5-1 آلية نزع الملوثات باستخدام طرق المعالجة الأرضية:

إن طرق المعالجة الأرضية لمياه المجاري مبنية على قابلية التربة للأكسدة الذاتية، ويمكن إجراء هذه المعالجة بواسطة ري الأراضي أو الترشيح عبر الأراضي. يطلق اسم أراضي الري بمياه المجاري على الأراضي المجهزة بشكل خاص ومقسمة إلى قطاعات ومخصصة لمعالجة مياه المجاري وزراعة مختلف النباتات فيها، أما إذا تم تخصيص الأراضي لمعالجة مياه المجاري فقط سميت عندئذ أراضي الترشيح. وتتم معالجة مياه المجاري في كلتي الحالتين بواسطة مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية المعقدة والمترافقة مع عمليات بيولوجية.

يرتكز جوهر عمليات المعالجة على أنه عند ترشيح مياه المجاري من خلال التربة يتم في سطح هذه التربة حجز المواد المعلقة والمواد الكاليئودية مما يؤدي إلى ظهور طبقة كثيفة من الكائنات الدقيقة على سطح حبيبات التربة تقوم بامتزاز المواد العضوية المنحلة الموجودة في مياه المجاري، وباستخدام الأكسجين المتسرب من الجو إلى مسامات التربة تقوم الكائنات الدقيقة بتحويل المواد العضوية إلى مركبات معدنية، وبهذا الشكل يعتبر وجود الأكسجين أمراً مهماً لحدوث عملية المعالجة، حيث أن الطبقة العليا من التربة (0.2 – 0.3 m) تقع ضمن نظام أكسجين ملائم وضمن هذه الطبقة بالذات تجري عمليات أكسدة المواد العضوية بشكل فعال وعمليات النترجة، وكلما انتقلت المياه إلى عمق التربة تنخفض كمية الأكسجين المتوفرة في التربة حتى تتحول إلى منطقة لا هوائية، حيث يتم أكسدة المواد العضوية الواصلة إلى هذه الطبقة على شكل سائل بواسطة عمليات إزالة الآزوت نظراً لزيادة تركيز النتريت في هذا السائل.

تنخفض فعالية معالجة مياه المجاري في الأراضي بشكل كبير في فصل الشتاء نظراً لتباطؤ أو توقف العمليات البيولوجية عند انخفاض درجات الحرارة بشكل كبير، ويهدف استخدام طريقة الري في الأراضي إلى تحقيق غايتين:

1- صحية: وهي معالجة مياه المجاري

2- زراعية: استخدام مياه المجاري في عملية الري وماتحتويه من مواد كسماد (آزوت، بوتاسيوم، فوسفور)، وتتميز هذه الطريقة بالحمولة المنخفضة من مياه المجاري m^3/ha (20 - 5) في اليوم. وكما ذكرنا سابقاً فإن مياه المجاري تحتوي على عدد كبير من البكتيريا الممرضة وبيوض الديدان المعوية لذلك فإن إنشاء واستثمار أراضي الري بكافة أنواعها مرتبط بالتقيد بشروط صحية صارمة، وخاصة عدم استخدامها لري الأراضي المزروعة بالخضار التي تؤكل نيئة.

عند ترسيب مياه المجاري في المرسبات الابتدائية تبين أنه يمكن التخلص من % (60 – 50) من البكتيريا مع المواد المعلقة على شكل رواسب، وبهذا الشكل يمكن التخلص من كمية كبيرة من هذه البكتيريا وتصبح عملية ري الأراضي أقل خطراً بعدها.

يتعلق تركيز المواد المغذية (آزوت، فوسفور، بوتاسيوم) في مياه المجاري بمعدل الصرف للشخص الواحد، ويكون عادةً mg/l (60-15) آزوت، mg/l (12-3) فوسفور، mg/l(25-6) بوتاسيوم. وتكون العلاقة بين هذه المواد المغذية **آزوت، فوسفور، بوتاسيوم** في مياه المجاري على الشكل التالي **(2:1:5)** على الترتيب، ولهذا تعتبر مياه المجاري كسماد عالي المحتوى من الآزوت ويساعد على نمو النباتات.

5-1-1 مساوئ طرق المعالجة الأرضية:

- تراكم الملوثات غير القابلة للأكسدة البيولوجية في التربة والذي يؤثر بشكل قاتل على الأحياء الدقيقة في التربة وعلى قيمتها الزراعية.
- صعوبة تأمين الأراضي لمعالجة مياه الصرف بطريقة أراضي الترشيح أو الري، خاصة حول الأماكن السكنية.
- زيادة التكلفة المصروفة خاصة على الطاقة اللازمة لنقل مياه المجاري إلى مناطق بعيدة عن الأماكن السكنية.
- الصعوبات التقليدية التي تتعرض لها عملية تنظيم واستثمار هذه الطريقة في معالجة مياه المجاري، والظروف غير الصحية لها من ناحية العمل والمزروعات.

هذه المساوئ مجتمعة جعلت الكثير من الدول المتقدمة ترفض استخدام هذه الطريقة بالكامل، والاستعاضة عنها بالطرق التكنولوجية الحديثة لمعالجة مياه المجاري باستخدام المعالجة البيولوجية الاصطناعية.

5-2 برك الأكسدة:

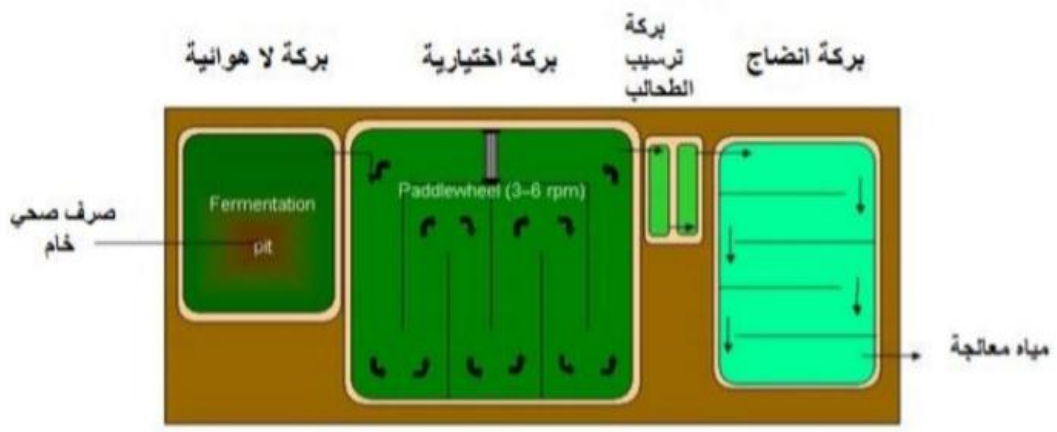
هي عبارة عن أحواض ترابية تُستخدم كبدائل زهيدة التكاليف لمعالجة مياه المجاري، وتكون هذه البرك إما ضحلة أو عميقة كما يبين الشكل (1-5)، وغالباً ماتُصنف **حسب**: حالتها المؤكسدة (تركيز الأكسجين المنحل)، ومصدر هذا الأكسجين اللازم للتمثيل البكتيري للملوثات العضوية في مياه المجاري، كما يبين الجدول (1-5).

الجدول (1-5): تصنيف أنظمة برك الأكسدة حسب وجود الأكسجين ومصدره

نوع البركة	وجود الأكسجين ومصدره
برك هوائية	يؤمن التمثيل الضوئي الأكسجين اللازم للعمليات الهوائية على كامل الارتفاع
برك اختيارية	تسود منطقة هوائية عند السطح، وتحت السطح إما هوائية أو لاهوائية
برك مهواة ذات مزج جزئي	ينتج الأكسجين عن التهوية السطحية ويتدرج ضمن منطقة هوائية من نصف ارتفاع الماء إلى كامل العمق وفقاً لشدة التهوية وعمق البحيرة
برك لا هوائية	العمق الكلي لاهوائي

الشكل (1-5): برك الأكسدة

يمكن تشغيل برك الأكسدة بطرق كثيرة، كما يمكن تغيير طريقة التشغيل في حالة زيادة الأحمال الهيدروليكية والعضوية بدون الحاجة إلى إضافة وحدات جديدة وذلك باستخدام نظام أو أكثر من برك الأكسدة في محطة معالجة واحدة مثل: برك لاهوائية (كمعالجة تمهيدية لمياه الصرف الصحي)، برك اختيارية، برك إنضاج كما في الشكل (2-5) وذلك حسب درجة المعالجة المطلوبة



الشكل (2-5): مسقط أفقي لمجموعة برك الأكسدة اللاهوائية والاختيارية والإنضاج (الهوائية)

تتميز برك أو بحيرات الأكسدة بمايلي:

- انخفاض كلفة التشييد
- الحاجة إلى الحد الأدنى من الكلفة والمهارة أثناء التشغيل
- التخلص من الحمأة يحتاج إلى فترات زمنية من (20 - 10) سنة
- ملائمة ظروف التضاريس الطبيعية

أما أهم مساوئ برك الأكسدة فهي:

- تشغل مساحات كبيرة من الأراضي
- التسبب في زيادة تشكيل الإشنيات عند صرف المياه المعالَجة إلى المصادر المائية
- قد تؤثر بشكل سلبي على المياه الجوفية إذا لم يتم استعمال التكتيم والعزل بشكل جيد
- يمكن أن تشكل هذه البرك مصدراً للروائح الكريهة

5-2-1 أنواع برك الأكسدة:

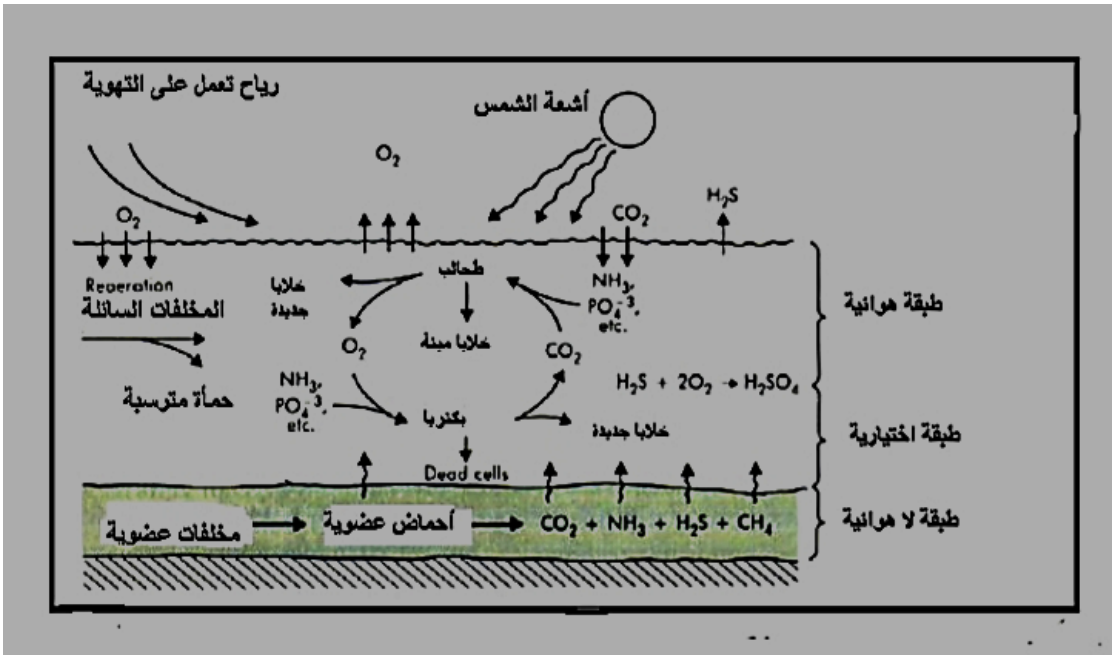
1- برك الأكسدة الهوائية (برك الإنضاج)، (Maturation Pond) :

تكون هذه البرك ضحلة يتراوح عمقها m (0.6 – 0.3)، مما يسمح للضوء بالوصول إلى عمق البحيرة ونتيجة ذلك يحدث التمثيل الضوئي بشكل فعال، حيث يساعد الأكسجين الناتج عنه البكتيريا على تثبيت المواد العضوية هوائياً، وترتفع نسبة الأكسجين المنحل وقيمة PH إلى الذروة خلال النهار، وتهبط خلال الليل. زمن المكوث في هذه البرك يمكن أن يكون قصيراً نسبياً حيث يمكن ألا يتجاوز خمسة أيام، وقد تستخدم برك الأكسدة الهوائية بشكل مترافق مع غيرها من البرك الأخرى وبشكل خاص في المناطق الدافئة، كما تستخدم من أجل المعالجة المعمقة للمياه بعد المعالجة البيولوجية كبرك إنضاج تخفض المواد العضوية وتحول الأمونيا والنتريت السامين إلى نترات.

2- برك الأكسدة الاختيارية، (Facultative Pond):

تعتبر هذه البرك الأكثر شيوعاً واستعمالاً لأكثر من غرض، يبلغ عمق البركة m (2.5 – 1.5)، وتتم المعالجة فيها بواسطة العمل البكتيري في الطبقة العليا الهوائية (التي يتم تأمين الأكسجين فيها من التهوية الطبيعية للسطح ومن التمثيل الضوئي)،حيث تستهلك البكتيريا الهوائية الأكسجين

وتنتج ثاني أكسيد الكربون وتؤدي إلى تحلل المواد العضوية إلى مواد غير عضوية بسيطة.أما الطبقة السفلى فيمكن أن تكون هوائية أو لاهوائية وذلك حسب تأثير الرياح على عملية مزج الهواء، وفي الظروف اللاهوائية تعمل البكتيريا اللاهوائية على تحليل الأمونيا (NH_4^+) والنتريت (NO_2^-) والنترات (NO_3^-) الموجودة في المياه وتطلق غاز النتروجين الغير ضار إلى الجو، وتتوضع الأجسام الصلبة القابلة للترسيب في قعر البحيرة. يبين الشكل (3-5) التفاعلات الحاصلة في برك الأكسدة الاختيارية.



الشكل (3-5): مقطع يوضح التفاعلات الحاصلة في برك الأكسدة الاختيارية

3- برك الأكسدة المهواة ذات المزج الجزئي:

تكون هذه البرك أعمق وأكثر احتواءً على المواد العضوية من البرك الاختيارية، ويتم تأمين الأكسجين من المهويات الميكانيكية الطافية أو من خلال التهوية المغمورة المنتشرة. يبلغ عمق هذه البحيرات m (6 – 2) ويتراوح زمن المكوث في برك الأكسدة المهواة ذات المزج الجزئي (20 – 3) يوماً. تمتاز هذه البرك أنها تحتاج إلى مساحة أصغر من أنواع البرك الأخرى، وهي شائعة الاستخدام في الولايات المتحدة الأمريكية لأن لها مزايا البرك الاختيارية وتتطلب مساحة أقل.

4- البرك اللاهوائية، (Anaerobic Pond):

تستخدم البرك اللاهوائية لمعالجة مياه المجاري الصناعية شديدة التركيز في الأماكن الريفية البعيدة ولا تحتوي هذه البرك على مناطق هوائية ويبلغ عمقها m (5 – 2.5) ويجب أن تُغطى وتوضع في أماكن بعيدة عن السكان بسبب إنتاجها للروائح الكريهة.

<u>من ميزات المعالجة اللاهوائية مقارنة بالمعالجة الهوائية:</u>

- إمكانية ترسيب كمية كبيرة من الفضلات - إنتاج منخفض من المواد الصلبة (الحمأة)
- متطلبات أقل من المواد الغذائية - لا تتطلب الأكسجين - إنتاج الميتان

أما السيئات فهي:

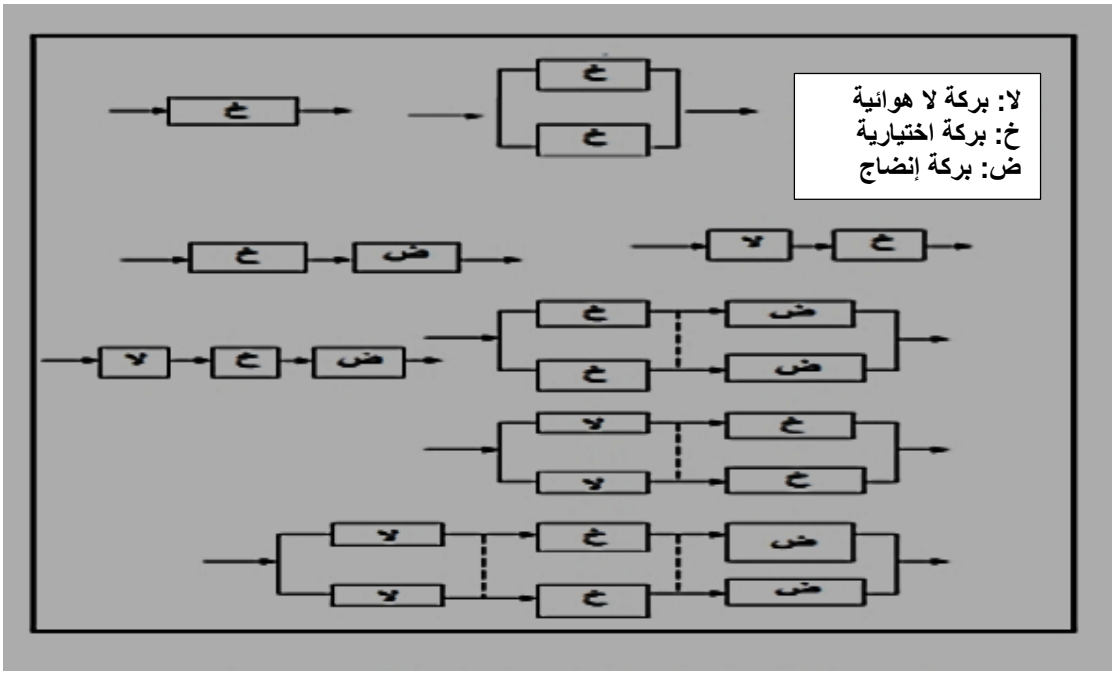
- إزالة غير كاملة للمواد العضوية الملوثة بقيمة BOD
- تتطلب درجة حرارة مرتفعة نسبياً
- إصدار الروائح الكريهة

5-2-2 ربط (توصيل) برك الأكسدة:

يتم توصيل برك الأكسدة مع بعضها على التوالي أو على التوازي.

عند توصيل البرك **على التوالي** تتم معالجة الحمأة في البركة الأولى ومن ثم يوَجه التصريف الخارج منها إلى بركة ثانية، وهكذا تتكرر العملية بالنسبة للبرك التالية، وهذا الوضع يحسن من نوعية التصريف الخارج من كل بركة للتي تليها.

عند توصيل البرك على التوازي توضع البرك بجانب بعضها البعض، بمعنى أنها تستقبل نفس المخلفات السائلة من نفس المصدر، كما أن التصريف الخارج من كل بركة يجد طريقه لمخرج واحد أو لحوض واحد، وينتج عن هذا التوصيل تماثل نوعية التصريف الخارج من البرك. ومن محاسن نظام التوصيل على التوازي أن أي عطل أو عدم تشغيل أحد البرك لا يؤثر على البرك الأخرى أو يعيق أداءها. يبين الشكل (4-5) مختارات لطريقة وصل برك الأكسدة.



الشكل (4-5): خيارات لوصل برك الأكسدة

5-2-3 تصميم برك الأكسدة:

يعطي الجدول (2-5) معطيات التصميم وفقاً لطبيعة عمل كل نوع من برك الأكسدة ويمكن المقارنة فيما بينها تبعاً لذلك، علماً بأن كفاءة البركة تتغير بشكل كبير من موقع لآخر وحسب فصول السنة.

الجدول (2-5): المعطيات التصميمية لمختلف أنواع برك الأكسدة

المؤشر التصميمي	نوع البركة		
	هوائية	اختيارية	مهواة ذات مزج جزئي
الغاية من المعالجة	ثانوية	ثانوية، تمهيداً للمعالجة الأرضية	ثانوية، معقمة، تمهيداً للمعالجة الأرضية أو للصرف للمصدر المائي
الطقس المطلوب	دافئ	-	-
زمن المكوث day	10 - 40	25 – 180	5 – 20
العمق m	0.9 – 1.5	1.5 – 2.4	3 – 6
معدل التحميل العضوي Kg/ha.day	40 – 120	25 – 70	45 – 400
خصائص التدفق الخارج BOD mg/l	20 – 40	30 – 40	20 – 40
SS mg/l	80 - 140	40 - 100	30 - 60

تصميم برك الأكسدة الاختيارية:

يعتمد تصميم برك الأكسدة الاختيارية على معدل التحميل السطحي أي على الحمولة العضوية المحددة بقيمة BOD وعلى متوسط درجة حرارة الهواء في الشتاء كما يبين الجدول (3-5).

الجدول (3-5): الحمولة العضوية المسموحة بقيمة BOD للبرك الاختيارية

متوسط درجة حرارة الهواء شتاءً C°	**العمق m**	**الحمولة بقيمة BOD Kg/ha.day**
0 >	1.5 - 2.1	11 - 22
0 - 15	1.2 - 1.8	22 - 45
15 <	1.1	45 - 90

تُحسب مساحة سطح الأحواض الاختيارية بالعلاقة:

$$A = \frac{Len \times Q}{1000(LR)}$$

A: مساحة سطح البرك المختلطة (ha)

L_{en}: قيمة BOD في مياه المجاري الداخلة (g/m^3) أو (mg/l)

Q: تدفق مياه المجاري (m^3/day)

1000: عامل تحويل من g إلى Kg

LR: قيمة الحمولة العضوية BOD وتُحدد من الجدول (3-5)