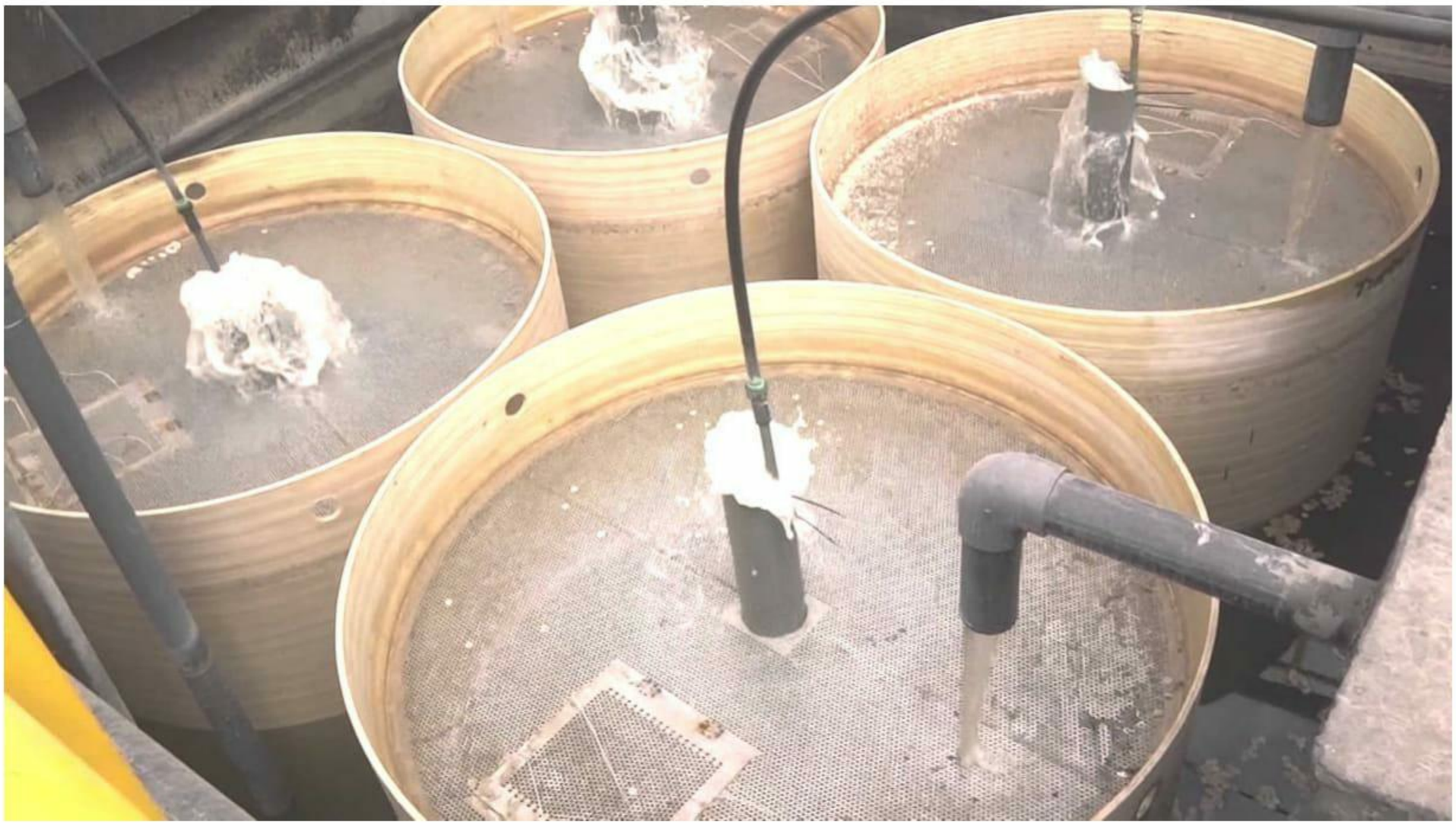


طرائق معالجة مياه الصرف الصحي

أعداد المهندس
سمير محمد عباس

المقدمة

في الماضي ساهمت مياه المصادر المائية (أنهار، بحيرات، بحار.....) ولفترة طويلة في التخلص من مياه الصرف الصحي حيث كانت تنتهي هذه الشبكات إليها.

حيث كانت قدرتها على التنقية الذاتية (أي قوى التنقية الذاتية) كافية للتخلص من المواد العضوية التي تصرف مع المياه مع المحافظة على الحياة الدنيا والعليا فيها نتيجة وجود نسبة كافية من الأوكسجين المنحل.

إلا أن تزايد عدد السكان والتطور الصناعي الذي حدث بداية القرن الماضي أدى الى زيادة كمية الملوثات العضوية التي تصرف الى هذه مما أدى (في كثير من الحالات) فقدانها قدرتها على التنقية الذاتية نتيجة التزايد الكبير في الكائنات الحية الأمر الذي أدى الى نقص الأوكسجين الذي تحتاجه لهدم المواد العضوية مما سبب في تموت الحياة العليا (الأسماك) وأيضا الحياة الدنيا الهوائية وفقدان الأوكسجين وبالتالي تحول الحياة الى لاهوائية وانتشار الروائح وغيرها من هذه المصادر.

وهكذا نشأت ضرورة معالجة مياه الصرف الصحي قبل صرفها الى هذه المصادر، أيضاً إن الصرف المباشر لمياه الصرف الى الوديان أدى أيضا لذات الأمر حيث أن صرف المياه يؤدي الى تشكل البرك ومستنقعات إضافة الى انتشار البعوض وإمكانية تسرب مياه الصرف الى المياه الجوفية بما تحويه، علماً أن التربة تساعد جزئياً على التخلص من بعض الشوائب.

استناداً لما سبق أصبح بناء محطات المعالجة أمراً ضرورياً لحماية البيئة بكل أوساطها (ماء، تربة، هواء...) وحماية الإنسان.

إضافة لما سبق فان نقص الموارد المائية في البلدان الجافة وشبه الجافة أدى الى ضرورة معالجة مياه الصرف الصحي لإعادة استخدامها بالري كمصدر مائي غير تقليدي.

مردود المعالجة المطلوبة:

استناداً لما ورد في الفقرة السابقة فإن بناء محطات معالجة مياه صرف صحي أصبح ضروري للتخلص من الآثار السلبية منها روائح مزعجة، انتشار الحشرات وحماية أوساط البيئة (ماء، تربة، هواء، نبات،...)، والسؤال الذي يطرح :

ما هي درجة المعالجة المطلوبة أو ما هو مردود المعالجة المطلوبة:

بشكل مختصر نقول ان درجة المعالجة المطلوبة مرتبطة بالاستخدام النهائي للمياه (أو طريقة التخلص منها بعد المعالجة)، من المنطقي أن تختلف مواصفات المياه المعالجة التي:

1. ستلقى بمصدر مائي.
2. أو في وادي.
3. أو يعاد استخدامها.

3-1: في الري، في هذه الحالة يجب معرفة نوع المزروعات المراد ريّها.

3-2: في حالات خاصة إعادة الاستخدام في بعض الصناعات واستخدامات أخرى (مثل شطف الـ WC,S).

صرف المياه المعالجة الى شبكة صرف صحي، كما في حال صرف مياه من منشآت صناعية معالجة الى شبكة الصرف الصحي.

إضافة لهذا فان تحقيق المردود المطلوب (أي درجة المعالجة المطلوبة) يتطلب استخدام التقنيات المناسبة المطلوبة، وتوفر الإمكانيات المالية اللازمة لتحقيق هذا المردود، مع ضرورة وجود تشريعات وقوانين تلزم بذلك.

والسؤال الثاني: ما هي مواصفات المياه المعالجة لكل من الحالات السابقة؟

الجواب: لقد تم تجميع خلاصة الخبرات والتجارب في مواصفات قياسية حددت فيها التراكيز المسموح بصرفها لكل ملوث من الملوثات (وفقاً للاستخدام أو لطريقة التخلص من المياه المعالجة).

في سورية: تم وضع المواصفة رقم **3474** م.ق.س والتي يتم تعديلها حالياً والتي تحدد اشتراطات الصرف (تراكيز الملوثات المسموحة) الى المصادر المائية بأنواعها والى الوديان (العراء).

كما تم وضع المواصفة السورية رقم **2752** م.ق.س وتم تعديلها عام 2008 وفيها حددت وبشكل مدروس مواصفات المياه المراد الري بها وذلك تبعا لنوع المحصول المروي وتم التمييز بين ثلاثة مجموعات من المحاصيل (A,B,C)، ولكل نوع مواصفات وتراكيز للملوثات خاصة بها.

أما مواصفات المياه المعالجة المراد إعادة استخدامها في الصناعة يتبع نوع الصناعة.

. المواصفة القياسية رقم **2580** تضم خواص مياه الصرف الصحي المعالجة الى شبكة صرف صحي .

اضافة الى مواصفات المياه المعالجة يجب ان تحقق الحمأة الناتجة عن محطة المعالجة المعايير السورية للاستخدام الآمن لإعادة استخدام الحمأة الناتجة عن محطات مياه الصرف الصحي (المواصفة القياسية السورية رقم 2002/2665).

لا بد من التنويه الى أن المواصفات والمعايير التي تحدد شروط وتراكيز الملوثات تطورت عبر الزمن أي ازدادت صرامة مع تطور المجتمعات الإنسانية وتنوع الأنشطة الاقتصادية.

فعلى سبيل المثال قبل حتى سبعينات القرن الماضي لم تتطرق المواصفات الخاصة بالصرف الى المصادر المائية الى قيمة تراكيز المواد المغذية (N,P) إلا انه بعد ذلك عدلت المواصفة وحددت القيمة المسموح لتراكيز هذه المواد المغذية.

طرق معالجة مياه الصرف الصحي:

مبادئ أساسية :

1- إن معالجة مياه الصرف الصحي هي تقليد لقوى التنقية الذاتية التي تتم في المصادر المائية (والتي هي مجموع العمليات الفيزيائية (الميكانيكية) والبيولوجية والكيميائية التي تؤدي الى تنقية مياه هذه المصادر عند صرف الملوثات إليها).

2-إن اسم أي نظام أو طريقة معالجة مرتبط بطريقة **القسم البيولوجي منها**، فمثلاً (طريقة الحمأة المنشطة) أي ان القسم البيولوجي فيها هو (أحواض الحمأة المنشطة)، مثال آخر: طريقة برك الأكسدة، القسم البيولوجي فيها يتم في (بركة الأكسدة – البركة الاختيارية).

3-تتألف كل محطة معالجة من خطي معالجة:

. خط معالجة المياه (وحدات لمعالجة المياه).

. خط معالجة الحمأة (وحدات لمعالجة الحمأة)

علما أن هناك واحدات تصمم لتقوم بالمهمتين معاً.

ولا تعتبر محطة المعالجة أدت وظيفتها إلا إذا تم معالجة النفايات الناتجة عن معالجة المياه (حمأة وغيرها) والتخلص منها بشكل آمن نسبياً.

4- إن اسلوب التخلص من ملوثات مياه الصرف يتم تبعاً لنوع وطبيعة الملوثات وبالتالي يمكن التميز بين الانواع التالية من المعالجة :

أ- فالمعالجة الميكانيكية (الفيزيائية) : تهدف الى التخلص من المواد الكبيرة والرمال والمواد المعدنية والمواد القابلة للترسيب، إضافة الى الشحوم والزيوت.

بعض المراجع تقسم هذه المعالجة الى مرحلتين جزئيتين:

معالجة تمهيدية: يتم التخلص فيها من المواد الكبيرة والرمال والشحوم والزيوت.

معالجة أولية: يتم التخلص فيها من المواد القابلة للترسيب (أحواض ترسيب اولية).

ب- المعالجة البيولوجية: يتم التخلص من المواد العضوية الكربونية المنحلة والمواد غير القابلة للترسيب، (تسمى أيضاً المعالجة الثانوية).

ج- المعالجة المتقدمة (الثالثية): الهدف الرئيسي منها ازالة المغذيات (N.P)،تحسين خواص المياه الجرثومية ،خفض نسبة المواد العالقة.

د- **المعالجة الكيميائية:** وتستخدم لترسيب بعض الشوارد المنحلة بإضافة مواد كيميائية وتحولها الى مواد راسبة (مثل ترسيب الفوسفور وهذه العملية تسمى الترسيب الكيميائي)، وأيضاً للتخلص من بعض الملوثات بالإمتزاز على سطح مواد ممتزة، إضافة تطهير أو تعقيم المياه المعالجة.

طرائق معالجة مياه الصرف الصحي:

إن طريقة المعالجة هي عبارة عن مجموعة من الواحدات المتتالية لكل منها وظيفة أو مهمة أو أكثر بهدف تحقيق مردود معين مطلوب. **يمكن تصنيف طرائق المعالجة بشكل عام الى:**

1. طرائق طبيعية.
2. طرائق اصطناعية .

الطرائق الطبيعية: إن هذه الطرق تعتمد على قوى التنقية الذاتية في الطبيعة، ومن أهم هذه الطرائق:

1. **برك أو بحيرات اللمياه:**

1-1 البرك الترسيب اللاهوائية: anaerobic lagoon

يتم في هذه البرك ترسيب المواد العالقة بنسبة كبيرة نتيجة مدة المكث الكبيرة نسبياً (تصل الى يوم واحد)، ويتم تحقيق الظروف اللاهوائية في البركة عن طريق حجز الزيوت والشحوم والمواد الطافية بواسطة جدران غاطسة تركب عند محرج المياه من البركة.

أما الحمأة المترسبة في قاع البركة فتُترك لفترة طويلة لتتكثف وتتخمر ويتم تعزيلها كل فترة تتراوح بين 6-12 شهر، بعدها تُفرش في مسطحات لتجف تحت تأثير أشعة الشمس (تجفيف طبيعي).**إن هذا الأمر يتطلب بناء بركتين تعملان بالتناوب، وتقوم هذه البرك بمهام المنشآت التالية:**

- أحواض الترسيب الابتدائية، حيث تترسب معظم المواد الصلبة العالقة.
- أحواض تكثيف الحمأة.
- وحدات تنشيف وتخمير الحمأة.
- ً أحواض حجز الرمال.

إن مردود هذه البرك هو خفض الـ SS بنسبة أكثر من 80% وخفض الـ BOD بنسبة تصل إلى 40%.

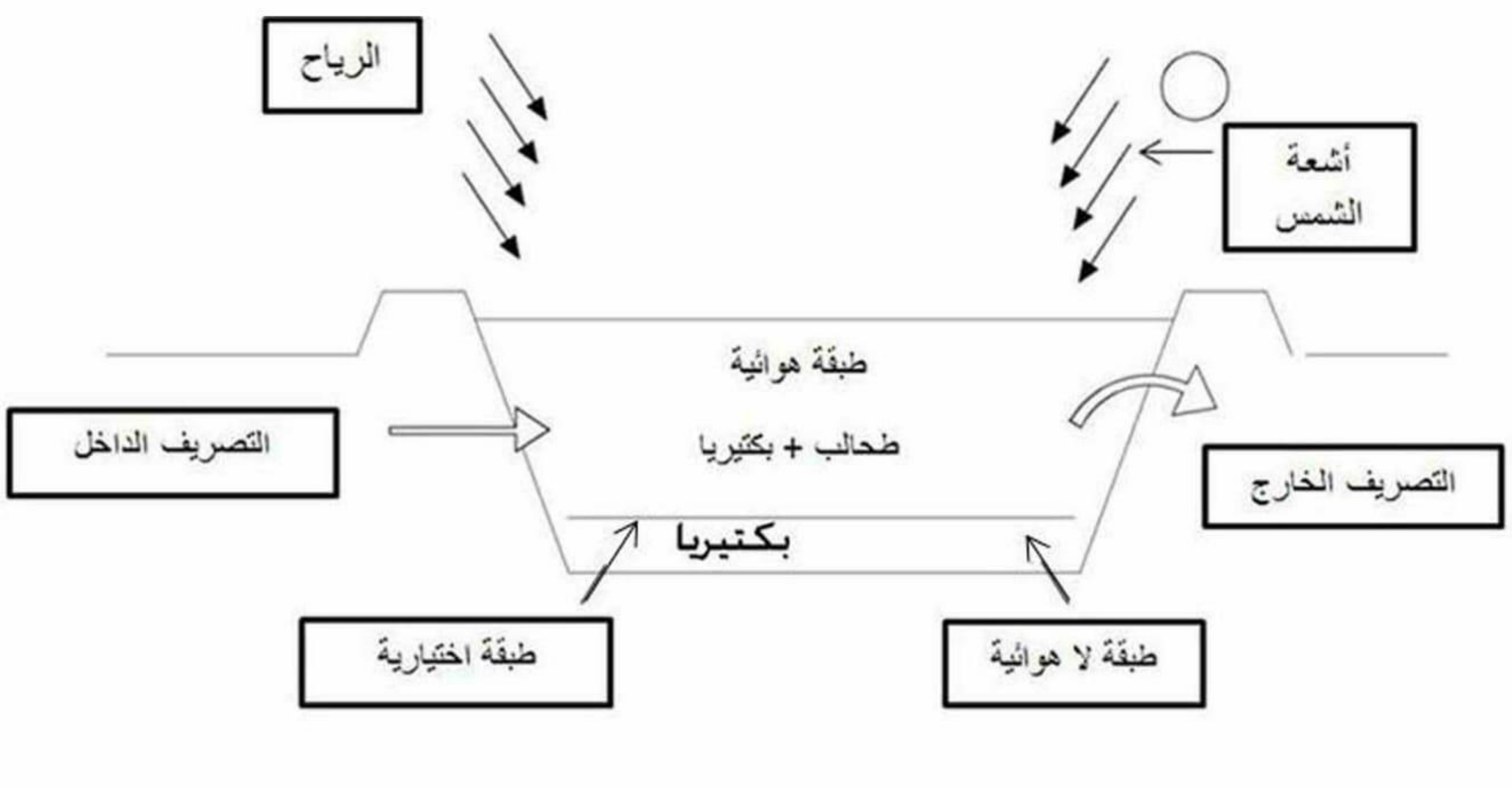
1-2: برك الأكسدة oxidation lagoon

تُعتبر من أبسط طرائق معالجة مياه الصرف الصحي، حيث يتم في هذه البركة تأمين الأكسجين الذي تحتاجه البكتريا لهدم المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي، وذلك عن طريق الطحالب التي تنمو في البركة والتي تحصل على ثاني أكسيد الكربون الذي تحتاجه في عملية التمثيل اليخضوري من نواتج أكسدة المواد العضوية بواسطة البكتريا، أما الطريق الأخر الذي تحصل من خلاله البكتريا على الأكسجين فهو انحلال الأكسجين الموجود في الهواء المحيط بسطح البركة.

إن الحمأة الناتجة عن العملية البيولوجية تترسب في قاع البركة وتترك لفترة يتم خلالها تكثيفها وتخميرها.

يسود في طبقة المياه ظروف هوائية وتتم فيها أكسدة المواد العضوية كما ورد سابقا وظروف لاهوائية في طبقة الحمأة لتخمر الحمأة، ويفصل بين هاتين الطبقتين طبقة اختيارية لذلك يطلق عليها اسم البرك الاختيارية .

ويبين الشكل المبسط أدناه آلية عمل بركة الأكسدة:



شكل رقم /1/

3-1 برك الإنضاج: maturation lagoon

تهدف هذه البرك هو تحسين نوعية المياه الناتجة من البرك الاختيارية أو من أي طريقة معالجة أخرى، حيث ينخفض عدد البكتريا الممرضة إضافة إلى إزالة عالية جداً للبكتريا البرازية والفيروسات وجراثيم أخرى وبعض الطحالب.

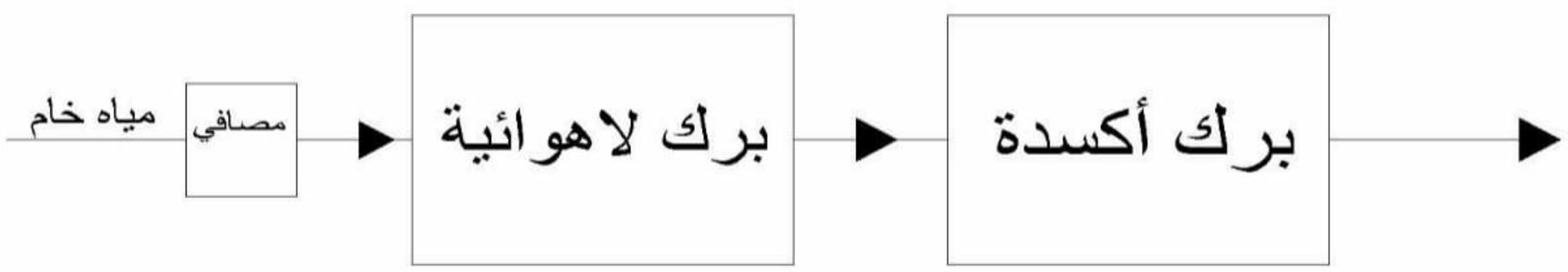
يرجع التأثير القاتل للبكتريا إلى عوامل عديدة منها عوامل رئيسية مثل نقص المادة العضوية، الأشعة فوق البنفسجية، ومنها ذات تأثير محدود ، الرقم الهيدروجيني PH، السموم والمضادات الحيوية التي تفرزها بعض الكائنات إضافة إلى الموت الطبيعي للبكتريا.ان المخطط التكنولوجي لمحطة معالجة تعمل بهذا النظام يتبع المردود المطلوب من المعالجة، فقد تتألف المحطة من بركة لاهوائية فقط كما في الشكل التالي :

شكل رقم (2)

واذا كان المطلوب ايضا هدم المواد العضوية المنحلة فيكون المخطط التكنولوجي هو أحد المخططين التاليين :

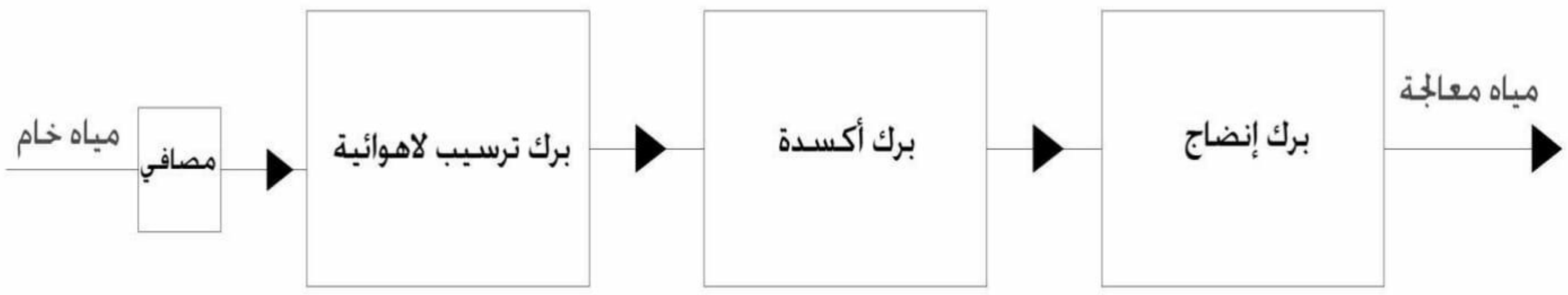
شكل رقم (3)

او تسبق بركة الاكسدة ببركة لاهوائية كما يلي :



شكل رقم (4)

اذا طلب تحسين الخواص البكتلريولوجية للمياه المعالجة فيكون المخطط التكنولوجي وفق أحد المخطين التاليين :



شكل رقم (5)

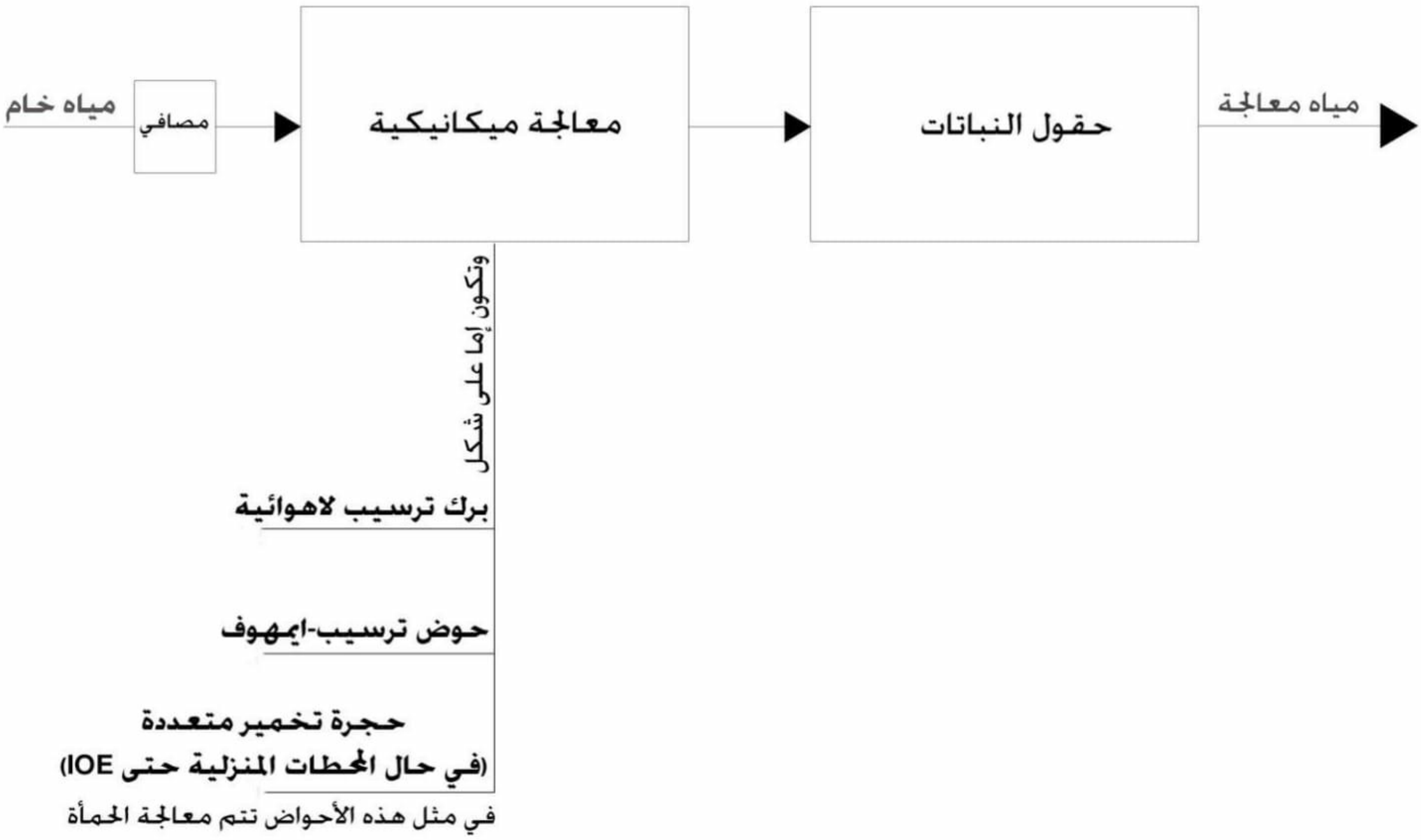
ميزات طريقة برك المياه :

- بساطة في البناء والتشغيل.
- كلفة بناء وتشغيل منخفضة.
- عدم الحاجة لكوادر ذات تأهيل عال للتشغيل والصيانة
- تحمل الصدمات الهيدروليكية والعضوية.
- تتأثر هذه الطريقة بالعوامل المناخية (حرارة، رياح وسطوع شمسي، تبخر) بشكل واضح.
- تحتاج هذه الطريقة إلى مساحات شاسعة من الأرض.
- احتمال صدور الروائح المزعجة وتجمع للحشرات في بداية محطة المعالجة.
- كفاءة معالجة مرتفعة.

محطات المعالجة بالنباتات: (المعالجة باستخدام الأراضي الرطبة _ Treatment using wetland) :

تعتمد تكنولوجيا المعالجة بالنباتات على العمليّات الفيزيائية والبيوكيميائية التي تحدث في وسط بيئي مناسب (المياه والتربة والنباتات المائية والبكتيريا والهواء). فالنباتات تقوم بامتصاص المواد المغذية (N,P) وتقوم البكتيريا التي تنمو على الأجزاء المغمورة من النباتات بتخليص المياه من المواد العضوية الكربونية .

الشكل التالي يبين المخطط التكنولوجي لطريقة المعالجة بالنباتات :



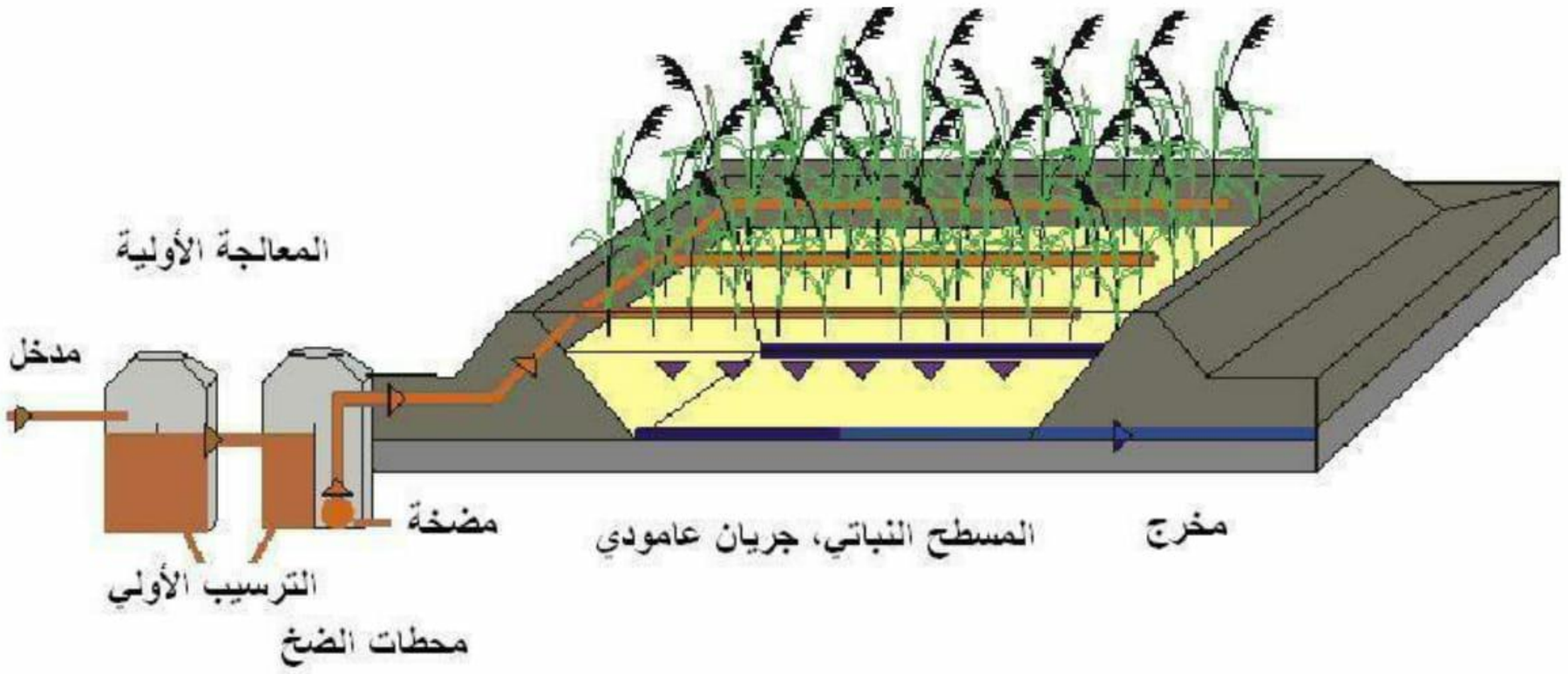
الشكل رقم (6)

نميز بين نوعين من الأراضي (الرطبة الصنعية **Constracted wetland**) :

الأراضي الرطبة ذات الجريان شاقولي: (الشكل رقم 7) wetland with vertical flow

يتألف الحوض من ثلاث طبقات (بحص بتدرج مناسب، رمل)، يتم توزيع المياه على الطبقة السطحية عبر شبكة أنابيب بواسطة الضخ، تتحرك المياه شاقولياً عبر الفلتر الرملي وجذور النباتات لتعالج وتجمع في أسفل الحوض وتسحب عبر أنابيب دريناج في الطبقة السفلية الى خارج الحوض.

يبين الشكل التالي مخطط مبسط لهذا النوع من الجريانات:

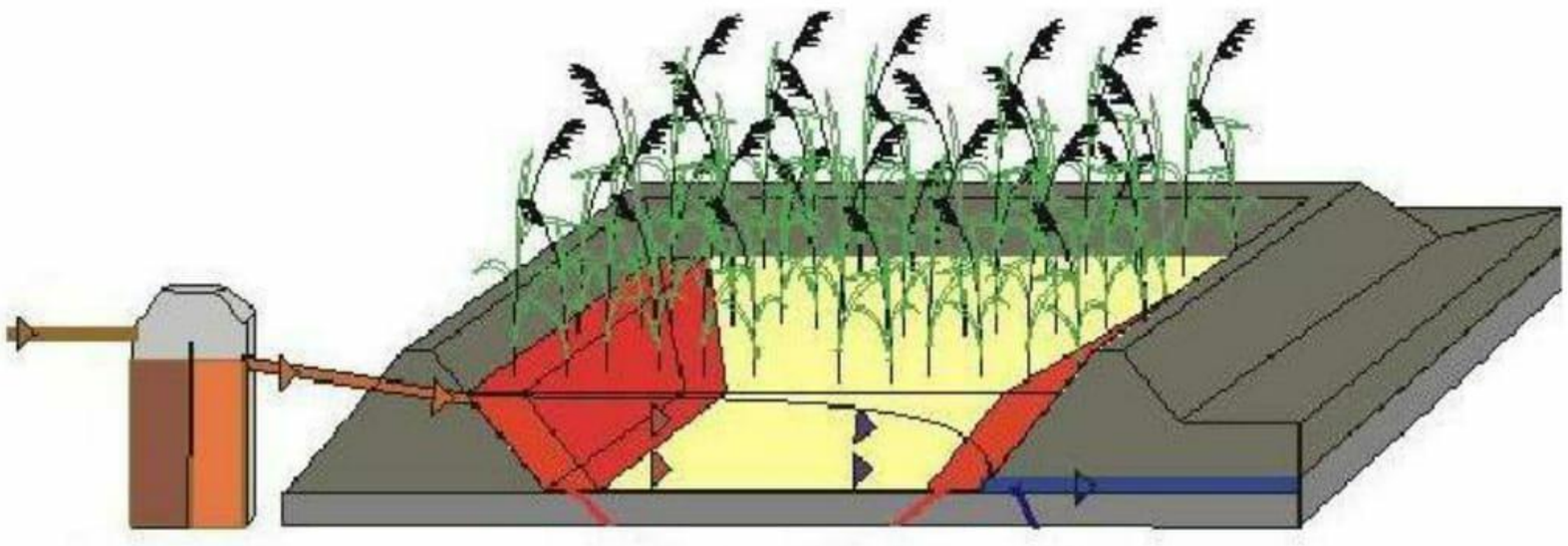


شكل رقم /7/

الأراضي الرطبة ذات الجريان الأفقي (الشكل رقم 8) wetland with horizontal flow

يتألف الحوض بشكل أساسي من الرمل، ويوضع البحص على مدخل ومخرج الحوض (مكان تغذية الحوض ومكان سحب المياه المعالجة فقط).

ويتم توزيع المياه عند مدخل الجوض بدون ضخ، حيث تتحرك المياه أفقياً عبر الفلتر الرملي وجذور النباتات لتعالج وتُجمع في أسفل الحوض من الجهة المقابلة السفلية في مخرج الحوض.



شكل رقم /8/

في كثير من الحالات يتم الدمج بين الجريانات الشاقولية والأفقية.

من النباتات المستخدمة في معالجة مياه الصرف الصحي – نبات الزل – نبات التيفا – نبات البتيموس كنباتات ظاهرة، كما يمكن استخدام المعالجة بلنباتات كمعالجة ثالثية لمياه الصرف الصحي المعالجة بيولوجيا مثل استخدام النباتات الطافية مثل عدس النهر (عدس الماء) .

ميزات طريقة المعالجة بالنباتات:

. طريقة مناسبة بيئياً ورخيصة، تُستخدم للمعالجة الثانوية والثالثية وتُستخدم للمعالجة الثالثية كخطوة مستقلة لإزالة النتروجين والفوسفور .

. تشغيلها بسيط ولا تحتاج الى كوادر عالية التأهيل.

. فعاليتها في القضاء على البكتريا الضارة والفيروسات وبيوض الديدان الممرضة.

. تحتاج لمساحة كبيرة لذا ينحصر استخدامها للغزارات الصغيرة.

طرائق معالجة مياه الصرف الصحي الصنعية:

تعتمد هذه الطرق أيضاً على تقليد ما يجري في الطبيعة (قوى التنقية الذاتية) مع التحكم بظروف المعالجة مما يؤدي الى اختصار زمن المعالجة والمساحة اللازمة لهذه الطرق.ان هذا التحكم يؤدي الى تحقيق وثوقية أعلى بالمحطات.**قبل التعرض للطرق سنستعرض الفروقات بين الطرائق الطبيعية والصنعية وهذه الفروقات تتلخص بـ:** مساحة الأرض اللازمة للطرق الطبيعية أكبر بكثير.

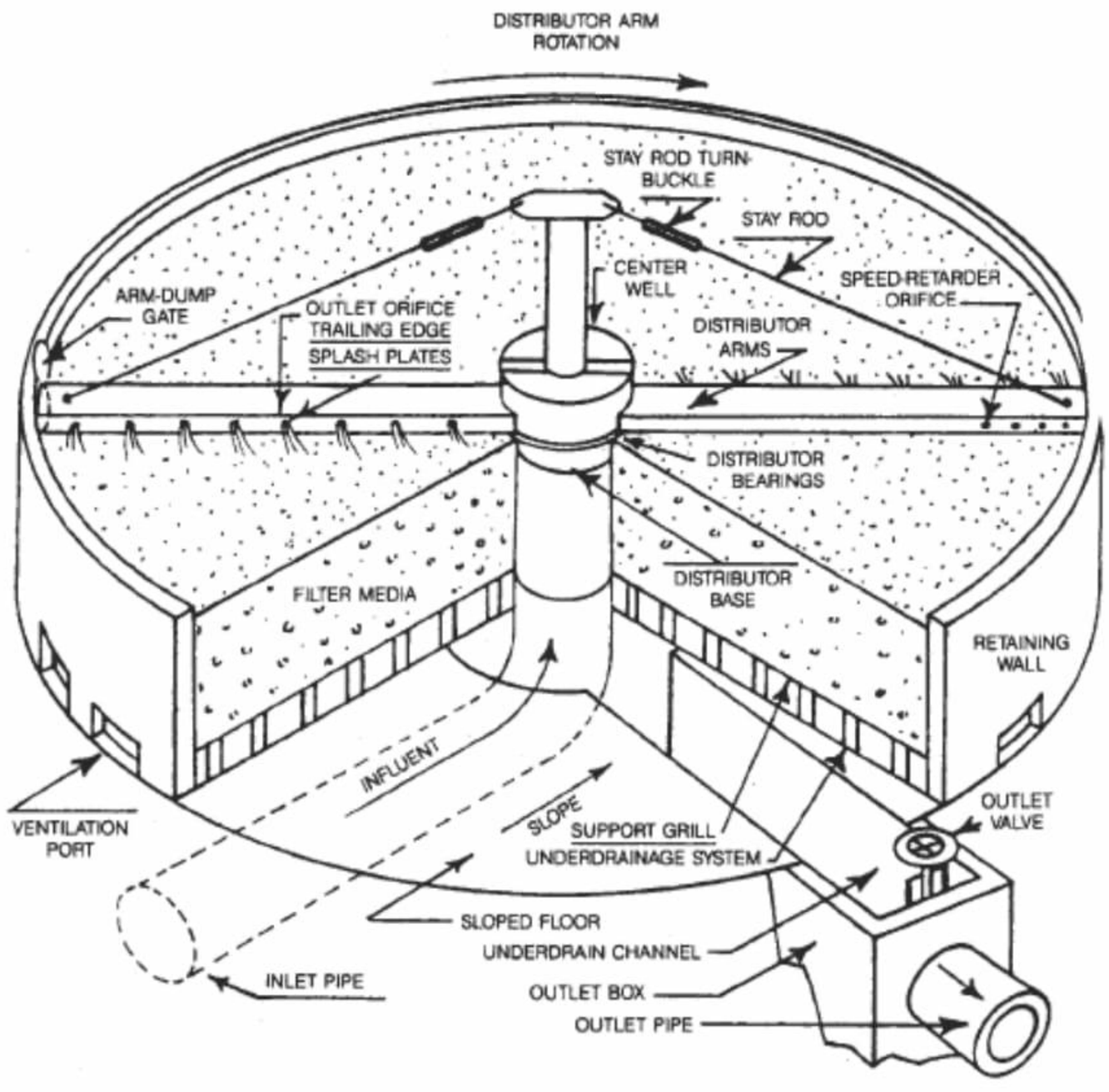
1. تعتمد الطرق الصنعية بشكل كبير على التجهيزات الميكانيكية.
2. كلفة الصيانة والتشغيل أكبر والكادر اللازم لتشغيلها أكبر وتجهيزات أعلى.
3. التأثير السلبي للمحطة على الجوار (في حالات المحطات الطبيعية أكبر، أما تأثير المحطات الصنعية فمرتبط بصحة تشغيلها.
4. طرق معالجة الحمأة بالطرائق الطبيعية أبسط وكمية الحمأة أقل.
5. غالباً تكون الأحواض المختلفة في محطة معالجة صنعية ذات وظيفة واحدة (فيزيائية، كيميائية، بيولوجية).

نميز بين نوعين رئيسين من هذه الطرائق وهي:

. طريقة الحمأة المنشطة

. طريقة المرشحات البيولوجية:

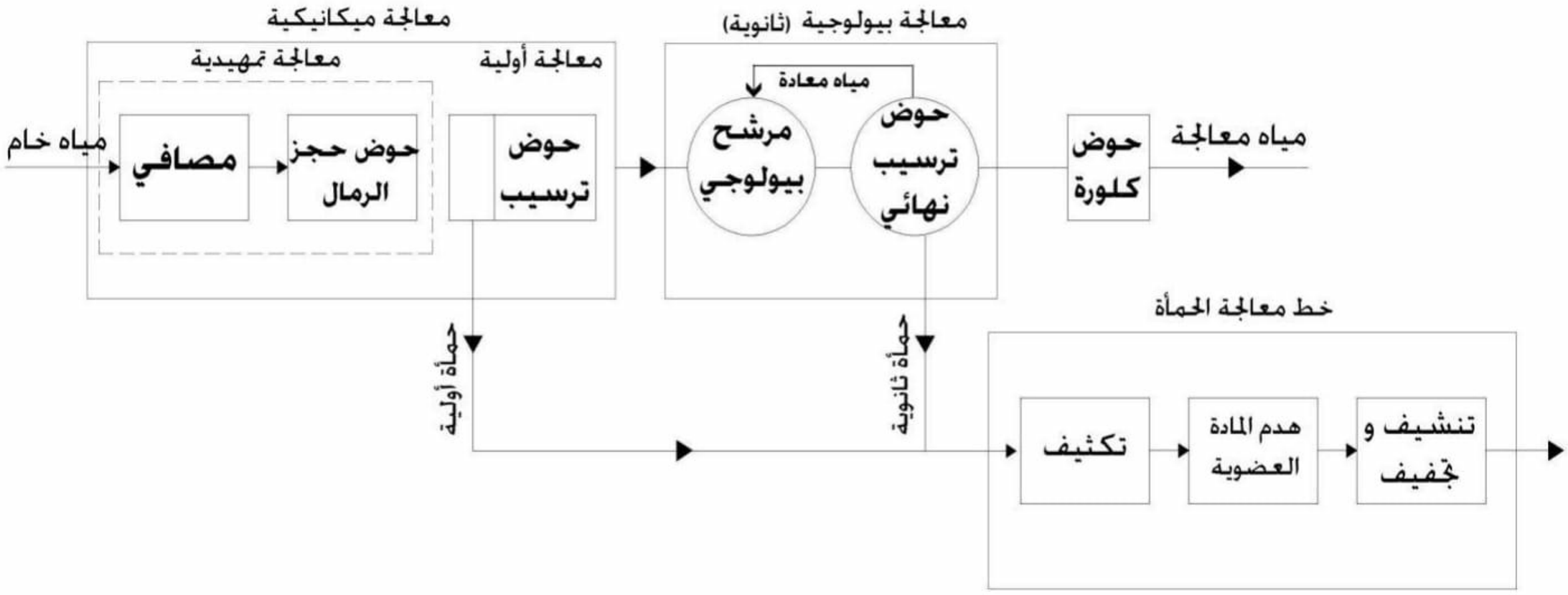
المرشحات البيولوجية: تسمى أيضاً (طرائق لأسطح الثانية) المرشح البيولوجي هو عبارة عن منشأة هندسية على شكل اسطوانة كبيرة (قطر يتراوح بين 10–40 متر) وارتفاع (2.5–5 متر) تمتلئ عادة بمادة حجرية أو بلاستيكية تنمو عليها البكتيريا التي تقوم بهدم المادة العضوية في المياه التي ترش على سطحها وتمر عبر الفراغات بين مادة الملىء.كما في الشكل التالي رقم (9)



:

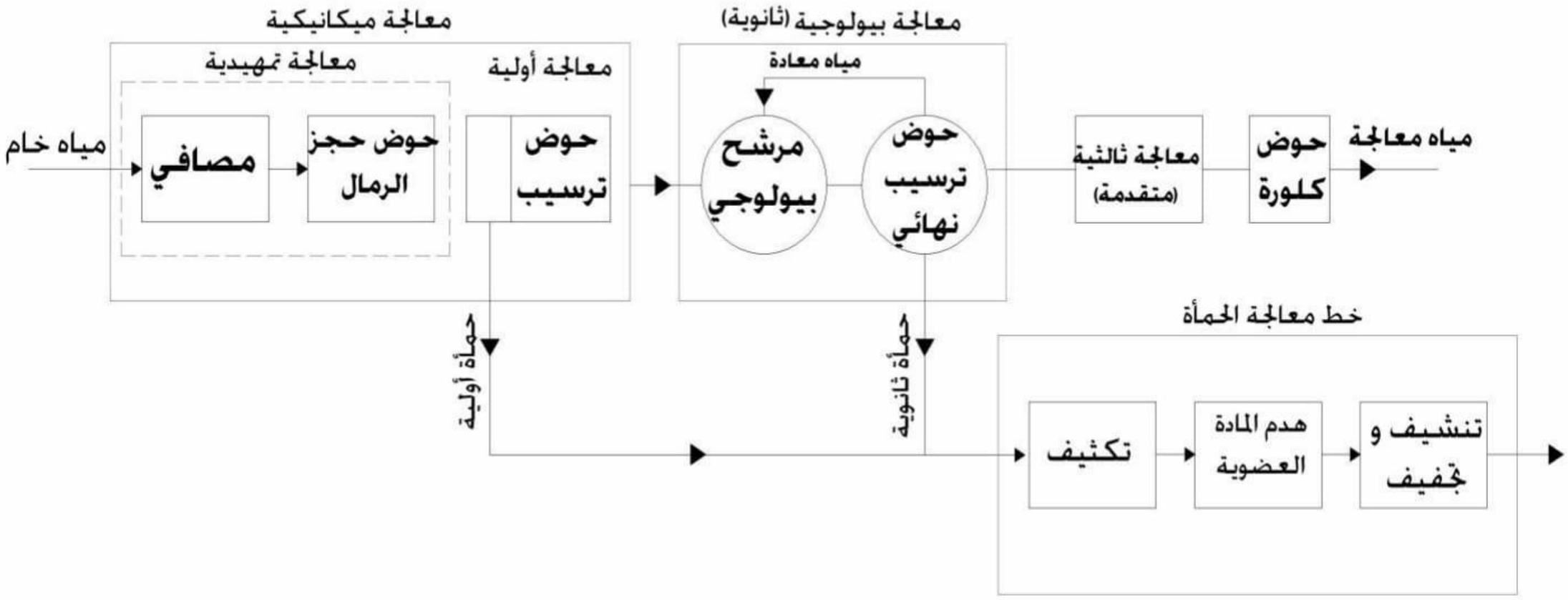
الشكل رقم (9) منظور للمرشح البيولوجي

والمخطط التكنولوجي لهذه الطريقة: الشكل رقم (10)



الشكل رقم (10)

في حال تم الحاق المعالجة الثانوية بمعالجة ثالثية يصبح المخطط التكنولوجي كما في الشكل (11)

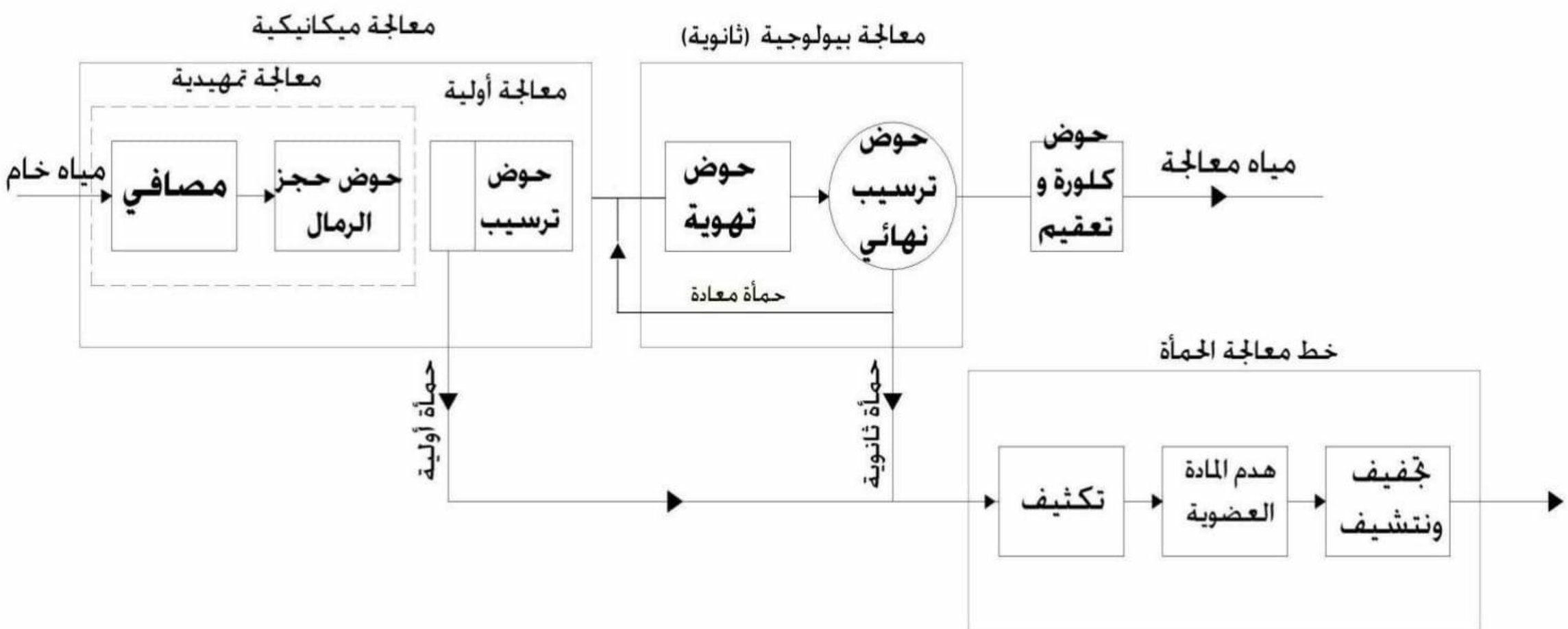


شكل رقم (11)

. **طريقة الحمأة المنشطة:**

وهي الطريقة الأكثر انتشاراً في العالم على عكس الطريقة السابقة فإن الكائنات الحية (البكتيريا) تكون سابحة في حوض التهوية (حوض الحمأة المنشطة) .

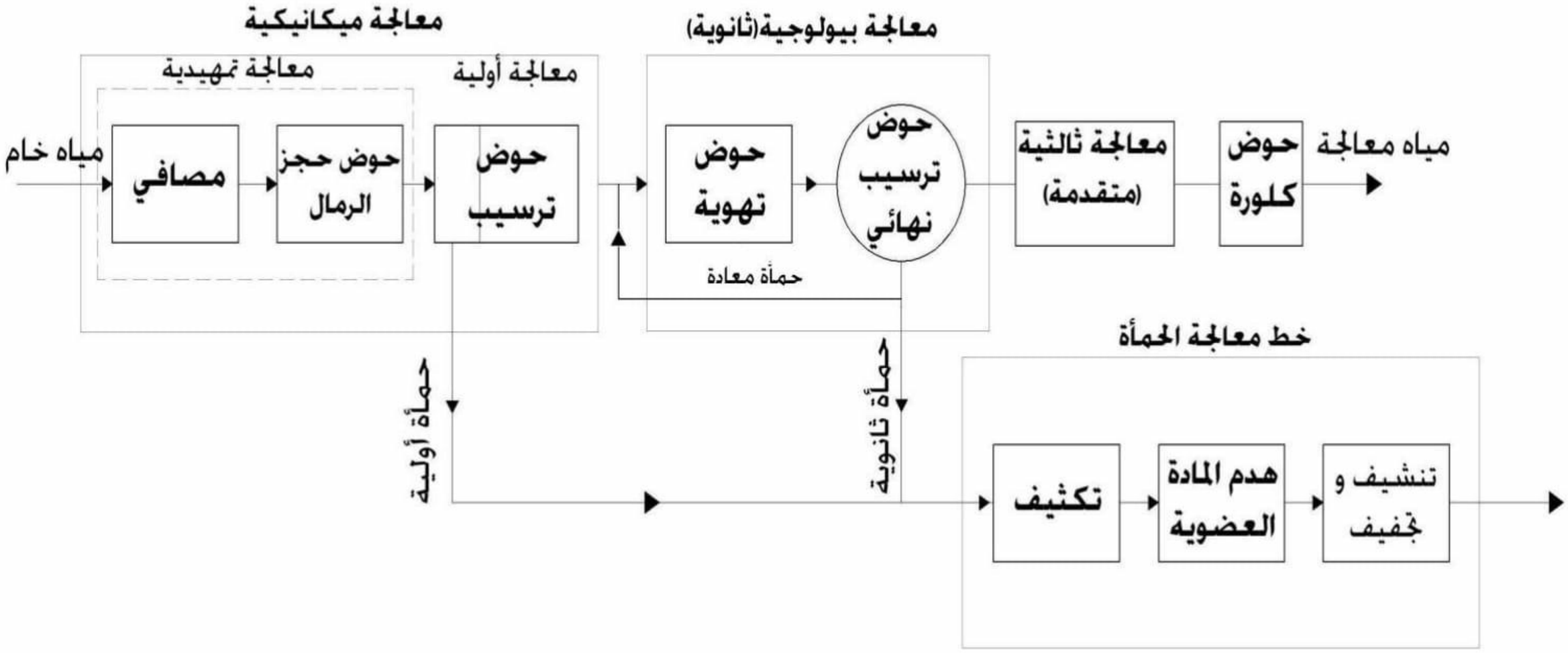
الشكا التالي يبن المخطط التكنولوجي لطريقة المعالجة البيولوجية (ثانوية فقط) الشكل رقم (12):



شكل رقم (12)

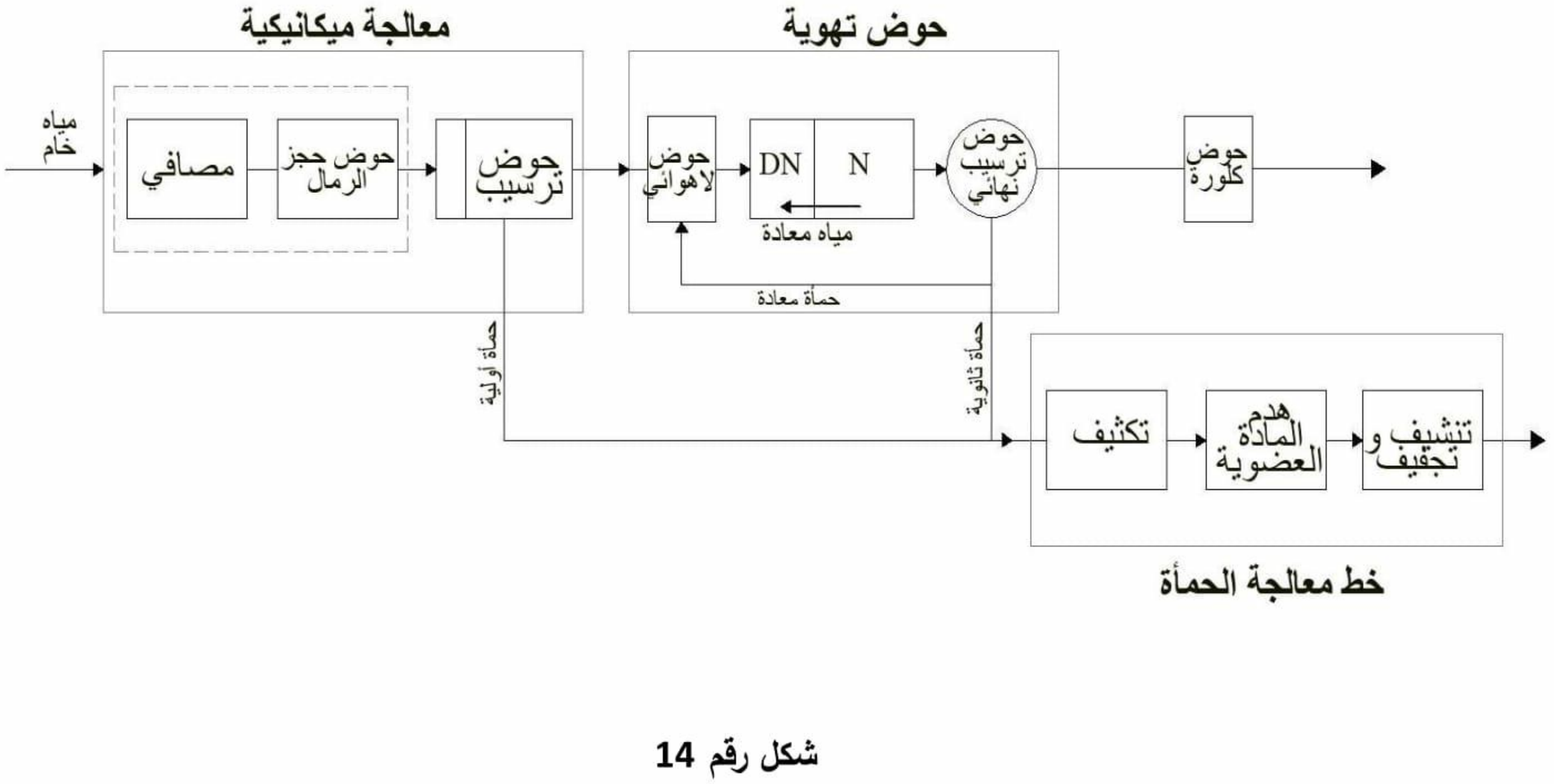
اذا تطلب المردود ازالة المغذيات (فوسفور ونتروجين) لابد من اضافة خطوة متقدمة (ثالثية) .اما ان تكون خطوة مستقلة او مدمجة مع المعالجة الثانوية .

اذا كانت هذه الخطوة مستقلة (لاحقة) يصبح المخطط التكنولوجي كما في الشكل (13)



شكل رقم (13)

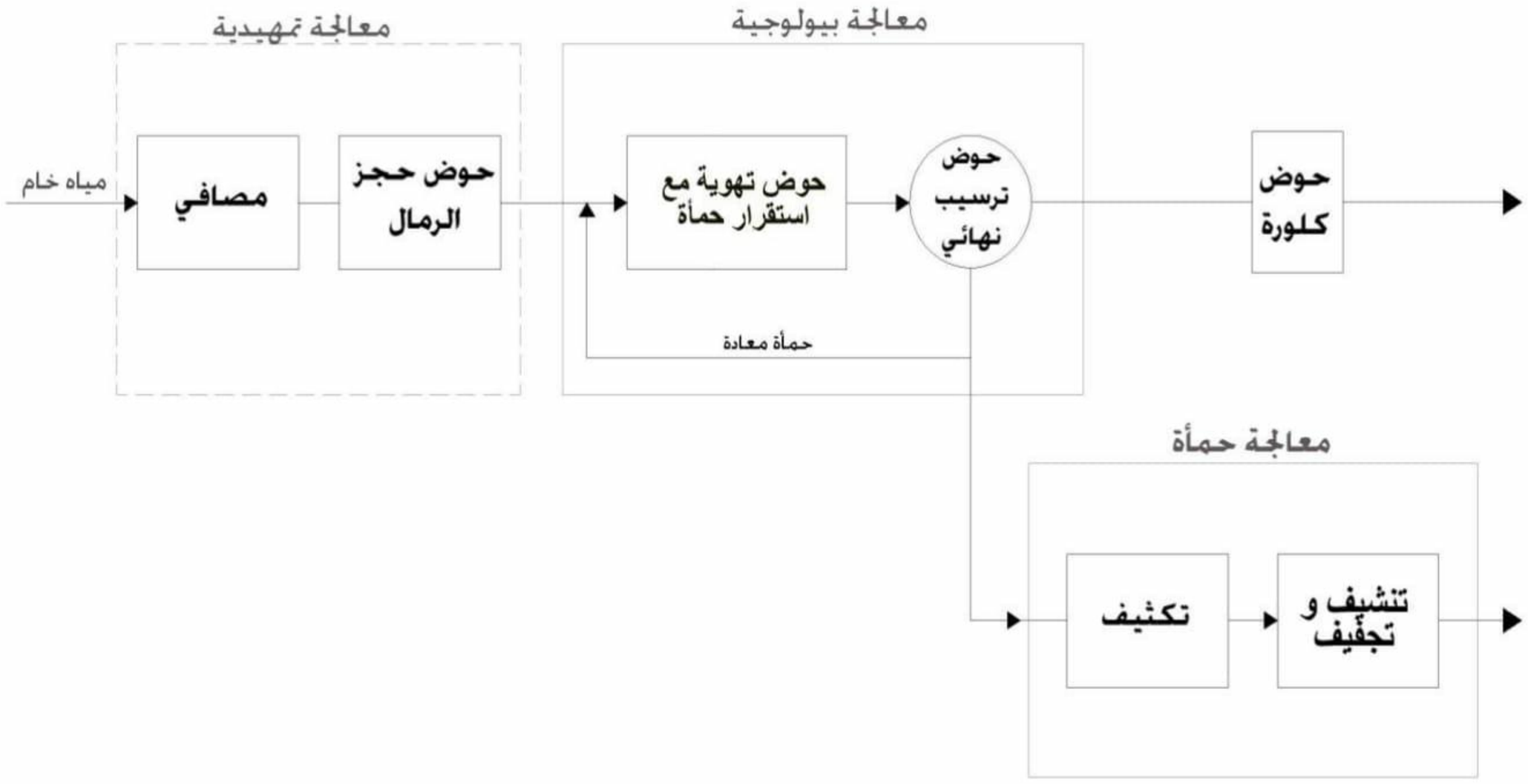
يمكن دمج المرحلة الثانوية مع المرحلة المتقدمة وبالتالي يصبح المخطط التكنولوجي كما في الشكل رقم (14) :



شكل رقم 14

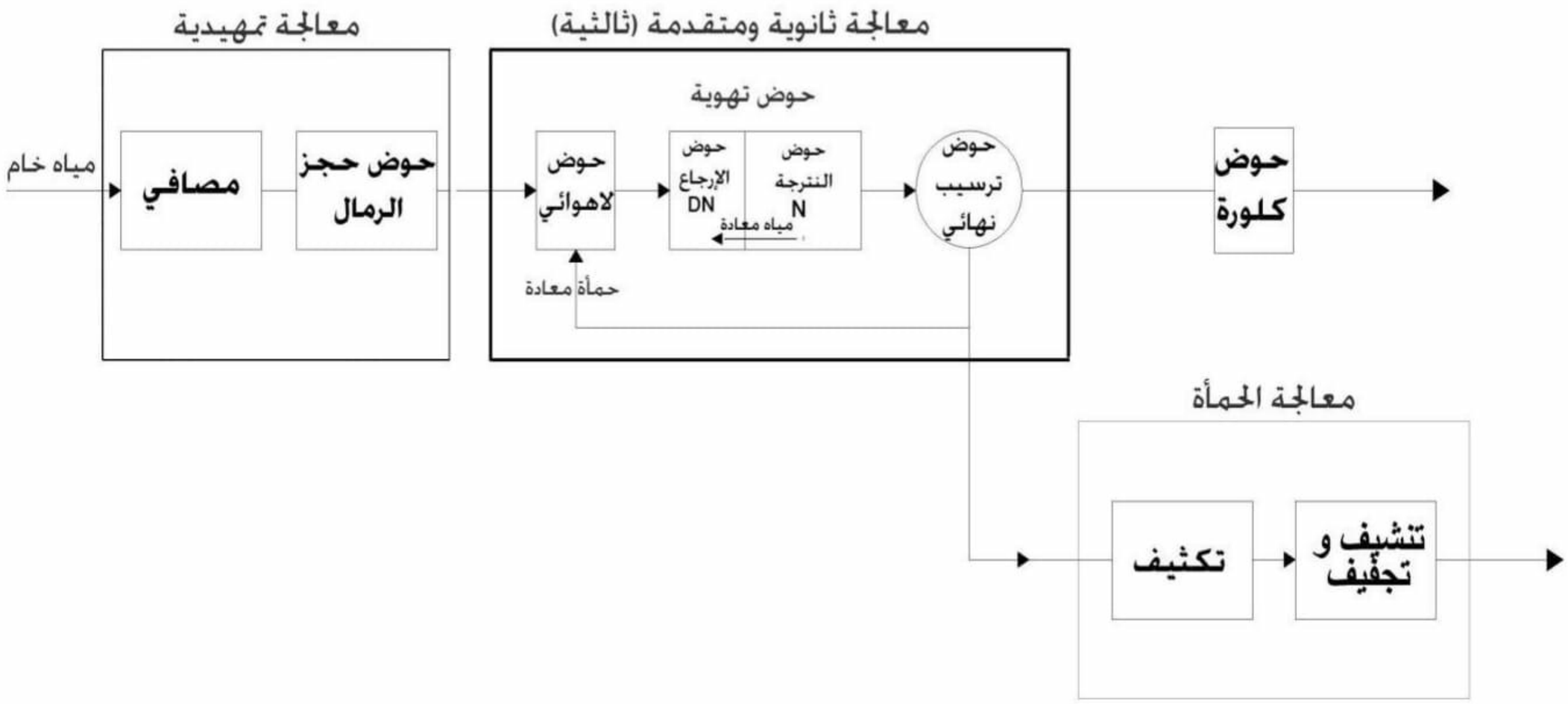
الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة :

كما سنرى لاحقا يمكن للتجمعات الصغيرة والمتوسطة (حتى 150.000) نسمة هدم المادة العضوية في الحمأة في حوض التهوية) وهذا ما يسمى تثبيت الحمأة هوائيا بشكل متزامن مع المياه في حوض واحد) في هذه الحالة يتم الاستغناء عن حوض الترسيب الاولي (كمعالجة أولية) وخطوة هدم المادة العضوية في خط معالجة الحمأة لانها هدمت في حوض التهوية) وبالتالي يصبح المخطط التكنولوجي لهذه الحالة الخاصة كما في الشكل (15) :



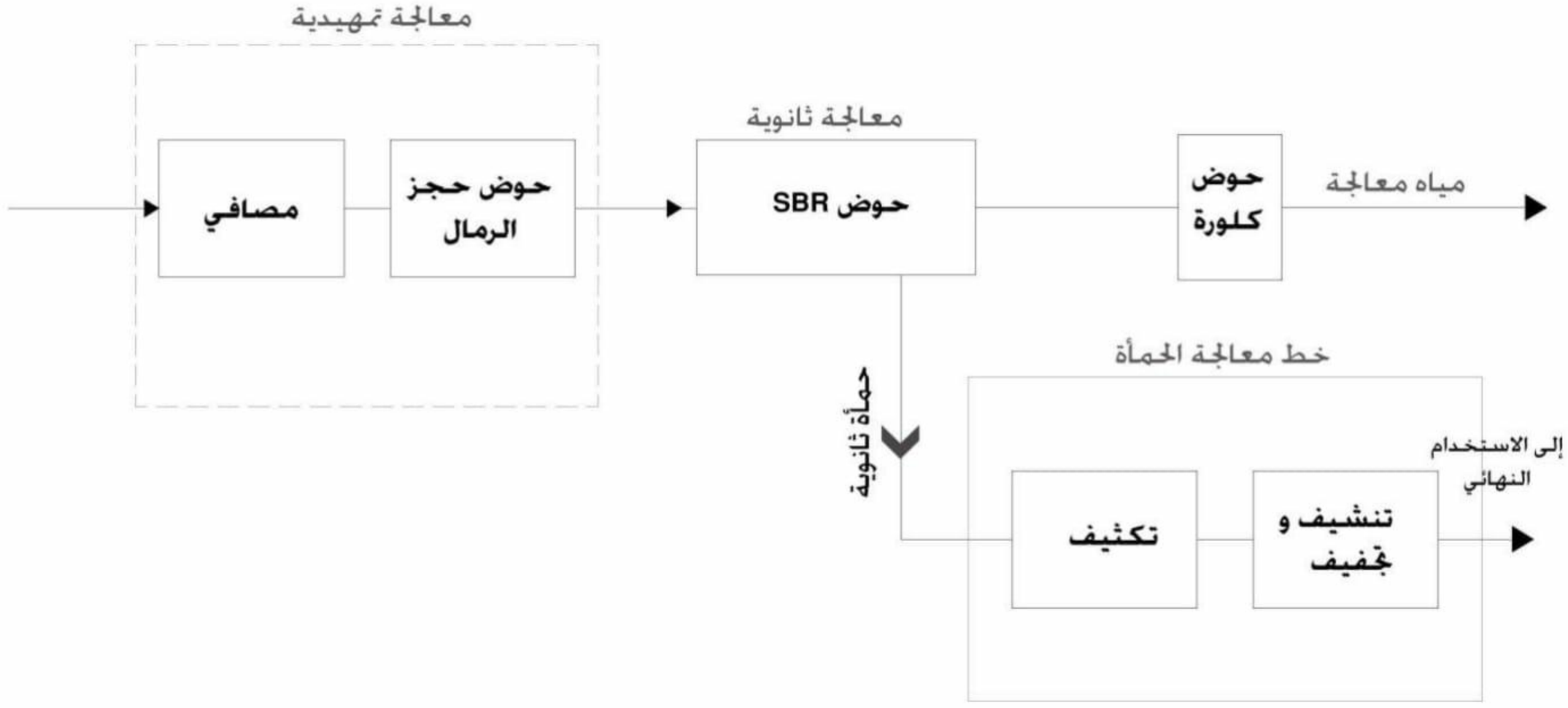
الشكل رقم 15

ايضا في هذه الحالة يمكن في حال كان المطلوب معالجة المياه ثالثيا دمج هذه الخطوة مع الثانوية ويصبح المخطط التكنولوجي في هذه الحالة كما في الشكل (16)



الشكل رقم (16)

- **تفنية الـ SBR :في هذه التقنية يكون المخطط التكنولوجي كما في الشكل (17)**



الشكل رقم (17)

العوامل المؤثرة على اختيار طريقة المعالجة :

ان تحقيق المردود المطلوب من محطة المعالجة يمكن تحقيقه بعدة طرائق معالجة .من ناحية اخرى ان لكل طريقة من طرائق المعالجة المذكورة حدود للاستخدام (من حيث عدد سكان التجمع)، وبالتالي ان اختيار طريقة المعالجة يكون من بين عدة طرائق **تحقق** المردود المطلوب وتتناسب مع عدد سكان التجمع المدروس .

ان المقارنة بين الطرائق الممكنة الاستخدام لتجمع سكاني محدد يتم باستخدام طريقة عوامل التثقيل حيث تتتم المقارنة بين الطرائق وفق عوامل مقارنة فنية واقتصادية وتشغيلية وبيئية نذكر منها:

1.كلفة بناء وإنشاء المحطة

2.التجهيزات الميكانيكية والكهربائية المستخدمة **في المحطة**

3.استهلاك الطاقة وكلفة التشغيل والاستثمار بشكل عام .

4.الظروف المناخية .مثل درجة الحرارة واتجاه الريح السائد.

5.معالجة الحمأة (يجب أن تحدد طريقة معالجة الحمأة أثناء المقارنة بين الطرائق الممكنة).

6.المساحة اللازمة لإنشاء المحطة .

7.استخدام المواد الكيميائية (يجب معرفة المواد اللازمة وكميتها لأنها تؤثر على اقتصادية الحل وعلى نواتج المعالجة) .

8.الحاجة الى كوادر التشغيل ودرجة تأهيلها .

9.موثوقية وبساطة الطريقة ودرجة ملائمتها للواقع المحلي .

10.مرونة الحل ووثوقيته

11.تحمل الصدمات العضوية والهيدروليكية .

حيث يمنح كل عامل من عوامل المقارنة علامة تبعا لطريقة المعالجة ويسمى **علامة الطريقة.**

. في **الخطوة الثانية** لطريقة عوامل التثقيل : يمنح كل عامل مقارنة **علامة ثقل** تبعا لأهمية العامل في موقع المحطة المدروسة .

. في **الخطوة الثالثة** يتم ضرب علامة الطريقة بعلامة الثقل ولكل طريقة على حدى .

. في الخطوة الأخيرة يتم جمع نواتج الضرب لكل طريقة على حدى ومن ثم جمع نواتج الضرب، الطريقة التي تحصل على **اعلى مجموع** هي الطريقة المناسبة .