## ١٣-٧ إسكان العاملين

من الموصى به أن يقطن القائم على التشغيل في موقع البركة لتشجيعه على الاهتمام بتشغيل البركة بطريقة سلسة . ومهما كان الأمر فيجب أن يكون موقع هذا المسكن في أكثر المواقع ملاءمة . وعادة ما يلزم أن يكون فوق اتجاه الرياح السائدة upwind . ومن المتوقع الاحتياج إلى رجل واحد للقيام بجميع أعمال التشغيل والصيانة لبركة تثبيت متوسط الحجم تخدم حوالي ٢٠٠٠٠ إلى ٦٠٠٠٠ نسمة حيث أن الأعمال الروتينية قليلة . وسيكون لدى هذا الرجل الوقت الكافي للقيام بأعمال أخرى خارج موقع البركة ، مثل تسليك مواسير المجاري ومساعدة العاملين في أعمال صيانة الشبكات .

وفي أي حالة فلابد أن يكون هناك مأوى مناسب للقائم على التشغيل بالبركة ويفضل أن يمكن غلقه lockable لحفظ السجلات والملفات وملابس العمل لتكون في مأمن .

## ١٣-٨ توفير مياه الشرب

يجب توفير مياه الشرب في موقع البركة خاصة في حالة وجود مسكن للقائم بالتشغيل . وفي أي حالة فإن العامل يحتاج إلى مياه نقية غير ملوثة لغسيل الأيدي والمعدات وذلك إضافة إلى المياه الجارية من الصنبور piped water حيث تكون لازمة لتنظيف معدات إزالة الخبث وردم المواد العضوية . وأحسن حل لذلك هو أخذ توصيلة من شبكة توزيع المياه العامة ، إلا أنه عندما لايمكن ذلك لأسباب فنية أو اقتصادية فيمكن توفير مصدر محلي مماثل لما يستخدم في المزارع البعيدة والمجتمعات الصغيرة . وتعتبر المياه الجوفية من أبسط المصادر عند الحصول عليها خلال مضخة يدوية hand pump أو طاحونة هوائية بسيطة wind mill تركب على بئر مغطاة على النحو الملائم .

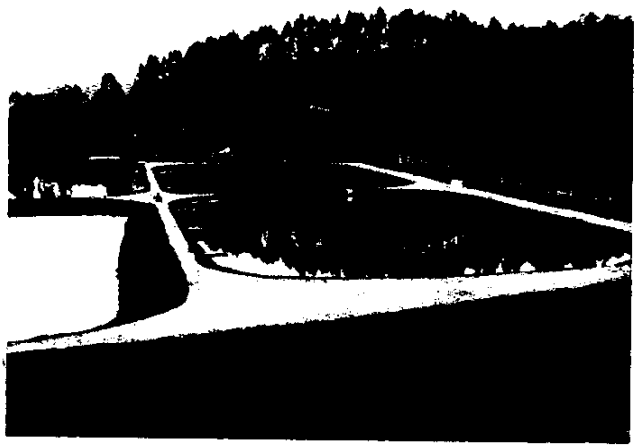
وفي حالة عدم وجود مواسير للمياه في المنطقة piped water لاستخدامها في أعمال التنظيف فيمكن اللجوء إلى مضخة متنقلة تحمل باليد أو تجر على عجل وذلك لأغراض الصيانة والغسيل وري الحدائق حول البركة . وتؤخذ المياه من بئر محلية أو حتى من سيب بركة الأنضاج بعد التأكد من خلوها من جراثيم الأمراض .

## ١٣-٩ التجهيزات الصحية

يجب تزويد الموقع بمرحاض .

## ١٣-١٠ التركيبات الكهربية

عادة مايلزم توفير الطاقة الكهربية إذا ما وجدت محطة ضخ أو منزل للقائم على التشغيل ، وعلى العموم فلايوجد صعوبة في مد خط للكهرباء إلى موقع البركة ، إلا أنه في حالة عدم إمكانية ذلك



الشكل ١٥ - موقع بركة مصانة كما ينبغي ويرى الممر والطريق معتنى بهما ومضاءين

فيلزم الاستعانة بمولد ديزل ، وينصح بإضاءة بعض أجزاء الموقع مثل المباني والممرات وأماكن أخذ العينات ونقاط القياس والمداخل والمخارج والأسوار والبوابات وما شابهها ( الشكل ١٥ ) .

وتقل أهمية توفير الطاقة الكهربية في حالة عدم وجود محطة ضخ أو سكن للقائم على التشغيل . لا تحتاج الأعمال القليلة التي يقوم بها العامل عادة إلى مصدر للطاقة الكهربية .

## ١٣-١١ المعمل ( المختبر )

لمعرفة مدى الاحتياج لتوفير معمل خارجي ، فيجب الأخذ في الاعتبار أن برك التثبيت في البلاد النامية لا يوجد بها العمالة الفنية القادرة على تشغيل أجهزة المعامل الحساسة اللازمة لنظم برك التثبيت في المشاريع الكبيرة جداً . فبينما يكون العامل غير مدرب وليس لديه من التعليم إلا القليل ، هذا إن وجد ، فإنا نجد أن أبسط المعامل تتطلب وجود فنيين مدربين ، ولهذا ، فما لم تجر أعمال بحثية فلا داعي لوجود العمالة المكلفة في منشآت البرك ، وتستطيع الهيئة المسؤولة عن المعامل المركزية القيام بالتحاليل التي تتطلبها المراقبة الوقتية أو الروتينية كل حين وآخر .

ويمكن إجراء بعض التجارب الأساسية والبسيطة جداً ، على الرغم من ذلك ، بواسطة العامل العادي غير الماهر بعد تدريب بسيط كقراءة الترمومتر ، ومعدل التصرف ، وقمع إمهوف Imhoff cone ، واستخدام الورق الحساس للكشف عن الرقم الهدروجيني pH value ، وتحديد الروائح والألوان في البركة بالطرق الأولية ، وتساعد هذه الأعمال في إشغال العامل وإعطائه الإحساس بأهميته . حيث أنه من الأهمية بمكان ألا يترك العامل دون عمل لفترات طويلة حتى لا يمل من العمل النمطي . ويقتصر العمل في معمل البركة على إجراء القياسات الأساسية التي سبق ذكرها ، وربما

يحتاج الأمر لجمع وحفظ وتخزين العينات التي يتم انجاز تحاليلها في المعمل المركزي . هذا ويجب تدريب العامل على جمع العينات وعنونتها ( وضع العلامات الدالة عليها ) .

## ١٢-١٣ محطـة الأرصـاد

تحتاج الأمر لوجود الأجهزة المعقدة اللازمة لقياس حالات المناخ في ظروف التشغيل الروتينية . وقد يجهز الموقع ببعض الأجهزة البسيطة لتوفير البيانات الأساسية اللازمة لتقييم تأثير الظروف الجوية المحلية على البركة . والمعدات اللازمة هي فقط جهاز قياس سرعة الرياح وتعيين اتجاهها anemometer ، وترمومترات بسيطة ، ووعاء قياس البخر evaporation pan . أما عند إجراء الأبحاث التفصيلية فيمكن إضافة أجهزة قياس الرطوبة الجوية hygrometer وجهاز قياس كثافة المطر rain-gauge ، وجهاز قياس شدة التوهج الشمسي solar radiation وجهاز قياس عكارة المياه water turbidity meter ، ومرسمه الزلازل seismograph ، وفي هذه الحالة فلا يعتمد على العاملين في البركة لإجراء هذه القياسات .

## ١٣-١٣ معـدات الطـوارىء

يمكن أن تحدث حوادث في موقع البركة قد يؤذى بسببها العامل وغيره حيث يمكن أن يسقط في المياه بل ربما يغرق . وللإقلال من هذه المخاطر فإنه يجب تجهيز الموقع ببعض أجهزة الطوارىء ، خاصة وأن هذه البرك عادة ما تكون بعيدة عن العمران مما لا يسمح بالعون في الموقع إلا قليلاً .

ويعتبر التليفون وسيلة رخيصة وفعالة لطلب المساعدة اللازمة ، وقد تستخدم صفارة إنذار alarm-siren لجذب انتباه المقيمين بالقرب من البركة أو المارة عندما يكون العامل بمفرده وفي حاجة إلى العون سواء أكان لنفسه أو لآخرين .

ويجب أن تحفظ أطواق النجاة وأدوات الإسعاف الأولية في متناول اليد دائماً . كما يجب توفير الأدوية النوعية الملائمة لظروف العمل المحلية كمصل لدغ الثعبان .

## ١٤-١٣ التسـوير

يجب إحاطة موقع بركة التثبيت بسور شبكي متين عليه بوابة دخول واحدة يمكن غلقها وذلك لتجنب دخول الحيوانات المعتدية والضالة ، ويفضل إظهار علامات التحذير في المواقع الممكن عبورها سهواً أو بقصد .

ويمكن أن يدعم السور الشبكي بالنباتات ويتم ذلك لمنع الأطفال من الزحف تحته ، ولا يجب في جميع الحالات أن يكون السور مانعاً لتأثير الرياح على سطح البركة ( الشكل ١٨ ) .

## ١٣-١٥ الخدمات الأخرى

تشمل الخدمات الأخرى الطرق والممرات وأماكن الانتظار وغرف تخزين المعدات والآلات وماشابه ذلك . ويتم ذلك عند الضرورة وفي ضوء ما تسمح به التكاليف ، وتغطى المساحات المكشوفة بالخضرة والورود . ويجب اختيار أشجار ونباتات الزينة والشجيرات الكثيفة من الأنواع التي لا تسبب ظلاً ولا تسقط ورقاً كثيراً ولا تحتاج إلى صيانة ، ويجب تجنب سياج الأشجار المرتفعة وأشجار الأسوار التى تعوق وصول الرياح إلى البركة .

وكذلك يجب اختيار أنواع النجيل من الأنواع التي لا تحتاج إلى صيانة أو ري ملحوظ ، وقد أوضحت بعض الدراسات أنه من الممكن الإقلال من تكاليف الصيانة بدرجة ملحوظة عند حسن اختيار أنواع النجيل التي تنمو ببطء وذات التقليم الذاتي self-trimming . ومن الطبيعي ألا تتوفر هذه النوعيات بسهولة في بعض البلاد أو قد تكون مكلفة . وغالباً ما يكون لدى العامل في المنشآت الصغيرة الوقت الكافي للأعمال اللازمة لصيانة الحدائق .

وفي أي الحالات فإن الظروف المناخية المحلية هي التي تحدد نوع النباتات الممكن نموها ، وعلى كل حال فيلزم أن نتذكر أن نوعية السيب النهائي من برك الانضاج يجب أن تكون مناسبة للري .

# الفصل الرابع عشر

# التحكم في تشغيل برك تثبيت المخلفات السائلة

## ١٤-١ الاحتيـــاج

يجب ألا ننسى أنه لا معنى لتوفير وسائل قياس البيانات بأجهزة معقدة وتدوينها في مشروع المعالجة إلا إذا وجد القائم على التشغيل طول الوقت . وكذلك الحال عند وجود محطة ضخ أو عند إجراء تقييم للمشروع وإلا كان يكفي إجراء التفتيش وإصلاح التلفيات كلما لزم الأمر وذلك كما يحدث بعد المطر الغزير مثلاً . ويجب أن ينشغل القائم على التشغيل طوال الوقت بتدوين البيانات البسيطة بصفة روتينية وذلك ليس للمساعدة على رفع روحه المعنوية فحسب ، بل إن هذه البيانات تكون نافعة جداً عند إيجاد أسس محلية لتصميم البرك في المستقبل .

## ١٤-٢ متطلبـــات العمـــالة

يعتمد عدد العاملين اللازم لمشروع البركة أساساً على حجم المساحة التي تشغلها ، وهل أقيمت محطة ضخ أو أي أجهزة أخرى أم لا . ويحتاج الأمر عادة إلى عامل واحد عندما يتم دخول المخلفات السائلة إلى البركة بالانحدار الطبيعي by gravity ويكون ذلك كافياً لإنجاز الأعمال المذكورة فيما بعد وذلك على ألا تزيد المساحة الكلية للمشروع عن ثمانية هكتارات وهي ماتعادل المساحة اللازمة لتعداد قدره ٢٠٠٠٠ نسمة . ويحتاج الأمر إلى عامل آخر للمساحة التي تتراوح بين ٨ ، ٢٠ هكتاراً وهي المساحة اللازمة لتعداد قدره ٥٠٠٠٠ نسمة . هذا مع ملاحظة أن تدريب العاملين هام وأساسي في جميع الحالات .

وفي حالة ضرورة ضخ المخلفات السائلة إلى البركة فيلزم مراعاة زيادة عامل إضافي عندما يتم تشغيل المضخات وإيقافها أتوماتيكياً . أما إذا كان التشغيل يدوياً فيلزم أربعة عمال على الأقل ، ويجب في هذه الحالة أن يكون أحدهم على الأقل ذا خبرة في تشغيل المضخات وله مقدرة على إصلاح الأعطال الميكانيكية والكهربية الصغيرة . ومما ينصح به في هذا المجال إنشاء ورشة ميكانيكية ومعامل مركزية وذلك لتقديم العون التقني اللازم لعدد من مشاريع معالجة المخلفات السائلة حيث لا يفضل توفير مثل هذه الخدمات في كل مشروع منفرداً وذلك لأسباب اقتصادية .

## ١٤-٣ الأعمال الروتينية اليومية

أصدرت عدة هيئات كتيبات عن طرق تشغيل برك تثبيت المخلفات السائلة [9 ، 27] ، وكلها أجمعت على وجوب مرور العامل حول كل بركة مرة على الأقل يومياً وذلك لاكتشاف أي ظروف غير عادية تطرأ عليها . ويلزم إيجاد النظام الإداري الذي يضمن ذلك . وتنفع الساعات التسجيلية time-punch clocks لهذا الغرض .

ويجب تدوين ما يلاحظ من المعلومات مع أي بيانات خاصة بالظواهر المناخية والتفصيلات الطبيعية للبرك على الاستمارات الخاصة بذلك ، ويوضح الشكل ١٦ - أ أمثلة للأشكال المناسبة للسجلات ، إلا أنه كثيراً ما يحدث أن يجهل العامل القراءة والكتابة ، وفي هذه الحالة يلزم أن تستبدل الكلمات بالرموز في هذه المستندات .

### ١٤-٣-١ قياسات الأرصاد

تعتمد النتائج الجيدة لبرك التثبيت على بعض العوامل الطبيعية ، وتساعد عملية تدوين الظواهر المناخية في عملية تقييم أداء البرك مما يسمح أحياناً بعرض الطرق اللازمة لعلاج المشاكل والتغلب عليها على أن تتاح الوسائل اللازمة للقيام بذلك . هذا ولا يتوقع أكثر من القياسات البسيطة في برك التثبيت العادية .

#### درجة الحرارة

يجب تسجيل درجات حرارة المياه في البركة وكذلك درجات حرارة الهواء المحيط بها كل يوم في نفس الموعد ولنفس المكان . ويسمح هذا النظام بحساب متوسط درجة الحرارة خلال الشهر وتحديد ما يحدث بها من تغييرات وذلك في حالة عدم توفر التسجيل المستمر لدرجات الحرارة .

#### الإشعاع الشمسي

يدون هذا البند بكل بساطة وذلك كالآتي :

- سطوع الشمس bright sunlight ( سماء زرقاء ، ولا توجد سحب وضوء قوي للشمس ) .
- ضوء الشمس sunshine ( بعض السحب أحياناً ) .
- تراكم السحب cloudy ( لا يظهر ضوء الشمس ) .

#### سقوط المطر

ويمكن تدوين هذا البند بدون أجهزة قياس المطر كما يلي :

- لا يوجد مطر no rain ( جاف ) .
- أمطار خفيفة fine rain ( رذاذ drizzle ) .

- أمطار معتدلة moderate rain .
- أمطار غزيرة أو عاصفة heavy rain or storm .

وغالباً ما يتم ذلك على أساس يومي ، إلا أنه يحدث أحياناً تقسيم اليوم إلى فترتين أو أربع فترات لتوضيح وقت سقوط المطر .

## الريـــــاح

ويمكن تسجيل بيانات الرياح دون وجود جهاز تحديد سرعة الرياح كما يلي :

- هادىء ( لا يلاحظ تحرك الهواء ) .
- نسيم breeze ( رياح هادئة ) .
- رياح معتدلة moderate wind .
- رياح قوية strong wind .
- رياح شديدة violent wind (hurricane) .

## البخـــــر

عند توفير جهاز بسيط لقياس البخر فغالباً ما يقوم العامل ، وذلك عندما يطلب منه ، بأخذ القراءات وتسجيل البيانات .

### الســـمات الطبيعيـــة

في الظروف المثلى يجب تسجيل البيانات الآتية :

- التصرفات الداخلة .
- التصرفات الخارجة ( السيب ) .
- منسوب المياه ( عادي أو منخفض ) .
- تراكم الحمأة كما يرى بالعين ، حصائر الحمأة الطافية .
- اللون ( رمادي ، أخضر ، بقع لا لون لها ، قرمزي ، أبيض كاللبن ، بني ، ... ) .

### اعتبارات أخـــرى

- انبعاث الروائح .
- ظهور القوارض .
- غزو الحشـــرات .

رقم البركة ..... التاريخ ..... اسم العامل .....

| ١ - الحادثة | نعم | لا |
|---|---|---|
| - حمأة القاع تطفو في مكان ما في البركة<br>- بقع خضراء على سطح البركة :<br>● لا هوائية .....<br>● اختيارية .....<br>- بقع سوداء أو رمادية غامقة على البركة الاختيارية<br>- بقع سوداء أو رمادية غامقة على بركة الانضاج<br>- نمو النباتات والأعشاب :<br>● في داخل البركة .....<br>● على الميول .....<br>- النحر في ميول الجسور .....<br>- رشح يرى بالعين المجردة .....<br>- الأسوار جيدة المظهر .....<br>- وجود الحشرات .....<br>- وجود العصافير والطيور المائية .....<br>- خنادق تصريف المطر . هل هي نظيفة ؟ .....<br>- وجود مقياس للتصرف .....<br>- وجود روائح غير مرغوب فيها :<br>● في البركة اللاهوائية .....<br>● في البركة الاختيارية .....<br>● في بركة الانضاج .....<br>- وجود بقع زيتية ..... | | |

٢ - العناصر الطبيعية

| العنصر | الوقت ٧٫٠٠ | الوقت ١٢٫٠٠ | الوقت ١٧٫٠٠ | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|
| - التصرف ( لتر في الثانية ) - المدخل - المخرج | | | | |
| - درجة حرارة الهواء (°س) | | | | |
| - درجة حرارة الماء (° س) | | | | |
| - عمق الماء ( بالمتر ) | | | | |
| - سمك طبقة الحمأة ( بالمتر ) * | | | | |

٣ - البيانات المناخية

| البيان | الوقت ٧٫٠٠-١٢٫٠٠ | الوقت ١٢٫٠٠-١٧٫٠٠ | ملاحظات |
|---|---|---|---|
| سطوع الشمس | - ضوء الشمس ساطع .<br>- سطوع عادي مع بعض السحب<br>- ملبد بالسحب ولا سطوع | | |
| سقوط المطر | - جاف لا يوجد مطر<br>- رذاذ مطر قليل<br>- مطر متوسط<br>مطر غزير | | |
| الرياح | - هادىء - لا توجد رياح<br>- نسيم - رياح هادئة<br>- رياح متوسطة<br>- رياح قوية<br>- عواصف | | |

*تحدد مرة أسبوعياً لأغراض البحث فقط .

الشكل ١٦ - أ - نسخة طبق الأصل من تقرير يومي نمطي .

| العنصر | الوحدة | التصرف الداخل | التصرف الخارج ( السيب ) | المعدل الزمني ( التكرر ) |
|---|---|---|---|---|
| الرقم الهدروجيني pH ..... | – | × | × | أسبوعياً |
| الأكسجين الحيوي الممتص $BOD_5$ (٥) ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | أسبوعياً |
| الأكسجين الكيماوي الممتص COD ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | أسبوعياً |
| المواد الصلبة القابلة للترسيب ..... | ملليلتر/اللتر | × | × | أسبوعياً |
| المواد الصلبة الكلية ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | كل أسبوعين |
| المواد الصلبة الثابتة ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | كل أسبوعين |
| المواد الصلبة المتطايرة ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | كل أسبوعين |
| المجموعة القولونية ..... | العد الاحتمالي/١٠٠ ملليلتر MPN/100 mL | × | × | شهرياً |

(١) بدون تحديد كل من النتروجين ،والفسفور .

| العنصر | الوحدة | التصرف الداخل | التصرف الخارج ( السيب ) | المعدل الزمني ( التكرر ) |
|---|---|---|---|---|
| الرقم الهدروجيني pH ..... | – | × | × | أسبوعياً |
| الأكسجين الحيوي الممتص $BOD_5$ ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | أسبوعياً |
| الأكسجين الكيماوي الممتص COD ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | أسبوعياً |
| المواد الصلبة القابلة للترسيب ..... | ملليلتر/اللتر | × | × | أسبوعياً |
| المواد الصلبة الكلية ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | كل أسبوعين |
| المواد الصلبة الثابتة ..... | ملليغرام/اللتر | × | × | كل أسبوعين |
| النيتروجين الكلي ( كلداحل TKN ) ..... | ملليغرام/اللتر | | × | أحياناً |
| النترات نتروجين ..... | ملليغرام/اللتر | | × | أحياناً |
| الفوسفور الكلي ..... | ملليغرام/اللتر | | × | أحياناً |
| المجموعة القولونية ..... | العد الاحتمالي/١٠٠ ملليلتر MPN/100 mL | × | × | شهرياً |

(٢) مع تحديد النتروجين والفسفور

الشكل ١٦ – ب نسخة طبق الأصل من جدول موضحاً فيه للعامل نموذج ومدى تكرر أخذ العينات اللازمة لتقييم كفاءة تشغيل البركة ( ويستعمل بالإضافة إلى الشكل ١٦ – أ ويحتاج العامل إلى تدريب لضمان أن العينة أخذت وجهزت لنقلها للمعمل كما يجب .

## ١٤-٣-٢ البيانات الطبيعية والكيماوية والبيولوجية

يجب أخذ العينات ( وليس تحليلها ) بواسطة العامل طبقاً للتعليمات الصادرة له من المعمل المركزي المسؤول عن المراقبة أو البحث . ويوضح الشكل ١٦ ب المدى النمطي لفترات أخذ العينات .

# الفصل الخامس عشر

# تشغيل البرك وصيانتها

## ١٥-١ تشغيل وصيانة البرك اللاهوائية

إن مؤشرات التشغيل السليم لبرك التثبيت اللاهوائية هي :

- عدم وجود نباتات أو حشائش في الميول الداخلية المبتلة ويلزم إزالة الحشائش والأعشاب بصفة دورية وذلك لمنع توالد الحشرات .
- تغطية السطح جزئياً أو كلياً بطبقة من الخبث بما فيها من الزيوت والشحوم والمواد الطافية المتنوعة ، وتساعد طبقة الخبث الطافية على الحافظة على الظروف اللاهوائية في البركة حيث تعزل محتواها عن الأكسجين الجوي وتعمل كعازل للمخلفات السائلة عن فقدان الحرارة وتعوق تصاعد الروائح الكريهة .

ويلزم للقائم بالعمل أن يلاحظ يومياً ما يلي :

- عدم وجود رشح خلال الجسور ،
- عدم وجود سدد في ماسورة المدخل خاصة عندما تكون مغمورة ،
- عدم وجود خبث طاف في السيب النهائي للبرك اللاهوائية ليصل إلى البرك الاختيارية الثانوية ،
- التوزيع المنتظم للتصرف في حالة وجود أكثر من مدخل واحد وبمرور الوقت فسوف يكتسب العامل المقدرة على تجهيز التصرف المنتظم بمجرد الرؤيا .

وعندما يلزم معرفة سُمك طبقة الحمأة في البركة اللاهوائية فيمكن تعيين ذلك دورياً في عدة نقاط عبر قاع البركة ، وتوجد عدة وسائل بسيطة يمكن بها القيام بإجراء هذا القياس .

## ١٥-٢ تشغيل وصيانة البرك الاختيارية وبرك الأنضاج

فيما يلي العلامات البصرية على التشغيل السليم للبرك الاختيارية وبرك الأنضاج :

- يكون لون سيب البرك الاختيارية شديد الاخضرار ويبهت قليلاً في سيب برك الأنضاج ، ويخلو عملياً من المواد الصلبة القابلة للترسيب . وعندما يكون لون السيب أخضراً فاتحاً وشفافاً نوعاً ما

أو حتى عندما يميل إلى الاصفرار فإن هذا يدل على وجود الكائنات الملتهمة predators وبعض العوالق الحيوانية zooplankton التي تتغذى على الطحالب .

- عدم وجود الأعشاب والنباتات المائية داخل البركة . وتساعد الأعشاب المائية على توالد الحشرات . ويجب ترك شريط بعرض عشرة سنتيمترات على الأقل فوق أعلى منسوب للمياه على الميول الداخلية دون زراعة أي نجيل عليه . ويقتصر التنجيل على المساحة التي تقع فوق هذا الشريط المكشوف الذي يحمي البركة من نمو الأعشاب والنباتات المائية بها .
- عدم ظهور اللون الأخضر المزرق bluish-green coloured appearance حيث أن ظهوره يعني الازدهار غير المرغوب فيه للطحالب الخضراء الزرقاء (blue-green algae (Cyanophyceae حيث يؤثر هذا الازدهار تأثيراً ضاراً على اختراق ضوء الشمس للبركة مما يقلل تركيز الأكسجين بها .
- عندما تدفأ المخلفات السائلة وترتفع درجة حرارتها يحدث أن يترسب هدروكسيد المغنسيوم وفسفات الكالسيوم وذلك نتيجة لزيادة قيم الرقم الهدروجيني pH value في البركة الاختيارية ويسمى هذا التفاعل بالترويب الذاتي self-flocculation حيث يسبب ظهور اللون الأخضر المبيض milky-green وقد يسبب هذا فشل البركة ( راجع الفصل السابع ) .

ويوضح الشكل ١٦ الملاحظات الرئيسية والنتائج التحليلية التي قد تساعد في تقدير كفاءة أي بركة اختيارية أو بركة انضاج .

# الفصل السادس عشر

# مشاكل التشغيل وحلولها

## ١٦-١ الاحتياج للصيانة

استناداً إلى ما هو معروف عن برك التثبيت من أنها توفر نظام معالجة غاية في البساطة فإن الحاجة إلى الصيانة وتوفير أقل ما يمكن من متطلبات التشغيل السليم غالباً ما تهمل . ومع أن البرك في الحقيقة لا تحتاج إلى تشغيل يذكر خاصة في حالة المنشآت الصغيرة ذات البركة الواحدة أو البركتين المتتابعتين إلا أن الصيانة لها أهميتها القصوى . فمواد الإنشاء المختلفة يصيبها التلف ، ولذلك فإن الجسور الترابية والتكسية المستعملة في التبطين والمساحات المغطاة بالنجيل وغيرها من عناصر المشروع تتطلب الاهتمام المستمر ، حيث أن البركة التي تتم صيانتها بدرجة جيدة يتم تشغيلها بدرجة جيدة كذلك خاصة في حالة وجود طلمبات ضخ و/أو وحدات معالجة تحضيرية وبذلك ينتج عنها سيب جيد في كل الأوقات بأقل متطلبات العمالة .

## ١٦-٢ مشاكل البرك اللاهوائية

قد تظهر روائح غير مستحبة من البرك اللاهوائية وقد تكون مصدراً لتكاثر البعوض وتشجع على نمو الأعشاب البرية ويرد شرح ذلك فيما يلي :

### ١٦-٢-١ الروائح غير المستحبة

يمكن أن تتسبب الروائح الكريهة عن أحد العوامل الآتية :

- ارتفاع معدل التصرف أكثر من اللازم مع ما يصاحب ذلك من نقص في مدة المكث .
- وجود المواد السامة والمواد المثبطة inhibitors للنمو الحيوي في التصرفات الداخلة .
- الانخفاض المفاجيء في درجات الحرارة .
- انخفاض قيمة الرقم الهدروجيني pH للتصرفات الداخلة .

وتشمل طرق العلاج الممكنة لحل مشاكل انبعاث الروائح ما يلي :

- في حالة وجود البركة الاختبارية في توال مع البركة الابتدائية اللاهوائية يعاد سريان سيب البركة

الثانوية إلى البركة اللاهوائية وذلك لإيجاد طبقة عليا للمياه المحتوية على أكسجين ( ولكن لا يوصى بهذا الإجراء حيث يحتاج إلى ضخ مما يزيد في التكلفة ) .

- عدم إزالة الخبث الطافي للسماح بتكوين غطاء طبيعي من المواد الطافية .
- تخفيض معدلات التصرفات الداخلة وذلك بتحويل جزء منها للصرف دون معالجة حتى تتم إنشاء وحدة جديدة لاستيعابها .

ويلاحظ أن إضافة المواد الكيماوية إجراء مشكوك في جدواه ، ومن الصعب تبرير تكلفته . ويمكن لعملية الكلورة chlorination القضاء على الروائح الكريهة من البركة اللاهوائية ، إلا أن إضافة الكلور إلى التصرفات الداخلة لا ينصح به إطلاقاً حيث أنه ينبط من النشاط البيولوجي في البركة ، ثم أن خطورة استعمال غاز الكلور من قبل العمالة غير المدربة يعتبر من العيوب الهامة لهذا الإجراء .

### ١٦-٢-٢ البعوض والحشرات الأخرى

قد يظهر البعوض والذباب والحشرات الأخرى بسبب واحد أو أكثر من العوامل التالية :

- عدم دفن أو تغطية المخلفات الناتجة عن المعالجة بالمصافي و/أو أحواض حجز الرمال وذلك في حالة وجود المصافي وأحواض حجز الرمال .
- السماح بنمو الحشائش والأعشاب على الميول الداخلية لجسر البركة حتى ملامستها أو اختراقها لسطح الماء .
- عدم وجود طبقة من الخبث الكافي ( ويجب ترك هذه الطبقة في مكانها لمنع انبعاث الروائح ) .

وتشمل طرق العلاج الممكنة للوقاية من نمو الحشرات ما يلي :

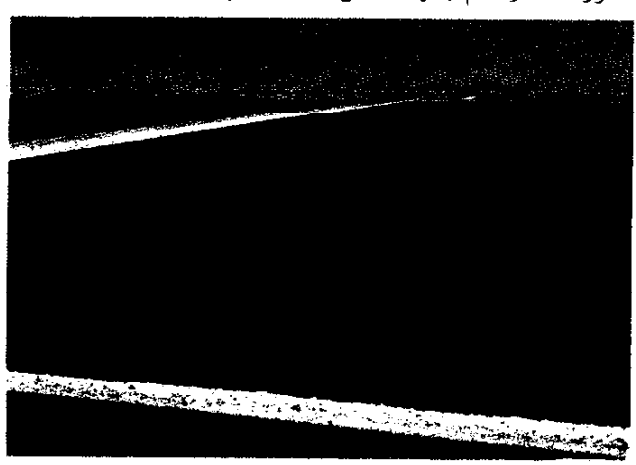
- يجب دفن مخلفات المصافي وأحواض حجز الرمال فور تجميعها وتغطيتها بطبقة من التراب بسمك ٤٠ سنتيمتراً على الأقل .
- يجب نزع الحشائش والأعشاب والنباتات المائية فور ظهورها مع عدم تركها لتسقط في البركة بعد نزعها .
- يمكن رش طبقة الخبث بمبيد حشري على أن يمارس هذا الإجراء بعناية خاصة لمنع وصول المبيدات إلى كتلة المياه .
- قد يتم تحريك الخبث الطافي بواسطة شوكة rake ذات ذراع طويلة لإغراق اليرقات ( يمكن استعمال خرطوم موجه water jet لهذا الغرض وتستعمل مضخة متنقلة صغيرة إذا لم يتوفر مورد لمياه المواسير ) .

### ١٦-٢-٣ نمو الأعشـــاب

يلزم الأخذ في الاعتبار لنوعين من العشب عند إنشاء البركة ، الأعشاب المائية والأعشاب الأرضية ، ويكون للأعشاب المائية جذور وسيقان مغمورة جزئياً أو كلياً في الماء ، وعادة ما تظهر فقط في الجزء المبتل من الميول الداخلية للجسر ، هذا بينما تظهر الأعشاب الأرضية في أي مكان من المساحات الجافة للموقع .

وتتعلق الأعشاب المائية بمشاكل ومضايقات متتابعة كجذبها للحشرات واليرقات ، وتلك تجذب الضفادع وهذه بدورها تجذب القوارض التي تجذب الثعابين . وفي حالة عدم إزالة الأعشاب المائية بطريقة دورية فقد تؤثر كذلك على سلامة الجسور بسبب حفر الفئران للجحور التي ربما يحدث منها التسرب الذي يؤدي إلى احتمال انهيار الجسور .

ويلزم إزالة النباتات المائية بصفة دورية . كذلك يجب تجنب موتها في البركة ، ويمكن نزعها من جذورها بمجرفة ثم إخراجها من البركة بشوكة .



الشكل ١٧ -حصيرة طحلبية وخبث طافي ومواد أخرى طافية مما يستدعي ضرورة كشطها للسماح لأشعة الشمس بالوصول إلى سطح البركة الاختيارية .

## ١٦-٣ مشاكل البرك الاختيارية وبرك الأنضاج

إن أكثر المشاكل مضايقة في البرك الاختيارية هي تكوين الخبث وانبعاث الروائح الكريهة واختزال المسار ونمو الأعشاب . كما يمكن أن تشجع توالد البعوض والحشرات الأخرى . وتنطبق المشكلات الثلاث الأخيرة على برك الانضاج كذلك .

### ١٦-٣-١ الخـبث

يجب أن يكون سطح البركة الاختيارية خالياً من المواد الطافية مثل الخبث scum والورق والبلاستيك والزيوت والشحومات ، وغير ذلك من المواد التي يمكن أن تعوق مرور ضوء الشمس

( الشكل ١٧ ) . وأحياناً ماتتراكم الحصائر الطحلبية على سطح البركة نتيجة للازدهار الطحلبي الذي ينتج عنه تكوين خبث أخضر داكن . وإذا لم تزل هذه الحصائر الطحلبية فيحتمل أن تؤدي إلى انبعاث الروائح الكريهة نتيجة لتحللها ، كما أنها يمكن أن تحد من نفاذ الضوء داخل البركة .

وتشمل طرق العلاج الممكنة لتراكم الخبث ما يلي :

- دفع الحصائر الطحلبية بواسطة المياه المندفعة من خرطوم يوجهه العامل إلى المواد الطافية حيث تغرق الحصيرة إلى قاع البركة ، وكبديل آخر لتلك الطريقة حين تدفع الرياح هذه المواد الطافية إلى أحد أركان البركة ، ويتم إغراقها بعد تكسير الحصائر الطحلبية بواسطة شوكة ذات ذراع طويلة .
- في حالة وجود حاجز لقشط المواد الطافية skimmer فتجمع وتدفن .

وينشأ نوع آخر من الخبث على سطح البرك الاختيارية الضحلة في الأيام الدافئة جداً حيث قد تطفو بعض أجزاء من طبقة القاع اللاهوائية إلى السطح بسبب زيادة تصاعد الغازات ، وتتكون من هذه الأجزاء قشرة سطحية يجب إغراقها بواسطة دفع المياه من خرطوم موجه .

### ١٦-٣-٢ الروائح غير المستحبة

يمكن أن تنبعث الروائح غير المستحبة من البرك الاختيارية بسبب واحد أو أكثر مما يلي :

- زيادة الحمل العضوي ،
- عدم سطوع الشمس مع ظهور السحب وانخفاض درجة الحرارة لفترات طويلة ،
- وجود مواد سامة في التصرفات الداخلة ،
- اختزال المسار ،
- الحد من تأثير الرياح التي تحدث عملية التقليب والمزج وذلك نتيجة لوجود سلسلة من الأشجار أو سور مصمت ( ولا يجب استخدام مثل هذه الموانع أبداً ) .

ودائماً ما يصاحب زيادة الحمل العضوي في البرك الاختيارية خفض قيمة الرقم الهدروجيني وخفض تركيز الأكسجين الذائب ، ويتغير لون السيب من اللون الأخضر إلى اللون الأخضر المصفر ، وتتكون بجوار المدخل على السطح الأخضر اللون بقع رمادية ، وتنبعث تحت هذه الظروف مشاكل الروائح الكريهة .

ويقلل انخفاض درجة الحرارة وتلبد السماء بالسحب لفترات طويلة من التمثيل الضوئي photosynthesis المنتج للأكسجين وأحياناً ما ينعدم وجود الأكسجين الذائب حتى أثناء النهار ،

وتشمل طرق العلاج الممكنة لظاهرة الإقلال من التمثيل الضوئي إعادة دورة المياه الخارجة ( السيب ) أو تزويد البركة بأجهزة تهوية سطحية عند المدخل لتعويض النقص الوقتي في إنتاج الأكسجين[9] .

وتسبب المواد السامة في التصرفات الداخلة التدهور المفاجيء في كفاءة البركة دون سبب واضح . وعندما يحدث ذلك فيجب على الفور قيام العامل بإبلاغ المعمل المركزى لجمع العينات اللازمة وتحليلها وذلك لتحديد إمكانية وجود المعادن الثقيلة أو أي مواد أخرى تثبط النشاط البيولوجي ، وينتج هذا عن التخلص من المخلفات الصناعية السائلة فى الشبكات المجمعة .

والطريقة الوحيدة الممكنة للعلاج من مثبطات الحياة البيولوجية هو تحديد مصادر التلوث ومنع صرفها في المستقبل في الشبكة . وحينئذ تكون القوانين ضرورية التنفيذ ذلك للحد من كمية المواد السامة التي قد تتسرب إلى الشبكة[27] .

وتشمل طرق العلاج الممكنة لانبعاث الروائح الكريهة ما يلي :

- في حالة تشغيل بركتين اختياريتين أو أكثر على التوازي وتأثرت واحدة منهما فقط بمشكلة انبعاث الروائح الكريهة فيجب إخراجها من الخدمة حتى تعود حالتها إلى الأداء الطبيعي . وفي نفس الوقت تحول التصرفات الداخلة إلى الوحدة أو الوحدات المجاورة .
- وفي حالة وجود بركة اختيارية واحدة فإن الملجأ الأخير هو إعادة دورة جزء من المياه الخارجة ( السيب ) إلى المدخل بواسطة مضخة متنقلة أو خرطوم طويل .
- وفي حالة الظروف الحادة فيمكن تزويد البركة مؤقتاً بأجهزة تهوية طافية متنقلة portable floating aerators إن وجدت وذلك للتغلب على مشاكل زيادة الحمل العضوي .
- وعندما تظهر المشكلة بسبب وجود سلسلة من الأشجار أو النباتات المرتفعة مما يعوق المزج المتسبب عن الرياح فيجب إزالة هذه الأشجار والنباتات ، أما إن كان العائق منشأ لا يمكن إزالته فيجب توفير أجهزة مزج صناعي مستمر وهذا مما يزيد التكلفة ويتطلب العنايةوالاهتمام بالأجهزة اللازمة .

### ١٦-٣-٣ اختزال المسار

يتسبب اختزال المسار short-circuiting في البركة الاختيارية عما يلي :

- قصور في تصميم المدخل واختيارمواقع للمدخل والمخرج غير مناسبة ، أو وضع المدخل أو المداخل في أماكن سيئة بالنسبة لشكل البركة خاصة عندما تهب الرياح .
- وجود الأعشاب المائية داخل البركة .
- الإطماء أي ترسيب الطمي silting .

ويكشف عن اختزال المسار بأخذ عدة عينات من نقاط مختلفة في البركة وتعيين الأكسجين

الذائب فيها . فإن ظهر اختلاف ملموس في القيم فإن هذا يدل على وجود المسار المختزل وبالتالي ينتظر ضعف عملية المزج .

وتشمل طرق العلاج الممكنة لاختزال المسار ما يلي :

- ضبط المداخل المتعددة حين وجود أكثر من مدخل واحد وذلك للحصول على توزيع جيد ومتساوي للتصرف الداخل .
- التغيير الإنشائي للمدخل ، وذلك في حالة وجود مدخل واحد بحيث يصبح مداخل متعددة لتحسين حالة التصرف الداخل .
- إزالة الأعشاب المائية أو الطمي إن كان ذلك سبب المشكلة .

## ١٦-٣-٤ البعوض والحشرات الأخرى

غالباً مايصاحب توالد الحشرات في البرك الاختيارية ظهور النباتات المائية من سطح المياه ، وتكثر يرقات بعوض الكيولكس Culex والأنوفيل Anopheles في مناطق كثيرة من العالم بينما يندر وجود بعوض الفيلاريا مع ظهور النباتات المائية من السطح .

وتشمل طرق العلاج الممكنة ما يلي :

- يجب أن يكون مزج البركة من النوع الذي يسمح للعامل بتغيير منسوب المياه حتى يمكن خفض عمق المياه إلى المنسوب الذي يعرض أجزاء النبات التي تلتصق بها اليرقات لأشعة الشمس مما يسبب جفافها وموتها ، هذا ويلاحظ أن عملية تغيير منسوب سطح المياه فعالة جداً للوقاية من تطور نمو اليرقات .
- وتساعد كذلك عملية إزالة الخبث في الوقاية من الحشرات .
- تربية الأسماك آكلة اليرقات larvivorous fish في البرك الاختيارية وبرك الانضاج وهذا يعتمد على الأكسجين الذائب . والأنواع المناسبة هي سمك الجامبوزيا Gambusia ، والليبستس Lebistes ، والتلابيا Tilapia ، وكارب العشب الصيني chinese grass crap .
- رش الميول الداخلية للجسور بالمبيدات عند انتشار الذباب بدرجة ملحوظة يكون فعالاً كطريقة للتغلب على الحشرات ولا يوصي بتطبيقها في كل الظروف ، ويجب المزيد من الحرص لعدم السماح بتسرب المبيدات إلى الجسم المائي .

## ١٦-٣-٥ نمو الأعشاب

قد تغطي الحياة النباتية كل سطح البركة التي تعمل على مستوى منسوب مياه ضحل ( ٦٠ سنتيمتراً مثلاً )، وغالباً ماتحدث هذه الضحالة نتيجة لزيادة الرشح خلال قاع البركة أو نتيجة

لانخفاض التصرف الداخل بالمقارنة بفاقد الرشح والبخر ، وفي حالة مايكون عمق التشغيل العادي للبركة أكثر من ٩٠ سنتيمتراً فإن نمو الأعشاب يقتصر على شريط ضيق من حواف المياه .

وتشمل طرق العلاج الممكنة للتخلص من نمو الأعشاب ما يلي :

- تكفي المداومة على إزالة الأعشاب من الحواف الضحلة للبركة في معظم الحالات مع عدم السماح بسقوط النباتات المنزوعة في المياه .
- إزالة النباتات المائية عند ظهورها من المياه في أماكن بعيدة عن حواف البركة ، ويتم ذلك بقيام العامل بنزعها بواسطة زورق أو قارب ، ويسمح بتخفيض منسوب المياه من ٣٠ إلى ٤٠ سنتيمتر بنزع النباتات بجذورها عند الإمساك بها من نهاية الساق .
- تبطين الميول الداخلية للجسور أو أجزاء منها بواسطة مواد مناسبة مثل التكسية بالدبش والبلاطات الخرسانية ، وهذا سيمنع نمو النباتات المائية في المياه الضحلة ، وتفيد عملية التبطين في الإقلال من نحر الجسور إلى حد ملحوظ .

## ١٦-٤ تفريغ الحمأة من البركة

يجب توفير الحجم الكافي لاستيعاب الحمأة المتراكمة خلال فترة معقولة من الزمن تتراوح بين خمس وعشر سنوات وذلك عند تصميم البركة الابتدائية . ويلزم إزالة الحمأة المتراكمة بعد تلك الفترة ، ويتم ذلك باستخدام طرق محلية لإزالتها إما كما هي أو بعد جفافها ، وفي أثناء فترة إزالة الحمأة يحدث في بعض الحالات تعديل مؤقت لمسار التصرف ، وذلك بتوجيه التصرف خلال تمويله إلى بركة أخرى في نفس التسلسل أو إلى بركة احتياطية مماثلة موجودة لهذا الغرض .

### ١٦-٤-١ إزالة الحمأة السائلة

يمكن إزالة الحمأة السائلة دون تفريغ البركة ويتم ذلك بواسطة مضخة ذاتية التحضير لسحب الحمأة حيث توضع المضخة على قاعدة مستوية . ويمكن كذلك استخدام كراكات خاصة لهذا الغرض كتلك التي تستعمل في تطهير الترع والمصارف والموانى .

وكبديل لذلك يتم تفريغ البركة إلى منسوب طبقة الحمأة ثم تزال الحمأة بواسطة حفار خاص dragline أو بواسطة كباش clam-shell machine .

وينتج عن هذه الطرق حمأة سائلة يلزمها التخلص النهائي بطريقة مناسبة وذلك إما بفرشها على الأرض land application لاستعمالها فيما بعد جفافها لتحسين خواص التربة وإما بتكويمها في بحيرات صناعية صغيرة ضحلة sludge lagoons وتركها حتى تجف .

وتكون هذه هي الاختيارات المتاحة في حالة البرك الصغيرة حينما لا يكون هناك إمكانية إنشاء بركة احتياطية بالموقع وذلك لعدم وجود الأرض أو لزيادة التكلفة .

### ١٦-٤-٢ إزالة الحمأة الجافة

يتم في هذه الطريقة سحب الطبقة السائلة من فوق الحمأة ثم تترك الحمأة لتجف طبيعياً بالبخر ، وتستغرق عملية التجفيف هذه عدة شهور وربما سنة أو سنتين لإكمالها ، وهذا مما يستلزم وجود بركة احتياطية .

ويجب ألا يزيد عمق الحمأة المتراكمة عن متر واحد في حالة اختيار هذه الطريقة وإلا فستستغرق وقتاً طويلاً حتى تجف ، ويشغل حجم الحمأة المجففة حوالي ١ر٠ ( عُشر ) فقط من الحجم الأصلي للحمأة السائلة ، ولهذا يسهل تخزينها ويمكن استخدامها في الزراعة كمحسن لخواص التربة soil conditioner .

# الفصل السابع عشر
# الصيـــانة والأمـــن

## ١٧-١ أهميـة الصيانـة والأمـن

يلزم المحافظة على منشآت برك التثبيت في حالة جيدة وبنفس المستوى من العناية التي تستحقها مشاريع معالجة المخلفات السائلة الأكثر تعقيداً . ولكن مما يؤسف له أنه نظراً لبساطة تشغيل وصيانة البركة ، فغالباً ما تهمل الجوانب المتعلقة بحسن إدارة المنشآت وتأمين التجهيزات والخدمات الخاصة بالبركة . في مثل هذه الحالات يحدث مع الوقت تدهور في حالة البرك يفقدها الفائدة المرجوة منها .

ويكون الاهتمام بالشكل العام الجيد للبركة من قبل المهتمين تحقيقاً لمبدأ أن « البركة ذات المظهر الحسن تكون جيدة الأداء » ، وتوجد خصائص مشتركة لكافة برامج الصيانة وبرامج الأمن لابد من توافرها كما لا بد من توفير الموارد الكافية لإنجازها .

## ١٧-٢ التعـامل مع الجمهـور

يحظر فتح أبواب منشآت برك تثبيت المخلفات للجمهور كأماكن ترفيهية ، وليس من المستبعد أن يجذب السطح الكبير لمياه برك التثبيت الطيور والحيوانات البرية التي تثير بدورها اهتمامات العامة وتدفعهم للتجول حول هذه المنشآت .

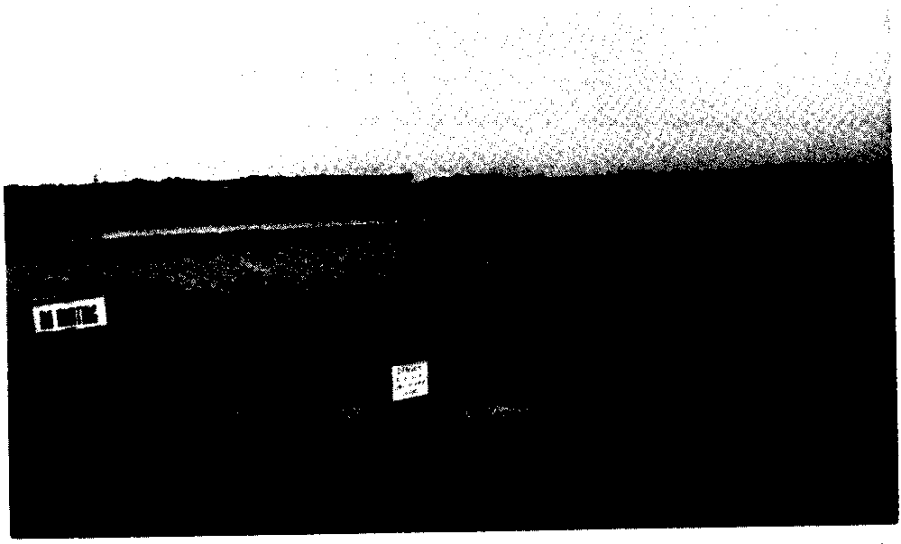
ويجب إرشاد العامل ليوضح للزوار غرض ووظيفة وفائدة البركة ، بل أكثر من ذلك يجب أن يحيطهم علماً بالمخاطر التي قد تحدث نتيجة لوجود الجراثيم الممرضة التي يتعذر تجنبها . ويجب تحذيرهم من لمس النباتات أو المياه داخل حرم الموقع .

ويجب وضع إشارات في النقاط المناسبة حول الموقع لتوضح أن هذه المنشأة هي مشروع لمعالجة مخلفات سائلة مع وجوب استعمال عبارات محددة لمنع انتهاك حرمة الموقع .

وكذلك ينشد إشراك المجالس المحلية في تخطيط وإنشاء وتشغيل هذه المنشآت ( أنظر البند ١٨-٣ ) .

## ١٧-٣ تسوير البركة لتأمينها

يجب إحاطة موقع بركة تثبيت المخلفات السائلة بسور محكم ومفتوح ( الشكل ١٨ ) وذلك لمنع دخول الحيوانات الضالة والمتطفلة مع عدم منع وصول الرياح إلى سطح البركة . ويجب على العامل



الشكل ١٨- سور من السلك الشبكي المفتوح يمنع اختراق المعتدين والحيوانات وعليه علامات تحذر من الدخول إلى البركة ( والصورة من قرية في الولايات المتحدة الأمريكية ) .

المرور الدوري حول السور لملاحظة أي تلف في السلك أو الأعمدة حتى إذا ما اكتشف أي تلف فيجب إصلاحه على الفور .

وإذا ما وجدت التماسيح الصغيرة أو أي زواحف مائية أخرى في المنطقة فيجب منعها من الوصول إلى برك التثبيت .

## ١٧-٤ الجسور والمناطق المزروعة بالنجيل

يجب مراقبة الجسور لملاحظة العلامات الدالة على حدوث نحر أو فجوات أو نمو نباتات أو جحور تحفرها الحيوانات ، ويقترح لإصلاح ذلك الطرق الآتية :

- يمكن أن تملأ الفجوات بالطين وتنعم وتدك ،
- يجب إزالة النباتات المائية .
- يجز العشب كلما احتاج الأمر وذلك باستعمال الطرق المحلية العادية ، ويجب الإبقاء على العشب قصيراً وبعيداً عن حواف سطح المياه بحوالي ٣٠ سنتيمتراً ( أنظر الشكل ١١ أ ) .
- يجب المحافظة على خنادق مجرى السيول خالية من العوائق والرمال ، كما يجب تطهيرها بعد كل مطر غزير ، وذلك حتى لا تفيض السيول منها وتؤثر على منشآت البركة .
- يجب عدم السماح بنمو الأشجار على مسافة أقل من ١٥٠ متراً من برك تثبيت المخلفات السائلة ، كما يجب عدم السماح بإنشاء الأسوار المصمتة بناتاً .

### ١٧-٥ الملحقـــات

- يجب المحافظة على مداخل ومخارج البركة نظيفة وخالية من أي عوائق .
- يجب تمشيط وتنظيف الهدارات بصفة دورية للتخلص من الحصائر الطحلبية والقشور والخرق والبلاستيك وأوراق الشجر وماشابهها من مواد محجوزة على الهدار .
- يجب تنظيف تجويف الكتل الخشبية ( خشب الغما stop-log ) اللازمة لضبط منسوب البركة وذلك بصفة دورية .
- في حالة وجود بوابة تعمل بواسطة عجلة دوارة worm-and-wheel أو أي نظام ميكانيكي آخر ، يجب مداومة تشحيم الأجزاء الميكانيكية بالشحم المناسب لوقايتها من الصدأ وسهولة تشغيلها .

### ١٧-٦ التخلص من المخلفات الصلبة

- يجب دفن المواد المحجوزة على المصافي وفي أحواض حجز الرمال ( حين استعمالها ) وذلك على الفور لتجنب المشاكل التي تنتج عن الذباب وانبعاث الروائح الكريهة .
- يلزم إزالة أو تغطيس الحصائر والخبث والحمأة الطافية بأسرع ما يمكن عند تكوينها وتدفن على الفور بعد إزالتها بالمقشطة .
- يجب إزالة الحجارة والزلط وقطع الأخشاب وأي مواد أخرى كانت قد سقطت في غرفة السيب .

### ١٧-٧ أمـن العـاملين

يجب إعطاء العامل تعليمات عن بعض الأسس البسيطة الخاصة بالأمن لتأمين العاملين أنفسهم وذلك كما يلي :

- يجب غسل الأيدي قبل أكل أي أطعمة أو مشروبات أو حتى عند إشعال السجائر .
- يجب ترك ثياب العمل والخوذة والقفاز والحذاء والسترة الواقية من الماء في مكان العمل عند مغادرة الموقع .
- يجب غسل المعدات بالمياه النظيفة قبل تخزينها ( كالكواريك ، والفؤوس ، والشوك ، والجرافات ، وماشابهها ) .
- يجب التنظيف والتطهير الفوري للجروح والخدوش والسحجات .
- يلزم التأكد من جفاف الأيدي والملابس والأحذية عند العمل بجوار أي مفاتيح كهربية . وفي حالة إجراء أعمال الصيانة لجهاز كهربي يجب استخدام القفازات المناسبة والمعدات المعزولة وذلك بالإضافة إلى التأكد من جفاف الأيدي والملابس والأحذية .

- يجب على العامل عدم تشجيع زيارة الأصدقاء حيث يمكن أن تحدث وفاة أي شخص عند سقوطه في الماء . فغالباً ماتعوق الحمأة اللزجة المترسبة في قاع البركة الضحية من محاولة إنقاذ نفسه ، هذا بالإضافة إلى مخاطر الإصابة بالكائنات الحية الدقيقة السابق ذكرها ( أي بجراثيم الأمراض ) .
- يجب توفير قارب وحبل وطوق نجاة في موقع البركة لأغراض الإنقاذ .
- يجب تطعيم العاملين ضد التيتانوس والتيفود وعند الحاجة ضد الحمى الصفراء والكوليرا ( الهيضة ) وذلك حسبما تراه السلطات الصحية المحلية كما يجب إجراء الكشف الطبي الدوري عليهم .
- يجب اهتمام العاملين الزائد بالنظافة الشخصية ، فمثلاً يجب المحافظة على قص الاظافر ونظافتها حيث أن الأظافر القذرة تكون وسطاً لنقل الأمراض .
- يجب توفير صندوق للإسعافات الأولية في مكان واضح يسهل الوصول إليه ويحتوي على الأمصال المناسبة ( لدغة الأفعى ولسعة العقرب وما شابهها ) وكذلك يحتوي على الحقن البلاستيك .
- يجب الإرشاد المناسب للعاملين عن كيفية القيام بالإسعافات الأولية كل لنفسه وللآخرين بما فيها حقن الأمصال حيث أن الإسعافات الطبية الأخرى قد تصل متأخرة كثيراً .

# الفصل الثامن عشر
# إدارة المشـــروعات

بينما يلاحظ أن بركة تثبيت المخلفات السائلة مشروع بسيط لا يحتاج إلى عمالة ماهرة في الموقع لتشغيله ، إلا أنه يتطلب بعض المساندة الفنية والمالية والإدارية .

## ١٨-١ التـــدريب

يجب أن يزود العامل بالتدريب على الأعمال الروتينية المفروض أن يؤديها . وإذا كان لديه ما يكفي من الثقافة والمقدرة على استيعاب المعلومات المتقدمة ، فيمكنه تلقي مقررات أولية قصيرة على عمليات المعالجة بالبرك . ويجب توعيته بمسؤولياته خاصة بالنسبة للصحة العامة حتى يشعر بأهمية دوره الذي يؤديه مما يدفعه إلى التعامل بحرص وانتباه في عمله .

## ١٨-٢ النواحـــي الماليـــة

عمليات تشغيل وصيانة البركة لها أهميتها ، وهذا مما يستدعي توفير ميزانية مخصصة لتغطية المصروفات الدورية كالآلات والملابس الواقية ولوازم الإصلاح وأحجار البطاريات Flashlight batteries والمطبوعات ولوازم النظافة ، والأدوية ، وطاردات الحشرات insect repellants وبعض البنود الأخرى . هذا بالإضافة إلى دفع مرتبات العاملين وتكاليف الطاقة وغير ذلك مما يستدعي ضرورة تيسير السيولة المالية . ويجب أن يكون المرتب المحدد للعامل أكثر قيمة في حالة العامل اليدوي العادي وذلك بسبب المسؤولية المتوقع إيكالها إليه .

وبالرغم من قلة التكاليف الجارية ، إلا أن النجاح الكامل في التشغيل يعتمد على الهيئه المسؤوله عن تجهيز الموارد بصفة مستمرة . وإذا ماتقررت الاعتمادات اللازمة لإنشاء مشروع برك تثبيت المخلفات السائلة فإن من الحماقة المخاطرة بهذه الاستثمارات وإفشال المشروع بسبب نقص الميزانية المخصصة للتشغيل .

## ١٨-٣ النواحـــي الإداريـــة

يجب على السلطات المعنية من جانب الحكومة إنشاء قسم مسؤول عن الإداريات بالنسبة لجمع ونقل ومعالجة المخلفات السائلة ، ويكون الإشراف على العمالة من الوظائف الأساسية لهذا القسم بحيث لا يعمل القائم على التشغيل في فراغ ودون توجيه .

ويقوم هذا القسم كذلك بعمل تقييم لإنجاز البركة يؤخذ في الاعتبار عند دراسة أي تصميم في المستقبل . ويجب أن يقوم هذا القسم بتنظيم المقررات والأنشطة التدريبية ، وحينما تسمح الظروف فيمكن القيام بتجهيز معمل للمراقبة والبحوث . وبدون الإدارة الفعالة والدعم الفني سنقل كفاءة برك تثبيت المخلفات السائلة أكثر فأكثر حتى تنتهي فاعليتها وتتدهور في وقت قصير .

ويجب على المجتمع الذي يخدمه هذا المشروع أن يدفع مقابل ذلك . كما يجب تشجيع المساعدات الذاتية النابعة من المجتمع ابتداء من وقت التخطيط وأثناء الإنشاء وجزئياً أثناء التشغيل والصيانة . ومشاركة المجتمع في المسؤولية بعد إعلام أفراده بدرجة مناسبة ، يكون مفيداً في كل الظروف حيث يمكن التقليل من التكاليف الجارية بدرجة ملحوظة . كما أنه يقلل كذلك من مضايقات الأهالي كالتعديات والاختراق ، وذلك بعد ما يكونون على علم بمخاطر هذا التصرف .

الجزء الثاني

# الاعتبارات التفصيلية لتصميم برك تثبيت المخلفـــات الســـائلة

# الفصل التاسع عشر
# تصميم البرك اللاهوائية

تستطيع البرك اللاهوائية قبول الأحمال العضوية المرتفعة . وهي مفيدة بصفة خاصة لمعالجة المخلفات السائلة المركزة عضوياً . ففيها سينعدم الأكسجين الذائب ، ولا يحدث تمثيل ضوئي نتيجة للعكارة العالية واللون القاتم لمحتويات البركة والمواد الطافية . وأحياناً يلاحظ وجود بعض تركيزات طفيفة من الأكسجين الذائب ، كما يحدث القليل من التمثيل الضوئي الابتدائي في الطبقة السطحية . إلا أن هذا التأثير غير الشائع ليس من خواص طبيعة البركة اللاهوائية .

## ١٩-١ معـايير التصـــميم

تتشابه البرك اللاهوائية مع خزانات التحليل وخزانات الهضم اللاهوائية غير المسخنة unheated anaerobic digesters ، وغالباً ما يوصى بأن يكون حجم خزانات التحليل حوالي نصف متر مكعب لكل فرد ، وتحميل الأكسجين الحيوي الممتص عند ٤٥ جراماً لكل فرد في اليوم أي ٩٠ غراماً للمتر المكعب وهو في حدود تحميل البرك اللاهوائية .

ولا يوجد حتى الآن اتفاق على قواعد ثابتة لتصميم برك التثبيت اللاهوائية حيث تتضارب البيانات عن الأداء وتتسع المعايير وتتعدد التوصيات . فمثلاً يشير الأستاذ اكينفلدر[28]إلى أن مدة المكث تتراوح بين خمسة أيام وخمسين يوماً ، بينما يوصي الأستاذ جلوينا[8] ألا تزيد مدة المكث عن خمسة أيام حيث تعمل البرك بعد ذلك كبرك اختيارية . وقد تسبب زيادة وقت المكث أن تصير الطبقات العليا هوائية وتخفض من الظروف اللاهوائية اللازمة لتعطي أعلى كفاءة .

ويتضح من المراجع المتاحة أن كل طرق التصميم الموجودة يتم فيها اختيار واحد من المعايير الثلاثة الآتية كأساس للتصميم .

( أ ) معدل التحميل السطحي ويعبر عنها بالكيلوغرام أكسجين حيوي ممتص لكل هكتار في اليوم .

(ب) معدل تحميل حجمي ويعبر عنه بالأكسجين الحيوي الممتص أو المواد الصلبة المتطايرة بالغرام لكل متر مكعب في اليوم .

( ج ) مدة المكث الهيدروليكية باليوم .

## ١٩-٢ معدل التحميل السطحي

أفاد الأستاذ جلوينا[8] بأنه ليس من الصحيح أن تصمم البرك اللاهوائية على أساس معدلات التحميل السطحي ، إلا أن هذا الاتجاه في طريقة التصميم مازال يمارس بواسطة كثير من المصممين ثم أنه قد سحب على تصميم البرك الاختيارية . وسيستغرق الأمر سنين لإلغائه . ومع أن التحميل السطحي غير كاف لإعطاء أبعاد الحركة اللاهوائية إلا أنه مفيد لتقدير مساحة الأرض ، ولمعرفة مدى خطورة أن تتحول البركة اللاهوائية إلى بركة اختيارية في بعض أوقات السنة .

وكنتيجة لأعمال بحثية تمت في ليما ،بيرو[7] فمن المعتقد أنه في المناطق الاستوائية يتوقع أن تكون البركة لا هوائية كل الأوقات إذا زاد التحميل السطحي عن ١٠٠٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص لكل هكتار في اليوم . وعلى أساس قياسات الأمونيا فلقد وجد في هذه الأماكن أن التحميل السطحي الأكثر من ٣٥٧ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص لكل هكتار في اليوم تسود فيه الظروف اللاهوائية . وهذا يعتبر الحد الأعلى لحمل البركة الاختيارية في ليما[19] . وبين هذين الحدين يجب أن تعتبر البركة على أساس أنها تعمل اختيارية بعض الوقت ولا هوائية في البعض الآخر . ويعتبر الحد العلوي للتحميل السطحي في كامبينا جراند في الشمال الشرقي للبرازيل أكثر من ٤٠٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم للبرك الاختيارية وذلك عند درجة حرارة المياه بين ٢٥ و ٢٧°س[2] .

ويعتقد كثير من المؤلفين أن المساحة السطحية للبركة الهوائية لا تؤثر على أدائها كما يؤثر الحجم ، وهذا الاعتقاد منطقي وسديد مالم يكن السطح المتداخل بين السائل والحمأة ( إن وجد ) هو مكان النشاط اللاهوائي في الحالة السائلة . وتعمق البرك اللاهوائية الآن بدرجة كبيرة كلما أمكن حتى أنها تصل إلى خمسة أمتار في بعض الأحيان وذلك مع المحافظة على المساحة السطحية أقل مايمكن حتى يقل فقدان الحرارة ويقل كذلك امتصاص الأكسجين الجوي ، إلا أن هذا الاتجاه في تصميم البرك اللاهوائية لم تثبت صحته حتى الآن . وقد جاء في تقرير الأستاذ إكينفيلدر[28] عن البرك اللاهوائية ذات الأحمال التي تتراوح بين ٢٨٠ و ٤٥٠٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم تكون كفاءتها بالنسبة لإزالة الأكسجين الحيوي الممتص بين ٥٠٪ و ٨٠٪ وذلك مع اختلاف أعماق البرك من ٢ر٥ إلى ٥ر٠ متر

وتبعاً لهذه البيانات غير المتجانسة عن البرك اللاهوائية فإن المصمم يواجه بشكوك كبيرة .

## ١٩-٣ التحميـــل الحجمـــي

يعبر عن التحميل الحجمي بالجرام من الأكسجين الحيوي الممتص لكل متر مكعب في اليوم (g $BOD_5/m_3.d$)* . وهذا المعيار التصميمي يشبه أسس التصميم لخزانات الهضم اللاهوائية

* ١ جم للمتر المكعب = ١ كيلوغرام لكل ١٠٠٠ متر مكعب .

للحمأة وكذلك لعمليات النمو الانتشاري . إلا أن التصميمات التي تعتمد على هذا المعيار غير شائعة مع أنها تظهر بالنسبة لما وضح من المعلومات الحالية أكثر منطقية وسلامة ، وذلك بسبب اعتمادها بطريق غير مباشر على وقت المكث للمواد الصلبة ( أي للجوامد solids ) .

وقد أشار كل من برادلي و سنرا[29] إلى التحميلات العضوية الحجمية المختارة في ستة ولايات بالولايات المتحدة الأمريكية والتي تتراوح بين ٤٠ و ٢٥٠ غرام أكسجين حيوي ممتص لكل متر مكعب في اليوم حيث سادت القيم العالية لهذه التحميلات . أما الأستاذ جلوينا[8] فقد ذكر أن وزارة الصحة في إسرائيل توصي بأن يكون التحميل الحجمي ١٢٥ غرام أكسجين حيوي ممتص لكل متر مكعب في اليوم ، بينما يوصي مارا[30] بألا تزيد الأحمال عن ٤٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص لكل متر مكعب في اليوم وذلك ما إرتآه سبباً لتجنب الروائح غير المرغوب فيها . أما سنرا[27] فقد رأى أن تكون الحدود العليا هي ٧٠ غرام أكسجين حيوي ممتص لكل متر مكعب في اليوم وذلك لتجنب الروائح . وقد أوضح فيشر وزملاؤه[31]أن تكون أحمال البرك اللاهوائية في ولاية البرتا بكندا تتراوح بين ٤٢ و ٢٨٣ غرام أكسجين حيوي ممتص لكل متر مكعب في اليوم . ومن الضروري أن تكون هذه الأحمال في الحدود التي عادة ما يوصى بها بالنسبة لخزانات التحميل في المناخ البارد .

**الجدول ٣ – انخفاض الأكسجين الحيوي الممتص بدلالة مدة المكث لدرجة حرارة أعلى من ٢٠°س [30]**

| مدة المكث باليوم | نسبة الانخفاض في الأكسجين الحيوي الممتص (٪) |
|---|---|
| ١ | ٥٠ |
| ٢٫٥ | ٦٠ |
| ٥ | ٧٠ |

**الجدول ٤ – العلاقة بين درجة حرارة البركة اللاهوائية ومدة المكث وانخفاض الأكسجين الحيوي الممتص [32]**

| درجة حرارة البركة اللاهوائية °س | مدة المكث باليوم | نسبة الانخفاض المتوقع في الأكسجين الحيوي الممتص (٪) |
|---|---|---|
| ١٠ | ٥ | صفر – ١٠ |
| ١٠ – ١٥ | ٤ – ٥ | ٣٠ – ٤٠ |
| ١٥ – ٢٠ | ٢ – ٣ | ٤٠ – ٥٠ |
| ٢٠ – ٢٥ | ١ – ٢ | ٤٠ – ٦٠ |
| ٢٥ – ٣٠ | ١ – ٢ | ٦٠ – ٨٠ |

## ٤-١٩ مدة المكث

تعتبر مدة المكث المعيار الأكثر استخداماً في تصميم البرك اللاهوائية إلا أنه من المعايير التي تختلف إلى حد كبير من مؤلف لآخر . فقد سجل الأستاذ جلوينا[8] مدة مكث منخفضة إلى حد ١٨ ساعة

( لجنة الإسكان الإفريقية بلوساكا ) ، كما أوصى ألا تزيد عن خمسة أيام في المناطق الاستوائية . ولقد استشهد الأستاذ اكمنفلدر[28] بمدة مكث تتراوح بين خمسة وخمسة عشر يوماً ، ولكن هذه القيم العالية يجب أن تعزى إلى برودة الجو ( وعموماً فإنه من المسلم به عملياً عدم وجود أي نشاط لاهوائي تحت درجة حرارة ١٠°س ) .

ويفضل معظم المؤلفين التعامل مع العلاقة الوثيقة بين مدة المكث ودرجة الحرارة والكفاءة ، ويقترح مارا[30] القيم المعطاة في الجدول ٣ لمعالجة المجاري عند درجات الحرارة أعلى من ٢٠°س ، بينما أعد أرسيفالا[32] البيانات المعطاة في الجدول ٤ .

وفي ملبورن باستراليا تكون مدة المكث للمجاري في البرك اللاهوائية ١ر٢٥ يوم أثناء الصيف ومن خمسة إلى سبعة أيام في الشتاء . وتتراوح كفاءة إزالة الأكسجين الحيوي الممتص في الصيف مابين ٦٥ و ٨٠٪ ، وتتراوح في الشتاء ما بين ٤٦ و ٦٠٪ ، وقد استشهد جلوينا[8] بكل من فينسانت وماریاس[33] اللذان أوضحا التخفيض النظري للأكسجين الحيوي الممتص عند درجة حرارة ٢٢°س كما هو واضح في الجدول ٥ .

وينخفض الأكسجين الحيوي الممتص بنسبة عالية جداً في بعض الأحيان في البرك اللاهوائية . ولقد أوضح سنرا[13] أنه أثناء الستة أشهر الأولى من عام ١٩٧٧ فقد تعرضت واحدة من البركتين اللاهوائيتين في ميري بوران بولاية ساوباولو بالبرازيل لتحميل قدره ١٥٥٧ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص لكل هكتار في اليوم ، ومدة مكث خمسة أيام ، وقد أعطت سيبا ثم قيمة تخفيض الأكسجين الحيوي الممتص بمقدار ٧٩٪ . ومن المحتمل جداً أن يكون قد تكوّن الميثان في هذه البركة تحت هذه الظروف .

**الجدول ٥ – الانخفاض النظري للأكسجين الحيوي الممتص عند درجة حرارة ٢٢°س[33]**

| مدة المكث باليوم | نسبة الانخفاض في الأكسجين الحيوي الممتص |
|---|---|
| ١٢ر٠ | ٢٠ |
| ٤٠ر٠ | ٣٠ |
| ٧١ر٠ | ٣٥ |
| ٣٠ر١ | ٤٠ |
| ٤٠ر٢ | ٤٥ |
| ٧٠ر٤ | ٥٠ |
| ٤٠ر٩ | ٥٥ |

## ١٩-٥ فقد معايير التصميم

وضح من المناقشات السابقة أنه يلزم القيام بكمية ملحوظة من الأبحاث والتحريات وذلك قبل الوصول إلى تعميم طريقة منطقية ومعقولة لتصميم البرك اللاهوائية . فالمزج المتسبب عن خليط الغازات والحمأة المتصاعدة لن يكتمل أبداً . والمعادلات الحركية الخاصة بهذه التفاعلات kinetics ليست من الدرجة الأولى ، والمركبات الحيوية مختلفة التركيب والكفاءة من مكان لآخر . ويعتقد أن بعض الأنواع والفصائل species and strains تقوم بعملية التمثيل الغذائي أبطأ من الأخرى ، ويمكن أن تتواجد الأوليات الملتهمة predators ، وتختلف درجة الحرارة بتغير العمق إلى غير ذلك من الاختلافات ، ولا يؤخذ أي من هذه العوامل الهامة في الحسبان في طرق التصميم الحالية .

والمعايير الخاصة بالتصميم والتي تعتمد على التحميل السطحي أو الحجمي للحمل العضوي لا تأخذ كمية التصرف الداخل ومدة المكث في الاعتبار . وهذه المعايير التصميمية التي تعتمد على مدة المكث الهيدروليكي تفيد بأنه ليس الأكسجين الحيوي الممتص للمواد الصلبة هو الذي يزال فقط بل يزال كذلك أكسجين حيوي ممتص ذائب . وفي حالة عدم حدوث ذلك فإن تصل نسبة انخفاض الأكسجين الحيوي الممتص للمجاري الداخلة إلى ٦٠٪ أو أكثر . وتعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر على كفاءة البركة في إزالة الأكسجين الحيوي الممتص ، ومن ثم فإن متطلبات مدة المكث ترتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة حرارة الجو المحيط . وتزداد معدلات التحلل البيولوجي اللاهوائي بمقدار أربعة أمثال لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها خمسة درجات مئوية وذلك عند قياس هذا التحلل اللاهوائي بما يتولد من غازات لكل وحدة زمن ( ثاني أكسيد الكربون والميثان )[8].

## ١٩-٦ طريقة تصميم موصى بها

إن الشرط الأساسي الوحيد في تصميم البرك اللاهوائية هو ضمان تصاعد غاز الميثان نتيجة لعملية التخمر اللاهوائي .

وفي حالة معالجة المجاري عند درجات الحرارة الأكثر من ٢٢°س فإن المصمم يكون في الجانب الآمن عند اختياره للمعايير التصميمية الآتية :

- التحميل الحجمي يصل إلى ٣٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص لكل متر مكعب في اليوم و / أو
- مدة المكث الهيدروليكي حوالي خمسة أيام .
- افتراض إزالة الأكسجين الحيوي الممتص بنسبة ٥٠٪ .
- العمق يتراوح بين ٢٫٥ متر و ٥ متر .

ولا يحتمل أن تؤثر درجة الحرارة إذا كانت أقل من ٢٠°س لبضعة أيام متوالية تأثيراً ضاراً على الكفاءة الكلية للبركة . وتصف هذه المعايير الحذرة الموصى بها حالة تكون احتمالات حدوث

المضاعفات فيها منخفضة . ويحدث ارتفاع منسوب الكبريتات في المخلفات السائلة روائح كريهة في حالة زيادة تحميل البركة . أما إذا كانت الرائحة غير مأخوذة في الاعتبار فيمكن أن يصل التحميل الحجمي إلى ٤٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص أو أكثر لكل متر مكعب في اليوم وذلك في حالة المخلفات الصناعية السائلة وكذلك يمكن اختيار مدة المكث لأقل من خمسة أيام ( وبحد أدنى يوم واحد ) .

ويجب التأكيد على أن ظهور الروائح دائماً ما يكون في البرك اللاهوائية كنتيجة لحدوث ظروف غير منتظرة ( كانخفاض درجة الحرارة الفجائي مثلاً ) . ولا يجب استعمال البرك اللاهوائية في معالجة المجاري إلا عندما لا تتوفر الأرض المنبسطة والرخيصة نسبياً لإنشاء البرك الابتدائية الاختيارية . وبمعنى آخر يجب أن تستخدم البرك اللاهوائية أصلاً كطريقة لتقليل المساحة اللازمة لإنشاء البركة ، وتظهر أهمية ذلك بوضوح في حالة التصرفات الصناعية العالية التركيز .

ويجب إنشاء البرك اللاهوائية بحيث تشمل وحدتين على الأقل وتعملان على التوازي وذلك للسماح بإزالة الحمأة من أحدهما بينما تستمر الأخرى في العمل . وبما أن مساحة البرك اللاهوائية صغيرة نسبياً فإن تراكم طبقات الحمأة يكون سريعاً . ويمكن تقدير حجم الحمأة المهضومة المتراكمة digested sludge في البركة اللاهوائية بمقدار أربعين لتراً للفرد في السنة[2].

ويجب أن تتبع البركة اللاهوائية بركة اختيارية على الدوام . والأفضل من ذلك في حالة معالجة المجاري أن تتبع ببركة اختيارية ثم بواحدة أو أكثر من برك الانضاج . ومن الشائع تشغيل أكثر من بركة لاهوائية على التوالي عند معالجة المخلفات الصناعية السائلة العالية التركيز[4]. ويجب عدم إزالة الخبث والحصائر وغيرها من المواد الطافية من سطح البرك اللاهوائية حتى ولو ساء منظرها حيث يحافظ هذا الغطاء الكافي على محتوى البركة دافئاً ويعزل السطح من التعرض للهواء الخارجي ، ومن ثم فهذا يقلل من تصاعد الروائح الكريهة من السطح ما أمكن .

ويوجد نموذج للحسابات والتصميم الابتدائي في المرفق ١ .

## الفصـــل العشـــرون

# تصميم البرك الاختيـــــارية

توجد عدة نماذج لتصميم برك التثبيت الاختيارية ويستدل من تعدد النماذج أنه لا يلتزم بتطبيق أي منها على وجد التحديد . فبعضهما معقد ويعتمد على بيانات يصعب الحصول عليها عملياً مثل نموذج الإشعاع الشمسي solar radiation model لأزوالد وجوتاس[34] ونموذج الانتشار المحوري axial dispersion model لوهنر و وليام[35] .وأكثر النماذج ممارسة هي نماذج جلوينا[36] ومارياس وشاو[37] ومكجاري وبسكود[4] .

يجب الأخذ في الاعتبار ، وذلك وفقاً للتعريف الدقيق لبرك تثبيت المخلفات السائلة الاختيارية الوارد في الفصل الثالث ، الحرص على ضمان وجود طبقة هوائية بسمك مناسب تستمر طوال اليوم وعلى مدار السنة . وبهذا الأسلوب الحذر في التصميم يتضح أنه من المستطاع عمل بركة اختيارية واحدة فقط في مجموعة من ثلاث برك أو أكثر تحتوي على مرحلة لاهوائية ، حيث تكون البرك التي تسبق البركة الاختيارية الحقيقية هي برك لاهوائية بينما تلك التي تعقبها تكون برك إنضاج . وهكذا يتوقع أن تصل كفاءة البركة الاختيارية إلى حوالي ٨٠٪ . وكيفما كان الأمر ، فلو تم اختيار سلسلة طويلة من البرك في تصميم المشروع كما يحدث في حالة معالجة التصرفات الصناعية عالية التركيز أو في حالة وجود انحدار طبغرافي حاد مما يجعل إنشاء البركة الكبيرة غير اقتصادي فستوجد عدة برك تعمل في ظروف ما بين اللاهوائية والاختيارية الدقيقة . ومع أن هذه البرك اللاهوائية الاختيارية ستكون اختيارية في معظم الوقت أو في جزء منه فقط أثناء الدورات اليومية والسنوية معتمدة على موقعها بالنسبة لسلسلة البرك إلا أنها ستزيل من الأكسجين الحيوي الممتص بقدر ملحوظ . وتختلف المرحلة التي يبطل فيها فعل البركة اللاهوائية الحقيقية ويبدأ فيها فعل البركة الاختيارية الدقيقة خلال العام بتغير درجة حرارة الجو المحيط والاشعاع الشمسي ، كما تختلف كذلك كفاءة إزالة الأكسجين الحيوي الممتص بكل مرحلة .

ويجب عند تصميم كل أنظمة البرك أن تؤخذ التوسعات المستقبلية في الاعتبار ، ولكن عموماً يجب اتباع الحرص في إنشاء العدد الكافي من البرك ليخدم الاحتياجات قصيرة الأجل فقط مما يتجاوب مع متطلبات الخطط الخمسية .

## ٢٠-١ طريقة التحميل السطحي

يعتبر اختيار رقم ما للتحميل السطحي العضوي بناء على الخبرة المحلية طريقة تجريبية في التصميم ، ومع هذا فهي أكثر الطرق استعمالاً ، وهي الطريقة التي مازالت مفضلة لدى غالبية المصممين . وهناك دلائل ملحوظة على أن التحميل السطحي عنصر مفيد ومناسب في تطبيقه عند تصميم البرك الاختيارية ، وتظهر مشكلة اختيار قيم التحميل عندما لا تتوفر بيانات محلية .

وقد أوضحت الأبحاث التي قام بها سيلفا وماراً[2] في شمال شرق البرازيل إمكانية تحميل البرك الاختيارية إلى حد ربما يفوق ٤٠٠ كيلوغرام من الأكسجين الحيوي الممتص للهكتار في اليوم ، ولقد سجل يانز[7] تحميلات عالية في مجمع برك سان جوان في ليما ، بيرو حيث تراوحت بين ٤٠٠ و ١١٥٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم ، وعندها ارتفعت أعداد الطحالب من ١٠٤ إلى ١٠٥ خلية من الكلاميدومونس Chlamydomonas لكل سنتيمتر مكعب واستمرت فعالة . ومع أن البرك لم تتحول نهائياً إلى برك لاهوائية عند هذه التحميلات العالية إلا أن عدة مظاهر غير مرغوب فيها نتجت عن ذلك كاللون الأخضر الممزوج بالأبيض أو البني أو الوردي معظم الوقت وذلك مع بعض الخبث الطافي وانبعاث الروائح النفاذة معظم الوقت . وقد أوضحت تجربة سان جوان أن التحميل عندما يكون بين ٢٠٠ و ٤٠٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم يمكن أن ينتج عنه مشاكل قليلة من الرائحة في بعض الأوقات . أما إذا ازداد التحميل ليتراوح بين ٤٤٠ و ٧٠٠ كيلوغرام من الأكسجين الحيوي الممتص للهكتار في اليوم فغالباً ما تنتشر الروائح وتكون نفاذة أحياناً . وفي التحميلات العالية تنبعث الروائح الضعيفة أو النفاذة بصفة دائمة . وكانت درجة الحرارة في البركة أثناء عملية المسح تختلف من ١٩ إلى ٢٧°س وكاد المطر ينعدم حيث كان بين ٠ر١ و ١ر٩ ملليمتر في الشهر .

ويظهر في ضوء تلك المعلومات أن التحميل السطحي المناسب للمناطق ذات المناخ الدافىء سوف يقع بين ٢٠٠ و ٤٠٠ كيلوغرام من الأكسجين الحيوي الممتص للهكتار في اليوم . وعندما تكون درجة حرارة البركة ٣٠°س فتفضل التحميلات حوالي ٣٠٠ إلى ٤٠٠ كيلوغرام من الأكسجين الحيوي الممتص للهكتار في اليوم . هذا بينما تنقص التحميلات لتصل من ٢٠٠ إلى ٢٥٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم وتعطي نتائج مرضية وذلك عندما تنخفض درجة الحرارة لتصل من ٢٠ إلى ٢٥°س .

ويمكن القيام بدراسات في مشروع استرشادي pilot plant أحياناً وذلك للحصول على التحميل السطحي المناسب للبرك الاختيارية ، إلا أن نتائج هذه الدراسات إن لم تكن على نماذج كبيرة للبرك بدرجة كافية تسمح بظهور التأثير الكامل للمزج أو الخلط بالرياح فسوف تؤدي إلى نتائج مضللة .

## ٢٠-٢ النمـــاذج التجريبيـــة

### ٢٠-٢-١ معادلة أرسيفالا

اقترح آرسيفالا في الهند العلاقة بين التحميل السطحي المقبول admissible surface load «$L_{s,0}$» ، وخط العرض المحلي «lat.» local latitude وذلك بين ٨ درجات شمالاً و ٣٦ درجة شمالاً :

التحميل السطحي المقبول ( بالكيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم )

= ٣٧٥ - ٦ر٢٥ ( درجة خط العرض ) (٢)

$$L_{s,0}\,(\text{kg BOD}_5/\text{ha.d}) = 375 - 6.25\,(\text{lat}) \qquad (2)$$

وعلى هذا تتراوح القيم النهائية للتحميل السطحي المقبول للعمل به في الهند بين ٣٢٥ و ١٥٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص لكل هكتار في اليوم وذلك في المناطق الجنوبية للقيم العالية وتنخفض كلما اتجهنا شمالاً . وتتضمن هذه الطريقة اعتماداً غير مباشر للتحميل السطحي المقبول على الظروف المناخية المحلية وخاصة بالنسبه لضوء الشمس ودرجة الحرارة وكلاهما يختلف تبعاً لخطوط العرض .

### ٢٠-٢-٢ معادلة الانحدار لمكجاري وبسكود

لقد وجد مكجاري وبسكود[4] أنه تحت ظروف التشغيل العادية لمختلف التحميلات في البرك الاختيارية يقل تأثير مدة المكث الهيدروليكي وتركيز الأكسجين الحيوي الممتص للتصرفات الداخلة وعمق البركة على النسبة المئوية لإزالة الأكسجين الحيوي الممتص ، وكذلك ظهر أن تأثير درجة الحرارة على تلك النسبة المئوية للإزالة أقل ما يمكن ، ولكن تلاحظ أن درجات الحرارة لم تكن موزعة بالتساوي على مختلف التحميلات حيث كانت التحميلات العليا مصاحبة لدرجات الحرارة المرتفعة في الهواء المحيط .

وقد أجرى هذان المؤلفان تحليلات انحدارية regression analysis على نطاق واسع وذلك لبيانات الانجاز حيث تم إيجاد ارتباطات قوية high correlation بين أقصى تحميل سطحي أمكن تطبيقه ($L_{s,0}$) وأقل قيمة للمتوسط الشهري لدرجة حرارة الهواء المحيط °س (Ta °c) ذلك كالآتي :

التحميل السطحي المقبول ( بالكيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم )

= ٣ر٦٠ × (١ر٠٩٩٣) × درجة حرارة الهواء المحيط °س (٣)

$$L_{s,0}\,(\text{kg BOD}_5\,/\,\text{ha.d}) = 60.3 \times 1.0993^{\,Ta} \qquad (3)$$

ومن المتوقع أن تعمل البركة الاختبارية كبركة لاهوائية بالكامل في بعض الفترات وذلك عند تعدي الأحمال المشتقة من المعادلة ٣

وقد اقترح مارا[38] مؤخراً تقريب هذه المعادلة إلى صورة الخط المستقيم لتصبح كالآتي :

التحميل السطحي المقبول بالكيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم =
= ٢٠ × ( درجة حرارة الهواء المحيط °س ) − ١٢٠ (٤)

$$L_{s,0}\,(kg\ BOD_5 / ha.d) = 20T_a - 120 \qquad (4)$$

إلا أن هذه المعادلة تعتبر الآن غير ضرورية لاستعمالها في التصميم حيث قدم آرثر[39] تعديلاً حديثاً لضبط معادلة مكجاري وبسكود القريبة من الخط المستقيم . وقد أوصى بالشكل الآتي للمعادلة عند استعمالها في التصميم .

التحميل السطحي المقبول ( كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم )
= ( ٢٠ × درجة حرارة الهواء المحيط ) − ٦٠ (٥)

$$L_{s,0}\,(kg\ BOD_5 / ha.d.) = 20\,T_a - 60 \qquad (5)$$

هذا وقد أوضحت بيانات مارا في شمال شرق البرازيل أن هذا التعديل مناسب .

ولقد أوضحت الدراسات الحديثة التي أجريت تحت إشراف هيئة حماية البيئة الأمريكية USEPA والمقدمة من فيني وميدلبروكس[40] أن معادلة مكجاري وبسكود لا يمكن تطبيقها عند تحميلات أقل من ١١٢ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم ( أي أن المعادلة غير صالحة للتطبيق عند درجة حرارة أقل من « ١١٢ ÷ ( ٣ر٦٠ × ١ر٠٩٩٤ ) » = ٧ر١°س أي تقريباً = ٢ درجة سلسيوس ) ، كما رأوا أنه لا يوجد في النماذج الأكثر شيوعاً ما هو ذا فائدة للبرك ذوات التحميل المنخفض . وقد تمت عملية المسح التي قامت بها هيئة حماية البيئة الأمريكية على أربع مجموعات من البرك في مناطق مختلفة المناخ من الولايات المتحدة الأمريكية وبتحميلات تختلف من ١ر١٤ إلى ٢ر٢٧ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص لكل هكتار في اليوم ، وتمثل هذه التحميلات عُشر الأحمال المطبقة عادة في المناخ الدافىء . وقد أيد كثير من البحاث معادلة مكجاري وبسكود في مثل هذا المناخ حيث أيدها مارا وسيلفا[2] لشمال شرق البرازيل وأيدها يانز[7] لليما ، بيرو وأيدها كاواي وزملاؤه[12] لجنوب البرازيل .

وينتج عن تطبيق معادلة مكجاري وبسكود إزالة الأكسجين الحيوي الممتص بنسبة ٨٠٪ للمخلفات السائلة الداخلة حين يكون تركيز هذا الأكسجين الحيوي الممتص بها ٥٠٠ ملليجرام في اللتر . ويتوقع أن يحتوي السيب غير المرشح على أكسجين حيوي ممتص يتراوح بين ٥٠ و ٨٠ ملليغرام في اللتر حيث يعكس ذلك احتواء السيب على الطحالب .

### ٢٠-٢-٣ معادلة جلوينا

توفر طريقة الأستاذ جلوينا في نموذجه لتصميم برك التثبيت معاملاً فضفاضاً للأمان وذلك ليس فقط للحصول على إزالة الأكسجين الحيوي الممتص السابق تعيينها بل وكذلك لمنع المضايقات التي تؤثر على النواحي الجمالية خاصة الروائح غير المستحبة . ولقد تم الوصول إلى معادلة التصميم المقترحة لجلوينا[36] بعد دراسة لعديد من أنظمة البرك وإجراء الدراسات المعملية والدراسات التي تمت على مشاريع استرشادية pilot scale studies . وتمثل هذه المعادلة الاتجاه التجريبي empirical approach والذي يشمل الحمل المطلق للأكسجين الحيوي الممتص أو الأكسجين الكيماوي الممتص «BOD or COD» حيث يعتقد جلوينا أن مدة المكث الطويلة نسبياً في البرك الاختيارية تحتاج إلى أن يؤخذ في الاعتبار الأكسجين الحيوي الممتص طويل الأجل Long-term BOD . ويصل الاحتياج المطلق ultimate demand للمخلفات السائلة المنزلية بعد حوالي ٢٠ يوماً من الحضانة عند درجة حرارة ٢٠°س ، وتكفي فترة خمسة أيام حضانة فقط عند درجة حرارة ٢٠°س لتغطية ٦٠ إلى ٩٠٪ من هذا الاحتياج المطلق[8].وبهذا فإن الاحتياج المطلق يتغير بين $\frac{١}{٠٫٩}$ و $\frac{١}{٠٫٦}$ مرة من الاحتياج لخمسة أيام $BOD_5$ ، وبمعنى آخر فإن الاحتياج المطلق يتراوح بين ١٫١ و ١٫٧ أكسجين حيوي ممتص $BOD_5$ . وقد رأى جلوينا أن الأكسجين الحيوي الممتص يمكن أن يعوض به في حالة استقبال البركة لمجاري سبق ترسيبها أو استقبالها لأكسجين حيوي ممتص ذائب فقط ، وقد افترضت معادلته[36] إزالة الأكسجين الحيوي الممتص في نطاق يقع بين ٨٠ و ٩٠٪ ، وشكل المعادلة كما يلي :

حجم البركة بالمتر المكعب = ٣٫٥ × $١٠^{-٥}$ × التصرف باللتر في اليوم × الأكسجين الحيوي الممتص المطلق أو الأكسجين الكيماوي الممتص × معامل درجة حرارة التفاعل $^{(٣٥-\text{درجة حرارة المياه})}$ × عامل فناء الطحالب × الأكسجين الكيماوي الممتص بسرعة للكبريتيدات أو غيرها (٦)

$$V = 3.5 \times 10^{-5} Q L_u \theta^{(35-T)} f f' \qquad (6)$$

حيث

V = حجم البركة بالمتر المكعب

Q = كمية تصرف المخلفات السائلة باللتر في اليوم

$L_u$ = الأكسجين الحيوي الممتص المطلق ( أو الأكسجين الكيماوي الممتص ) للمياه الداخلة بالملليغرام في اللتر

$\theta$ = معامل درجة حرارة التفاعل ( ويفرض بقيمة ١٫٠٨٥ للبرك الاختيارية التي تعالج المجاري بما تشمله من مخلفات سائلة منزلية وصناعية ) .

T = درجة حرارة البركة °س ( سلسيوس )

f = عامل فناء الطحالب ( f = ١ للمجاري ولعديد من المخلفات الصناعية السائلة ) inhibition factor

f' = الأكسجين الكيماوي الممتص بسرعة للكبريتيدات أو غيرها ( f' = للتركيز المكافىء لأيونات الكبريتات الأقل من ٥٠٠ ملليجرام في اللتر ) .

وبمجرد تعيين حجم البركة باستعمال هذه المعادلة فيلزم اتخاذ القرار الخاص بعمق البركة ، ويعتمد هذا القرار على نوعية المخلفات السائلة ، وترسيب المواد الصلبة ، ودرجة الحرارة ، واختلاف العوامل المناخية .

## ٢٠-٣ نماذج الحركة والانتشار

### ٢٠-٣-١ معادلة مارياس وشاو ذات الدرجة الأولى للتفاعل

لقد طبق مارياس وشاو[37] حركة المفاعل الكامل المزج completely-mixed reactor kinetics للبرك الاختيارية حيث افترضا معدلات التفاعل من الدرجة الأولى ، وكانت المعادلة الأساسية كالآتي :

الاكسجين الحيوي الممتص للسيب

$$= \frac{\text{الأكسجين الحيوي الممتص للمياه الداخلة}}{(\text{معدل التحلل عند } T°\text{م} \times \text{مدة المكث عند } T°\text{س}) + ١} \qquad (٧)$$

$$L_p = \frac{L_0}{K_T R_T + 1} \qquad (7)$$

حيث

$L_p$ = الأكسجين الحيوي الممتص للسيب ملليغرام في اللتر

$L_0$ = الأكسجين الحيوي الممتص للمياه الداخلة ملليغرام في اللتر

$K_T$ = معدل التحلل عند درجة حرارة T°س

$R_T$ = مدة المكث عند درجة حرارة T°س

ويعتمد معدل التحلل $K_T$ على درجة حرارة البركة كما يلي :

$$\frac{\text{معدل التحلل عند } ٣٥°\text{س}}{\text{معدل التحلل عند } T°\text{س}} = \text{معامل درجة حرارة التفاعل}^{(٣٥ - \text{درجة حرارة التشغيل °س})} \qquad (٧')$$

$$\frac{K_{35}}{K_T} = \theta^{(35-T)} \qquad (7')$$

حيث

T = درجة حرارة تشغيل البركة °س

$\theta$ – معامل درجة حرارة التفاعل (– ١٫٠٨٥)

$K_{35}$ = معدل التحلل عند درجة حرارة ٣٥°س

ويلزم الحصول على قيمة $K_{35}$ بالتجارب أو بفرضها . وقد استخدم مارياس كذلك معادلة تعطي العلاقة بين الأكسجين الحيوي الممتص للسيب وبين عمق البركة والتي أوجدت لظروف جنوب أفريقيا حيث أخذت في النهاية الشكل الآتي :

$$\text{الأكسجين الحيوي الممتص للسيب ( ملليغرام في اللتر )} = \frac{٦٠٠}{٨ + (\text{العمق} \times ٢)} \qquad (٨)$$

$$L_p = \frac{600}{2d + 8} \qquad (8)$$

حيث

d = عمق البركة بالمتر

وعند تطبيق هاتين المعادلتين للأكسجين الحيوي الممتص للسيب يمكن تعيين التحميل العضوي السطحي ، إلا أنه على وجه التحديد يطبق ذلك فقط في جنوب إفريقيا أو في المناطق التي لها نفس المناخ .

ولم تقبل طريقة مارياس على نطاق واسع وذلك بسبب افتراض أن المزج الكامل في البركة الاختيارية يكون في العادة غير صحيح ، وكذلك فإن الرأي القائل بتشابه ثابت معدل التفاعل rate constant بثابت التفاعلات الكيماوية ( سلفاوماراً[2]) محل تساؤلات عليه وذلك بسبب أنه مع الوقت يقل التحلل البيولوجي للقوام الأساسي substrate أكثر فأكثر . ويعتبر ثابت التحلل البيولوجي ($K_T$) عند درجة حرارة ٢٠°س مساوياً للقيمة ٠٫١٧ في اليوم ($0.17\ d^{-1}$) وتقل فعلاً إلى ٠٫٠٧ في اليوم للسيب المعالج . وقد وجد أن حركة التفاعل ذات الدرجة الثانية تكون أكثر تمثيلاً للواقع[2] .

## ٢٠-٣-٢ معادلة ثيرومورثي لانتشار التصرف

يختلف أساس طريقة ثيرومورثي[41] عن النماذج السابقة لأخذه في الاعتبار الوضع الهيدروليكي للانتشار في البركة ، وقد نشأ نموذجه في الظروف المتوسطة بين التصرفات المحبوسة plug-flow وبين أنظمة المزج الكامل complctely-mixed systems.ويناسب هذا النموذج الدراسات البحثية والحقلية فقط حيث يحتاج إلى تحديد معاملات الانتشار والتثبيت محلياً . ويمكن التغاضي عن هذا النموذج من الناحية العملية للتصميم .

### ٢٠-٤ عمق البركة الاختيارية

يوصي حالياً بأن يكون عمق البركة الاختيارية في المناخ الحار ١,٥ متراً على الأقل . وتتراكم الحمأة المترسبة بسرعة في البرك ذات التحميلات الثقيلة أسرع منها في حالة التحميلات الخفيفة ( أي تلك التي لا تزيد عن ٥٠ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم في الولايات المتحدة الأمريكية ) ، ولقد أوضح أوزوالد[3] أن تراكم الحمأة عند قياسه وجد قليلاً لحد ٣٠ لتر للفرد في السنة حينما كان تكوين الميثان مُرضياً . ويوصي بتصميم برك التثبيت الاختيارية لتكون عميقة وذلك لإطالة المدة بين فترات تفريغ الحمأة من البركة . وهناك سبب آخر لتعميق البركة وهو حماية العملية اللاهوائية اللازمة لتكوين الميثان في الطبقات الدنيا من الأكسجين الذائب في الطبقات العليا والذي له تأثير سام على بكتريا الميثان .

ولا يشجع بعض المؤلفين أن يصل العمق لأكثر من مترين حتى لا تتغلب ظروف الطبقة الدنيا غير الهوائية على الظروف السطحية الهوائية إضافة إلى خطورة إيجاد الطبقات المائية stratification والانقلاب أحياناً occasional overturn مما يفسد نوعية السيب ويقلل الطحالب . إضافة إلى هذا فكلما زاد عمق البركة انخفضت درجة الحرارة مما يعوق التحلل البيولوجي اللاهوائي ، ويبدو أنه من المعقول أن يتراوح عمق البركة الاختيارية في الحدود مابين ١,٥ و ٢,٠ متر ، وتصل إلى ٣ أمتار فقط في حالة وجود أسباب جوهرية لذلك كزيادة مدة المكث مثلاً حين يتطلب الأمر وذلك في حالة التحلل البطيء للمخلفات الصناعية السائلة .

### ٢٠-٥ طرق التصميم الموصى بها

#### ٢٠-٥-١ البرك الاختيارية الابتدائية

عندما تتوفر البيانات المحلية عن أداء بركة اختيارية فيجب أن تشكل هذه البيانات عناصر أسس التصميم الأساسية لبركة جديدة على شريطة أن توفى البيانات الآتية :

- تكون البيانات قد جمعت بانتظام وحللت بطريقة يوثق فيها .
- تكون البركة الجديدة مقترحة لمعالجة مخلفات سائلة مماثلة .
- الاستفسار عما إذا كانت البركة الموجودة الاختيارية يسبقها بركة لا هوائية أم لا .

وفي حالة عدم توفر بيانات محلية أو بيانات أخرى مناسبة فيقترح الاستعانة بالمعادلتين التجريبيتين المستنتجتين من قبل مكجاري وبسكود[4] وجلوينا[36] واللتين تتوفر فيهما أسس معقولة للتصميم .

ولا تحتوي المعادلة ٣ لمكجاري وبسكود على عامل أمان safety factor ، وقد اقترح مارا أن عامل أمان قدره ١,٥ يكون مناسباً للتصميم ويجب أخذه في الاعتبار . وبمعنى آخر فإن قيمة التحميل

السطحي المقبول ($L_{SO}$) المستنتجة من المعادلة ٣ يجب قسمتها على ١ر٥* . ويعتمد الاختيار على حساسية البيئة المحيطة بالبركة وعلى طبيعة المخلفات السائلة الداخلة . فمثلاً لا يستخدم بعض المصممين عامل الأمان* في حالة أحمال بسيطة من المخلفات الصناعية بصورة معقولة أي عندما تكون نسبة الأكسجين الكيماوي الممتص إلى الأكسجين الحيوي الممتص المطلق أقل من ٢ر٥ دائماً وعندما يترك القرار إلى حكم المصمم .

وعندما لا يمكن تحمل المشاكل البيئية في أي وقت ، فإن المعادلة ٦ وهي معادلة جلوينا التجريبية[36] توفر تحفظاً أكثر للتصميم ، وعلى سبيل المثال فحينما تتزامن درجة حرارة المياه ١٩°س مع متوسط درجة حرارة الهواء ١٥°س في أبرد شهر ، مع عمق يساوي ١ر٦ متر ، وتكون نسبة الأكسجين الحيوي الممتص ( المطلق ) إلى الأكسجين الحيوي الممتص تساوي ١ر٣ ( أي ١ ÷ ٧٥ر٠ أي أنه مع مدة مكث قدرها خمسة أيام تكون إزالة الأكسجين الحيوي الممتص بنسبة ٧٥٪ من الأكسجين الحيوي الممتص المطلق ) ، وبهذا فإن معدل تحميل قدره ٩٥ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم يمكن الحصول عليه باستعمال تلك المعادلة . ومن هذه الحسابات البسيطة يمكن ملاحظة أن معادلة جلوينا تتطلب مساحات أكبر في البرك الاختيارية الضحلة أكثر من معادلة مكجاري وبسكود ( انظر المرفق ١ ) ومع ذلك يجب أن يلاحظ أنه مادامت معادلة مكجاري وبسكود تأخذ في اعتبارها المساحة السطحية بينما معادلة جلوينا تأخذ الحجم في اعتبارها . فكلما زاد العمق المختار فإن الطريقتين تعطيان نتائج متباعدة .

### ٢٠-٥-٢ البرك الاختيارية الثانوية

آحياناً مايبرز التساؤل : « هل يجب تصميم البركة الثانوية الاختيارية على نفس أسس التصميم للبرك الابتدائية ؟ » .

ومن الطبيعي أن نفرض أن المواد الأسهل تحللاً ستكون قد أزيلت في الوحدة الابتدائية سواء أكانت لاهوائية أو اختيارية وأن سبب المرحلة الأولى أقل قابلية للتحلل من المخلفات السائلة الخام ، ومن ثم فإن من المحتمل أن يحدث تثبيت المواد العضوية في البركة الثانوية بمعدلات تفاعل أقل

وقد أوضحت الدراسات التي نشرت في مؤتمر الهندسة الصحية والبيئية بالبرازيل عام ١٩٨١[12] عن مقارنة البرك الاختيارية المفردة بمشاريع البرك اللاهوائية والاختيارية في جنوب البرازيل أن التحميل المسموح الممكن تطبيقه لبركة اختيارية ثانوية كان حوالي ٢٠٪ أقل من ذلك الذي كان

---

* عند تطبيق عامل أمان قدره ١ر٥ على معدل التحميل المقترح عند درجة حرارة ١٥°س سيكون ٣ر١٦٦ كغم $BOD_5$ للهكتار في اليوم ويقارن بقيمة ٢٤٩ كيلوغرام للهكتار يومياً $BOD_5$ محسوباً باستعمال المعادلة الأصلية .

يمكن تطبيقه لبركة ابتدائية للسيب المحتوي على نفس الأكسجين الحيوي الممتص . ومع ذلك فقد أوضحت دراسة مماثلة في ليما[19] لإيجاد علامة بين التحميل السطحي وإزالة الأكسجين الحيوي الممتص أنه لا توجد أية دلائل على وجود أي فرق ذي مغزى بين أداء البرك الابتدائية والثانوية الاختيارية تحت نفس ظروف التحميل . ومن الواضح أن هذا الموضوع مازال مفتوحاً للمناقشة ويتطلب المزيد من البحث .

وبما أن المعادلات التجريبية التي قدمت في هذا الفصل كانت مشتقة أصلاً من بيانات برك احتيارية ابتدائية على أساس مشروع معالجة مخلفات سائلة منزلية وصناعية ، ولم يسمح حينئذ بمواد أقل قابلية للتحلل ، فمن المعقول حالياً أن تعتبر هذه المعادلات صالحة للتطبيق عند معالجة جميع المخلفات ماعدا تلك التي لديها مقاومة للمعالجة البيولوجية سواء كان ذلك في البرك الثانوية أو الابتدائية الاختيارية ، أما إذا ما أريد فقط أن تكون نوعية السيب النهائي على درجة عالية من الجودة فإن التحميل للبركة الثانوية الاختيارية يمكن أن ينخفض ربما بمقدار ٢٠٪ كما وضح من أبحاث مؤتمر ١٩٨١ المذكور فيما قبل[12].

## ٢٠-٥-٣ مدة المكث

تكون أقل مدة مكث في البرك الاختيارية الثانوية ( أي تلك التي تسبقها بركة لا هوائية أو أكثر ) وتعمل في مناخ درجة حرارته في أبرد شهر هي ١٠°س للهواء و ١٥°س للماء أو أعلى من ذلك هي خمسة أيام وتمتد إلى عشرة أيام اعتماداً على عناصر التصميم . فزيادة مدة المكث تزيد من مساحة الأرض المطلوبة ، وتعتبر مدة عشرة أيام مناسبة للبرك الابتدائية التي يتم تشغيلها عند درجات الحرارة المذكورة أعلاه . أما في المواقع ذات الرطوبة النسبية المنخفضة والنسيم الشديد ودرجات حرارة الهواء الأعلى من ذلك فإن طول مدة المكث يمكن أن يتسبب عنه فقدان ملحوظ في المياه نتيجة للبخر .

هذا ويظهر نموذج للحسابات والتصميم الابتدائي في المرفق ١ .

# الفصل الحادي والعشرون
# تصميم برك الإنضـــاج

## ٢١-١ وظيفة برك الإنضـــاج

تستعمل برك الإنضاج على نطاق واسع لمزيد من إزالة العوامل الممرضة كبعض أنواع الجراثيم والعفن fungi والحيوانات وحيدة الخلية protozoa والفيروسات . وعادة ماتكون كفاءة هذه البرك منخفضة بالنسبة لإزالة الأكسجين الحيوي الممتص حيث أنها تستقبل مخلفات ذات أكسجين حيوي ممتص ذائب وضعيف ، إلا أنها يمكنها إزالة هذا الأكسجين الحيوي الممتص الذائب والمنقول لها من البرك الاختيارية ، فمثلاً عندما يكون السيب من البرك الاختيارية به أكسجين حيوي ممتص قيمته تتراوح بين ٥٠ و ٧٠ ملليغرام في اللتر فيمكن خفضه إلى ٢٥ ملليغرام في اللتر أو أقل ، وذلك بمعالجته في واحدة أو أكثر من برك الإنضاج . وحين الأخذ في الاعتبار إعادة استعمال السيب في الري فغالباً ماتكون برك الإنضاج لازمة لا يستغنى عنها وخاصة في مثل هذه الحالة . وكيفما كان الأمر فلا يوجد داع لإنشائها إلا في المناطق التي بها مساحات واسعة وبأسعار زهيدة .

ولا يمكن أن تكون برك الإنضاج برك معالجة ابتدائية ، فدائماً ما تسبقها بركة اختيارية لتكون هي البركة الابتدائية ، والمجموعة المعروفة عادة هي بركة لا هوائية يتبعها بركة اختيارية ثم بركة انضاج أو أكثر .

ويعتمد تصميم برك الإنضاج على التلاشي البكتيري bacterial decay هذا مع أن الغرض هو إزالة جراثيم الأمراض . وتتلاشى البكتريا البرازية والأوالي أو الفيروسات بمضي الوقت في البيئة غير الملائمة في وحدة المعالجة . ويلاحظ أن العوامل الرئيسية التي تسبب تلاشي البكتريا هي الترسيب ، وندرة الغذاء ( الكربون العضوي والمغذيات ) والأشعة فوق البنفسجية والملتهمات ( كالبكتريوفاج bacteriophages والقشريات microcrustaceans والأوالي protozoa والروتيفرات rotifers ) وكذلك المضادات الحيوية والسموم التي تنتج وتتوفر في بيئة البركة من خلال بعض فصائل الكائنات الحية ، ثم درجة الحرارة العالية والرقم الهدروجيني . ويلاحظ أن أهم عامل يجب أخذه في الاعتبار بالنسبة لتأثيره المسبب لتلاشي البكتريا في البرك هو فترة المكث ، وقد أوضحت التجارب البحثية والخبرة العملية أن أقل فترة مكث مقدارها خمسة أيام في بركة انضاج منفردة أو ثلاثة أيام لكل بركة

في مجموعة برك على التوالي مكونة من بركتين أو أكثر بعد بركة اختمارية عادة تعتبر كافية . ويمكن أن تمتد مدة المكث إلى عشرة أيام أو أكثر .

وعادة مايتراوح عمق برك الانضاج بين متر واحد ومتر ونصف . وكيفما كان الأمر فإن مباني أو تركيبات المخرج الذي ينصرف منه السيب يجب أن تنشأ بحيث تسمح بتغيير العمق ، حتى يمكن التحكم في العمق للوقاية من الظروف التي تؤدي إلى نمو البعوض ثم حتى يتم التمكن من منع الطبقة السفلى للبركة من التحول إلى ظروف لا هوائية .

## ٢١-٢ نماذج تخفيض الجراثيم

عندما يلزم تغطية المعايير الجرثومية للسيب دون تطهير نهائي باستخدام البرك فإن هذا يحدد عادة مدة المكث اللازمة وعدد البرك الموجودة على التوالي . وطبقاً لما جاء به مارياس[42] فإن اختفاء الجراثيم البرازية faecal bacteria في بركة تثبيت يمكن تقديرها باستخدام المعادلة الآتية :

$$\frac{\text{العد الجرثومي بعد مدة المكث باليوم}}{\text{العد الجرثومي في التصرفات الداخلة}} = \frac{١}{(\text{ ثابت تلاشي الجراثيم} \times \text{مدة المكث }) + ١} \qquad (١٠)$$

$$\frac{N_R}{N_0} = \frac{1}{K'R + 1} \qquad (10)$$

حيث

$N_0$ = العد الجرثومي في التصرفات الداخلة .

$N_R$ = العد الجرثومي بعد مدة المكث باليوم

$K'$ = ثابت تلاشي أو فناء الكائنات في اليوم die-off constant وتختلف من كائن ميكروسكوبي إلى آخر ، كما تختلف باختلاف السلالات لنفس النوع .

$R$ = مدة المكث باليوم .

فإذا ما استخدمت الاشريكية القولونية E. coli كدليل فإن ثابت تلاشي الجراثيم $K^1$ = ٢٫٠ في اليوم[8] . ولقد قام يانز [19] بتجميع وتصنيف البيانات الموضحة في الجدول ٦ للقولونيات البرازية والسالمونيلة salmonella .

وفي حالة وجود بركتين أو أكثر على التوالي فإن المعادلة ستكون على الشكل الآتي :

$$\frac{\text{العد الجرثومي بعد مدة المكث باليوم}}{\text{العد الجرثومي في التصرفات الداخلية}} \qquad (١١)$$

---

( $K^1$ × مدة المكث للبركة الثانية + ١ ) ( ثابت التلاشي $K^1$ × مدة المكث للبركة الأولى + ١ ) .... ( $K^1$ × مدة المكث للبركة النونية ١ ١ )

$$\frac{N_R}{N_0} = \frac{1}{(K'R_1 + 1)(K'R_2 + 1) \ldots (K'R_n + 1)} \qquad (11)$$

حيث تكون $R_1$ ، $R_2$ ، $R_n$ مدد المكث في البرك الأولى والثانية والنونية والموجودة كلها على التوالي لمجموعة برك عددها يساوي ن (n) .

وعندما تكون كل البرك متساوية في الحجم ومدد المكث كما يحدث في أغلب الحالات فإن المعادلة ١١ تصبح كالآتي :

$$\frac{\text{العد الجرثومي بعد مدة المكث باليوم}}{\text{العد الجرثومي في التصرفات الداخلة}} = \frac{1}{(\text{ثابت التلاشي } K^1 \times \text{مدة المكث} + 1)^{\text{ن}}} \qquad (١٢)$$

$$\frac{N_R}{N_0} = \frac{1}{(K'R + 1)^n} \qquad (12)$$

وكما سبق ذكره فإن مدة المكث في كل بركة يجب الإبقاء عليها بين ثلاثة وعشرة أيام وفي حالة وجود بركة واحدة فلا تقل مدة المكث عن خمسة أيام .

ويجب أن يتأكد دائماً أن ثابت التلاشي $K^1$ يعتمد على درجة الحرارة ، وقيمته عند أي درجة حرارة بالنسبة لقيمته عند درجة حرارة ٢٠°س تكون كالآتي :

$$\frac{\text{ثابت التلاشي عند درجة حرارة T}}{\text{ثابت التلاشي عند درجة حرارة ٢٠°س}} = \text{معامل درجة الحرارة } (T - ٢٠)^{\circ}\text{س} \qquad (١٣)$$

$$\frac{K'_T}{K'_{20}} = \theta'^{(T-20)} \qquad (13)$$

وقد اقترح العديد من المؤلفين قيمة لمعامل درجة الحرارة $\theta'$ لتساوي ١٫٠٧ .

ويلزم الأخذ في الاعتبار أن قيمة ثابت التلاشي = ٢ في اليوم بالنسبة للأشريكية القولونية E. coli لا تنطبق على الكائنات الممرضة الأخرى ، فمثلاً في حالة السالمونيلة التيفية salmonella typhi فإن قيمة ثابت التلاشي تساوي ٠٫٨ فقط في اليوم .

ويجب ملاحظة أنه ليس من الضروري أن تكون القولونيات البرازية ممرضة حيث يمكن اعتبارها فقط مؤشراً على مخاطر العدوى . ولهذا فإن التعميم الأكثر من اللازم ليس من الصواب وذلك حين نعتبر قيمة ثابت التلاشي عند تطبيقه على الكائنات الأخرى . ويجب تداوله باحتراس حتى في حالة

معرفة الظواهر الموجودة ، ومع ذلك فإن المعادلات المعطاة تكون مفيدة في تعيين أبعاد برك الانضاج .

ولقد تم مؤخراً إجراء بحوث بواسطة بولبرازيرت وزملائه[45] الذين سعوا إلى الأخذ في الحسبان للتفاعلات الطبيعية الكيماوية الحيوية التي تحدث في البرك وذلك لتقدير التلاشي الجرثومي . ولقد اقترحت معادلة الانحدار التكراري multiple regression والتي تشمل بنوداً مختلفة كمدة المكث والتحميل العضوي والتركيز الطحلبي والتعرض للأشعة فوق البنفسجية ، ولقد تم اقتراح معادلة وهنر ووهلم والتي تشمل على عدد تشتت مقترح للتكهن بيقيا الجراثيم ، والتي تتميز بكونها معادلة معدل من الدرجة الأولى First-order rate equation .

ويتضح في المرفق ١ نموذج لحسابات التصميم المبدئي لبركة إنضاج باستخدام طريقة ماريس Marais approach .

الجدول ٦ – قيم ثابت التلاشي لمختلف سلالات الجراثيم [19]

| الجراثيم | ثابت التلاشي في اليوم $k\ (d^{-1})$ | درجة الحراره س° | المرجع |
|---|---|---|---|
| القولونيات البرازية | ٠ر٥٥٢ | ١١ – ١٥ | رايت [43] |
| القولونيات البرازية | ٠ر٦٦٤ | ١٦ – ٢٩ | رايت [43] |
| القولونيات البرازية | ٢ر٠ | غير مسجلة | ماريه وشو [37] |
| القولونيات البرازية | ٢ر٦ | ٢٠ | سلانتز ورفاقه [44] |
| السلمونلة | ٠ر٨ | غير مسجلة | ماريه وشو [37] |

# المرفق ١

## تصميم نظام برك تثبيت المخلفات السائلة

يتعين توفير مياه الشرب إلى ٨٠٪ من سكان مدينة ما لايعرف تعدادها ، ويراد توصيل شبكة المجاري إلى ٨٠٪ من هؤلاء السكان الذين سيزودون بالماء . وعند عد المنازل عداً مباشراً وجد أنها ٣٨٤٠ منزلاً ، ولا توجد صناعة رئيسية في المنطقة المخدومة بشبكة المجاري . ولكن توجد بعض الصناعات المنزلية في المجتمع ، وقد اختار المصمم ٤ مربعات سكنية blocks اعتقد أن فيها عينة ممثلة لكثافة السكان ، وقد عد مافيها من منازل وما يقطنها من سكان فوجد بها ٦١٦ فرداً يقطنون ١١٢ منزلاً ، وقد قدرت الزيادة السكانية بنسبة ٤٪ في السنة خلال العشر سنوات القادمة . ويلزم في هذا الوقت معالجة المخلفات السائلة المتجمعة لتعالج في مجموعة من برك التثبيت التي تشمل في مرحلتها الأولى بركتين لا هوائيتين على التوازي ، يتبعها بركتان اختياريتان على التوازي كذلك ، ثم يتبع ذلك عدد من برك الانضاج على التوالي وذلك للوصول إلى العد المرغوب فيه من القولونيات . وفي هذه الحالة فستستعمل مياه النهر الذي تصب فيه البرك سيبها النهائي في الري وسقيا الحيوانات وذلك إضافة إلى بعض العائلات التي تقوم بصيد السمك ، وقيام الأطفال باللعب في النهر . وبعد ما تحدد إتجاه الرياح السائدة فقد تم اختيار موقع تحت اتجاه التيار بالنسبة للمدينة كلما أمكن ، هذا وقد كانت البنود التي تم قياسها وافتراضها على النحو الموضح في الجدول أ – ١ .

## نموذج للحسابات

### أ – التعداد الذي تخدمه شبكة المجاري

يلاحظ أن أول خطوة هي تحديد التعداد الذي ستخدمه شبكة المجاري خلال العشر سنوات القادمة

– تقدير التعداد الحالي = $٣٨٤٠ \times \frac{٦١٦}{١١٢} = ٢١١٢٠$ نسمة

– تقدير التعداد بعد ١٠ سنوات = $٢١١٢٠ \times (١٫٠٤)^{١٠} = ٣١٢٦٣$ نسمة

– التعداد الذي ستخدمه شبكة المجاري = $٣١٢٦٣ \times ٠٫٨ \times ٠٫٨ = ٢٠٠٠٨$ نسمة

ونقرب هذا الرقم إلى ٢٠٠٠ نسمة .

## ب – البرك اللاهوائيـــة

الخطوة التالية هي الحسابات التفصيلية للبرك اللاهوائية ( راجع الفصل التاسع عشر ) وقد أخذت البنود المختلفة من الجدول أ–١

الجدول أ – ١ البنود التي تم قياسها والبنود المفروضة

| | |
|---|---|
| التعداد خلال ١٠ سنوات | ٢٠٠٠٠ نسمة |
| استهلاك مياه الشرب باللتر في اليوم للفرد | ١٥٠ لتر للفرد في اليوم |
| نسبة مياه الشرب التي تصل إلى شبكة المخلفات السائلة | ٨٥٪ |
| حجم التصرف الداخل لمشروع البرك في اليوم = ٢٠٠٠٠ × ١٥٠ × ٠٫٨٥ ÷ ١٠٠٠ = | ٢٥٥٠ متر مكعب في اليوم |
| العد الاحتمالي الأكبر للقولونيات في التصرف الداخل (MPN) | ٤٫٢ × $10^8$ لكل ١٠٠ ملليلتر |
| **البرك اللاهوائية** | |
| الأكسجين الحيوي الممتص للفرد في اليوم | ٤٥ غرام للفرد في اليوم |
| الأكسجين الحيوي الممتص للمجاري = ٤٥ ÷ [ ( ١٥٠ × ٠٫٨٥ ) للفرد في اليوم ] | ٠٫٣٥٣ غرام في اللتر = ٣٥٣ ملليغرام في اللتر |
| التحميل الحجمي للبرك اللاهوائية | ١٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص للمتر المكعب في اليوم |
| حجم الحمأة اللاهوائية المهضومة المتجمعة للفرد في السنة | ٠٫٠٤ متر مكعب للفرد في السنة |
| عمق البركة اللاهوائية فرضاً | ٤ متر |
| نسبة تخفيض الأكسجين الحيوي الممتص في البركة اللاهوائية | ٥٠٪ |
| النسبة المئوية لإزالة القولونيات في البركة اللاهوائية | غير ملحوظة |
| **البرك الاختيارية** | |
| الأكسجين الحيوي الممتص المطلق ($BOD_u$) | ١٫٤٢ × الأكسجين الحيوي الممتص |
| متوسط درجة حرارة الهواء خلال أبرد شهر | ١٥°س |
| متوسط درجة حرارة الماء خلال أبرد شهر | ١٨°س |
| حجم الحمأة المهضومة المنتجة للفرد في السنة | ٠٫٠٣ متر مكعب |
| عمق البركة الاختيارية فرضاً | ١٫٧ متر |
| النسبة المئوية لإزالة القولونيات في البركة الاختيارية | ٩٩٪ |
| **برك الانضـــاج** | |
| العد الاحتمالي المسموح به للقولونيات في السيب النهائي لبرك الانضاج | أقل من ٢ × $10^3$ لكل ١٠٠ ملليلتر |
| معدل إزالة الجراثيم ($k = 2.0\ d^{-1}$) k | ٢ في اليوم |
| عمق بركة الانضاج فرضاً | ١ متر |
| **الأعمـال الهندسيـة** | |
| ميول الجسور – جانب البركة | ١ : ٣ = ٣٣٪ |
| جانب الأرض | ١ : ١٫٥ = ٦٧٪ |
| المساحة المسموح بها فوق سطح الماء Freeboard | ٠٫٥ متر |
| اختبار الدك لعينة التربة [ ( حجم التربة المدكوكة ÷ الحجم الأصلي للتربة ) × ١٠٠ ] | ٩٠٪ |

الحمل العضوي للتصرف الداخل بالنسبة للأكسجين الحيوي الممتص $BOD_5$ =

= ٢٠٠٠٠ × ٤٥ = ٩٠٠٠٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص في اليوم ( أ–١ )

ومن ذلك فإن حجم البركة ( بدون حساب حجم تراكم الحمأة ) يوضح كالآتي :

الحمل العضوي للتصرف الداخل ÷ معدل التحميل الحجمي =

= ٩٠٠٠٠٠ ÷ ١٠٠ = ٩٠٠٠ متر مكعب ( أ–٢ )

الحمل الإضافي اللازم لتراكم الحمأة في خمس سنوات بمعدل ٠٫٠٤ للفرد في السنة =

= ٢٠٠٠٠ × ٠٫٠٤ × ٥ = ٤٠٠٠ متر مكعب ( أ–٣ )

وبهذا يصير الحجم الكلي ( المخلفات السائلة + الحمأة المتراكمة ) =

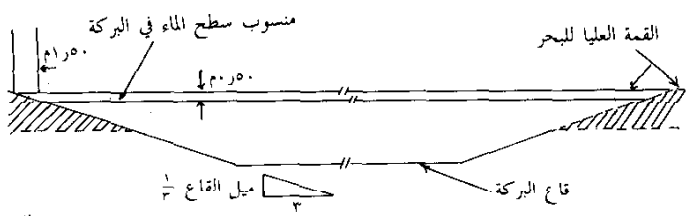
= ٩٠٠٠ + ٤٠٠٠ = ١٣٠٠٠ متر مكعب ( أ–٤ )

مدة المكث للمخلفات السائلة الناتجة ( لا تشمل حجم الحمأة ) تحسب على أساس تصرف المخلفات السائلة في اليوم =

= ٩٠٠٠ ÷ ٢٥٥٠ = ٣٫٥٢٩ = ٣٫٥ يوم تقريباً ( أ–٥ )

وبما أن العمق سيكون ٤٫٠ متر وسيكون مقطع البركة عبارة عن شبه منحرف ( الشكل أ–١ ) وستكون المساحة الوسطى عند نصف العمق مساوية للحجم الكلي مقسوماً على العمق .

∴ المساحة الوسطى = ١٣٠٠٠ ÷ ٤ = ٣٢٥٠ متر مربع = ٠٫٣٢٥ هكتار ( أ–٦ )




الشكل أ – ١ – قطاع توضيحي شبه منحرف للبركة يبين مستوى الماء وجانب القمة العليا للحوض

**شكل البركة**

يلزم بركتان تعملان على التوازي سعة كل منهما ٦٥٠٠ متر مكعب ، وتكون المساحة لكل منهما عند منتصف العمق ١٦٢٥ متر مربع وسيكونا مربعا الشكل ويكون ميل الجسور ١ : ٣ (٣٣٪) كما هو واضح في الشكل أ–١ وبهذا سيكون :

طول الضلع عند منتصف العمق = $\sqrt{\text{المساحة}}$ = $\sqrt{١٦٢٥}$ =

= ٤٠٫٣ متراً = ٤٠ متراً تقريباً ( أ–٧ )

طول ضلع المربع عند القاع ( بتطبيق الطرق الهندسية البسيطة )

= ٤٠ – ٢ ( نصف العمق الكلي × مقلوب الميل ) =

= ٤٠ – ٢ ( ٢ × ٣ ) = ٢٨ متراً ( أ–٨ )

وبالمثل فإن طول الضلع عند سطح السائل = ٤٠ + ١٢ = ٥٢ متراً ( أ–٩ )

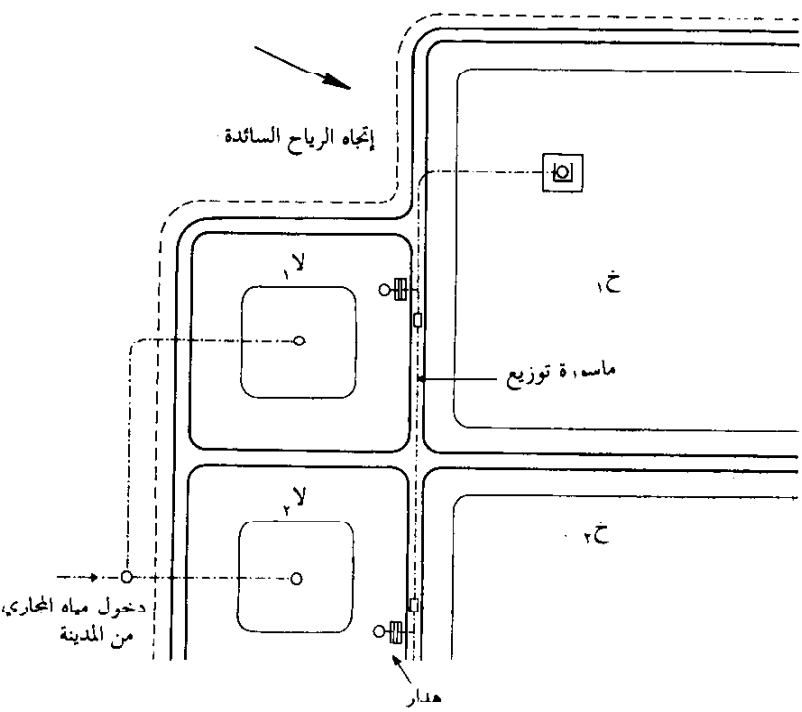
وكذلك فإن طول الضلع عند قمة الجسر = ٥٢ + ( ٢ × ٥ر٠ × ٣ ) = ٥٥ متراً ( أ–١٠ )

وستكون الأركان مستديرة بنصف قطر قدره ١٠ أمتار عند القمة و ٤ أمتار عند القاع .

## المداخـــل والمخـــارج

يفضل أن يكون مدخل كل بركة عند مركزها بينما يكون مخرجها قرب أحد أركانها وذلك كما هو واضح في الشكل أ–٢ .

وتوضع ماسورة المدخل على ميل وقاع البركة لتنتهي عند مركزها ويوضع في هذه الحالة لوح لتفادي الانتشار (splash plate) ويوضع في المنخفض المعد له ( الشكل ١٢–أ ) .




الشكل أ – ٢ – مخطط البرك اللاهوائية يوضح المداخل والمخارج

والمخرج يكون خلال عارضه baffle بكوع ينتهي في صندوق لقياس التصرفات قرب قمة الجسر ، وتفرغ كل بركة سيبها في البركة الاختيارية المجاورة لها ، وتركب ماسورة لنقل المخلفات السائلة بين كل بركتين على التوالي ، ويركب مجموعة من الصمامات للتحكم في اتجاهات التصرف .

## ج – البرك الاختيارية

سيتم تصميم البرك الاختيارية بتطبيق معادلة مكجاري وبسكود ، وكذلك بتطبيق معادلة جلوينا ، وذلك للمقارنة بينهما وحيث تعرض أسس التصميم كما نوقشت في الفصل العشرين .

بعد تخفيض قدره ٥٠٪ من الأكسجين الحيوي الممتص في البرك اللاهوائية فإن البرك الاختيارية ستستقبل حسب ماجاء في المعادلة أ–١ أي ( ٥ر٠ × ٩٠٠٠٠٠ ) = ٤٥٠٠٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص في اليوم . وإذا افترض بتحفظ أن ٧٠٪ من الأكسجين الحيوي الممتص يمكن تنظيفها خلال مدة المكث ( وهذا يعتمد على درجة الحرارة حسب ماجاء في الجدول رقم أ–١ فإن الأكسجين الحيوي الممتص المطلق = BOD = ( الأكسجين الحيوي الممتص ÷ ٦٨ر٠ ) –

= ٤٥٠٠٠٠ × ١٤٧١ر١ = ٦٦٢٠٠٠ غرام أكسجين حيوي ممتص في اليوم تقريباً

## التصميم باستعمال معادلة مكجاري وبسكود

منطوق معادلة مكجاري وبسكود الانحدارية حسب ما جاء في البند ٢٠–٢–٢ هو :

التحميل السطحي المقبول ( بالكيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم )

= ٣ر٦٠ × (١ر٠٩٩٣)درجة حرارة الهواء المحيط

$$L_{s.0}\ (Kg\ BOD_5/\ ha.d.) = 60.3 \times (1.0993)^{T_a}$$

حيث

$L_{s.0.}$ = التحميل السطحي المقبول والممكن تطبيقه ، بينما

$T_a$ – أقل قيمة متوسط شهري لدرجة حرارة المحيط °س

وقد أوضحت البيانات المناخية أن متوسط درجة الحرارة في أبرد شهر خلال العام كانت ١٥°س ولذلك فإن :

التحميل السطحي الممكن تطبيقه = ٣ر٦٠ × (١ر٠٩٩٣)$^{١٥}$ =

= ٥ر٢٤٩ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار في اليوم ( أ–١١ )

وكما ذكر في الفصل العشرين فإن عند زيادة التحميل لأكثر من ذلك يمكن أن تتحول البركة الاختيارية إلى بركة لا هوائية في فترات معينة ، ولهذا فإن من الأرجح أن يطبق معامل أمان قدرة ٥ر١ ( انظر البند ٢٠–٥–١ ) ولهذا فإن التحميل التصحيحي الممكن تطبيقه يصبح

٥ر٢٤٩ × ٥ر١ =

= ٣ر١٦٦ كيلوغرام أكسجين حيوي ممتص للهكتار يومياً ( أ–١٢ )

وبما أن المساحة السطحية الكلية للبرك الاختيارية تحدد من حمل البركة الاختيارية معبراً عنه بالأكسجين الحيوي الممتص ( المطلق مقسوماً على التحميل التصحيحي ليعطي المساحة الكلية =
= ٦٦٢ ÷ ١٦٦٫٣ = ٣٫٩٨ هكتاراً = ٣٩٨٠٠ متراً مربعاً ( أ–١٣ )

**التصميم باستعمال معادلة جلوينا**

منطوق معادلة جلوينا حسب ماجاء في البند ٢٠–٢–٣ هو حجم البركة بالمتر المكعب = ٣٫٥ × $10^{-5}$ × التصرف باللتر في اليوم × الأكسجين الحيوي الممتص المطلق ×
( معامل درجة حرارة التفاعل )$^{35}$ – درجة حرارة المياه × عامل فناء الطحالب × الأكسجين الكيماوي الممتص بسرعة بواسطة الكبريتيدات أو بعض الكيماويات (٦)

$$V = 3.5 \times 10^{-5} Q L_u O^{(35-T)} ff$$

حيث

V = حجم البركة بالمتر المكعب

Q = كمية تصرف المخلفات السائلة باللتر في اليوم

$L_u$ = الأكسجين الحيوي الممتص ( المطلق ) أو الأكسجين الكيماوي الممتص للمياه الداخلة بالملليغرام في اللتر

θ = معامل درجة حرارة التفاعل

T = درجة حرارة مياه البركة °س

f = عامل فناء الطحالب

f' = الأكسجين الكيماوي الممتص بسرعة بواسطة الكبريتيدات أو بعض الكيماويات .

ويلاحظ أن التعبير المركب ($QL_u$) وهو يساوي ( التصرف × الأكسجين الحيوي الممتص ) هو تحميل البركة الاختيارية معبراً عنه بالأكسجين الحيوي الممتص المطلق بالمليجرام في اليوم ، فإذا اعتبرنا قيمة كل من عامل فناء الطحالب (f) وكذلك قيمة الأكسجين الكيماوي الممص بسرعة للكبريتيدات وغيرها (f') مساوية للوحدة أي (١) ، وبما أن متوسط درجة الحرارة خلال أبرد شهر هي ١٨°س ، وأخذت قيمة معامل درجة حرارة التفاعل (θ) مساوية ١٫٠٨٥ لهذه النوعية من المخلفات فيكون حجم البركة

حجم البركة = ٣٫٥ × $10^{-5}$ × ( ٦٣٠ × $10^{6}$ ) × ١٫٠٨٥$^{(٣٥-١٨)}$ × ١ × ١ =
٨٨٢٥٠ متر مكعب ( أ–١٤ )

**اختيار عمق البركة ومقارنة النتيجتين**

يلزم اتخاذ القرار في هذه المرحلة بالنسبة لعمق البركة ( راجع البند ٢٠ - ٤ ) ، ويعتمد هذا الحكم على نوعية المخلفات السائلة ، وترسيب المواد الصلبة ، ودرجة الحرارة ، وعوامل التغيرات الجوية . فبالنسبة لمخلفات سائلة منزلية ابتدائية يكون عمق السائل ١ر٦ مترا حيث تعطي تلك القيمة تهوية جيدة . فإذا أهملنا ميول الجوانب في هذه المرحلة فإن التقدير المبدئي لمساحة السطح يمكن الحصول عليه من معادلة جلوينا عند قسمة الحجم على العمق كما يلي :

المساحة السطحية = ٨٨٢٥٠ ÷ ١ر٦ = ٥٥٢٠٠ متر مربع = ٥ر٥٢ هكتار تقريباً ( أ-١٥ )

وهكذا تعطي معادلة جلوينا مساحة سطحية أكبر بنسبة ٤٥٪ تقريباً من المساحة السطحية المشتقة من معادلة مكجاري وبسكود وذلك لنفس العمق حيث أعطت هذه الأخيرة ٨ر٣ هكتاراً أو ٣٨٠٠٠ متراً مربعاً .

وعندما يكون العمق ١ر٦ متراً ، ويكون الميل الداخلي للجسور ١ : ٣ ، فسيكون الحجم تبعاً لمعادلة مكجاري وبسكود حوالي ٥٥٠٠٠ متراً مكعباً ( المساحة المربعة عند منتصف العمق × العمق ) وعندما يكون التصرف اليومي ٢٥٥٠ متر مكعب فإن مدة المكث ستكون ٥ر٢١ يوماً ، وهي حقاً مدة مكث مرضية وسيكون الأكسجين الحيوي الممتص المطلق قد تغطى تقريباً وهو يساوي ٢ر١ من الأكسجين الحيوي الممتص وهذا مما يزيد في مجال الأمان .

وإذا فرض أن فاقد البخر خلال مدة المكث هذه يساوي ١٠٪ من حجم البركة الاختيارية أو مايساوي تقريباً ٧ ملليمترات في اليوم فإن هذا سيؤثر على تركيز الجراثيم في السيب المتجه إلى برك الانضاج .

ويمكن تقدير تراكم الحمأة بمقدار ٣٠ لتر ( ٠ر٠٣ متر مكعب ) للفرد في السنه ( البند ٢٠-٤ ) ، وبحساب الحمأة المتراكمة خلال فترة خمس سنوات كما حدث في البرك اللاهوائية . فإن حجم الحمأة سيكون :

٢٠٠٠٠ × ٠ر٠٣ × ٥ = ٣٠٠٠ متر مكعب ( أ-١٦ )

ومن هذا يتضح أن حجم الحمأة سيكون أقل تأثيراً على عمق البركة منه في حالة البرك اللاهوائية .

## مشـــكل البركـــة

سوف تنشأ بركتان مستطيلتان من البرك الاختيارية متساويتان في المساحة السطحية وكليهما مساحة ١٩٩٠٠ متر مربع وستكون نسبة العرض إلى الطول كنسبة ١ : ٥ر١ . وسيكون الطول في اتجاه الرياح السائدة وقدره ١٧٢ متراً كما سيكون العرض ١١٥ متراً . ويمكن تقريب هذه الأرقام

لأقترب عشرة أمتار وذلك بعد الأخذ في الاعتبار معامل الأمان الفضفاض دون خوف لتصبح ١٧٠ متراً للطول و ١١٠ متراً وذلك عند سطح الماء . وسيكون شكل البركة شبه منحرف حيث تكون ميول الجوانب فيه ١ : ٣ ، وبهذا يكون طول الأضلاع عند القاع حوالي ١٦٠ متراً للطول و ١٠٠ متر للعرض وسيكون حجم الحمأة لكل بركة ١٥٠٠ متر مكعب . أما عمق الحمأة فسيكون ١٥٠٠ : ١٦٠٠٠ = ٠ر٠٩٤ متراً أي حوالي عشرة سنتيمترات . ومن هذا فسيكون عمق السائل مع الحمأة مساوياً لقيمة ٦ر١ + ١ر٠ = ٧ر١ متراً . وتحسب بعد هذا التعديل أطوال أضلاع قاع البركة بالمعلومات الهندسية البسيطة كالآتي :

طول الضلع في مستوى سطح البركة − ٢ ( عمق السائل + عمق الحمأة ) × مقلوب الميل =

أي ١٧٠ − ٢ ( ٧ر١ × ٣ ) = ٨ر١٥٩ متراً للطول وكذلك

١١٠ − ٢ ( ٧ر١ × ٣ ) = ٨ر٩٩ متراً للعرض (أ−١٧)

ويمكن تقريب هذه الأرقام إلى ١٦٠ متراً للطول و ١٠٠ متراً للعرض وذلك لقاع البركة حسب ماذكر سابقاً ، وبإضافة نصف متر فوق سطح المياه حتى نهاية الجسر فتصير أبعاد البركة عند قمة الجسر كما يلي :

الطول = ١٧٠ + ( ٢ × ٥ر٠ × ٣ ) = ١٧٣ متراً وكذلك

العرض = ١١٠ + ( ٢ × ٥ر٠ × ٣ ) = ١١٣ متراً (أ−١٨)

وتكون الأركان مستديرة بنصف قطر قدره عشرة أمتار عند القمة وسبعة أمتار عند القاع ، ويكون معدل تغيير نصف القطر كما هو في البرك اللاهوائية .

### منسوب المياه والمداخل والمخارج

يجب أن يكون منسوب سطح المياه في البرك الاختيارية أقل من منسوبه في البرك اللاهوائية التي تسبقها بمسافة لا تقل عن ثلاثين سنتيمتراً ، وكذلك تراعى نفس المسافة بالنسبة لمنسوب قمة الجسور في كليهما . وتكون الأوضاع المقترحة للمداخل كما هو موضح في الشكل أ−٢ أما نوعيتها فتكون كما هو موضح في الشكل ١٢−أ في داخل النص . وتستعمل هدارات الكتل الخشبية ( خشب الغما stop-log weirs ) للمخارج كما هو موضح في الشكل ١٣ ، ويجمع السيب من كلا البركتين الاختياريتين ليتم تصريفه في برك الانضاج الأولى .

## د − برك الانضـــاج

لقد نوقشت مبادىء التصميم في الفصل الحادي والعشرين ويقدر العد الأكثر احتمالاً لمجموعة القولونيات في التصرفات الداخلة لمجموعة البرك بمقدار ٢ر٤ × ١٠^٨ لكل ١٠٠ ملليلتر ( ١٠٠

سنتيمتر مكعب ) . وبينما تكون إزالة القولونيات في البرك اللاهوائية لا تذكر ، تكون الإزالة في البرك الاختيارية ٩٩٪ ، ويكون البخر ١٠٪ من حجم المياه في البركة الاختيارية فيبقى ٩٠٪ ، وبهذا تكون القولونيات الداخلة للبركة الأولى من برك الانضاج كالآتي :

$$\frac{(١ - ٠ر٩٩)}{٠ر٩} \times ١٠^{\wedge} \times ٤ر٢ = ١٠^{٦} \times ٤ر٧ \text{ قولونيات لكل ١٠٠ ملليلتر} \qquad (أ-١٩)$$

ويحدد المعيار الجرثومي للسيب من برك الانضاج مدة المكث في العادة ، ومن ثم يمكن تحديد عدد البرك على التوالي . وعندما يكون الحجم متساوياً وكذلك مدة المكث تكون متساوية في جميع البرك فإن المعادلة الواجب استعمالها هي المعادلة ١٢ المذكورة في الفصل الحادي والعشرين ومنطوقها كالآتي :

$$\frac{\text{العد الجرثومي بعد مدة المكث}}{\text{العد الجرثومي للتصرفات الداخلة}} = \frac{١}{[\,(\text{ثابت التلاشي} \times \text{مدة المكث}) + ١\,]^{ن}}$$

$$\frac{N_R}{N_0} = \frac{1}{(K'R + 1)^n}$$

حيث

$N_0$ = العد الجرثومي في سيب البركة الاختيارية الداخل لبركة الانضاج والذي يساوي ٤ر٧ × ١٠^٦ بكتيريا قولونية لكل ١٠٠ ملليلتر .

$N_R$ = العد الجرثومي بعد مدة المكث R

n = ن = عدد برك الانضاج على التوالي

K = ثابت التلاشي في اليوم

الجدول أ – ٢ – برك الانضاج : تغير فترة المكث ومساحة البركة مع عدد البرك للتخفيض البكتيري المختار

| عدد البرك ن | ١ | ٢ | ٣ | ٤ | ٥ |
|---|---|---|---|---|---|
| مدة المكث باليوم R | ١١٧٥ | ٢٣ر٧ | ٦ر١٥ | ٢ر٩٨ | ١ر٨٦ |
| مساحة البركة عند منتصف العمق بالمتر المربع ( بالتقريب )* | ٣ × ١٠^٦ | ٦٠ × ١٠^٣ | ١٦ × ١٠^٣ | ٧ر٦ × ١٠^٣ | ٤ر٨ × ١٠^٣ |
| المساحة الكلية بالمتر المربع ( بالتقريب ) | ٣ × ١٠^٦ | ١٢٠ × ١٠^٣ | ٤٨ × ١٠^٣ | ٣٠ × ١٠^٣ | ٢٤ × ١٠^٣ |

* ( مدة المكث باليوم × التصرف في اليوم بالمتر المكعب ) ÷ عمق البركة = ٢٥٥٠ × مدة المكث ، وذلك لعمق متر واحد ، وقد أهملت المساحة عند منتصف السد لصغر تداخل ميول الجوانب .

ويختلف ثابت التلاشي K من بكتيريا إلى أخرى ، بل يختلف بين مختلف الفصائل لنفس البكتيريا ، وعندما تستعمل الأشريكة القولونية E. coli كدليل فإن قيمة ثابت التلاشي K تساوي اثنين في اليوم ، ويلزم أن يكون العد الجرثومي الأكثر احتمالاً في السيب النهائي من برك التثبيت أقل من ٢ × $١٠^{٣}$ لكل ١٠٠ ملليلتر ، ومن ثم

$$\frac{١}{[\,١ + (\,٢ \times \text{مدة المكث}\,)\,]^{ن}} = \frac{٢ \times ١٠^{٣}}{٤ر٧ \times ١٠^{٦}} \qquad (أ - ٢٠)$$

وبإعادة تشكيل المعادلة تصبح

$$\text{لو}\,[\,(\,٢ \times \text{مدة المكث}\,) + ١\,] = \frac{\text{لو}\ ٢٣٥٠}{ن} \qquad (أ - ٢٠)$$

ولحل المعادلة تفرض قيم مختلفة لعدد البرك ن من ١ إلى ٥ وبهذا تظهر قيمة مدة المكث لكل عدد من البرك كما هو موضح في الجدول أ – ٢ ، ومنه يتضح أنه كلما زاد عدد البرك نقصت مدة المكث وكذلك المساحة السطحية للبركة وبالتالي المساحة الكلية للبرك كما هو واضح من الجدول . وكما ذكر سابقاً فإن أقل مدة مكث للبركة في مجموعة بركتين أو أكثر يجب ألا تقل عن ثلاثة أيام . وبما أن المساحة السطحية لبركة واحدة أو لبركتين ، كما هو واضح في الجدول ، غير واقعية ، فإن الاختيار يقع بين ثلاثة برك بمدة المكث ستة أيام لكل منها أو أربعة برك بمدة مكث ثلاثة أيام لكل منها ، وتوفر المساحة السطحية الكلية للأربع برك مزايا اقتصادية واضحة أكثر مما يوفره اختيار الثلاث برك .

وباستعمال المعادلة أ – ٢٠ فإن العد الجرثومي بعد مدة المكث ($N_R$) يمكن التأكد من قيمته لمدة المكث (R) وعدد البرك المختارة (n) وقيمة ذلك هي ٣ أيام وأربع برك ويساوي –

العد الجرثومي = $(\,٤ر٧ \times ١٠^{٦}\,) \div (\,(\,٢ \times ٣\,) + ١\,)^{٤} =$

$= ٤ر٧ \times ١٠^{٦} \div ٧^{٤} = ٤ر٧ \times ١٠^{٦} \div ٢٤٠١ =$

$= ١ر٩٥ \times ١٠^{٣}$ لكل ١٠٠ ملليلتر .

وتقع هذه القيمة في حدود القيم المفروضة ، وسيكون حجم البركة مساوياً لمقدار التصرف مضروباً في مدة المكث وهذا يساوي = ٢٥٥٠ متر مكعب في اليوم × ٢ر٩٨ يوماً = = ٧٥٩٩ أي حوالى ٧٦٠٠ متراً مكعباً .

وستكون مساحة البركة الواحدة من مجموعة الأربع برك عند منتصف العمق مساوياً للحجم مقسوماً على العمق .

وبما أن العمق يساوي متراً واحداً والحجم يساوي ٧٦٠٠ متراً مكعباً فإن المساحة عند منتصف العمق تساوي ٧٦٠٠ متراً مربعاً . وحتى تتلاءم أبعاد هذه المساحة من طول وعرض مع الأبعاد الموجودة أصلاً للبركة الاختيارية التي تسبقها ، فيفضل من الناحية العملية أن يكون أحد الأضلاع مساوياً في طوله لعرض البركة الاختيارية عند قمة الجسر أي مايساوي ١١٣ متراً . وبما أن الشريط الجاف freeboard والميول هي مثل سابقتها في البرك السابقة فإن طول الضلع المطلوب سيساوي ١٠٧ متراً عند منتصف العمق ، وسيكون طول الضلع الآخر مساوياً لقيمة ٧٦٠٠ : ١٠٧ = ١ر٧١ ويمكن أخذها ٧٢ متراً وبهذا تصير أبعاد برك الانضاج كما يلي :

المساحة عند القاع = ١٠٤ متراً × ٦٩ متراً ( أ – ٢١ )

المساحة عند سطح الماء = ١١٠ متراً × ٧٥ متراً ( أ – ٢٢ )

المساحة عند قمة الجسر = ١١٣ × ٧٨ متراً ( أ – ٢٣ )

وتستدير الأركان بنصف قطر قدره عشرة أمتار عند قمة الحسر وثمانية أمتار عند قاع البركة .

ويلاحظ أن نسبة الطول إلى العرض تكون ٥ر١ : ١ . ويمكن كذلك ملاحظة أن الضلع الأطول أي طول البركة يكون موازياً لعرض البرك الاختيارية ولم يعد موازياً لاتجاه الرياح السائدة إلا أن ذلك مقبول في حدود هذه النسبة المذكورة بين طول البركة وعرضها .

( وكان يمكن كذلك اختيار الأربع برك متتالية بعضها مع البعض وتكون أبعادها ٥٩ متراً عند قمة الجسر ويكون طول كل منها ١٥٠ متراً ، وتكون النسبة بين العرض والطول عند سطح الماء كنسبة ٥٦ : ١٤٧ متراً أي ١ : ٢ر٦٣ ، بينما تقارب ظروف التصرف حالة التدفق الكتلي plug flow ) .

## منسوب المياه والمداخل والمخارج

يجب أن يكون منسوب سطح المياه في برك الانضاج أقل منه في البرك الاختيارية بمقدار متر واحد على الأقل وذلك بسبب فاقد الضغط loss of head وتكون قمة الجسور منخفضة بنفس القيمة .

وكما ذكر سابقاً فإن برك الانضاج الأربع ملتصقة ببعضها على التوالي ، ويمكن ترتيبهما والوصل بينهما ببساطة عن طريق مواسير أفقية تخترق الجسور تحت سطح الماء ، ويوصي بأن تتعدد المداخل والمخارج فتكون ثلاثة مثلاً لكل بركة ، ويتم تصريف السيب النهائي في نهر أو تجمع مائي خلال قناة بارشال كما هو موضح في البند ١٣–٣ والشكل ١٤ حتى يمكن قياس هذا التصرف .

### هـ - تحـــريك الاتربـــة

سيكون ترتيب البرك بالنسبة لبعضها البعض كما هو موضح في الشكل أ - ٣ ، وقد اتسع مقياس الرسم للمسقط الرأسي elevation الموضح في الجزء العلوي من الشكل حتى تظهر المناسيب بوضوح .

وحتى يسمح بسريان التصرف من المدينة إلى البركة اللاهوائية بدون رفع أي بالانحدار الطبيعي ، فقد تقرر ألا يزيد منسوب سطح المياه في هذه البرك بأكثر من مترين فوق منسوب أرض الموقع . أما التجمع المائي وهو لنهر صغير فقد كان منسوب سطح المياه فيه ٦ر٠ متراً تحت منسوب أرض الموقع ، ولم يحدث أن تعرض لفيضان من قبل .

ويلزم أن يكون منسوب سطح الماء في البرك الاختيارية منخفضاً بمقدار لا يقل عن ثلاثين سنتيمتراً عنه في البرك اللاهوائية وذلك بسبب فاقد الضغط head loss ، وكذلك يكون منسوب المياه في برك الانضاج أقل بمقدار متر واحد عن منسوب سطح البرك الاختيارية ، ويختلف منسوب قمم جسور البرك بالنسبة لبعضها بما يتمشى مع هذه الفروق . ويلزم توفير وحدات ضخ للسيب النهائي من برك الانضاج للتخلص منه في التجمع المائي المستقبل له إذا كان منسوب المخرج أعلى من منسوب سطح المياه في التجمع المائي المستقبل بأقل من متر واحد .

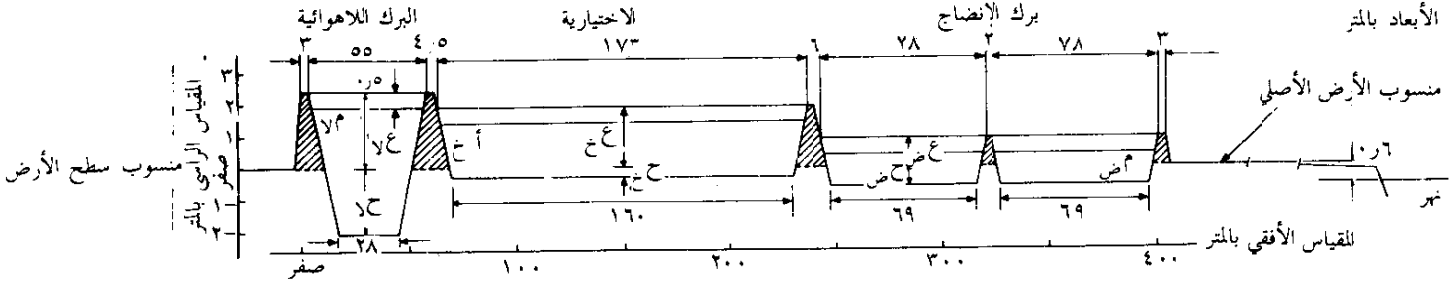
### قاعدة أقل ما يمكن من الحفر

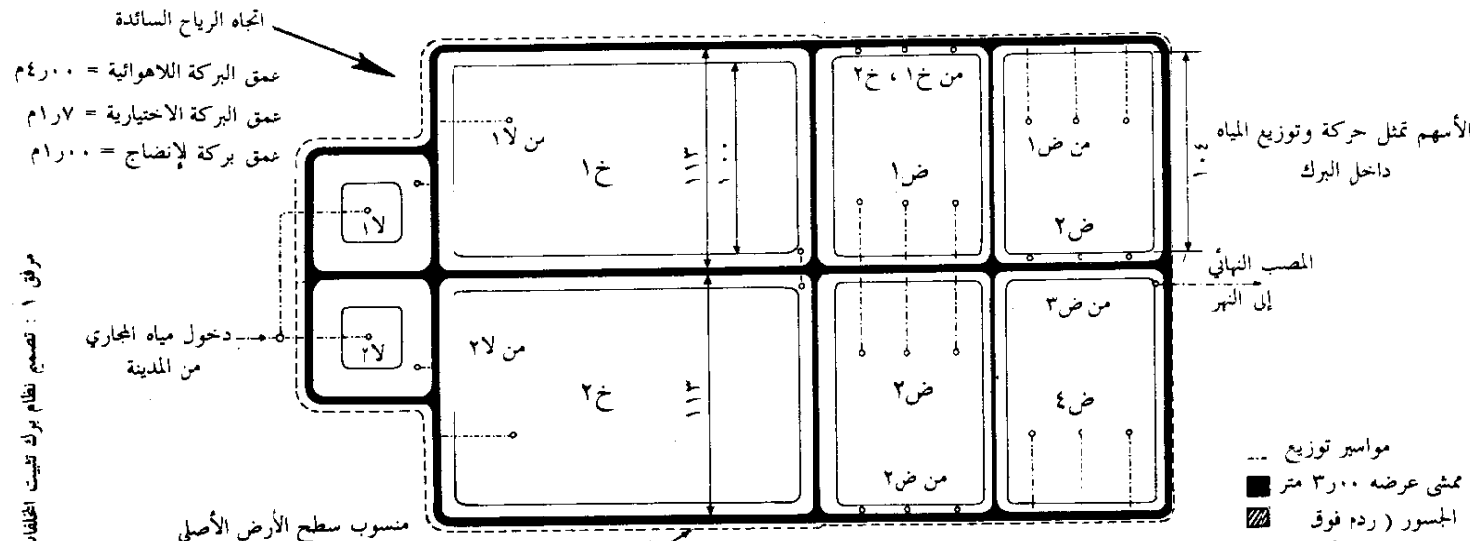
عند افتراض أن الموقع مستوى من الناحية العملية ( الميل على أي مستوى رأسي أقل من ٥ر٠٪ ) فإن أمثل الظروف الاقتصادية تتحقق عندما يتوازن الحفر والردم أي أن حجم أتربة الحفر يساوي حجم أتربة الردم بما تشمله من إضافات تستوعب في الدك . ومن الأفضل أن تتحقق عملياً زيادة الحفر قليلاً عن الردم فذلك خير من إحضار مواد للردم من خارج الموقع ، أما الأتربة الناتجة عن زيادة الحفر فيمكن التخلص منها دائماً على الجسور .

ويكاد يكون حجم الردم المأخوذ دائما من الحفر أقل بعد الدك من حجمه الأصلي ، أي أن الحجم المدكوك أقل من الحجم في مكانه الأصلي[46] ، ويفترض أن توضح الجسات soil borings التي تمت لمعرفة نوعية التربة عند الموقع المعين أن مواد التربة مناسبة لإنشاء الجسور وأن حجم العينة بعد الدك يساوي ٩٠٪ من حجمها الأصلي وبهذا يصبح :

الحجم المتاح لإنشاء الجسور = ٩٠٪ من حجم الحفر ( أ - ٢٤ )

وتتم بعض التقريبات لتسهيل الحسابات ، ويحسب الفرق في مناسيب المياه بين البرك اللاهوائية والاختيارية بمقدار نصف متر ، وبين البرك الاختيارية وبرك الانضاج بمقدار متر واحد ، أما أعماق




الشكل أ – ٣ – السقط الأفقي وقطاع رأسي لمجموعة برك التثبيت اللاهوائية والاختيارية والإنضاج
( الأبعاد كما وردت في التصميم حسب البيانات المذكورة في المرفق )

مرفق ١ : تصميم نظام برك تثبيت المخلفات السائلة

الحفر فيرمز لها بالرمز حلا أي (Cut for anaerobic ponds = $C_a$) في البرك اللاهوائية والرمز حخ أي (Cut for facultative ponds = $C_f$) في البرك الاختيارية ، والرمز حض أي (Cut for maturation ponds = $C_m$) في برك الانضاج . أما الردم لغاية قمة الجسور فيرمز له بالرمز دلا في البرك اللاهوائية والرمز دخ في البرك الاختيارية والرمز دض في برك الانضاج ، وكذلك يرمز لمنسوب سطح المياه بالرمز مملا في البرك اللاهوائية والرمز مخ في البرك الاختيارية والرمز مض في برك الانضاج .

وتكون أركان الجسور دائرية ، وتختار بنصف قطر قدره عشرة أمتار وذلك كمعيار للقمم العليا ( انظر الشكل أ – ٣ ) ، ولها معيار لتغيير معدل نصف القطر بدرجات ثابتة وذلك بالنسبة للارتفاع في كل البرك وهو تخفيض نصف القطر من عشرة أمتار إلى أربعة أمتار خلال ارتفاع قدره أربعة ونصف متر وذلك من قمة الجسر إلى القاع في البركة اللاهوائية .

وتوجد تفاصيل الحسابات في الملحق ١ ، وقد استعمل التقدير الذي تم لإيجاد التكاليف والتقييم لأعماق الحفر الآتية :

حيث حلا = $C_a$ = ١ر٢ متر
حخ = $C_f$ = ٣ر٠ متر
حض = $C_m$ = ٦ر٠ متر (أ – ٢٥)

أما ارتفاعات الجسور فوق منسوب الأرض الأصلية فسيكون كالآتي :

دلا = $f_a$ = ٤ر٢ متر
دخ = $f_f$ = ٣ر٠ متر
دض = $f_m$ = ٩ر٠ متر (أ – ٢٦)

هذا بينما ستكون مناسيب سطح الماء فوق سطح الأرض للبرك الثلاث كالآتي :

مملا = $W_a$ = ٩ر١ متر
مخ = $W_f$ = ٤ر١ متر
مض = $W_m$ = ٤ر٠ متر (أ – ٢٧)

وسيكون مجمل ناتج الحفر مساوياً لمقدار ٣٢٧٠٠ متر مكعب منها ٥٠٠٠ متر مكعب للبرك اللاهوائية ثم ٩٧٠٠ متر مكعب للبرك الاختيارية وكذلك ١٨٠٠٠ متر مكعب لبرك الانضاج . ومجمل ناتج الحفر هذا بعد دكه إلى ٩٠٪ سيصبح حوالي ٢٩٤٠٠ متر مكعب ، وبما أن الحجم المطلوب بعد دكه لإنشاء الجسور يقدر بمقدار ٢٧٥٠٠ متر مكعب فسيصبح هناك فائضاً قدره حوالي ١٩٠٠ متر مكعب ( ويجب أن يلاحظ أن هذا الفائض يسهل موازنته في مرحلة التصميم

النهائي . فمثلاً عندما يكون الحفر في البرك اللاهوائية وحدها أقل عمقاً بمقدار ٠,١ متر فسينتج تعلية في الجسور بنفس المقدار وسينخفض هذا الفائض بمقدار ١١٠٠ متر مكعب تبعاً لذلك ) .

ويجب أن يكون منسوب المياه في برك الانضاج أعلى من المنسوب الأصلي لسطح الأرض بمقدار ٠,٤٠ متراً ، وفي نفس الوقت بمقدار ١,٠ متر أعلى من منسوب سطح النهر . وبما أنه معروف عن النهر أنه لا يتعرض لفيضان فإن هذه المناسيب تسمح بتصرف السيب من البركة للنهر في معظم الظروف العادية . واحتمالات توفير الضخ للسيب إلى النهر في أسوأ الظروف لبعض أوقات السنة يعتمد على الأرصاد المتاحة عن مناسيب النهر . فإذا لم تكن هناك سجلات محفوظة للنهر فيجب إنشاء مقياس أو أكثر للنهر بأسرع مايمكن وذلك للتسجيل اليومي حتى يتحقق الحصول على كم معقول من بيانات النهر . أما إذا أمكن الاستغناء عن الضخ فهذا يقلل من التكلفة بشكل ملحوظ وكذلك يقلل من تكاليف الصيانة والطاقة .

والغرض من تقديم هذه الحسابات هو تقديم مثال للطريقة التي تمكن من سلامة تقدير أحجام برك التثبيت للمخلفات السائلة وبالتالي يمكن توفير التقدير السليم للمتطلبات من الأرض وأعمال التنفيذ اللازمة . وهذا التقدير سيمكن كبار صناع القرار في الحكومة أو الإقليم أو المحافظة أو إدارة المجتمع ممن يكونون مهتمين باختيار جهاز عملي لمعالجة المخلفات السائلة ومقارنته بطرق معالجة أخرى معقدة . وفي تقييم كهذا يمكن إثارة اشراك المجتمع حتى يتمكن من خدمة نفسه في هذا المجال وكذلك إثارة موضوع فائدة إمكانية إعادة استعمال المياه بعد معالجتها سواء كان ذلك في الزراعة أو في تربية الأسماك . ويلاحظ أن إمكانية مساهمة المجتمع في إنشاء وتشغيل برك تثبيت المخلفات السائلة أكبر بكثير من إمكانية مساهمته في مشاريع أخرى لمعالجة المخلفات .

وكيفما كان الأمر ، فيجب ملاحظة أنه لا يقصد باقتراح الترتيب المذكور لبرك تثبيت المخلفات السائلة ، والتي تمت حساباتها فيما سبق ، إلا أنها احتمال من الاحتمالات . وهناك عدد من الترتيبات المختلفة يمكن اختيارها على قدم المساواة ، وأما طريقة الحسابات فهي مماثلة .

وكذلك يمكن الاستعانة بأي معلومات إضافية عن التصميم التفصيلي من كتيبات ومراجع ذكرت فعلاً [ كالمراجع 1 ، 6 ، 7 ، 10 ] . وكذلك ننصح بالاستعانة بالمرجع الصادر عن هيئة حماية البيئة الأمريكية في تشرين الأول / أكتوبر ١٩٨٣[47] بعنوان « دليل تصميم برك تثبيت المخلفات السائلة في البلديات » "Design Manual- Municipal Wastewater Stabilization Ponds." وكذلك مرجع منظمة الصحة العالمية من مطبوعات الإقليم الأوروبي والصادر في عام ١٩٨٧[48] بعنوان : برك تثبيت المخلفات السائلة : دليل تصميمها في مناطق البحر المتوسط الأوروبية .

"Waste Stabilization Ponds: Design Manual for Mediterranean Europe"

# المراجـــع


[1] ARCEIVALA, J.S., et al. (1970): Waste Stabilization Ponds – Design, Construction and Operation in India, Central Public Health Engineering Research Institute, Nagpur, India.

[2] SILVA, S.A., MARA, D.D. (1979): Tratamentos biologicos de Aguas residuarias: lagoas de estabilizaçao (Biological wastewater treatment: stabilization ponds), ABES, Rio de Janeiro, Brazil.

[3] OSWALD, W.J. (1968): "Advances in anaerobic pond systems design", in Advances in Water Quality Improvement, Water Resources Symposium No. 1 (Gloyna, E.F., Eckenfelder, W.W., Eds), University of Texas, Austin, Texas, USA.

[4] McGARRY, M.G., PESCOD, M.B. (1970): "Stabilization pond design criteria for tropical Asia", Waste Treatment Lagoons (Proc. 2nd Int. Symp. Kansas City, Missouri, USA. 1970).

[5] ECKENFELDER Jr., W.W. (1966): Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill, New York, USA: p.211.

[6] METCALF & EDDY, Inc. (1972): Wastewater Engineering – Collection, Treatment, Disposal, McGraw-Hill, New York, USA: p.546.

[7] YANEZ, F. (1980): Evaluation of the San Juan Stabilization Ponds – Final Research Report, CEPIS/WHO/IDRC, Lima, Peru.

[8] GLOYNA, E.F. (1971): Waste Stabilization Ponds, WHO, Genvea.

[9] ZICKEFOOSE, C., HAYES, R.B.J. (1977): Operations Manual – Stabilization Ponds, Office of Water Program Operations, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

[10] WAGNER, E.G. LANOIX, J.N. (1958): Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities, Monograph Series No. 39, WHO Geneva.

[11] MARA, D.D. (1974): A note on the design of facultative sewage lagoons (Discussion), Water Res. 9: pp. 595-597.

[12] KAWAI, H., MUNIZ ROCHA M.J., LIMAS, A. (1981): "Estabelecimento do critérios de projeto de lagoas de estabilizacao" (Design criteria for stabilization ponds), 11th Brazilian Conference on Sanitary and Environmental Engineering, Fortaleza, CE, Brazil.

[13] SENRA, M.O. (1977). "Lagoas de estabilizaçao de Mairipora, Sao Paulo – resultados operacionais" (Operational results of the Mairiporan State of Sao Paulo stabilization ponds), 9th Conference of the Brazilian Association of Sanitary Engineering, Belo Horizonte, MG, Brazil.

[14] TARIQ, M.N., KHURSHID, A. (1979): "Ecology of waste stabilization ponds", Waste Stabilization Ponds – Design and Operation (WHO Seminar, Lahore, Pakistan, 1979), WHO/EMRO Techn. Publ. No.3: p.267.

[15] PERCEBON, C.M., BORIO, T.M.T., et al. (1979): "Decaimento bacteriano e remoçao de DBO em lagoas de maturaçao" (Bacterial die-away and BOD removal in maturation ponds), 10th Brazilian Conference on Sanitary Engineering, Manaus, Brazil.

[16] ELLIS, K.V. (1979): "Stabilization ponds – Effects of climate, design criteria, land requirements", Waste Stabilization Ponds – Design and Operation (WHO Seminar, Lahore, Pakistan, 1979), WHO/EMRO Techn. Publ. No.3. p.155.

[17] RAFI AHMAD, S.M. (1979): "Quality of effluent from stabilization pond reclamation and reuse of effluents", Waste Stabilization Ponds – Design and Operation (WHO Seminar, Lahore, Pakistan, 1979), WHO/EMRO Techn. Publ. No.3: p.59 (summary only).

[18] WIDMER, W.J. (1979): "Summary Review of Waste Stabilization Ponds", Waste Stabilization Ponds – Design and Operation (WHO Seminar, Lahore, Pakistan, 1979), WHO/EMRO Techn. Publ. No.3: p.73.

[19] YANEZ, F. (1982): Technical Communication No.509, CEPIS, Lima, Peru.

[20] LIN, Ping-Hua (1979): "Algae in wastewater treatment and upgrading of stabilization ponds effluent", Waste Stabilization Ponds – Design and Operation (WHO Seminar, Lahore, Pakistan, 1979), WHO/EMRO Techn. Publ. No.3: p.252.

[21] LUMBERS, J.P. (1979): "Waste stabilization ponds: design considerations and methods", J. Inst. Public Health Eng. 7 2.

[22] DINGES, R. (1978): Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture, J. Water Pollut. Control Fed. **50** 5.

[23] WANIELISTA, M.P. ECKENFELDER, W.W. (1978): "Biological nutrient removal. 8-Hyacinths", in Advances in Water and Wastewater Treatment, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, USA.

[24] CORNWELL, D.A., et al. (1977): Nutrient removal by water hyacinths, J. Water Pollut. Control Fed. **49** 1.

[25] MARAIS, G.v.R. (1974): Faecal bacterial kinetics in stabilization ponds, J. Environ. Eng. Div. ASCE **100** 119.

[26] HESS, M.L. (1979): "Stabilization pond installation and equipment", Waste Stabilization Ponds- Design and Operation (WHO Seminar, Lahore, Pakistan, 1979), WHO/EMRO Techn. Publ. No.3: p.226.

[27] SENRA, M.O. (1981): Manual de projecto de lagoas and Manual de operaçao de lagoas de estabilizaçao, CETESB, Sao Paulo, Brazil, (unpublished).

[28] ECKENFELDER Jr., W.W. (1970): Water Quality Engineering for Practising Engineers, New York, USA.

[29] BRADLEY, R.M., SENRA, M.O. (1976): Stabilization lagoons including experience in Brazil, Effl. Water Treat. J., London, UK.

[30] MARA, D.D. (1976): Sewage Treatment in Hot Climates, John Wiley, London, UK.

[31] FISCHER, C.P., DRYNAN, W.L., VAN FLEET, G.L. (1968): "Waste stabilization pond practices in Canada", in Advances in Water Quality Improvement, Water Resources Symposium No.1, (GLOYNA, E.F., ECKENFELDER, W.W., Eds), University of Texas, Austin, Texas, USA.

[32] ARCEIVALA, J.S. (1973): "Simple waste treatment methods: aerated lagoons, oxidation ditches, stabilization ponds in warm and temperate climates", Ankara, Turkey.

[33] VINCENT, J.L., MARAIS, G.v.R. (1963): "A system of sanitation for low-cost high-density housing", in Hygiene and Sanitation in Relation to Housing (Proc. Symp. Niamey, Niger, 1961).

[34] OSWALD, W.J., GOTAAS, H.B. (1955): Photosynthesis in sewage treatment. J. Sanit. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1 26.

[35] WEHNER, J.F., WILHELM, R.H. (1956): Chem. Eng. Sci. 6 89.

[36] GLOYNA, E.F. (1976): "Waste stabilization pond design", in Ponds as a Wastewater Treatment Alternative, Water Resources Symposium No.9, University of Texas, Austin, Texas, USA.

[37] MARAIS, G.v.R., SHAW, V.A. (1961): A rational theory for design and sewage stabilization ponds in Central and South Africa, Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 3 205.

[38] MARA, D.D. (1975): Design Manual for Sewage Lagoons in the tropics, East African Literature Bureau, Kenya.

[39] ARTHUR, J.P. (1983): Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries, World Bank Technical Paper No.6, IBRD, Washington, DC.

[40] FINNEY, B.A., MIDDLEBROOKS, E.J. (1980): Facultative waste stabilization pond design, J. Water Pollut. Control Fed. **52** 1: pp. 134-147.

[41] THIRUMURTHIC, Div., (1969): Design principles of waste stabilization ponds, J. Sanit. Eng. DIV., Proc. Am. Soc. Civ. Eng. **95**: pp. 311-330.

[42] MARAIS, G.V.R. (1966). New factors in the design, operation and performance of waste stabilization ponds, Bull. World Health Organ. **34**: pp. 737-763.

[43] WRIGHT, J.J. et al. (1979): Studies on the efficiency of polishing ponds in New South Wales, Progress in Water Technology **11** 4/5.

[44] SLANETZ, L.W. et al. (1970): "Survival of enteritic bacteria and viruses in municipal sewage lagoons", Waste Treatment Lagoons, (Proc. 2nd Int. Symp. Kansas City, Missouri, USA, 1970).

[45] POLPRASERT, C., DISSANAYAKE, M.G., THANH, N.C. (1983): Bacterial die-off kinetics in waste stabilization ponds, J. Water Pollut. Control Fed. **55** 3.

[46] KRYNINE, D.P., JUDD, W.R. (1957): Principles of Engineering Geology and Geotechnics – Geology, Soil and Rock Mechanics, and Other Earth Sciences as Used in Civil Engineering, McGraw-Hill, New York, and Kogakusha, Tokyo, p. 598.

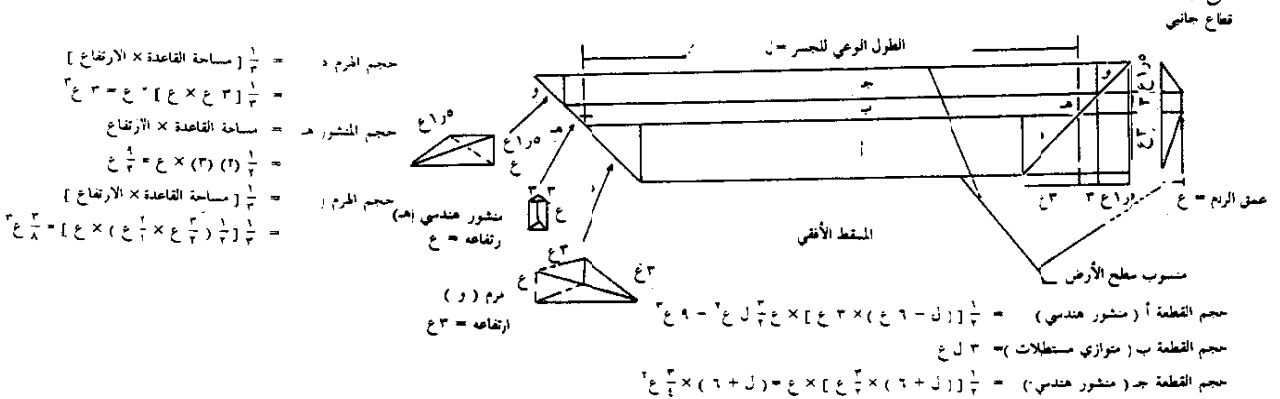
[47] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: (1983) Design Manual – Municipal Wastewater Stabilization Ponds, USEPA document EPA-625/1-83-015.

[48] WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE (1987): Waste Stabilization Ponds: Design Manual for Mediterranean Europe, WHO-EURO document ICP/CWS 053.

# الملحـــق ١

## حســاب أحجــام الحفر والردم

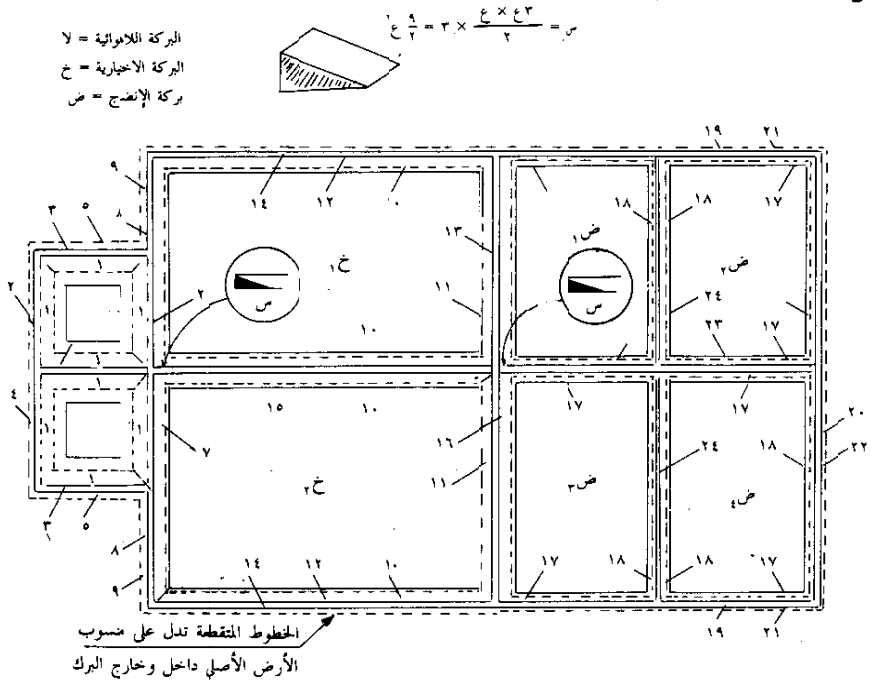
يوضح المثال التلي منهجاً لطريقة حساب أعماق الحفر وارتفاعات الردم . وقد وردت النتائج النهائية لأقرب رقمين عشريين وذلك بعد مراعاة الدقة المطلوبة . ويجرى هذا حتى مع استعمال أبسط الآلات الحاسبة وبمنتهى الأمان وبساطة التسلسل وذلك إلى عدد معين من الأرقام العشرية ثم يتم تقريبها في الحسابات النهائية مما يسهل التأكد من صحة الحسابات المتتالية . إضافة إلى ذلك يمكن للقارىء تتبع الحسابات تفصيلياً بالنسبة لهذه الحالة التي تمت دراستها وذلك قبل الشروع في إجراء حساباته لحالات غيرها حتى تناسب نتائجها الظروف والمتطلبات المحلية . أما موضوع الدقة فسيناقش في نهاية هذا الملحق .




الشكل أ – ٤ – تفصيل الجسر إلى مكوناته المنشورية والهرمية يعبر عنه أحجامها بدلالة ارتفاع الردم ( ع )

ويظهر كل من المسقط الأفقي والمسقط الرأسي في الشكل أ–٣ ، ويمكن اعتبار الجسور مكونة من مجموعة من المشورات القائمة ذات القاعدة المثلثة أو المستطيلة ، وارتفاعها هو ارتفاع الردم . أما الميول الداخلية فهي ١ : ٣ والخارجية هي ١ : ١ر٥ . وعند التعامل مع الأركان التي تتلا

فيها الجسور وهي على ٥٤° فستتولد أجسام على هيئة إما منشورات قائمة مثلثة القاعد أو على هيئة أشكال هرمية مثلثة أو مستطيلة القاعدة ، وتوضح تفاصيل هذه الجسور في الشكل أ – ٤ حيث تظهر المنشورات الأساسية ( أ ) و ( ب ) و ( ج ) ، وكذلك الأجسام المتولدة عن الأركان وهي ( د ) و ( هـ ) و ( و ) وستوضح الأحجام الخاصة بكل من هذه الأجسام جميعها ، وسيكون الطول المميز للجسور هو الطول الداخلي للبركة عند قمة الجسر حسب ما يتم حسابه لكل بركة ( انظر الشكل أ – ٣ ) .




الشكل أ – ٥ – مسقط أفقي موضحاً به مجموعة البرك كما ظهرت في الشكل أ – ٣ – وتظهر الجسور مقسمة إلى ٢٤ قطعة موضحاً تفاصيلها في الشكل أ – ٤ – وتتكرر بعض القطع لبضعة مرات

ويوضح الشكل أ – ٥ مسقطاً أفقياً لمجموعة البرك حيث تظهر فيه الجسور مقسمة إلى أربعة وعشرين عنصراً حسب ما هو مرنم ويلاحظ أن معظم الأرقام مكرر عدة مرات . ونوضح الجداول أ – ٢ و أ – ٤ و أ – ٥ مجموع كل من هذه العناصر لكل مجموعة من البرك . وقد اشتقت تشكيلات هذه العناصر من الشكل أ – ٤ . ويرمز الحرف الذي يلي الحرف ( ع ) وهو رمز ارتفاع الردم أي الحرف ( لا ) والحرف ( خ ) والحرف ( ض ) إلى البرك اللاهوائية والاختيارية والانضاج على لتوالي .

الجدول أ – ٣ حسابات ردم الجسور في البرك اللاهوائية

| رقم القطعة | العدد | التكوين الهندسي | الطول النوعي | حساب حجم القطعة | الحجم الكلي | ترتيب الحجم طبقاً للمعامل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $ع_{لا}$ | $ع^{٢}_{لا}$ | $ع^{٣}_{لا}$ |
| ١ | ٨ | أ + ٢ د | ٥٥ | $(٥٥ \times \frac{٣}{٢}) ع^{٢} - ٩ ع^{٣} + ٦ ع^{٣}$ | ٨ ( ٨٢ر٥ $ع^{٢}$ – ٣ $ع^{٣}$ ) | – | ٦٦٠ | – ٢٤ |
| ٢ | ٢ | ب + ٢ هـ | ١١٣ | $(١١٣ \times ٣) ع + ٩ ع$ | ٢ ( ٣٤٨ ) ع | ٦٩٦ | | |
| ٣ | ٢ | ب + ٢ هـ | ٥٥ | $(٥٥ \times ع) ع + ٩ ع$ | ٢ ( ١٧٤ ع ) | ٣٤٨ | | |
| ٤ | ١ | حـ + ٢ و | ١١٣ | $[(١١٢ + ٦) \times \frac{٣}{٤}] ع^{٢} + \frac{٣}{٤} ع^{٣}$ | ١ ( ٨٩ر٢٥ $ع^{٢}$ + ٧٥ر $ع^{٣}$ ) | | ٨٩ر٢٥ | ٧٥ر– |
| ٥ | ٢ | حـ + ( و – و ) | ٥٥* | $[(٥٥ + ٣) \times \frac{١}{١}] ع^{٢}$ | ٢ ( ٤٣ر٥ $ع^{٢}$ ) | | ٨٧ | |
| ٦ | ١ | ب | ٥٥ | $(٥٥ \times ٣) ع$ | ١ ( ١٦٥ ع ) | ١٦٥ | | |
| ٧ | ١ | أ + ٢ د | ٢٢٩ | $(٢٢٩ \times \frac{٣}{٢}) ع^{٢} - ٩ ع^{٣} + ٦ ع^{٣}$ | ١ ( ٣٤٣ر٥ $ع^{٢}$ – ٣ $ع^{٣}$ ) | | ٣٤٣ر٥٠ | – ٣ |
| ٨ | ٢ | ب + هـ | ٥٥ | $(٥٥ \times ٣) ع + \frac{٥}{٢} ع$ | ٢ ( ١٦٩ر٥ ع ) | ٣٣٩ | | |
| ٩ | ٢ | حـ + ( و – و ) | ٥٥* | $[(٥٥ + ٣) \times \frac{١}{١}] ع^{٢}$ | ٢ ( ٤٣ر٥ $ع^{٢}$ ) | | ٨٧ | |
| | | إجمالي الحجم لعدد ٢ بركة لا هوائية | | | ١٥٤٨ $ع_{لا}$ | | + ١٢٦٦ر٧٥ $ع^{٢}_{لا}$ | – ٢٦ر٢٥ $ع^{٣}_{لا}$ |

* تم إضافة ٣ متر فقط ( وليس ٦ متر ) إلى لطول النوعي للجزء بين القسم اللاهوائي والقسم الاختياري حسب ماهو موضح في الشكل أ – ٥

## الجدول أ – ٤ – حسابات ردم الجسور في البرك الاختيارية

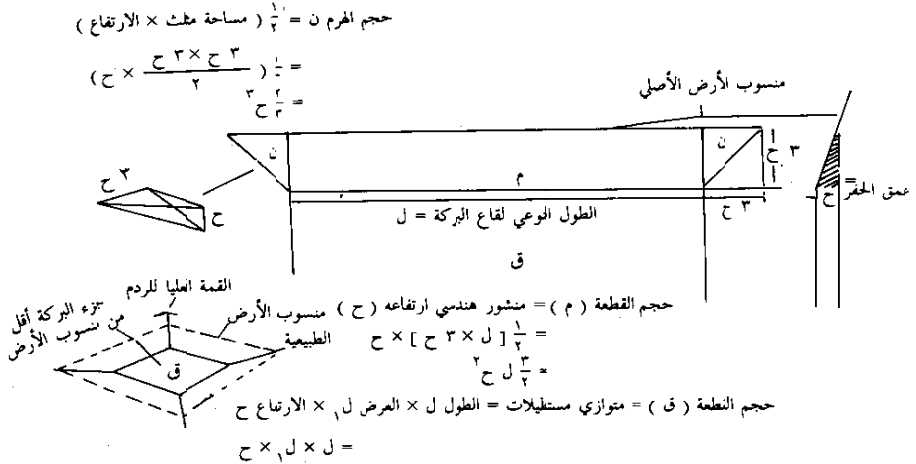
| رقم القطعة | العدد | التكوين الهندسي | الطول النوعي | حساب حجم القطعة | الحجم الكلي | للمعامل | | لقيب الحجم طبقاً | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $ع_ح$ | $ع_ح^2$ | | $ع_ح^3$ |
| ١٠ | ٤ | أ + ٢ د | ١١٣ | $(\frac{\pi}{4} \times ١٧٣) ع^2 - ١ ع^2 + ٦ ع^3$ | ٤ ( ٢٥٩ر٥ $ع^2 - ٣ ع^3$ ) | | ١٠٣٨ | | – ١٣ |
| ١١ | ٢ | أ + ٢ د | ١١٣ | $(\frac{\pi}{4} \times ١١٣) ع^2 - ٩ ع^2 + ٦ ع^3$ | ٢ ( ١٦٩ر٥ $ع^2 - ٣ ع^3$ ) | | ٣٣٩ | | – ٦ |
| ١٢ | ٢ | ب + ٢ هـ | ١١٣ | $(١٧٣ \times ٣) ع + ٩ ع$ | ٢ ( ٥٢٨ ع ) | ١٠٥٦ | | | |
| ١٣ | ١ | ب + ٢ هـ | ٢٢٩ | $(٢٢٩ \times ٣) ع + ٩ ع$ | ١ ( ٦٩٦ ع ) | ٦٩٦ | | | |
| ١٤ | ٢ | حـ + ٢ و | ١١٣ | $[(١١٣ + ٦) \frac{\pi}{4}] ع^2 + \frac{\pi}{4} ع^3$ | ٢ ( ١٣٤ر٢٥ $ع^2 + ٧٥ر ع^3$ ) | | ٢٦٨ر٥ | | ١ر٥٠ |
| ١٥ | ١ | ب – ن | ١١٣ | $(١٧٣ \times ٣) ع - \frac{٩}{٢} ع^2$ | ١ ( ٥١٩ ع – ٤ر٥ $ع^2$ ) | ٥١٩ | – ٤ر٥٠ | | |
| ١٦ | ١ | أ + ٢ د | ٢٢٩ | $٢٢٩ \times \frac{\pi}{4} ع^2 - ٩ ع^2 + ٦ ع^3$ | ١ ( ٣٤٣ر٥ $ع^2 - ٣ ع^3$ ) | | ٣٤٣ر٥ | | – ٣ |
| | | | | | | | | | |
| | | | | إجمالي الحجم لعدد ٢ بركة اختيارية | | ٢٢٧١ $ع_ح$ | + ١٩٨٤ر٥ $ع_ح^2$ | | – ١٩ر٥ $ع_ح^3$ |

## الجدول أ – ٥ – حسابات ردم الجسور في برك الانضاج

| رقم القطعة | العدد | التكوين الهندسي | الطول النوعي | حساب حجم القطعة | الحجم الكلي | لقيب الحجم طبقاً لمعامل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $ع_{ن}$ | $ع_{ن}^2$ | $ع_{ن}^3$ |
| ١٧ | ٨ | أ + ٢ د | ٢٨ | $(\frac{\pi}{4} \times ٧٨) ع^2 - ٩ ع^2 + ٦ ع^3$ | ٨ [ ١١٧ $ع^2 - ٣ ع^3$ ] | | ٩٣٦ | – ٢٤ |
| ١٨ | ٦ | أ + ٢ د | ١٠٣ | $(\frac{\pi}{4} \times ١١٣) ع^2 - ٩ ع^2 + ٦ ع^3$ | ٦ [ ١٦٩ر٥ $ع^2 - ٣ ع^3$ ] | | ١٠١٧ | – ١٨ |
| ١٩ | ٢ | ب + ٠ ن | ١٠٩ | $(١٥٩ \times ٣) ع + \frac{٩}{٢} ع$ | ٢ [ ٤٨١ر٥ ] ع | ٩٦٣ | | |
| ٢٠ | ١ | ب + ١ هـ | ٢٠٩ | $(٢٢٩ \times ٣) ع + ٩ ع$ | ١ [ ٦٩٦ ] ع | ٦٩٦ | | |
| ٢١ | ٢ | حـ + ١ و | ١٠٩* | $[(١٥٩ + ٣) \times \frac{\pi}{4}] ع^2 + \frac{٣}{٨} ع^3$ | ٢ [ ١٢١ر٥ $ع^2 + ٣٧٥ر٠ ع^3$ ] | | ٢٤٣ | ٠ر٧٥ |
| ٢٢ | ١ | حـ + ١ و | ٢٠٩ | $[(٢٢٩ + ٦) \times \frac{\pi}{4}] ع^2 + \frac{\pi}{4} ع^3$ | ١ [ ١٧٦ر٢٥ $ع^2 + ٧٥ر٠ ع^3$ ] | | ١٧٦ر٢٥ | ٠ر٧٥ |
| ٢٣ | ١ | ب – ن | ١٠٩ | $(١٥٩ \times ٣) ع - \frac{٩}{٢} ع^2$ | ١ [ ٤٧٧ ع – ٤ر١ $ع^2$ ] | ٤٧٧ | – ٤ر٥٠ | |
| ٢٤ | ٢ | ب | ١٠٣ | $١١٣ \times ٣ ع$ | ٢ [ ٣٣٩ ع ] | ٦٧٨ | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | إجمالي الحجم لعدد ٤ برك أنضاج | | ٢٨١٤ $ع_{ن}$ + | ٢٣٦٧ر٧٥ $ع_{ن}^2$ | – ٤٠ر٢٥ $ع_{ن}^3$ |

* تم إضافة إحدى الجانبين تحت رقم ١٤ وعليه يجب إضافة ٣ متر فقط إلى الطول النوعي وليس ٦ متر .

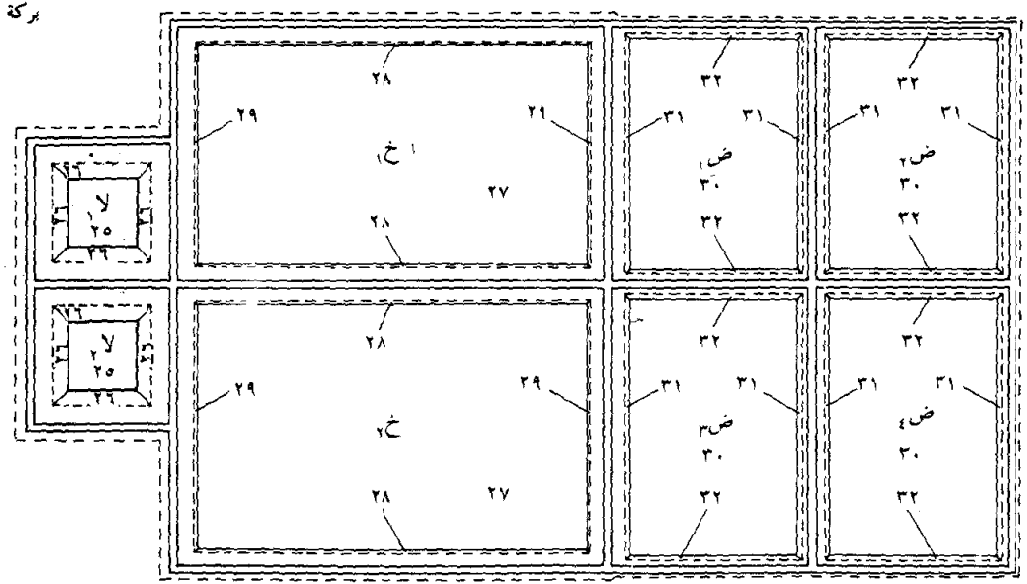
ويعتبر الجسر الواقع بين البرك اللاهوائية والبرك الاختيارية منتمياً للبرك الملاهوائية حيث أن ارتفاعه هو ( ع$_{لا}$ ) ، وكذلك الجسر بين البرك الاختيارية وبرك الانضاج منتمياً للبرك الاختيارية حيث أن ارتفاعه هو ( ع$_{خ}$ ) . ويمكن التجاوز أو السماح بقدر بسيط وذلك للعناصر المرمز لها بالرمز ( س$_{خ}$ ) والرمز ( س$_{ض}$ ) على التوالي كالعناصر الموضحة تحت رقم ١٥ ورقم ٢٣ ، وكذلك يراعى أن هناك مجالاً للتجاوز نتج عن استدارة أركان البرك وسيتم تفصيلها فيما بعد .




الشكل أ – ٦ – تفاصيل أحجام الحفر إلى عناصرها المكونة وتشمل حجم صندوق ( ق ) قاعدته قاع البركة المربع أو المستطيل ( ل × ل ) أو ( ل × ل$_{١}$ ) وارتفاعه قيمة الحفر ( ح ) ثم حجم المنشور ( م ) والهرم ( ن ) بدلالة ارتفاع الحفر ( ح )

ويوضح الشكل أ – ٦ شكل الصندوق والمنشور والعناصر الطرفية المستعملة لحساب أحجام الحفر ، بينما يوضح لشكل أ – ٧ مسقطاً أفقياً لمجموعة البرك موضحاً عليها أرقام العناصر من ٢٥ إلى ٣٢ اللازمة لوصف الأحجام بالنسبة لأعماق الحفر . ويكون الطول المميز في هذه الحالة هو طول الضلع عند قاع البركة حسب ما تسفر عنه الحسابات لكل بركة ( انظر الشكل أ – ٢ ) . وتوضح الجداول أ – ٦ و أ – ٧ و أ – ٨ مجموعة هذه العناصر .

البركة اللاهوائية = لا
البركة الاختيارية = خ
بركة الإنضاج = ض




يوضح الخط المتقطع منسوب الأرض الأصلية داخل وخارج البرك

الشكل أ – ٧ – مسقط أفقي موضحاً به مجموعة البرك كما ظهرت في الشكل أ – ٣ ويوضح أحجام الحفر مقسمة إلى ثمانية عناصر من رقم ٢٥ إلى رقم ٣٢ وتظهر بعض العناصر مكررة لأكثر من مرة

الجدول أ – ٦ – حساب كميات الحفر في البرك اللاهوائية

| رقم القطعة | العدد | التكوين الهندسي | الطول النوعي | حساب حجم القطعة | الحجم الكلي | ترتيب الحجم طبقاً للمعامل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $ح_{لا}$ | $ح^{٢}_{لا}$ | $ح^{٣}_{لا}$ |
| ٢٥ | ٢ | ق ( $ل_{١}$ = $ل_{٢}$ ) | ٢٨ | $( ٢٨ )^{٢}$ ح | ٢ ( ٧٨٤ ) ح | ١٥٦٨ | – | – |
| ٢٦ | ٨ | م + ٢ ن | ٢٨ | $( ٢٨ \times \frac{٢}{٠} ) ح^{٢} + ٣ ح^{٣}$ | ٨ ( ٤٢ $ح^{٢}$ + ٣ $ح^{٣}$ ) | | ٣٣٦ | ٢٤ |
| إجمالي حجم الحفريات لعدد ٢ بركة لا هوائية | | | | | | ١٥٦٨ $ح_{لا}$ | + ٣٣٦ $ح^{٢}_{لا}$ | + ٢٤ $ح^{٣}_{لا}$ |

الجدول أ – ٧– حساب كميات الحفر في البرك الاختيارية

| رقم القطعة | العدد | التكوين الهندسي | الطول النوعي | حساب حجم القطعة | الحجم الكلي | ترتيب الحجم طبقاً للمعامل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $ح_{خ}$ | $ح^{٢}_{خ}$ | $ح^{٣}_{خ}$ |
| | | $ل_{٠}$ = ١٦٠ | ١٦٠ | | | $ح_{خ}$ | $ح^{٢}_{خ}$ | $ح^{٣}_{خ}$ |
| ٢٧ | ٢ | ق | | ( ١٦٠ × ١٠٠ ) ح | ٢ ( ١٦٠٠٠ ح ) | ٣٢٠٠٠ | | |
| | | $ل_{٠}$ = ١٠٠ | ١٠٠ | | | | | |
| ١٨ | ٤ | م + ٢ ن | ١٦٠ | $( ١٦٠ \times \frac{٣}{٢} ) ح^{٢} + ٣ ح^{٣}$ | ٤ ( ٢٤٠ $ح^{٢}$ + ٣ $ح^{٣}$ ) | | ٩٦٠ | ١٢ |
| ١٩ | ٤ | م + ٢ ن | ١٠٠ | $( ١٠٠ \times \frac{٣}{٢} ) ح^{٢} + ٣ ح^{٣}$ | ٤ ( ١٥٠ $ح^{٢}$ + ٣ $ح^{٣}$ ) | | ٦٠٠ | ١٢ |
| إجمالي حجم الحفريات لعدد ٢ بركة اختيارية | | | | | | ٣٢٠٠٠ $ح_{خ}$ | + ١٥٦٠ $ح^{٢}_{خ}$ | + ٢٤ $ح^{٣}_{خ}$ |

## الجدول أ – ٨- حساب كميات الحفر في بركة الأنضـــاج

| رقم القطعة | العدد | التكوين الهندسي | الطول النوعي | حساب حجم القطعة | الحجم الكلي | ترتيب الحجم طبقاً للمعامل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ل١ = ١٠٤ | ١٠٤ | | | ح ص | ح٢ ص | ح٣ ص |
| ٣٠ | ٤ | ق | | ( ١٠٤ × ٦٩ ) ح | ٤ ( ٧١٧٦ ح ) | ٢٨٧٠٤ | | |
| | | ل٢ = ٦٩ | ٦٩ | | | | | |
| ٣١ | ٨ | م + ٢ ن | ١٠٤ | ( ١٠٤ × $\frac{٣}{٢}$ ) ح٢ + ٣ ح٣ | ٨ ( ١٥٦ ح٢ + ٣ ح٣ ) | | ١٢٤٨ | ٢٤ |
| ٣٢ | ٨ | م + ٢ ن | ٦٩ | ( ٦٩ × $\frac{٣}{٢}$ ) ح٢ + ٣ ح٣ | ٨ ( ١٠٣٫٥ ح٢ + ٣ ح٣ ) | | ٨٢٨ | ٢٤ |
| إجمالي حجم الحفريات لعدد ٤ بركة أنضـــاج | | | | | | ٢٨٧٠٤ ح ص | + ٢٠٧٦ ح٢ ص | + ٤٨ ح٣ ص |

## الجدول أ – ٩ – تحويلات كل كميات الحفر بدلالة ح١

| نوع البركة | الحد | العامل | القيمة بدلالة ح١ | تركيب الكميات طبقاً للمعامل ح١ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ح١ صفر | ح١ | ح١٢ | ح١٣ |
| البرك اللاهوائية | ح١ | - | | | ١٥٦٨ | ٣٣٦ | ١٤ |
| البرك الاختيارية | ح ح | ٣٢٠٠٠ | ( ١٫٨ + ح١ ) | – ٥٧٦٠٠٠ | + ٣٢٠٠٠ | | |
| | ح٢ ح | ١٦٥٠ | ( ٣٫٣٤ – ٣٫٦ ح١ + ح١٢ ) | ٥٠٥٤٫٤ | – ٥٦١٦ | + ١٠٦٠ | |
| | ح٣ ح | ٢٤ | – ٥٫٨٣٢ + ٩٫٧٢ ح١ – ٤٫٥ ح١٢ + ح١٣ | – ١٣٩٫٩٧ | + ٢٣٣٫٢٨ | – ١٢٩٫٦٠ | ١٤ |
| | ح ص | ٢٨٧٠٤ | ( ١٫٥ + ح١ ) | – ٦٥٠٥٦ | + ٢٨٧٠٤ | | |
| برك الأنضـــاج | ح٢ ص | ٢٠٧١ | ( ٢٫٢٥ – ٣ ح١ + ح١٢ ) | + ٤٦٧١ | – ٦٢٢٨ | + ٢٦٧ | |
| | ح٣ ص | ٤٨ | ( – ٣٫٣٧٥ + ٦٫٧٥ ح١ – ٤٫٥ ح١٢ + ح١٣ ) | – ١٦٢ | + ٣٢٤ | – ١٦٠ | + ٤٨ |
| إجمالي حجوم الحفر ( ح ح ) بدلالة ح١ لجميع البرك | | | | – ٩١٢٣٢٫٥٧ | + ٥٠٩٨٥٫٢٨ ح١ | + ٣٦٢٦٫٤٠ ح١٢ | + ٩٦٫٠ ح١٣ |
| إجمالي الحفر بعد دمكه ( نتيجة الضاغط ) = ( ٠٫٩ ح ح ) | | | | – ٨٢١٠٩٫٣١ | + ٤٥٨٨٦٫٧٥ ح١ | + ٣٢٦٣٫٧٦ ح١٢ | + ٨٦٫٤٠ ح١٣ |

ويوضح البند ( هـ ) في المرفق ١ أن الفرق في منسوب سطح المياه بين البرك اللاهوائية والبرك الاختيارية يساوي نصف متر ، وبين البرك الاختيارية وبرك الانضاج يساوي متراً واحداً . وبما أن ارتفاعات الجسور في كل من البرك ستكون مختلفة بنفس الفروق بينما يكون الشريط الجاف فوق سطح المياه free board قيمته نصف متر ، ثم أن الأعماق المختلفة معروفة ، فإن العلاقات الآتية يمكن وصفها حيث يرمز لها بالرموز التالية نظير كل ما تعنيه .

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ع | = ارتفاع الردم | ح | = عمق الحفر | م | = منسوب سطح الميه |
| علا | = ارتفاع الردم في البرك اللاهوائية | حلا | = عمق الحفر في البرك اللاهوائية | ملا | = منسوب سطح الميه في البرك اللاهوائية |
| عخ | = ارتفاع الردم في البرك الاختيارية | حخ | = عمق الحفر في البرك الاختيارية | مخ | = منسوب سطح الميه في البرك الاختيارية |
| عض | = ارتفاع الردم في برك الانضاج | حض | = عمق الحفر في برك الانضاج | مض | = منسوب سطح الميه في برك الانضاج |

والعلاقات المقصودة هي :

$$\begin{array}{lll} ع_{لا} = ٤٫٥ - ح_{لا} & ع_{خ} = ٢٫٢ - ح_{خ} & ع_{ض} = ١٫٥ - ح_{ض} \\ م_{لا} = ع_{لا} - ٠٫٥ & م_{خ} = ع_{خ} - ٠٫٥ & م_{ض} = ع_{ض} - ٠٫٥ \\ ع_{لا} = ع_{لا} - ٠٫٥ & ع_{ض} = ع_{خ} - ١٫٠ & \end{array} \qquad (أ - ٢٨)$$

وبما أن كل الرموز يمكن كتابتها بدلالة الرمز ( حلا ) حتى يمكن اختصار الحسابات إلى متغير واحد بدلاً من تعدد الحدود .

فستصبح العلاقات كالآتي :

$$\begin{array}{ll} ح_{لا} = \text{الحفر في البرك اللاهوائية} & \\ ح_{خ} = ح_{لا} - ١٫٨ & \\ ح_{م} = ح_{لا} - ١٫٥ & \\ ع_{لا} = ٤٫٥ - ح_{لا} & \\ ع_{خ} = ٤٫٠ - ح_{لا} & \\ ع_{م} = ٣٫٠ - ح_{لا} & \end{array}$$

## الجدول أ – ١٠ – تحويلات كل كميات الردم بدلالة ح١

| نوع لبركة | الحد | المعامل | القيمة بدلالة ح١ | تركيب الكميات طبقاً للمعامل ح١ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ح١^صفر | ح١^١ | ح١^٢ | ح١^٣ |
| البرك للاهوائية | ع١ | ١٥٤٨ | ٤٫٥ – ح١ | ٩٩٦٦ | – ١٥٤٨ | | |
| | ع١^٢ | ٢٩٦٫٧٥ | ٢٠٫٢٥ – ٩ ح١ + ح١^٢ | ٥٦٥١٫٦٩ | – ١١٤٠٫٧٥ | + ١٢٦٦٫٧٠ | |
| | ع١^٣ | ٢٦٫٢٥ – | ٩١٫١٢٥ – ٦٠٫٧٥ ح١ + ١٣٫٥ ح١^٢ – ح١^٣ | ٣٣٩٢٫٠٣ – | + ١٥٩١٫٦٩ | – ٣٥٤٫٣٨ | + ٢٦٫٢٥ |
| البرك لانتقائية | ع ح | ٢٢٧١ | ٤ – ح١ | ٩٠٨٤ | – ٢٢٧١ | | |
| | ع١^٢ ح | ٩٨٤٫٥٠ | ١٦ – ٨ ع ح + ح١^٢ | ٣١٧٥٢ + | – ١٥٨٧٦ | + ١٩٨٤٫٥ | |
| | ع ح^٣ | ١٩٫٥٠ – | ٦٤ – ٤٨ ح١ + ١٢ ح١^٢ – ح١^٣ | ١٢٤٨ – | ٩٣٦ | – ٢٣١ | + ١٩٫٥٠ |
| برك الاصباغ | ع مر | ٢٨١٤ | ٣ – ح١ | ٨٤٤٢ | – ٢٨١٤ | | |
| | ع١^٢ | ٣٦٧٫٧٥ | ٩ – ٦ ع مر + ح١^٢ | ١٣٠٩٫٧٥ | ١٤٣٠٫٥٠ – | ٢٣٦٧٫٧٥ | |
| | ع١^٣ مر | ٤٠٫٥٠ – | ٢٧ – ٢٧ ح١ + ٩ ح١^٢ – ح١^٣ | ١٠٩٣٫٥ – | + ١٠٩٢٫٥٠ | – ٣٦٤٫٥٠ | + ٤٠٫٥٠ |
| أحجام الحسور بدلالة ح١ لكل البرك | | | | ١٨٤٧١٫٩١ | – ٤٤٤٩١٫٠٦ ح١ | + ٤٦٦٦٫١٢ ح١^٢ | + ٨٦٫٢٥ ح١^٣ |
| * إجمالي الردم بعد السمح في الأركان | | | | ١١٠٠٫٠٠ | | | |
| ( ح ع ) إجمالي حجوم الردم الكلي للحسور بما فيها الأركان | | | | ١٩٥٧١٫٩١ | – ٤٤٤٩٢٫٠٦ ح١ | + ٤٦٦٦٫١٣ ح١^٢ | + ٨٦٫٢٥ ح١^٣ |

وتتضح تلك العلاقات في الجداول أ – ٩ و أ – ١٠ وفيهما تم التعويض عن إجمالي الردم حسب ماظهر في الجداول من أ – ٣ إلى أ – ٨ بعد تعديلها بدلالة الرمز ح١ .

وحتى يكون الحفر أقل ما يمكن فإن حجم الردم بعد دكه وحجم الحفر يلزم أن يكونا متساويين .

$$\therefore\ ٩٩٥٧١٫٩١ - ٤٤٤٩٢٫٠٦\ ح_{١} + ٤٦٦٦٫١٢\ ح_{١}^{٢} + ٨٦٫٢٥\ ح_{١}^{٣} =$$

$$= -٨٢١٠٩٫٣١ + ٤٥٨٨٦٫٧٥\ ح_{١} - ٣٢٦٣٫٧٦\ ح_{١}^{٢} + ٨٦٫٤٠\ ح_{١}^{٣} \qquad (أ - ٢٩)$$

وبالجمع الجبري

$$\therefore\ ١٨١٦٨٫٢٢ - ٩٠٣٧٨٫٨١\ ح_{١} + ١٤٠٢٫٢٧\ ح_{١}^{٢} - ١٥٫٠\ ح_{١}^{٣} = \text{صفر} \qquad (أ - ٢٩')$$

وبالقسمة على معامل $ح_{١}^{٢}$

$$\therefore ٥٥ر١٢٩ - ٤٥ر٦٤ ح_{١} + ح_{١}^{١} - ٠ر٠٠٠١ ح_{١}^{٣} = صفر \qquad (أ - ٢٩'')$$

الجدول أ – ١١ – حساب كميات الحفر والردم لمختلف قيم $ح_{١}$ من الجدولين أ – ٩ و أ – ١٠

| $ح_{١}$ (المفروضة) متر مكعب | كمية الحفر جدول (أ – ٩) متر مكعب | حساب أحجام الحفر بعد الدك = ٠ر٩ ج ج متر مكعب | حجوم الجسور ج ج (الردم) جدول (أ – ١٠) متر مكعب | الفرق [٠ر٩ ج ج – ج ج] |
|---|---|---|---|---|
| ٢ر٠٠ | ٢٦ ٠٠٠ | ٢٣ ٤٠٠ | ٢٩ ٩٠٠ | ٦٥٠٠ |
| ٢ر٠٨ | ٣١ ٢٠٠ | ٢٨ ١٠٠ | ٢٨ ١٠٠ | صفر |
| ٢ر٠ | ٣٢ ٧٠٠ | ٢٩ ٤٠٠ | ٢٧ ٥٠٠ | ١٩٠٠ |
| ٢ر٢٠ | ٣٩ ٥٠٠ | ٣٥ ٦٠٠ | ٢٥ ٢٠٠ | ١٠٤٠٠ |
| ٢ر٣٠ | ٤٦ ٤٠٠ | ٤١ ٨٠٠ | ٢٣ ٠٠٠ | ١٨٨٠٠ |
| ٢ر٧٠ | ٧٤ ٨٠٠ | ٦٧ ٣٠٠ | ١٥ ٢٠٠ | ٥٢١٠٠ |

ويلاحظ أن الحد $ح_{١}^{٣}$ يمكن إهماله وبهذا يمكن حل المعادلة ( أ – ٢٩ ) بعد أن أصبحت معادلة من الدرجة الثانية في $ح_{١}$ على شكل

$$أ س^{٢} + ن س + ح = صفر \qquad \text{حيث}$$

$$س = (ح_{١}) = \frac{-ب \pm \sqrt{ب^{٢} - ٤ أ ح}}{٢ أ} \qquad (أ - ٣٠)$$

وفي هذه الحالة تكون أ = ١

وتكون ب = – ٤٥ر٦٤ وتكون حـ = ٥٥ر١٢٩

$$\therefore ح_{١} = \frac{٤٥ر٦٤ \pm \sqrt{(٤٥ر٦٤)^{٢} - ٢ر٥١٨}}{٢}$$

ح$_{لا}$ = ٦٢ر٣٨ ، ٢ر٠٨ متراً

وباستبعاد القيمة ٦٢ر٣٨ حيث أنها لا معنى لها في الحالة التي تحت الدراسة فتكون قيمة ح$_{لا}$ = ٢ر٠٨ متراً (أ – ٣١)

وبالتعويض في الرموز عن ع$_{لا}$ حتى ع$_{ض}$ ثم ح$_{خ}$ وكذلك ح$_{ض}$ في الجدولين أ – ٩ و أ – ١٠ مع الأخذ في الاعتبار أن منسوب الماء أقل بمقدار نصف متر عن قمة الجسور نجد أن :

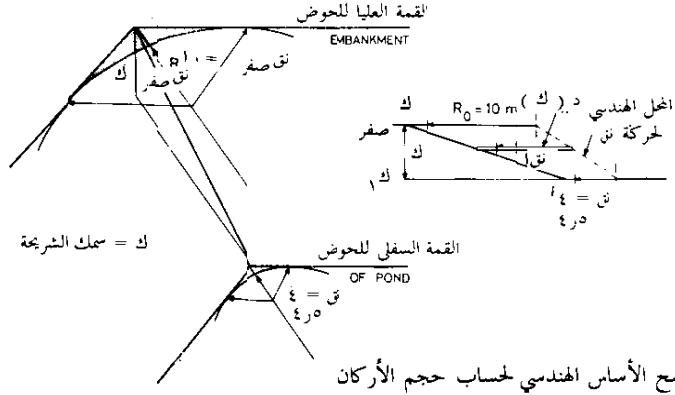
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ح$_{لا}$ | = ٢ر٠٨ | ح$_{خ}$ | = ٠ر٢٨ | ح$_{ض}$ | = ٠ر٥٨ |
| ع$_{لا}$ | = ٢ر٤٢ | ع$_{خ}$ | = ١ر٩٢ | ع$_{ض}$ | = ٠ر٩٢ |
| م$_{لا}$ | = ١ر٩٢ | م$_{خ}$ | = ١ر٤٢ | م$_{ض}$ | = ٠ر٤٢ |

(أ – ٣٢)

ويوحي ذلك بدرجة من الدقة أكثر مما كان مقدراً لها في مثل هذا النوع من الحسابات كما سيظهر فيما بعد حيث أن الأرقام قد قربت ح$_{لا}$ إلى ٢ر١ متراً ... الخ ( انظر المعادلات من أ – ٢٥ حتى أ – ٢٧ في المرفق ١ ويتضح هذا التأثير لقيمة ح$_{لا}$ على أحجام الحفر والردم في الجدول أ – ١١ والذي يستخدم كذلك للتأكد من نتائج احسابات .

## حدود التجاوز نتيجة لاستدارة الأركان

لاستكمال الصورة فستظهر فيما بعد الحسابات التي تسمح ببعض التجاوز عند استدارة الأركان وقد تمت الاستدارة عند نمة الجسر بنصف قطر على المستوى الأفقي قدره عشرة أمتار بينما كان معدل النقصان الخطي linear rate of reduction لنصف القطر متساوي في كل البرك مما يعطي نصف قطره مقداره أربعة أمتار عند القاع في البرك اللاهوائية وذلك لانخفاض رأسي أي عمق قيمته ع = ٤ر٥ متر .




الشكل أ – ٨ – مخطط يوضح الأساس الهندسي لحساب حجم الأركان

وكما هو موضح في الشكل أ – ٨ فيحسب الحجم الناتج عن استدارة الأركان بأخذ شريحة سمكها ك وطرح المساحة الرباعية حيث نصف قطرها نق$_{ك}$ من المربع الذي طول ضلعه نق$_{ك}$ ثم التكامل من ك = صفر حتى نهاية عمق قاع البركة ، وتقاس قيمة ك متجهة إلى أسفل بدءاً من قمة الجسر ، وتكون قيمة نق$_{ك}$ دالة خطية لقيمة ك كما يوضح فيما يلي :

$$\text{نق}_{ك} = ١٠ - \frac{٤}{٣}\text{ك} = \frac{٢}{٣}(١٥ - ٢\text{ك}) \qquad (\text{أ} - ٣٣)$$

أي أنه عندما تكون ك = صفر فإن نق$_{ك}$ = ١٠ متر

وذلك عند قمة الجسر وعندما تكون ك = ٤ر٥ متر

فإن نق$_{ك}$ = ٤ متر عند قاع البركة ، ويوضح فيما بعد حجم شريحة الأركان المراد تكاملها من الحد ك$_{صفر}$ إلى الحد ك$_{١}$ كما يلي :

$$\text{الحجم} = \int_{\text{ك صفر}}^{\text{ك}} [\,(\text{نق}_{ك})^{٢} - \frac{ط}{٤}(\text{نق}_{ك})^{٢}\,]\,د\,ك = \frac{٤ - ط}{٤} \int (\text{نق}_{ك})^{٢}\,د\,ك \qquad (\text{أ} - ٣٤)$$

وبالتعويض لقيمة نق$_{ع}$ حسب المعادلة ( أ – ٣٣ ) وإكمال التكامل نجد ما يلي :

$$\text{الحجم} = \frac{٤ - ط}{٤} \int_{\text{صفر}}^{ك} (\text{نق}_{ع})^{٢}\, \text{د ك} = \frac{٤ - ط}{\frac{١}{٤}} \times \frac{٤}{٩} \int_{\text{صفر}}^{ك} (٢٢٥ - ٦٠ ك + ٤ ك^{٢})\, \text{د ك} =$$

$$= \frac{٤ - ط}{٩} \left[ ٢٢٥ ك - \frac{٦٠}{٢} ك^{٢} + \frac{٤}{٣} ك^{٣} \right]_{\text{صفر}}^{ك} = \frac{٤ - ط}{٢٧} \left[ ٦٧٥ ك - ٩٠ ك^{٢} + ٤ ك^{٣} \right]_{\text{صفر}}^{ك} \qquad ( أ – ٣٥ )$$

ويتضح مع استدارة الأركان أنه أخذ من الحفر أقل بينما طلب أكثر للجسور ، وبمعنى أدق فإن الكميات الأقل في الحفر يجب أن تخصم من حجم الحفر ، وكذلك فإن الكميات الأكثر والمطلوبة للجسور يجب إضافتها لحجم الجسور ، وكيفما كان الأمر فبإهمال نسبة ١٠٪ مقابل النقص في حجم مراد الحفر في هذه الحالة حيث أن قيمتها ستكون أقل عند تربيعها . فمن الواضح بالفحص في المعادلة أ – ٢٨ أن حجم الأركان الكلي يمكن جمعه إلى جانب الردم من المعادلة ، وهذا ما تم في **الجدول أ – ١٠** .

وبالتعويض في المعادلة أ – ٣٥ للحصول على حجم أي ركن لكل نوع من البرك ثم الضرب في عدد الأركان فإن حجم الأركان تبعاً لكل نوع يتضح كما يظهر في الجدول التالي :

$$\begin{cases} \text{البرك اللاهوائية} & ٥٠ر٣ \times ٨ = ٤٠٢ م^{٣} \\ \text{البرك الاختبارية} & ٣٤ر٨ \times ٨ = ٢٧٨ م^{٣} \\ \text{برك الانضاج} & ٢٦ر٢ \times ١٦ = ٤٢٠ م^{٣} \\ \therefore \text{الحجم الكلي للأركان} & = ١١٠٠ م^{٣} \end{cases} \qquad ( أ - ٣٦ )$$

فإذا أخذنا في الاعتبار أن حجم الحفر الكلي بدون أي قيمة سماح أو تجاوز في الأركان سيكون حوالي ٢٨٢٥٠ متر مكعب فإن قيمة السماح في الأركان ستمثل ٣ر٤٪ إضافة للكمية المراد حفرها حيث أن :

( ١٠٠٪ × ١١٠٠ ) ÷ ( ٩ر٠ × ٢٨٢٥٠ ) = ٣ر٤٪

## درجـــة الدقـــة

من الواضـــح أن معظم البيانات المعطاة في الجـــدول أ – ١ والخاصة بتعداد السكان وكمية التصرفات وعدد القولونيات في التصرفات الداخلة وغيرها من بيانات ، بينما هي مبنية على التجربة إلا أنها تقديرات واقعية . ومجال الخطأ في التخمينات متسع نوعاً ما . ويلاحظ في هذا الشأن أنه قد تمت محاولة في هذه الحسابات لجعل النتائج في المجال المعقول والسليم من التقديرات .

ويلاحظ أن الحكمة وراء اتباع هذه الطريقة في الحسابات هي للحصول على أفضل النتائج محاولين السماح بأن يؤخذ في الاعتبار أي متغير يمكن أن يؤثر بحوالي ٥٪ أو أكثر على النتيجة بينما نتبع الطرق الروتينية للإقلال ما أمكن من الأخطاء الحسابية. وكما ذكر من قبل فقد تم اختيار عدد خانات لما بعد العلاقة العشرية لتسهيل العمليات الحسابية وليس كدلالة على الدقة حيث تلعب الفروق بين الأعداد الكبيرة دوراً حيوياً في نظام الحسابات المتبع . ولهذا فقد وجب التقريب عند الخطوة النهائية فقط وليس قبل ذلك . ولأغراض تقديرية ، من المحتمل أن تحتفظ النتيجة النهائية بدرجة تقارب ± ١٠٪ وهي كافية في ضوء التقريبات المقدرة .

ويجب أن يلاحظ أن القيم ح$_{لا}^{٣}$ يمكن إهمالها عند حل المعادلة ( أ – ٢٩'' ) إلا أنه ليس من الضروري إهمالها عند حسابات قيم الحفر والردم منفردة لمختلف البرك .

وإذا ما اعتبرنا البرك منفردة بدون السماح بمشاركتها في الجسور الواقعة بينها أي مستقلة عن بعضها فيمكن التوصل إلى نتيجة مختلفة تماماً ، ومن الملاحظ لحالة التي تحت الدراسة هنا أن عمق الحفر في البرك اللاهوائية عندما يصبح ٢ر٧ متراً أي أعمق مما ظهر في الحسابات بمقدار ٦٠ سنتيمتراً سيكون له تأثير ملحوظ عندما يؤخذ منسوب سطح المياه في البرك الأخرى في الاعتبار حيث يعطى الانطباع بأن ضخ السيب النهائي سيلزم حتماً .

## التوسع إلى برك غير منتظمة الأشكال

يمكن سحب طرق الحسابات المذكورة فيما قبل على البرك غير المنتظمة الأشكال وذلك حينما يتطلب الأمر أن توضع البرك في موضع معين تبعاً لظروف الموقع وتشكيل الأرض . ويجب توقيع البرك على ورق مربعات مقسم إلى ملليمترات مربعة في المسقط الأفقي بينما توضع الخطوط الكنتورية مختلف ارتفاعات الحفر والردم في المسقط الرأسي . وبترقيم الخطوط الكنتورية وجمع الحجوم المحتواة بينها كل على حدة ( متوسط المساحة × طول خط الكنتور عند منتصف المقطع ) يمكن إتمام عملية مشابهة لما اتبع من قبل . وكما هو معروف من طريقة سمبسون Simpson's Rule لتقدير المساحة تحت المنحنى الذي تعتمد عليه هذه الطريقة فإن درجة الدقة تتحدد باختيار شرائح كنتورية متتابعة يترك اختيارها للمصمم .

# قائمة الرموز والاختصارات
# وعوامل التحويل

| | |
|---|---|
| BOD | biochemical oxygen demand |
| $BOD_5$ | 5-day biochemical oxygen demand |
| CEPIS | Pan-American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences |
| CETESB | Environmental Protection Agency of São Paulo, Brazil |
| COD | chemical oxygen demand |
| IDWSSD | International Drinking Water Supply and Sanitation Decade |
| IPHER | *Institute of Public Health Engineering and Research*, Lahore, Pakistan |
| IRCD | International Development Research Centre, Canada |
| MPN | most probable number (of) |
| TDS | total dissolved solids |
| TOC | total organic carbon |
| USAID | United States Agency for International Development |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency |
| WHO | World Health Organization |
| World Bank | International Bank for *Reconstruction and Development* |

**Variables and symbols in equations used for calculating pond sizes and temperatures:**

| | |
|---|---|
| $A_p$ | pond surface area ($m^2$) |
| f | proportionality factor in Eq. (1); algal inhibition factor elsewhere |
| f' | chemical oxygen demand |
| K [$K_T$] | biodegradation rate constant [at temperature T°C] ($d^{-1}$) |
| K' [$K'_T$] | (bacterial) die-off constant [at temperature T°C] ($d^{-1}$) |
| $L_p$ | *pond (and effluent)* $BOD_5$ *(mg/L)* |
| $L_{s,0}$ | maximum surface loading rate (kg $BOD_5$/ha·d) |
| $L_u$ | ultimate BOD (mg/L) |
| $L_0$ | influent $BOD_5$ (mg/L) |
| (lat) | latitude (°N) |
| n | number of maturation ponds |
| $N_R$ | bacterial population after R days (bacteria/100 mL) |
| $N_0$ | bacterial population in influent (bacteria/100 mL) |
| R [$R_T$] | *retention time* [at temperature T°C] (d) |
| Q | wastewater flow rate (L/d) or ($m^3$/d) |
| T | pond water temperature, lowest mean monthly (°C) |
| $T_a$ | ambient air temperature, lowest mean *monthly* (°C) |
| $T_p$ | pond water temperature in Eq. (1) |
| $T_0$ | influent temperature (°C) |
| V | pond volume ($m^3$) |
| $\theta$ | temperature reaction coefficient |
| $\theta'$ | *temperature coefficient for die-off constant* |

**Variables and other symbols in equations and diagrams used for calculating cut and fill (embankment) *volumes of ponds:***

| | |
|---|---|
| a | anaerobic pond, when used as second letter to variables c, f or w (e.g. ca) |
| f | facultatative pond, when used as second letter to variables c, f or w (e.g. cf) |
| m | maturation pond, when used as second letter to variables c, f or w (e.g. cm) |
| c | cut (excavation) depth (m) |
| f | *fill (embankment) height (m)* |

| | |
|---|---|
| w | depth of water (m) |
| A, a; B, b; C, c | geometrical elements used for calculating fill (embankment) volumes |
| D, d, $d_1$, $d_2$; E, e | geometrical elements used for calculating cut (excavation) volumes |
| $R_n$ | corner radius at height h, measured downwards from the embankment top to bottom of pond (m) |
| V | volume of corner element ($m^3$) |

## عوامـل التحـويل

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Mass** | | | |
| tonne (metric ton) | 1 t | = | $1.0 \times 10^3$ kg |
| pound | 1 lb | = | $4.536 \times 10^{-1}$ kg |
| ounce | 1 oz | = | $2.835 \times 10^{1}$ g |
| **Length** | | | |
| statute mile | 1 mile | = | 1.609 km |
| yard | 1 yd | = | $9.144 \times 10^{-1}$ m |
| foot | 1 ft | = | $3.048 \times 10^{-1}$ m |
| inch | 1 in | = | 2.54 cm |
| **Area** | | | |
| hectare | 1 ha | = | $1.0 \times 10^4$ $m^2$ |
| acre | 1 acre | = | $4.047 \times 10^3$ $m^2$ |
| square yard | 1 $yd^2$ | = | $8.361 \times 10^{-1}$ $m^2$ |
| square foot | 1 $ft^2$ | = | $9.290 \times 10^{-2}$ $m^2$ |
| **Volume** | | | |
| litre | 1 L | = | $1.0 \times 10^{-3}$ $m^3$ |
| cubic yard | 1 $yd^3$ | = | $7.646 \times 10^{-1}$ $m^3$ |
| cubic foot | 1 $ft^3$ | = | $2.832 \times 10^{-2}$ $m^3$ |
| gallon (imperial) | 1 gal (UK) | = | $4.546 \times 10^{-3}$ $m^3$ |
| gallon (US liquid) | 1 gal (US) | = | $3.785 \times 10^{-3}$ $m^3$ |
| **Temperature** | | | |
| degree Fahrenheit | $\frac{9}{5}$ [t (°F) − 32] | = | t (°C) |
| degrees of temperature difference | $\frac{9}{5}$ Δ t (°F) | = | Δ t (°C) |
| **Miscellaneous** | | | |
| surface loading rate | 1 lb $BOD_5$/acre·d | = | 1.121 kg $BOD_5$/ha·d |
| volumetric loading rate | 1 oz $BOD_5$/$yd^3$·d | = | 37.07 g $BOD_5$/$m^3$·d |

مياه المجاري المنقاة في برك تثبيت المخلفات السائلة
صالحة للاستعمال في الري

ISBN 92-9021-106-7

السعر : ١٢ دولار أمريكي

يمكن الحصول على أسعار خاصة فيما يتعلق بطلبات الشراء الواردة من دول الإقليم ، ومن البلدان النامية ، وعند شراء كميات كبيرة . وتقدم الطلبات الخاصة بذلك إلى المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط .