المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في محطات المعالجة

إعداد

د.م عبد الرزاق محمد سعيد التركماني

دكتوراه في الهندسة البيئية

استشاري بيئي – المدينة الصناعية بحسياء

عضو لجنة الخبراء السوريين للمياه IPN

مدير موقع الهندسة البيئية (www.4enveng.com)

٢٠٠٩

E-mail: admin@4enveng.com Tel: 031-21781660 Mobile: +963 – (0) 955250275

أولا" : المعالجة البيولوجية الهوائية

١ - العمليات البيولوجية :

١ - ١ المعالجة البيولوجية بواسطة الحمأة المنشطة :

إن النشاطات البشرية و مياه الصرف الصناعي عادة ما تشكل ما يعرف بالمياه الملوثة. اذا تم صرف المياه الملوثة إلى الطبيعية بدون معالجة فان المستقبلات المائية سوف تتلوث و ستصبح ناقلة للأمراض مما يعرض الناس إلى الخطر. في بداية القرن العشرين تم اختراع طريقة المعالجة البيولوجية ومنذ ذلك الوقت حتى الآن تشكل المعالجة البيولوجية الطريقة الأكثر شيوعا بالعالم لمعالجة مياه الصرف الصحي .

تقوم العملية البيولوجية على إشراك الكائنات الدقيقة (بكتريا –بروتوزوا- طحلبيات .. الخ) في أكل و هضم المواد العضوية الكربونية . و كنتيجة لذلك تتكاثر الكائنات الدقيقة و تصبح المياه شبكة خالية من الملوثات العضوية .يمكن إعادة استعمال المياه المعالجة وفق شروط معينة .

على الرغم من أن مبدأ المعالجة البيولوجية بسيط إلا أن التحكم بهذه الطريقة معقد جدا و ذلك بسبب تشعب العوامل التي تؤثر على عملها . ومن هذه العوامل نذكر باهاء المياه (pH) .

إن تدفق كمية قليلة من المواد السامة يؤدي الى اثباط الكائنات الدقيقة و بالتالي توقف المعالجة البيولوجية . ان الهدف الأساس من المعالجة البيولوجية هو تخفيض محتوى المواد العضوي (BOD - COD) ضمن المياه المعالجة بالإضافة إلى تخفيض تركيز المغذيات مثل الفوسفور و النتروجين .

١ - ٢ : طبيعة و تركيب المياه الملوثة :

ان مياه المجاري تحوي بشكل رئيسي المواد العضوية الكربونية و التي تكون اما منحلة أو معلقة (دقائقية) . ان المواد الدقائقية تشكل ٦٠ % من المواد العضوية الكربونية و حوالي نصفها قابلة للترسيب . ان المواد ذات القطر بين واحد مليمتر (1mm) الى مائة ميكرون (100 micro meter) تبقى بشكل معلق ضمن المحلول و أثناء المعالجة يتم امتزازها الى داخل الندف و التجمعات البكتيرية حيث هضمها و ازالتها . ان الجزء القابل للتحلل البيولوجي من المواد العضوية يشمل الكربوهيدرات و البروتينات و الحموض الأمينية و الدهون و الحموض الدهنية . تحوي مياه المجاري على الكربون و النتروجين و الفسفور بالنسبة التالية / C-N-P / و على العموم يمكن أن

تتغير هذه النسبة من 100-17-5 الى 100-19-6 و هي قريبة من النسبة الملائمة للمواد التكاثر البكتيري 100-5-1 .

١ - ٣: الكربون القابل للتحلل و الغير قابل للتحلل :

إن معرفة شدة الحمولة العضوية ضمن مياه المجاري يمكن من التشغيل المضبوط و المحطة المعالجة. هناك العديد من البارمترات التي تستخدم لتحديد شدة المواد العضوية ضمن مياه المجاري و سنتطرق إليها بشيء من التوضيح.

- ***الكربون العضوي الكلي (TOC)*** : يتم حرق العينة بدرجات حرارة عاليةجدا" ثم يتم قياس كمية غاز ثاني اكسيد الكربون المنطلق .إن TOC يشمل جميع المواد العضوية الكربونية بما فيها المواد العضوية الثابتة التي لا يمكن أن تتحطم بالتحليل البيولوجي .
- ***الاحتياج الكيميائي للاكسجين (COD)*** : و هنا يتم قياس الكربون العضوي بالأكسدة الكيميائية حيث يتم تسخين العينة بوسط حمض قوي (حمض كبريت) حاوي على ديكرومات البوتاسيوم و بالتالي يتم تحديد الكربون المؤكسد بواسطة تحديد كمية الديكرومات المستخدمة أثناء التجربة . و تشمل قيمة COD المواد العضوية الغير قابلة للتحليل البيولوجي و على العكس فإن بعض المركبات مثل البنزين و التي يمكن أن تتحلل بواسطة البكتريات فإنها تتحلل بشكل جزئي ضمن تجربة قياس الCOD .
- ***الاحتياج البيولوجي للأكسجين (BOD)*** : تعتبر قيمة BOD عن الكربون العضوي القابل للتحليل البيولوجي و يتم تحديدها بواسطة الاكسجين المستهلك اثناء التجربة (زجاجةتحوي مياه صرف صحي يقاس تركيز الاكسجين قبل و بعد فترة الاحتضان (٥) ايام و بدرجة حرارة (٢٠)مئوية و بحيث توضع عينة التجربة في مكان مظلم. و تعرف هذه القيمة BOD5 .

و من أجل التأكد من أن المواد العضوية الكربونية فقط سيتم أكسدتها بواسطة الكائنات الدقيقة فإنه يتم إضافة مواد كيميائية لتثبيط أكسدة المواد العضوية النتروجية .

إن قيمة BOD هي دائما أقل من قيمة COD و ذلك لسببين :

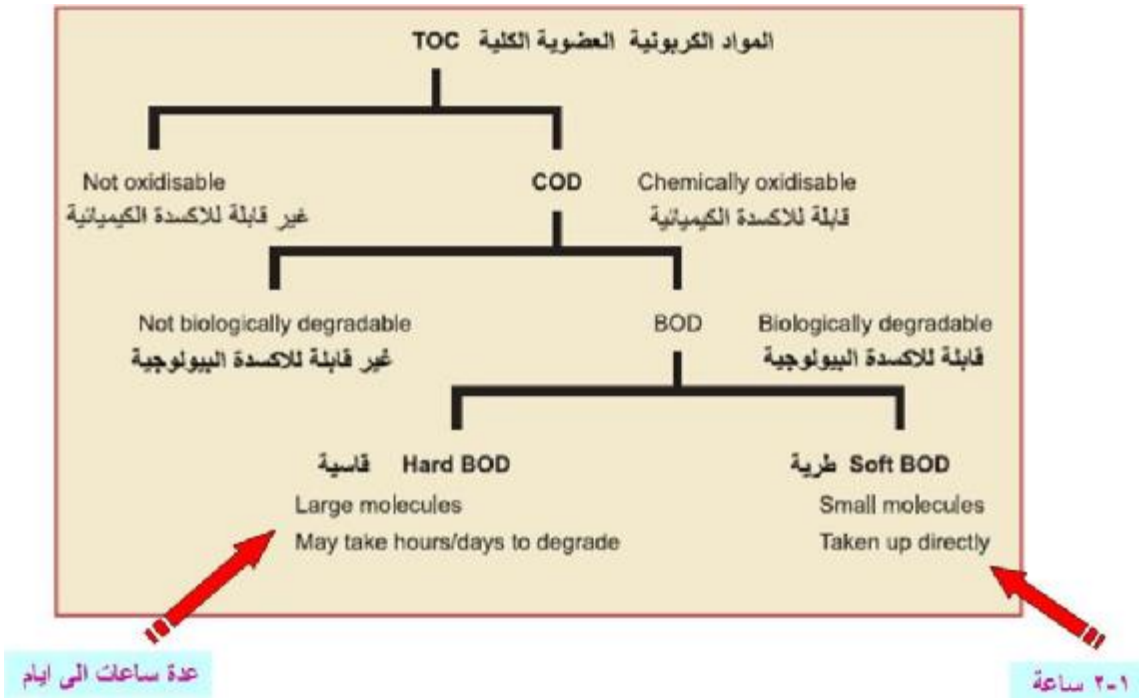
١- لاتستطيع الحمأة المنشطة هضم بعض المواد العضوية التي يتم أكسدتها في تجربة COD .

٢- بعض الكربون المزال في تجربة BOD لايتأكسد ولكن يدخل في الخلايا البكتريا الجديدة ولذلك فان قيمة BOD تعبر فقط عن المواد العضوية التي تمت أكسدتها فعليا.

إن النسبة BOD5 / COD تعتمد على نوعية المياه الملوثة . فمثلا من أجل المجاري المنزلية تكون بين 0,5-0,6 و تكون من أجل المياه النهائية لمعالجة 0,2 .

١ - ٤ : تصنيف الـ BOD :

يمكن تصنيف BOD الى جزء طري (Soft) و آخر قاسي (Hard) و ذلك حسب سرعة أكسدة المواد العضوية ان المركبات ذات الوزن الجزيئي الصغير يتم ازالتها فور دخولها الى حوض التهوية و ازالتها يستغرق بين ١-٢ ساعة . هذه المجموعة من المركبات يطلق عليها المواد سهلة التحلل البيولوجي او Sof BOD / وأما المركبات ذات الوزن الجزيئي الأكبر فان زمن ازالتها يتراوح بين عدة ساعات الى عدة أيام. إن هذه المركبات الأقل سهولة في التحلل البيولوجي يطلق عليها Hard BOD. لذلك إذا كان زمن المكوث ضمن أحواض التهوية غير كافي فان المواد العضوية صعبة التحلل البيولوجي (Hard BOD) ستخرج مع السبب النهائي. الشكل(١) التالي يمثل المواد العضوية ضمن مياه المجاري.

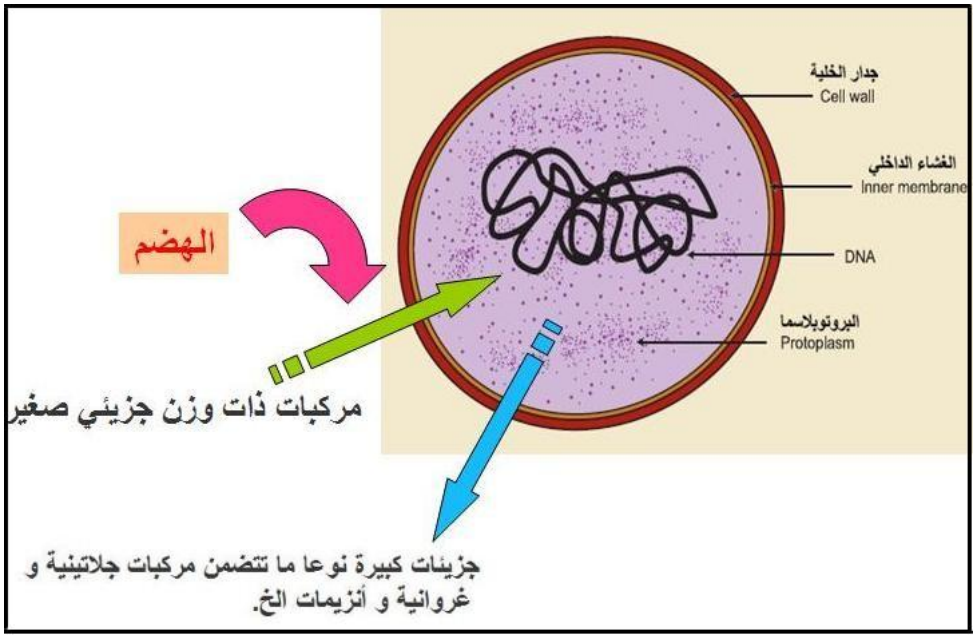


الشكل(١) المواد العضوية ضمن مياه المجاري

٢ -تركيب الحمأة المنشطة :

٢ - ١ : بكتريا الحمأة المنشطة :

إن الحمأة المنشطة داخل أحواض التهوية عبارة عن تجمعات معقدة من الكائنات الدقية (الأحياء الدقيقة) . ان الأحياء الدقيقة السائدة ضمن أحواض التهوية هي البكتريا التي يزيد عدد أنواعها عن ٣٠٠ نوع . كل خلية بكتيرية لها أبعاد و بين ٠.٥-٢ ميكرون . وكل خلية بكتيريا تكون محاطة بغشاء ينظم دخول الشوارد و الجزيئات من الوسط المحيط . و بدوره يحاط الغشاء بجدار خلوي قاسي مصنوع من البوليمر السكري . تحوي الخلية البكتريا في الداخل على السيتوبلاسما و آلاف من العناصر الكيميائية المتنوعة و بحيث تلعب الأنزيمات دور المنظم للتفاعلات الكيميائية الحاصلة ضمن الخلية . و معروف أن الخلية البكتيريا لا تحوي على نواة . ان المركبات الجزيئية الصغيرة تمر عبر الجدار و الغشاء الى داخل الخلية و هذا ما يطلق عليه بعملية الهضم . و بنفس الوقت فان بعض المركبات الجزئية المعقدة يتم تصنيعها داخل الخلية تمر الى الخارج و هذه العملية يطلق عليها الفرز(أو الطرح) . يوضح الشكل (٢) الخلية البكتيرية .



الشكل (٢) يبين مكونات الخلية البكتيرية

إن نواتج عملية الطرح تشمل مركبات جيلاتينية و هلامية و التي تساعد في الربط بين البكتيريا مع بعضها و مع الانزيمات . الانزيمات تحطم الجزيئات العضوية المعقدة الى جزيئات بسيطة تدخل بسهولة الى داخل الخلية عبر الانتشار. تستخدم البكتريا هذه المواد البسيطة الداخلة في عملية التركيب الخلوي و في عملية النمو . تتكاثر البكتريا بالانقسام الثنائي و ذلك عند نموها الى حد

معين ومن ثم تنمو البكتريا الصغيرة بدورها الى أن تكبر ثم تنقسم و هكذا و بوجود المغذيات (فوسفور و نتروجين) فان النمو يزداد بشكل أسي مما يساهم في النمو السريع للبكتيريا.

تنقسم البكتريا ضمن مياه المجاري الى قسمين : متباين التغذية و ذاتي التغذية . ان البكتريا متباينة التغذية (أو البكتريا الكربونية) هي السائدة من بين الحياء الدقيقة . و هي تتميز بأنها تتغذى (بشكل رئيسي) على المواد العضوية مقارنة مع استهلاكها للمواد اللاعضوية . وعلى العكس فان البكتريا ذاتية التغذية تعتمد على العناصر اللاعضوية الكيميائية في تركيب العناصر الكربونية ان بكتريا النترجة التي تزيل الامرنيا من مياه الصرف الصحي تعتبر الأكثر أهمية في مجموعة البكتريا ذاتية التغذية و بسبب العدد القليل للبكتريا ذاتية التغذية بسبب بطء معدل نموها فهي غير قادرة على منافسة بكتريا متباينة الغذاء وهذه ما يفسر أن عملية النترجة تحصل بعد عملية تهوية طويلة (عدة أيام) .

٢ - ٢ الندف البكترية :

ان التشغيل الجيد لحوض التهوية يساعد على حصول تكتلات بكترية تسمى الندف . كما أن أعدادا أخرى من البكتريا تبقى حرة ضمن الوسط المائي . هذه الندف تتشكل من تراكم البوليمرات العضوية غير الحية التي تطرح من البكتريا وهذه الندف ذات بنية مسامية (تحوي ثقوب هائلة) قادرة على مقارنة قوى القص الناتجة عن حركة المياه اثناء التهوية . وهذه الندف ذات أبعاد مختلفة من عشرة ميكرون الى واحد ملم (ألف ميكرون) . الشكل (٣) يبين صورة فوتوغرافية دقيقية للندف البكترية ضمن أحواض التهوية .

الشكل(٣) صورة مجهرية للندف البكتيرية ضمن السائل الممزوج بحوض التهوية

إن البكتريا تلتصق على السطوح الداخلية و الخارجية للندفة ذات الحجم المتوسط و بما يكون عليها عدة ملايين من البكتريا . بعد دخول مياه المجاري مباشرة الى حوض التهوية فان المواد الفروانية و الدقائقية الناعمة و الجزيئات الكبيرة تصبح على تماس مع الندف و تلتصق عليها أخيرا و بدورها تفرز البكتيريا الأنزيمات اللازمة لتحطم المواد العضوية المعقدة الى مواد بسيطة يسهل دخولها الى سيتوبلاسما النحلية البكترية (الهضم) و على أية حال فان البكتريا الموجودة داخل الندفة تعاني من نقص الاكسجين المنحل ضمن المياه بسبب انتشار الاكسجين بشكل متدرج بحيث يكون أكبر يمكن على سطح الندفة الخارجي و أقل ما يمكن داخلها .

و بما أن الحد الأدنى للاكسجين المنحل ضمن أحواض التهوية يجب أن يكون ٠.٦ ملغ / ل ليؤمن حياة هوائية للكائنات الدقيقة فان زيادة كمية الاكسجين المنحل الى داخل الندف بما يزيد ٠.٦ ملغ /ل ممن يضمن المستعمرات البكترية سوف تظهر بسبب نفاذ الاكسجين المنحل داخل الندفة و هذه المستعمرات تشمل البكتريا الاختبارية .

كما أن السطح الخارجي لندف الحماة المنشطة سوف تستعمر من قبل كائنات حية دقيقة ذات مستوى غذائي أعلى مثل الحيوانات وحيدة الخلية و هذه الكائنات تتغذى على البكتريا و المواد الدقائقية ضمن مياه الصرف الصحي.

٣ - الاستقلاب البكتيري:

إن معالجة مياه المجاري ضمن أحواض التهوية تهدف الى ازالة المواد العضوية من المزيج بواسطة هضمها من قبل البكتريا و حالما تدخل مياه الفضلات الى حوض التهوية تتم عدة عمليات تهدف الى استقلاب مركبات الكربون . وبشكل عام فان الاستقلاب يشمل آلاف التفاعلات الكيميائية المتزامنة داخل البكتريا و كل تفاعل من التفاعلات يحدث عملية تحويل المادة العضوية الى مركب أو منتج بوجود الأنزيمات.

substrate مادة عضوية أو غيرها + (أنزيم وسيط) → Product منتج

وبدوره فان المنتج يصبح مادة أساسية في الغذاء للمرحلة التالية من السلسلة الغذائية و بحيث يتحول بوجود أنزيمات أخرى غير التي موجودة بلمرحلة الأولى الى منتج آخر مختلف . و حتى تتم هذه العمليات لا بد أن يتم توفير الطاقة للبكتريا وهذاما يطلق عليه بالتفاعلات المستهلكة للطاقة. و أما التفاعلات الأخرى المنتجة للطاقة فان المادة الخام تحول الى منتج بواسطة العمل الأنزيمي و عموما فان الاستقلاب يقسم الى مراحل أساسية و هي :

- عملية الهدم(Catabolism) أو استقلاب الطاقة : و فيها يتم تحطيم مركبات الكربون عبر سلسلة من التفاعلات و بالتالي الحصول على الطاقة الخلوية. و هذه العملية عبارة عن أكسدة بيولوجية و تمثل أساس عملية التنفس "Respiration".
- عملية تمثيل المواد الغذائية (Anabolism) : تشمل سلسلة من التفاعلات التي تهدف الى التركيب الخلوي البيولوجي للجزيئات الكبيرة من الجزيئات الصغيرة. وهي عملية تحتاج للطاقة يتم تأمينها من الطاقة الناتجة عن عملية الهدم السابقة. و تمثل هذه العملية أساس عملية النمو "Growth".

٤ - العمليات الرئيسة الثلاثة التي تجري ضمن البكتريا:

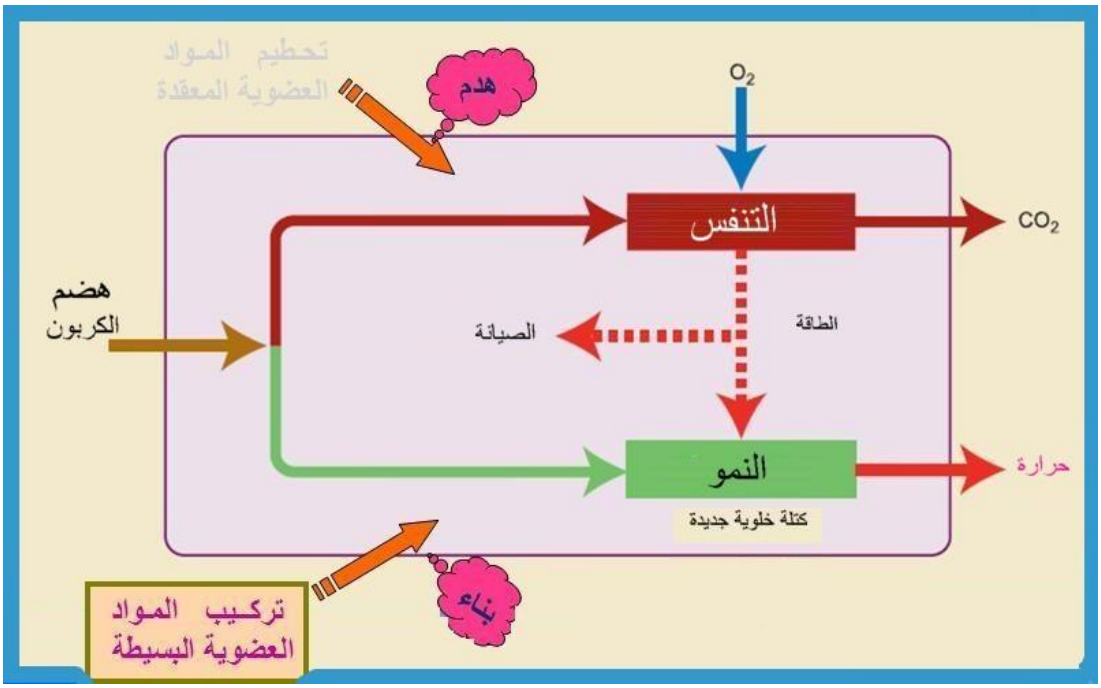
على الرغم من أن هناك عدة آلاف من التفاعلات الكيميائية المنخرطة في عملية استقلاب الخلية البكتيرية فإنه بالإمكان تحديد ثلاثة عمليات رئيسة هامة في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي. و هذه العمليات هي:

أ- الهضم

ب- التنفس

ت- النمو و الانقسام

و هذه العمليات الثلاث متكاملة فيما بينها ضمن الخلية البكتيرية كما هو موضح بالشكل(٤):



الشكل(٤) العمليات البكتيرية الرئيسة في المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي

الشكل السابق يظهر خطوات هضم الكربون العضوي. فقسم من الكربون العضوي يتم تحويله عبر عملية الاستقلاب أو التنفس إلى منتج نهائي هو ثاني أكسيد الكربون، أي أن هذا الجزء العضوي الكربوني قد تم فقدانه كليا". الجزء المتبقي من الكربون العضوي يتحول إلى لخلايا بكتيرية جديدة بفعل عمليات التمثيل البنيوي و النمو. و هذا الجزء الكربوني يبقى ضمن النظام. إن الهدف من التنفس هو تأمين الطاقة اللازمة للنمو و لصيانة البكتريا.

العمليات الثلاثة هذه (الهضم و التنفس والنمو) تسير معا" بنفس الوقت و لا يمكن أن تجري إحداها أسرع من العمليات الأخرى. و هذا بدوره يقودنا إلى أن قياس معدل الهضم هو نفسه قياس معدل التنفس أو معدل النمو.

تجدر ملاحظة أنه في المعالجة البيولوجية فإن هذه العمليات الرئيسة الثلاثة تقابل ما يلي:

- الهضم (التحلل البيولوجي)
- التنفس (متطلبات التهوية)
- النمو (إنتاج الكتلة الحيوية)

و من أجل فهم ما يحدث خلال كل عملية سوف يتم التوسع في شرح هذه المراحل الثلاث حسب الآتي:

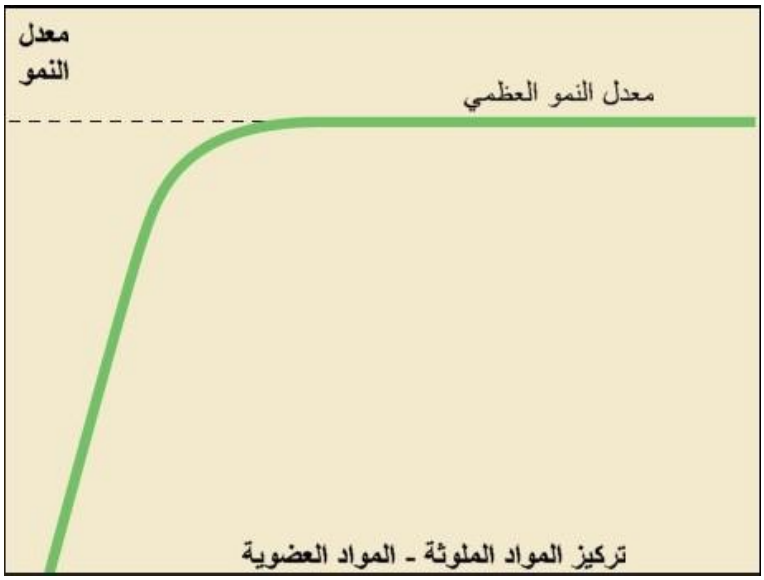
أ- الهضم (Ingestion)

في هذه المرحلة يتم مرور المركبات الكربونية العضوية و بعض الجزيئات الأخرى من الوسيط المحيط (السائل الممزوج Mixed Liquor) الى داخل الخلية البكتيرية و ذلك عبر اختراق جدارها الخلوي و غشاءها الداخلي. إن الجدار الخلوي لا يشكل اكثر من حاجز و لكن الغشاء الداخلي(Inner Membrane) فهو الذي يتحكم فعليا" بمرور المواد الى داخل الخلية البكتيرية. إن الشوارد و على سبيل المثال شاردة الصوديوم تمر بسبب ان تركيزها في السائل الممزوج أكبر منها ضمن الخلية. و تستمر بالدخول حتى يتساوى التركيز داخل و خارج الخلية. و بشكل مشابه فإن الجزيئات العضوية تمر الى داخل الخلية على الرغم من وجود آليات متنوعة متوضعة في الغشاء الداخلي للخلية و التي تساعد أيضا" الجزيئات العضوية الصغيرة على المرور. و أما الجزيئات الكبيرة فلا يمكنها المرور، و حتى يتم استخدامها من قبل الخلية البكتيرية من اجل التغذية و النمو فإن الخلية تفرز أنزيمات الى الوسط المائي حيث تقوم بتفكيك هذه المواد المعقدة الى جزئيات بسيطة يمكنها المرور الى داخل الخلية حيث يتم هضمها. إن هناك العديد من الأنواع البكتيرية و هذا يساعد في إفراز الأنزيم المناسب للمادة المعقدة المراد تحطيمها، مع العلم أن آلية إفراز

أنزيمات خاصة غير واضحة. و بمعنى آخر، إن الخلية البكتيرية تتطلب وجود مركب كيميائي معين ضمن المياه من اجل تغيير مورثاتها الجينية و ذلك لتصنيع و تركيب الأنزيم المطلوب استخدامه في الهضم. و هذا المبدأ هو الأساس لعملية التأقلم في الحمأة المنشطة.

ب – النمو البكتيري (Growth of Bacteria)

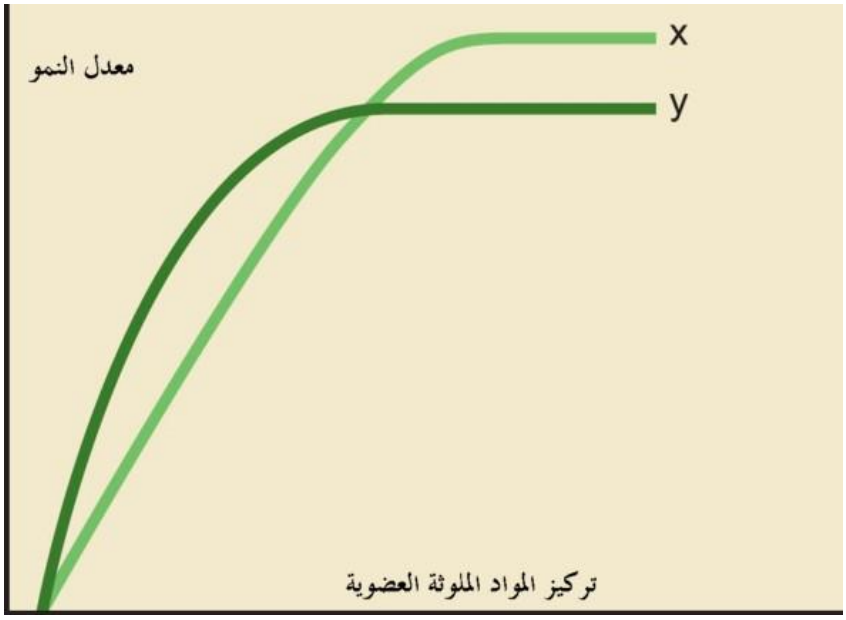
تظهر البكتيريا مقدرة عجيبة على النمو. فبعض أنواع البكتيريا يمكن ان تضاعف عددها في غضون عشرين دقيقة و ذلك بحال توفر الشروط المناسبة للنمو مثل درجة الحرارة و درجة باهاء المياه(pH) و المواد العضوية والمغذيات(فوسفور- نتروجين...) ..الخ. و يقاس معدل النمو بالزيادة الحاصلة في عدد البكتريا مع مرور الوقت. الشكل (٥) يوضح منحني النمو البكتيري و يبن معدل النمو الأعظمي تحت الشروط المثالية.



الشكل (٥) منحني النمو البكتيري

إن المواد الملوثة العضوية (Substrate)أو بمعنى آخر المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي(BOD) هي المواد الرئيسية اللازمة للنمو البكتيري. و كلما زاد تركيز المواد الملوثة العضوية كلما زاد معدل النمو البكتيري و بشكل أسّي (Exponentially) حتى يصل الى معدل النمو الأعظمي و هنا يثبت بدون اي زيادة حتى تنخفض تراكيز المواد العضوية الملوثة حيث يبدأ معدل النمو بالتناقص التدريجي. و عند التراكيز المنخفضة جدا" للمواد الملوثة العضوية تدخل البكتيريا في مرحلة التنفس و لا تنمو و لكنها بنفس الوقت تبقى حية.

إن ميل منحني النمو البكتيري يعتبر هاما" في معرفة طبيعة الملوثات بشكل عام. فكلما كان الميل شديدا" كلما دل على وجود ألفة عالية بين المواد الملوثة (انظر للشكل ، المنحي X) و البكتريا و كلما كان الاستهلاك سريعا". لا يشترط أن تكون المواد الملوثة ذات الألفة الكبيرة مع البكتيريا عند تواجدها بتراكيز مرتفعة أن تحظى بنفس الألفة عند وجودها بتراكيز منخفضة حيث بالإمكان تواجد مواد ملوثة أخرى ذات ألفة مع البكتريا أكبر عند التراكيز المنخفضة للمواد الملوثة. و هنا بهذه الحالة سيكون ميل منحني النمو أكبر مما هو عليه من ميل النمو للمواد الملوثة ذات التركيز المرتفعة و لكنه بنفس الوقت فإن ارتفاع منحني النمو البكتيري سيكون أخفض (انظر للشكل ٦، المنحني Y). بعض البكتريا الخيطية تنشأ في أحواض التهوية بسبب وجود الألفة العالية بين المواد العضوية الملوثة و البكتريا.



الشكل (٦) يبين اختلاف منحني النمو تبعا" للألفة بين المواد الملوثة و البكتيريا
المنحني X يمثل مادة ملوثة ذات ألفة مع البكتريا عندما تكون بتراكيز كبيرة
المنحني Y يمثل مادة ملوثة ذات ألفة مع البكتريا عندما تكون بتراكيز صغيرة

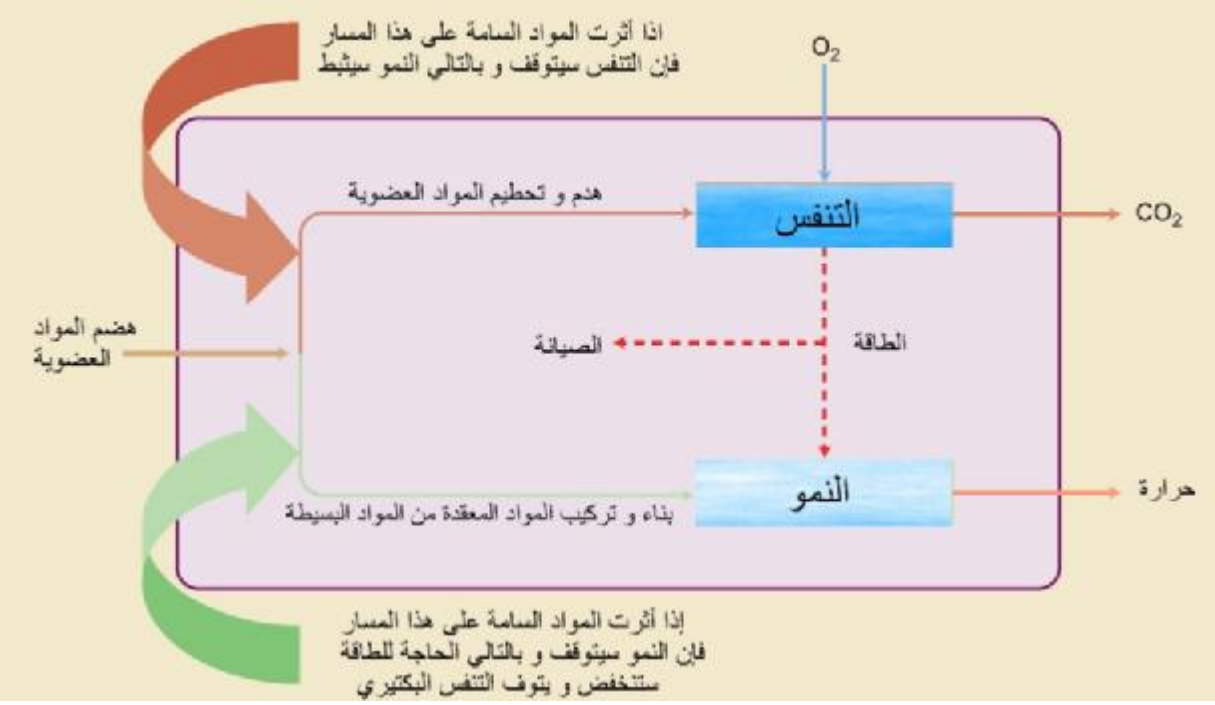
كما اشرنا من قبل بأن الغذاء الرئيسي للكائنات الدقيقة هي BOD و لكنها أيضا" بحاجة الى النتروجين و الفوسفور من أجل النمو. و القيمة المثالية للنسبة بين C:N:P هي 100:5:1. و قيمة هذه النسبة لمياه المجاري المترسبة هي 100:17:5 . و هذا يشير الى أن النتروجين و الفوسفور لن يكونا محددين للنمو البكتيري. كما ان تراكيز قليلة للشوارد المعدنية مطلوبة مثل شوارد الصوديوم و الكالسيوم و الحديد و الكبريت...الخ. و يجدر أن نشير الى ان بعض المياه الملوثة الصناعية تكون فقيرة بالمغذيات مثل المياه الملوثة الناتجة عن معامل الورق و تصنيع الغذاء ..الخ.

لذلك يجب اضافة المغذيات الى هذه المياه الملوثة الصناعية حتى يمكن معالجتها بيولوجيا" بعد ضبط حموضة المياه و درجة الحرارة و التأكد من خلوها من المواد الكيميائية السامة.

يمكن أن يتوقف النمو اذا انخفض الأكسجين إلى تراكيز منخفضة، و ذلك لأن عملية التنفس سوف تتوقف إذا استهلك الأكسجين بالوسط الممزوج (Mixed Liquor).

تعتبر درجة الحرارة من العوامل المهمة المؤثرة في النمو البكتيري. فدرجة الحرارة في أنظمة الحماة المنشطة تتراوح بين 0-30 درجة مئوية، و معروف أن معدل النمو يتضاعف كلما زادت درجة الحرارة عشر درجات مئوية.

إن دخول المواد الكيميائية السامة إلى حوض المعالجة البيولوجية فإنها ستدخل إلى وسط الخلية البكتيرية و ستثبط إنتاج الأنزيمات اللازمة لعمليات الاستقلاب البكتيري من حيث الهدم و البناء. و حالما تتأثر التفاعلات الكيميائية المسؤولة عن تحطيم المواد المعقدة أثناء طور التنفس، فإن معدل التنفس البكتيري سوف ينخفض كما إن معدل إنتاج الطاقة سينخفض بدوره و هذا عمليا" يعني انخفاض معدل النمو. و من الناحية العملية فأن إزالة المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي سوف تتناقص ضمن أحواض التهوية. لذلك فإن مراقبة معدل التنفس يعطي مؤشرا" قويا" و سريعا" على دخول أو عدم دخول المواد السامة لحوض التهوية أثناء تشغيل محطة المعالجة. الشكل (٧) يبين مكان تأثير المواد السامة على النمو البكتيري .



الشكل (٧) تأثير المواد السامة على النمو البكتيري

ت – التنفس (Respiration)

إن عملية التنفس تشمل سلسة التفاعلات الاستقلابية التي يتم من خلالها أكسدة الجزيئات العضوية، كما أنها تشمل توفير الطاقة للعمل داخل الخلايا البكتيرية. الطاقة الموجودة في المواد العضوية مثل الغلوكوز يتم تحريرها بسرعة على شكل حرارة و ذلك عند أكسدتها بالحرق. و عندما يتم استقلاب الغلوكوز اثناء عملية التنفس البكتيري فإن نفس كمية الطاقة يتم تحريرها و لكن بعضها فقط يستخدم للعمل الخلوي. أثناء التنفس، فإن الطاقة يتم التقاطها أولا" بواسطة جزيء (ADP) أي ادينوزين ثنائي الفوسفات(Adenosine DiphosPhate). وهذا بدوره يضاف إلى مجموعة فوسفات أخرى لتشكل ادينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP). إن الطاقة المنقولة أو الملتقطة تخزن على شكل رابطة فوسفاتية عالية الطاقة. و التفاعل الكلي لاستقلاب الغلوكوز يعطى كما يلي:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38\ ADP + 38P = 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

و هذا التفاعل لا يعكس على نحو تام آلية التقاط الطاقة، فبعض الطاقة يتم فقدانها على شكل حرارة. و من ثم فإن مركب ATP ينتقل إلى موقع آخر ضمن الخلية و يحرر الطاقة لاستخدامها بالعمل. و بنفس الوقت فإن مجموعة الحرارة تتحرر و تعيد توليد مركب ADP من جديد و الفاعل الإجمالي يكون:

$$38ATP = 38ADP + 38P + work + heat$$

إن مركب ATP يعاد استخدامه بسرعة بعد أن يتم تركيبه. و عليه يمكن القول بأنه كلما زاد استهلاك الطاقة كلما كانت التفاعلات أسرع و بالتالي حصول الانجاز السريع لعملية التنفس.

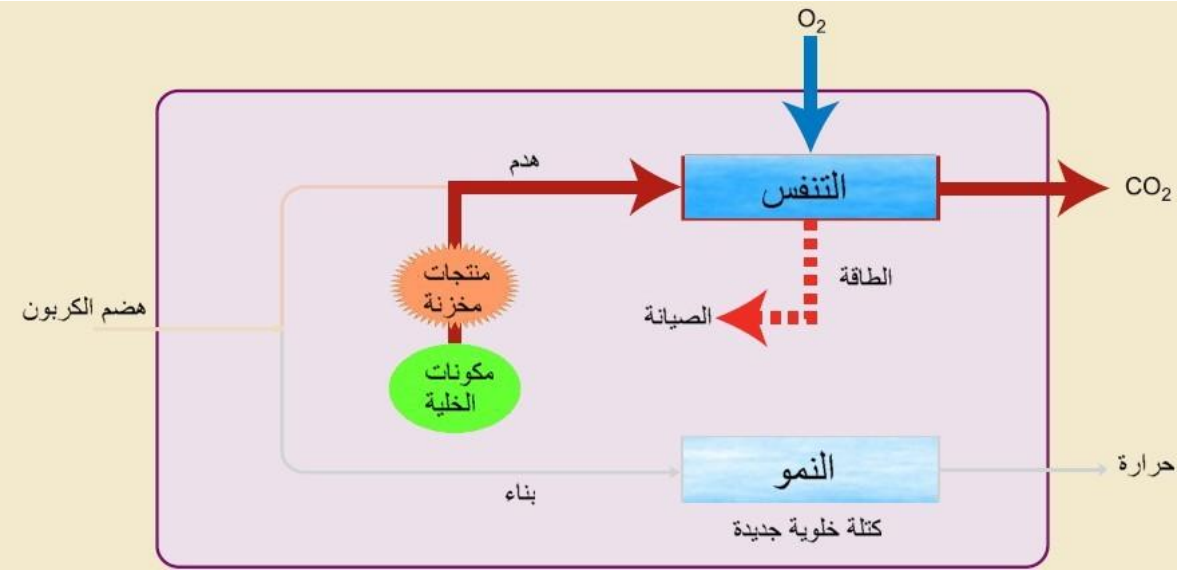
من المعادلة السابقة يبدو من الواضح أن معدل التنفس يمكن أن يقاس بمعدل استهلاك الأكسجين أو بقياس معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون أو بقياس معدل تحرير الحرارة. و بما ان قياس ثاني أكسيد الكربون صعب في الوسط المائي، فإن الحارة يمكن أن تقاس باستعمال مقياس الكالوري و لكن الطريقة الأبسط هي قياس معدل التنفس بواسطة قياس الأكسجين المستنفذ باستخدام مقياس تنفّس الحمأة المنشطة.

و *السؤال المطروح هو لماذا تحتاج البكتريا إلى الطاقة*؟ و لتوضيح ذلك يمكننا القول بان كل الكائنات الحية الدقيقة تحتاج إلى الطاقة من أجل الحفاظ على بقائها في حالة مستقرة. و على سبيل المثال فإن كل خلية بكتيرية تعمل على طرد الشوارد خارجا" الى الوسط المحيط عبر الغشاء الخلوي عبر عمليات متنوعة تهدف لصيانة الخلية البكتيرية و كل هذه العمليات بحاجة الى طاقة. إذا كانت الخلية البكتيرية متحركة (و معظم البكتريا غير متحركة) فإن الطاقة ستستخدم من أجل تامين الدفع. و على أية حال فإن الاستخدام الرئيسي للطاقة من قبل الخلية البكتيرية يكون من اجل التركيب الحيوي بهدف النمو. إن النمو يتضمن ربط المركبات ذات الوزن الجزيئي الصغير مع بعضها لتشكل جزيئات ميكروية دقيقة (Macromolecules) و التي يمكن ان تعدل لاحقا" لتشكل الأغشية او الجدران الخلوية..الخ. و بالتالي السكريات البسيطة مثل الغلوكوز ترتبط مع بعضها

بواسطة روابط الغليكوسيديك (Glycosidic bonds) كما ان الحموض الامينية تتحد بواسطة روابط بيبتيدية لتشكل البروتينات وهكذا ..الخ. إن الطاقة المنتقلة بواسطة جزيئات ATP تستخدم لانجاز مثل هذه الأعمال. جزء من الطاقة يتحول الى حرارة و لذلك فأثناء النمو البكتيري تنتقل الطاقة جزئيا" على شكل حرارة الى حوض التهوية و لذلك تكون درجة حرارة المياه ضمن الحوض اعلى منها في الهواء الخارجي المحيط بالحوض.

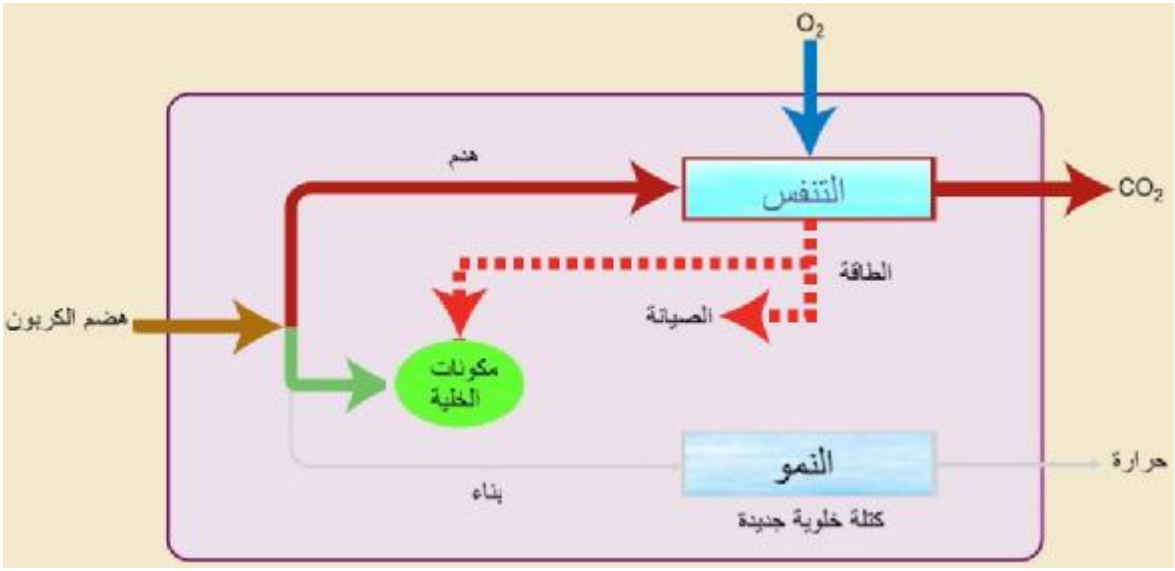
أثناء النمو العادي للخلية البكتيرية فإن عدد معين من الجزيئات يبقى مخزنا" بشكل منتجات احتياطية ضمن الخلية. و هذه المنتجات تتشكل بشكل رئيسي من الغلوكوجين و هيبروكسي البيوتايريت متعدد رابط البيت (Poly- b -hydroxybutyrate) و اختصارا"(PHB). و حالما يتم استهلاك جميع المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي ضمن السائل الممزوج في أحواض التهوية كما هو الحال عند نهاية و مخرج الحوض، فإن النمو يتوقف و تبقى الخلية البكتيرية الجائعة تصارع من اجل البقاء و لذلك تبدأ باستقلاب المنتجات المخزنة ضمنها للحصول على الطاقة من أجل تنفيذ عمليات الصيانة.

و على الرغم من أن النمو قد توقف إلا أن التنفس يستمر بمعدل منخفض من أجل تامين الطاقة اللازمة للصيانة. و هذا ما يشار إليه عادة " **التنفس الباطني** – Endogenous Respiration ". و حالما يتم استهلاك المنتجات المخزنة فإن البكتريا تبدأ باستقلاب البروتينات الخلوية و الجزيئات البنيوية الأخرى لتأمين الكربون اللازم لعملية التنفس الباطني. وعلى أية حال، فإن هذا العمل يشبه حرق أثاث البيت لإبقائه دافئا". و أخيرا" تموت الخلية البكتيرية و تتمزق لتحرر بدورها مكوناتها الداخلية ضمن السائل الممزوج بحيث تصبح غذاء" لبعض الأنواع الأخرى من البكتريا. الشكل (٨) يبين بشكل تخطيطي مرحلة التنفس الباطني.



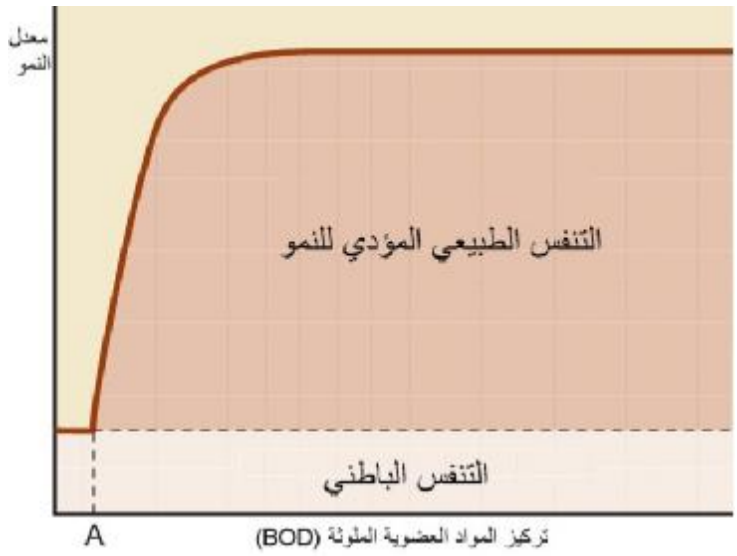
الشكل (٨) رسم تخطيطي لمرحلة التنفس الباطني للخلية البكتيرية

و حالما يتوفر الغذاء للبكتريا التي تكون التنفس الباطني فإنها تعود مجددا" لبناء مكوناتها الخلوية التي استخدمتها من قبل. و يتبع ذلك و بشكل سريع استئناف النمو و إعادة بناء المنتجات التخزينية ضمن الخلية كما يظهر بالشكل (٩):



الشكل(٩) سلوك الخلية البكتيرية ذات التنفس الباطني حالما يتوفر الغذاء

و عندما يكون تركيز المواد الملوثة العضوية القابلة للتحلل البيولوجي أدنى من حد منخفض و ليكن القيمة المفترضة A كما يظهر بالشكل (١٠) فإن الخلية البكتيرية تكون بحالة التنفس الباطني و عندما تزداد قيمة الملوثات (BOD) عن القيمة A تبدأ الخلية بالتنفس الطبيعي و الخلية تبدأ بالنمو و لكن يبقى التنفس الباطني جزءا" من معدل التنفس الكلي.



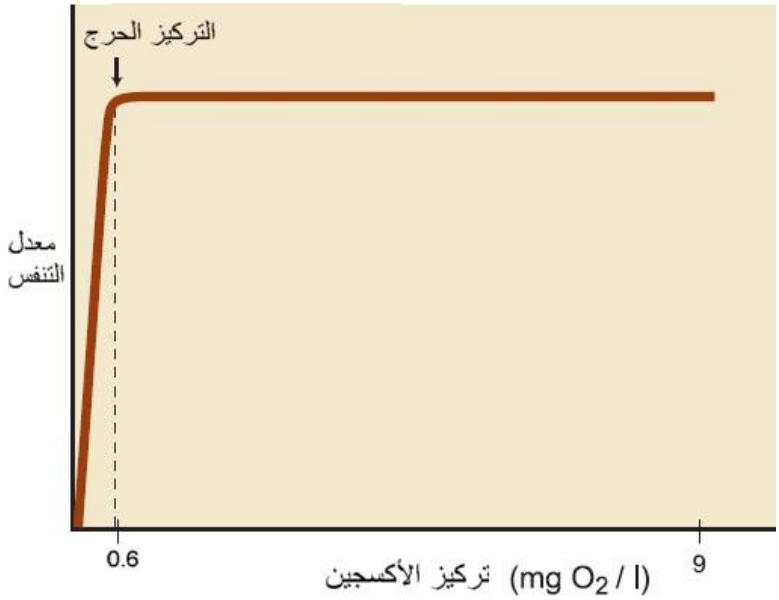
الشكل(١٠) التنفس الطبيعي و التنفس الباطني للخلية البكتيرية

من المهم القول أنه أثناء نمو الخلية البكتيرية في حوض التهوية فإن جزءا" من تنفسها يهدف لإنتاج الطاقة اللازمة للتركيب الحيوي و النمو، كما أن جزءا" قليلا" من الطاقة يستخدم لصيانة الخلية البكتيرية.

و بسبب الارتباط الوثيق بين العمليات الهضم و التنفس و النمو فإن معدل التنفس يتأثر بنفس العوامل التي تؤثر على معدل النمو.

عندما يكون تركيز **المواد الملوثة العضوية** (BOD) منخفض إلى الصفر كما هو عليه الحال عند مخرج حوض التهوية بحالة الجريان الدفقي (Plug Flow) فإن البكتريا تتنفس تنفسا" باطنيا" و لا يوجد نمو للبكتريا. و عندما يزداد تركيز المواد الملوثة العضوية شيئا" فشيئا" إلى حد تبدأ معه الخلايا بالحصول على الكربون و بالتالي البدء بالنمو. و بحالة الزيادة الإضافية بتركيز المواد الملوثة العضوية فإن النمو البكتيري يزداد و يزداد أيضا" معدل التنفس الباطني. إن عملية التركيب الخلوي تبدأ فورا" و تزداد بشكل سريع جدا" حالما يدخل الغذاء إلى وسط بكتيري بحالة التنفس الباطني. و هذا يمكن بيانه بشكل جلي ضمن المخبر بحالة إضافة غذاء مركّز إلى قارورة تحوي سائل ممزوج مأخوذ من حوض التهوية بمحطة معالجة تعمل بنظام الحمأة المنشطة. ذو بكتريا بحالة التنفس الباطني. فخلال ثواني سيتم تحويل الغذاء المركز و تبدأ الرغوة و الزبد بالتشكل ضمن القارورة كما يتحرر غاز ثاني أكسيد الكربون.

إذا كان مستوى **الأكسجين** منخفض جدا" ضمن حوض التهوية فإن التنفس سوف يتوقف و بالتالي تتوقف إمكانية النمو لدى البكتريا. عندما تصل المياه الملوثة إلى حد الإشباع بالهواء عند درجة حرارة 20 مئوية فإن تركيز الأكسجين يكون حوالي 9.2 ملغ/ل. ينتقل الأكسجين من الوسط المائي إلى داخل الخلية البكتيرية و يتوزع ضمن الخلية على شل منحني متدرج بحيث تكون ذروة المنحني عند مركز الخلية و يتناقص حتى يصل إلى الصفر تقريبا" عند جدار الخلية البكتيرية. و يجب التنويه إلى أن تركيز الأكسجين المنحل ضمن السائل الممزوج بحوض التهوية لا يمثل عامل مجدد للنمو البكتيري إذا تواجد بتركيز بين 2 - 1.5 ملغ/ل لأجل الندف البكتيرية و بتركيز حوالي 0.6 ملغ/ل (التركيز الحرج) للبكتيريا المنتشرة بالوسط فير المرتبط بالندف بعد. و إذا انخفض تركيز الأكسجين عن 0.6 ملغ/ل فإن معدل التنفس سوف ينخفض سريعا" كما يظهر بالشكل(١١). إن البكتريا الخيطية تملك تسامح أكبر منه عند الندف البكتيرية (الحمأة المنشطة) عند التراكيز المنخفضة تحت الحرجة للأكسجين و هذه البكتريا الخيطية تسبب انتفاخ الحمأة (Bulking Sludge).



الشكل(١١) يبين العلاقة بين تركيز الأكسجين و معدل التنفس

إن دخول **المواد السامة** إلى حوض التهوية مع المياه الملوثة سوف يؤدي الى منع عملية التنفس و لذلك جرت العادة على إجراء اختبار السميّة اعتمادا" على دراسة معد التنفس. و هذا يعني بدوره قياس معدل استهلاك الأكسجين (Oxygen Uptake Rate) بواسطة مقياس التنفس.

٥-بكتريا النترجة

إذا استقبلت محطة المعالجة كمية كافية من المواد النتروجينية مع المياه الخام الداخلة للمحطة، فيجب إزالتها بواسطة بكتريا النترجة. إن بكتريا النترجة هي من النوع Autotrophs و هي التي تشتق الكربون من ثاني أكسيد الكربون و تحوله الى مركبات عضوية كربونية داخلها و لذلك فهي بحاجة الى طاقة. و هذه البكتريا تحتاج فقط إلى المواد الكيميائية اللاعضوية من أجل حصولها على الطاقة اللازمة للاستقلاب و النمو. و من ثمّ فإن النشادر يتم أكسدتها من أجل الحصول على الطاقة اللازمة للنمو. و تعد كمية بكتريا النترجة ضمن محطة المعالجة قليلة مقارنة مع الحمأة المنشطة.

إن عملية أكسدة النشادر يطلق عليها عملية النترجة. و تحصل بواسطة نوعان مختلفان من بكتريا النترجة. المجموعة الأولى تؤكسد النشادر الى نتريت و تدعى بكتريا النتروزوموناس و التفاعل المعبر عن العملية يعطى كما يلي:

$$2NH_4 + 3O_2 = 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy}$$

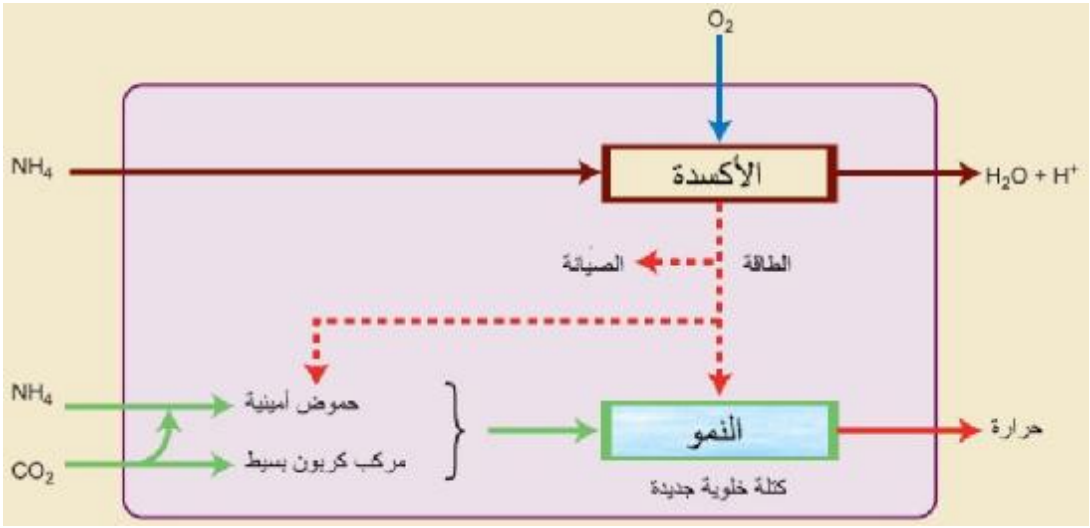
المجموعة الثانية تؤكسد النتريت و تحوله إلى نترات و تدعى بكتريا النتروباكتر و التفاعل الحاصل يكون كما يلي:

$$2NO_2 + 2O_2 = NO_3 + H_2O + 2H^+ + energy$$

و تجدر الملاحظة بأن هذه العملية لا يجوز أن نطلق عليه " تنفس" على الرغم من استهلاك الأكسجين أثناء عملية النترجة. التنفس فقط تقوم به البكتريا الكربونية و بعض النباتات. في نظام الحمأة المنشطة فإن الأكسجين يستهلك من قبل التنفس الذي تقوم به البكتريا التي تعيش على المواد العضوية(Heterotrophic) و بكتريا النترجة. و بحال عدم وجود نترجة بمحطة المعالجة البيولوجية فإنه يمكن إطلاق تعبير ***معدل التنفس*** على معدل استهلاك الأكسجين ضمن أحواض التهوية.

إن عملية الأكسدة الكيميائية التي تقوم بها بكتريا النترجة تستهلك كمية كبيرة من الأكسجين من اجل كل واحدة الطاقة، و بحيث تفوق بكثير ما تستهلكه بكتريا أكسدة المواد العضوية. كما أن بكتريا النترجة ذات معدل نمو بطيء.

العمليات الرئيسية الاستقلابية (عمليات التحول الغذائي) لبكتريا النترجة يمكن توضيحها بالشكل(١٢):



الشكل (١٢) مخطط توضيحي لعملية النترجة البكتيرية

تتصف بكتريا النترجة بأنها تعمل ضمن وسط حراري معين، فمثلا" درجة الحرارة التي تعمل فيها بكتريا النترجة تتراوح بين ٨-٣٠ درجة مئوية و لكن يجب أخذ العلم بأن معدل الاستقلاب البكتيري ضمنها يتدنى كثيرا" إذا انخفضت درجة الحارة دون ١٥ درجة مئوية. و هي تحتاج الى تركيز أكسجين منحل ضمن الوسط بحيث لا يقل عن ٢ ملغ/ل عند درجة حرارة ٢٠ مئوية. و

بكتريا النترجة تتأثر بتغير الظروف البيئية للوسط و خاصة إذا دخلت المواد السامة مع المياه المعالجة.

٦ - تشغيل محطة المعالجة البيولوجية:

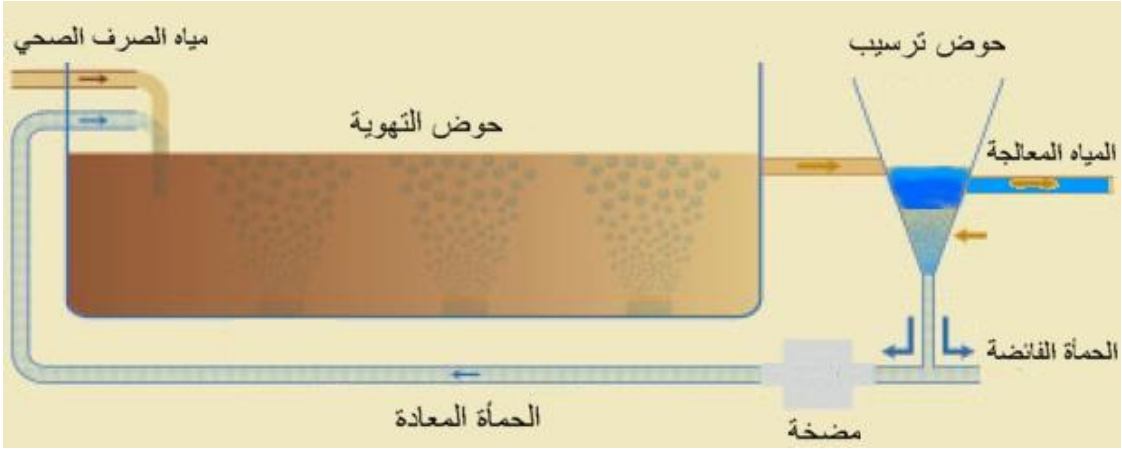
٦ - ١ المخطط العام لمحطة المعالجة:

تضم محطة معالجة مياه الصرف الصحي عادة على المراحل التالية: أولية-ثانوية-ثالثية. المعالجة الأولية تهدف لإزالة المواد الصلبة القابلة للترسيب، و المعالجة الثانوية(البيولوجية) فتهدف الى إزالة المواد الملوثة المنحلة و الغروانية التي لم تزال بالمرحلة الأولى بواسطة الحمأة المنشطة. و المعالجة الثالثية بدورها تسعى الى تحسين المياه المعالجة الناتجة عن المرحلة الثانوية عبر إزالة النتروجين و الفوسفور و العوامل الممرضة حسب ما هو مطلوب.

هناك العديد من التصاميم التي تخص أحوض التهوية، متضمنة الأحواض الدفقيّة (Plug Flow) و أحواض المزج الكامل(Completely Mixed) و أحواض ذات التدفق الدفعي المتعاقب (Sequencing Batch reactor –SBR) وغيرها ...الخ. و أسهل و أبسط نظام هو الحوض ذو التدفق الدفقي (كمية المياه الخام الداخلة للنظام تساوي كمية المياه المعالجة الخارجة من النظام).

بأخذ هذا النظام بعين الاعتبار فإنه من السهولة تطبيق مبادئ المعالجة البيولوجية حسب الآتي:

إن النظام الدفقي يتألف عادة من حوض تهوية مستطيل بعمق ٣-٥ متر مع وجود مهويات لتأمين الأكسجين اللازم للتنفس و للحفاظ على الحماة المنشطة بشكل معلق ضمن حوض التهوية(الشكل١٣).



الشكل(١٣) مخطط توضيحي لمحطة معالجة بنظام التدفق الدفقي(Plug Flow)

تدخل مياه الصرف الصحي الخام(أو الخاضعة للمعالجة الأولية) مع الحمأة المعادة بعد مزجهما معا" إلى حوض التهوية. إن هذا الخليط الناتج عن المزج يطلق عليه في حوض التهوية السائل الممزوج (Mixed Liquor). و حالما تدخل المياه الملوثة إلى حوض التهوية يتم خلطها مع الحمأة المنشطة. حيث تقوم الجزيئات الدقائقية الصغيرة و الجزيئات العضوية الكبيرة بالامتزاز على سطح الندف البكتيرية. و بنفس الوقت فإن بكتريا الحمأة المنشطة و التي تكون بحالة التنفس الباطني، تقوم بهضم المواد العضوية الجديدة الداخلة من أجل نموها. يبدأ النمو مباشرة و معدل التنفس يزداد بسرعة من أجل تأمين الطاقة اللازمة للنمو و الصيانة.

و بمرور السائل الممزوج عبر حوض التهوية فإن تركيز المواد العضوية سهلة الأكسدة أو ما يطلق عليها Soft BOD سوف يتناقص، و من ثمّ فإن البكتريا سوف تتغذى على الجزيئات العضوية الصغيرة الناتجة عن تحطيم الجزيئات العضوية المعقدة بالفعل الأنزيمي. و هذا ما يؤدي إلى انخفاض تركيز المواد العضوية الملوثة الإجمالية ضمن حوض التهوية. و بالتالي يصبح معدل النمو البكتيري في منتصف الحوض و ما بعده أقل منه عند مدخل الحوض و كذلك ينخفض معدل التنفس. ولمعرفة فاعلية الأداء العملية لحوض التهوية يتم التحقق منها عبر قياس معدل التنفس البكتيري على طول حوض التهوية أو عبر قياس معدل استهلاك الأكسجين النوعي لعينات من الحمأة المنشطة.

و حالما يتناقص معدل التنفس فإن الحاجة إلى الأكسجين تتناقص على طول حوض التهوية. و من الناحية المثالية فإن نسبة إزالة المواد العضوية BODin تبلغ بين ٩٠-٩٥ % عند مخرج حوض التهوية. و بحال عدم الإزالة الجيدة للمواد العضوية ضمن أحواض التهوية فإن المياه النهائية المعالجة ستؤدي إلى ظهور النمو الطحلبي بحال التصريف إلى المسطحات المائية.

المياه الخارجة من حوض التهوية تذهب إلى حوض الترسيب حيث يتم فصل الحمأة المنشطة عن المياه المعالجة و بدورها يمكن أن تخضع المياه الرائقة إلى معالجة إضافية أو يتم تعقيمها و تصريفها بشكل نهائي كمياه نهائية معالجة. يتم إعادة نسبة من الحمأة المنشطة المترسبة الى حوض التهوية للحفاظ على تركيز مناسب للحمأة المنشطة مقارنة مع تركيز المواد العضوية(F/M). و أما القسم المتبقي من الحمأة المنشطة المترسبة فيتم التخلص منه كحمأة فائضة حيث يخضع لمعالجة لاحقة. و على العموم، فإن كمية المياه المعالجة المصروفة و الحمأة المعادة تساوي كمية المياه الملوثة الخام الداخلة لحوض التهوية. إن معدل صرف الحمأة الفائضة يتعلق بالإنتاج الصافي للحمأة الناتجة عن النمو البكتيري ضمن حوض التهوية.

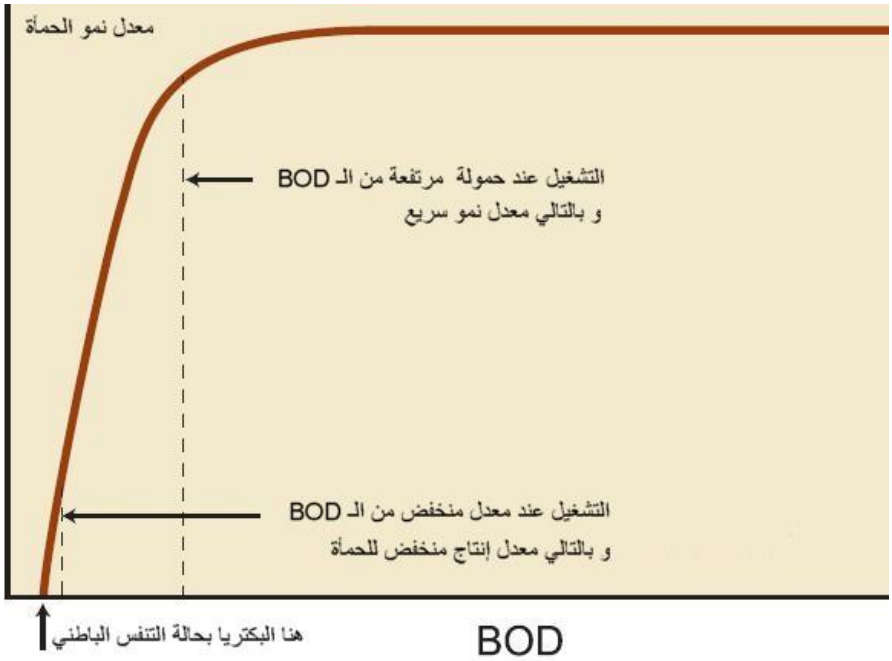
٦ - ٢ تشغيل محطة المعالجة:

إن محطة المعالجة البيولوجية المثالية سوف تملك السمات التالية:

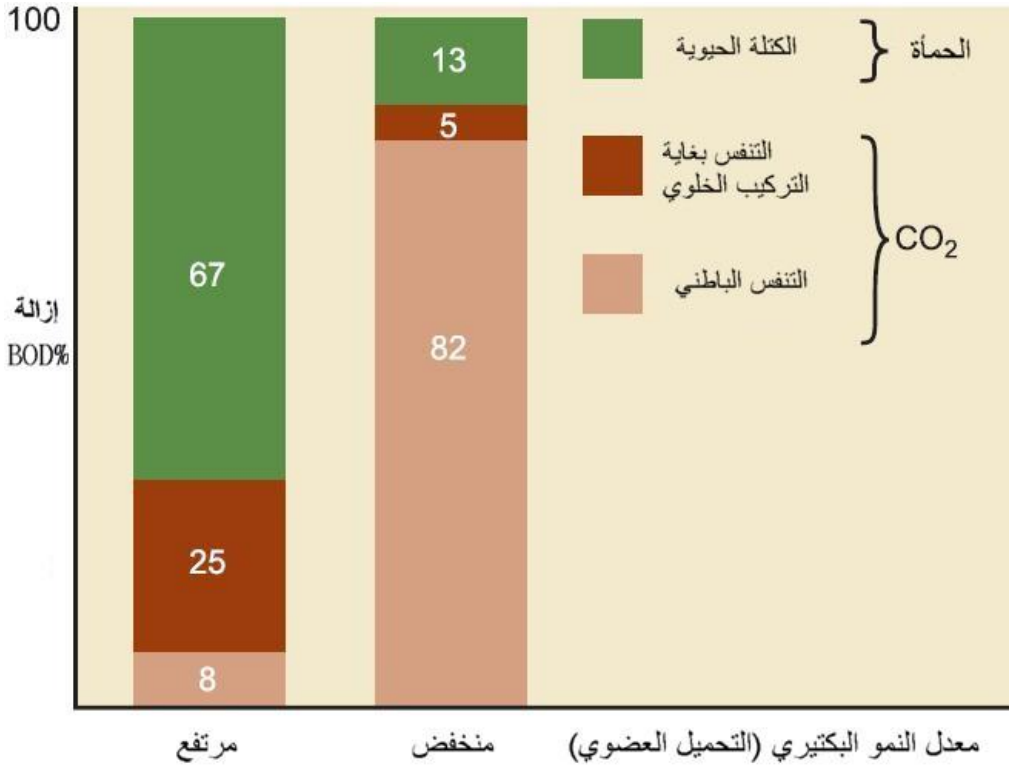
- دخول سريع لمياه الصرف الصحي
- معدل إزالة مرتفع للـــ BOD
- الترسيب الجيد للحمأة ضمن أحواض الترسيب
- معدل منخفض لإنتاج الحمأة
- كلف دنيا للتهوية
- نوعية عالية للمياه المعالجة

من الناحية العملية فإنه من الصعوبة بمكان تحقيق هذه الأمور مجتمعة أثناء تشغيل محطة المعالجة. إن تحقيق الدخول السريع لمياه الصرف مع الإزالة السريعة للـــ BOD يتحقق بتأمين نسبة F/M عالية. و على أية حال، فإن تركيز الـــ BOD المرتفع يؤدي إلى معدلات نمو مرتفعة و بالتالي إنتاج كبير للكتلة البيولوجية. و من الناحية التشغيلية فإن هذا يؤدي إلى مشاكل في التهوية و سيعطي حمأة منشطة ذات ترسيب ضعيف.

إن الإنتاج المرتفع للحمأة يتسبب بتكاليف مرتفعة لتجفيف الحمأة و تخفيض رطوبتها لاحقا". و من الممكن تخفيض إنتاج الحمأة أثناء التشغيل بتأمين نسبة F/M منخفضة. نتيجة للمعدلات المنخفضة لنمو الحمأة كما يبدو بالشكل (١٤)، فإن نسبة عالية للكربون ضمن الـــBOD تستخدم بواسطة البكتريا بغاية الصيانة أو ببساطة لتبقى على قيد الحياة (أي أنها بحالة التنفس الباطني). و بناء" عليه فإن أغلب الـــ BOD ينتهي إلى غاز ثاني أكسيد الكربون مع إنتاج منخفض للحمأة (الشكل ١٥).



الشكل (١٤) العلاقة بين معدل النمو و حمولة الـــ BOD



الشكل (١٥) يبين العلاقة بين إزالة الـــ BOD و الحمأة الناتجة و CO_2 الناتج أثناء عملية التنفس (النمو) عند معدل منخفض و معدل مرتفع

و كما يبدو من الشكل (١٤) فإنه في المحطات التي تعمل بنظام التحميل العضوي المنخفض (معدل التنفس المنخفض) كما هو عليه في محطات التهوية المطولة فإن معدل النمو الخلوي (إنتاج الحمأة) يتباطئ و هذا ما يعني أن إنتاج للحمأة الناجم عن استهلاك المواد العضوية (BOD) ينخفض بشكل كبير مقارنة مع ما هو عليه في أنظمة الحمأة المنشطة التقليدية.

إن التلاعب بهذه العلاقة بين معدل النمو و معدل نمو الحمأة و الـــ BOD يعطي ثلاثة أنواع رئيسية لأنظمة تشغيل محطات المعالجة البيولوجية و هي:

أ- **معدل عالي**: يستخدم للمياه الملوثة ذات الحمل البيولوجي المرتفع كالمياه الملوثة الناتجة عن معامل تصنيع الحليب و مصانع الأدوية.

ب- **معدل تقليدي**: كما هو عليه في أنظمة الحمأة المنشطة.

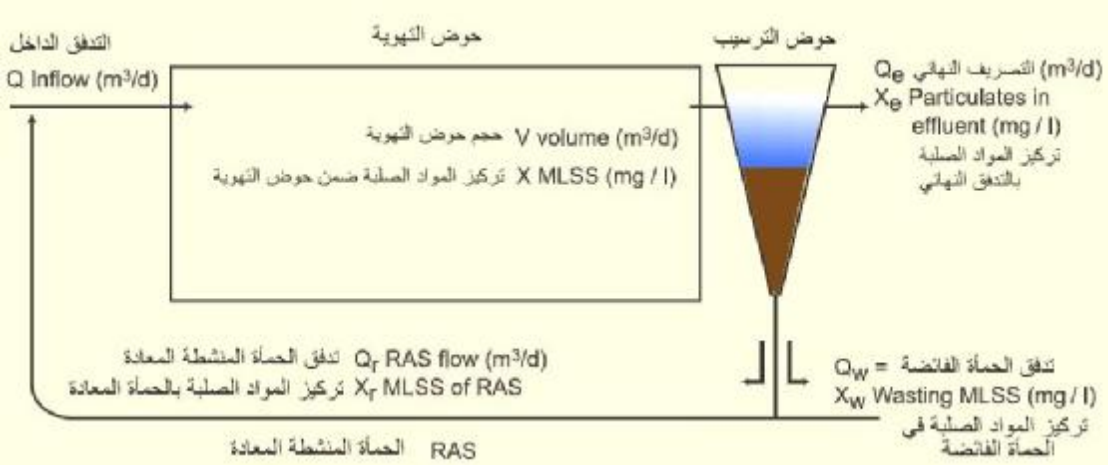
ت- **معدل منخفض**: كما هو عليه في أنظمة التهوية المطولة و خنادق الأكسدة و برك الأكسدة.

٦ - ٣ المتغيرات التي تستخدم للتحكم بالعمليات البيولوجية بمحطة المعالجة:

بعض محطات المعالجة الصغيرة ربما تتلقى مياه صرف صحي تتصف بالتغيرات البسيطة من حيث نوعية المياه الملوثة و كمية التدفق لذلك فإنه من السهولة وضع نظام أتمتة لهذه المحطة مما يقلص كادر التشغيل و الإشراف المطلوب. و على عكس ذلك، فإن محطات المعالجة الكبيرة التي تعالج المياه الملوثة المتعددة المصادر فهي تتطلب تحكم معقد لإدارة العمليات البيولوجية ض١من حوض التهوية. تشمل المتغيرات التي تضبط عمل حوض التهوية ما يلي:

- قياسات الحمأة المنشطة (الكتلة الحيوية) أو بمعنى آخر قياس MLSS و عمر الحمأة
- زمن المكوث
- نسبة الغذاء الى الكتلة الحيوية ضمن حوض التهوية (F/M)

و من أجل التطرق الى المعادلات البسيطة الحسابية التي تضم هذه المتغيرات فإن الشكل(١٦) يعطي تصورا" لنظام المعالجة ذات حوض التهوية الدفقي(Plug-Flow):



الشكل(١٦) ترميز المتغيرات المستخدمة في وضع معادلات المعالجة البيولوجية بحوض التهوية

٦ - ٣ - ١ المواد الصلبة المعلقة ضمن السائل الممزوج بحوض التهوية MLSS:

في محطات المعالجة ذات التشغيل الجيد، فإن الكتلة الحيوية البكتيرية تكون متجمعة على شكل ندف. بواسطة فلترة و تجفيف عينة مياه حوض التهوية الحاوية على المواد الصلبة المعلقة و من ثم وزن المادة الجافة المتبقية، فإنه يمكن قياس الكتلة الحيوية. و عادة" ما يشار إليها بالمواد الصلبة المعلقة ضمن السائل الممزوج (MLSS) و تقاس بواحدة mg/l . و على أية حال، و تحت بعض الظروف فإن نسبة هامة من MLSS تكون من مواد غير عضوية. و لهذا السبب فإن بعض الخبراء في تصميم محطات المعالجة يفضلون أن يشتقوا كمية المواد العضوية ضمن الحمأة

(MLVSS). و هذا يمكن إنجازه عبر حرق المادة المتبقية الجافة ضمن فرن حرارته ٥٠٠ درجة مئوية و بإعادة الوزن نحصل على مقدار الجزء المفقود و هو ذاته كمية المواد العضوية ضمن الحمأة. و على الرغم من هذا فإن MLSS معروف عالميا" بأنه مقياس للكتلة البيولوجية. و تتراوح قيمة MLSS بين ٨٠٠-١٥٠٠ ملغ/ل بالنسبة للتهوية المطولة و لغيرها من الأنظمة ذات المعدل المنخفض، كما يمكن أن تبلغ قيمة MLSS ٨٠٠٠ ملغ/ل بالنسبة للأنظمة ذات معدل التحميل المرتفع. و معروف أنه كلما كبرت قيمة MLSS كلما زادت كفاءة المعالجة و مع هذا فيجب الأخذ بعين الاعتبار أن التراكيز العالية للـــ MLSS سوف تتسبب بمشاكل في التهوية و في ترسيب الحمأة المنشطة ضمن أحواض الترسيب.

٦-٣-٢ زمن المكوث الهيدروليكي أو التحميل الحجمي :

يعرف زمن المكوث بالوقت الوسطي الذي تقضيه مياه المجاري ضمن أحواض التهوية. و هو يحسب بتقسيم حجم الخزان (متر مكعب)على معدل التدفق(متر مكعب باليوم). عادة" ما يقدر زمن المكوث بالساعة و يحسب كما يلي:

$$HRT = \frac{V}{Q} \times 24 \ \ (Hours)$$

و من العلاقة نجد أنه كلما زاد معدل التدفق كلما نقص زمن المكوث ضمن حوض التهوية و كان خروج المياه من الحوض أسرع. و يجب أن يكون زمن المكوث كافٍ لتتم الإزالة المطلوبة للـــ BOD من السائل الممزوج. و يختلف زمن المكوث بين أحوض الترسيب الأولية و الثانوية و من الصعب التحكم بزمن المكوث خاصة في فصل الشتاء حيث يقل زمن المكوث حتى ساعة واحدة أحيانا".

٦-٣-٣ عمر الحمأة:

يعرّف عمر الحمأة بأنه زمن المكوث الوسطي للكائنات الدقيقة ضمن النظام. و يحسب على انه قيمة MLSS في النظام مقسومة" على قيمة MLSS المصروفة خارج النظام (الفائضة مع الخارجة ضمن التدفق النهائي) و يقدر عمر الحمأة باليوم و يعطى كما يلي:

حجم حوض التهوية (م٣) * MLSS (ملغ/ل) ضمن حوض التهوية

{كمية الحمأة الفائضة (م٣/يوم) * MLSS (ملغ/ل) بالحمأة الفائضة} * {كمية التدفق النهائي(م٣/يوم) * MLSS (ملغ/ل) بالتدفق النهائي}

أو كما يلي:

$$SRT = \frac{V * X}{Q_w * X_w + Q_e * X_e} \quad (days)$$

إن تركيز MLSS ضمن الحمأة المعادة لا يدخل بعمر الحمأة. و يجب ملاحظة أنه تحت ظروف التشغيل المستقرة فإن المقام في المعادلة السابقة يساوي إنتاج الحمأة الصافية اليومية. و بالتالي كلما زاد الإنتاج الصافي للحمأة كلما قل عمر الحمأة و العكس بالعكس. أي بعبارة أخرى كلما قلت النسبة F/M زاد عمر الحمأة ضمن النظام. إن قيمة عمر الحمأة تتراوح بين أقل من يوم واحد في الأنظمة إلى ٧٥ يوم. و يرمز لعمر الحمأة SRT و ذلك حسب معدل التحميل. في الأنظمة التقليدية كما في الحمأة المنشطة يكون عمر الحمأة بين ٣-٤ يوم. و عادة ما يرتبط عمر الحمأة المنخفض بسوء إزالة الحمأة ضمن أحواض الترسيب.

٦-٣-٤ نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة ضمن حوض التهوية F/M:

إن معدل نمو الكتلة الحيوية و معدل التنفس (و بالتالي معدل إزالة BOD) يزداد مع زيادة حمولة BOD . و على أية حال، فإن معدل إزالة BOD ضمن حوض التهوية يتعلق أيضا" بكمية الحمأة. فكلما كانت الكتلة الحيوية أكبر كلما كانت سرعة إزالة BOD أكبر. و لمعرفة كمية الغذاء المتوفر لواحدة الكتلة البيولوجية فإن BOD يتم تقسيمه على MLSS أو بمعنى آخر F/M . وهذه النسبة يطلق عليها أحيانا" معدل التحميل و تعني كمية الملوثات العضوية القابلة للأكسدة البيولوجية الى الحمأة الموجودة بحوض التهوية.

إن هذه النسبة تلعب دورا" هاما" في تشغيل محطات المعالجة بشكل ناجح و هي تحسب بتقسيم كمية BOD الداخلة للمحطة على كمية MLSS الكلية ضمن حوض التهوية.

التدفق (م٣/يوم) * BOD (كغ) اليومي

MLSS (كغ) ضمن حوض التهوية * حجم حوض التهوية (م٣)

أو كما يلي:

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD * Q}{X * V}$$

تتراوح قيمة F/M حسب نظام المعالجة و يمكن أن تتراوح بين ٠.٠٥ إلى الواحد حسب آلية تشغيل المحطة و حسب تصميمها. عند قيم عالية لهذه النسبة فإن معدل المعالجة سيزداد لكن بنفس الوقت سيتسبب هذا بمشاكل بترسيب الحمأة. و عند قيم لهذه النسبة أخفض من ٠.٢ فإن ترسيبا" جيدا" جدا" للحمأة يمكن الحصول عليه.

و للمقارنة العامة بين أنظمة المعالجة البيولوجية حسب معدل التحميل يمكن إيضاح مختلف العوامل و المتغيرات حسب الجدول التالي:

معدل المعالجة	HRT (h)	عمر الحمأة (d)	F/M kg BOD/kg MLSS.d^{-1}	إنتاج الحمأة kg sludge/kg BOD removed
تقليدي	5 - 14	3 - 4	0.2 - 0.5	0.5 - 0.8
معدل مرتفع	1 - 2	0.2 - 0.5	>/1.0	0.8 - 1.0
معدل منخفض	24 - 72	>5 - 6	<0.1	<0.4

ثانيا": المعالجة البيولوجية اللاهوائية

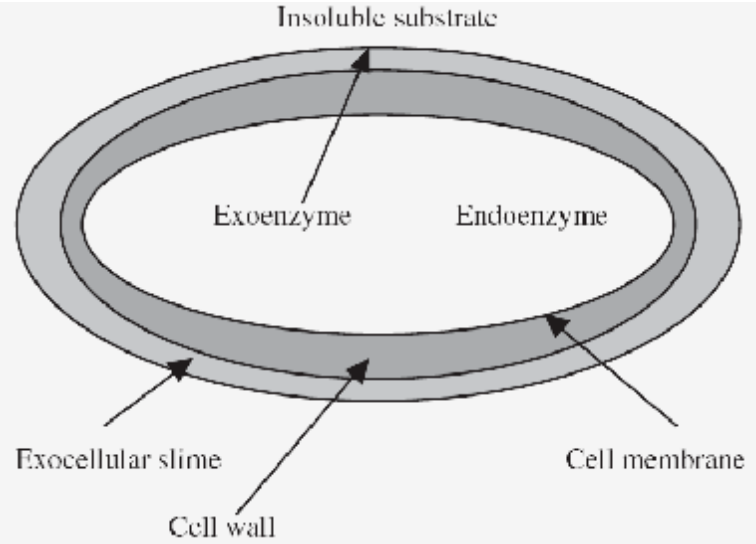
١ - التخمر اللاهوائي :

تتم عملية التحويل اللاهوائي للمواد العضوية ضمن ظروف خالية من الأكسجين و يتحول في هذه العملية كربون المواد العضوية في المياه الملوثة الداخلة بمعدل 90 % – 95 إلى غاز حيوي و يتحول أيضاً بمعدل 1-5% إلى كتلة بكترية جديدة. و يؤثر نوع المخلفات السائلة على إنتاج الغاز ونسبة الميتان فيه فالمخلفات الحيوانية تعطي كمية من الغاز أكبر مما تعطيه المخلفات النباتية إلا أن نسبة الميتان فيه تكون أقل . إذا"، فالهضم اللاهوائي هو عبارة عن عملية بيوكيميائية "كيميائية حيوية" متعددة المراحل والتي يمكن أن تثبيت كيميائياً أنواعاً عديدة مختلفة من المواد العضوية يحدث يتم الهضم في ثلاث مراحل رئيسية وذلك وفقاً لـــ :

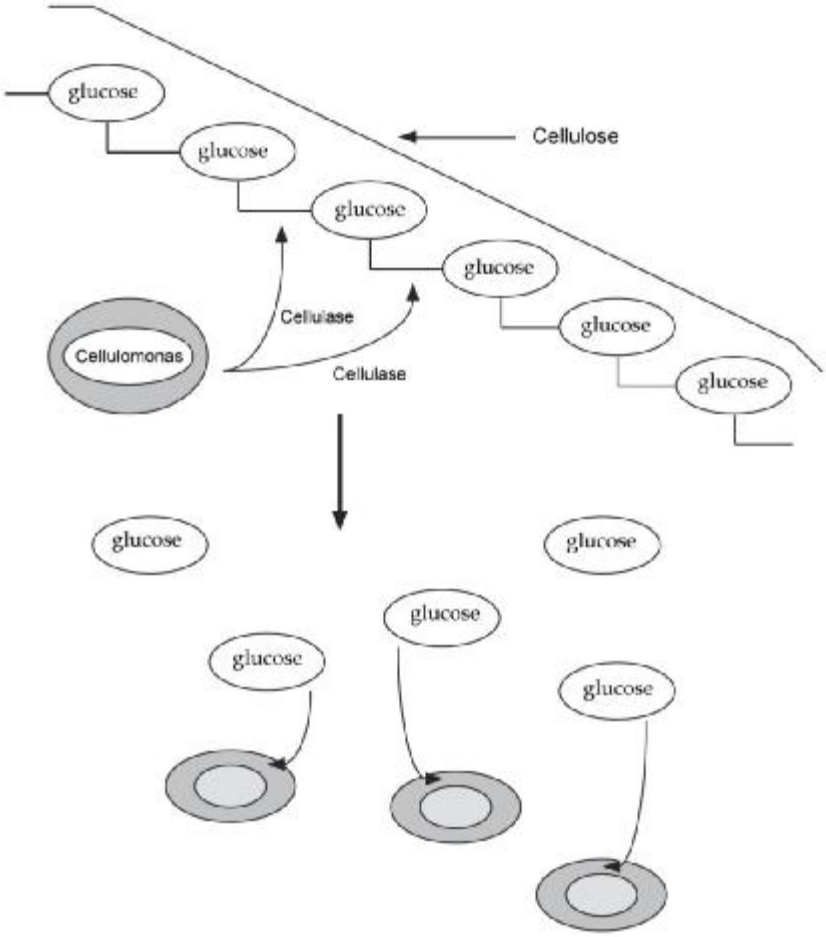
- في المرحلة الأولى : الحلمهة (Hydrolysis)

بما أن البكتريا غير قادرة على هضم المواد العضوية الدقائقية (**particulate organic matter**) مباشرة فإنها تفرز أنزيمات خارجية (الشكل ١٧ و ١٨) تعمل خارج الخلايا البكتيرية على تحطيم و حلمهة هذه المواد و تحويلها لمواد أولية سهلة الهضم.

- Proteins → amino acids
- Polysaccharide → simple sugars
- Lipids → long chain fatty acids



الشكل(١٧) يبين مكان عمل الأنزيمات الداخلية و الخارجية



الشكل(١٨) يبين تحطيم السيللوز أنزيميا" الى مركباته الأساسية Cellulose [$(C_6H_{12}O_6)_n$]

- في المرحلة الثانية : التخمير و إنتاج الحموض الحمضية (Acidogenesis & Acetogenesis)

تقوم المتعضيات " غالباً المشار إليها بالبكتريا " بتحويل منتجات المرحلة الأولى المتحلمهة و القابلة لعبور الغشاء الخلوي إلى داخل الخلايا البكتيرية عبر التخمير اللاهوائي إلى مركبات أخرى مثل ثاني أكسيد الكربون، غاز الهيديروجين، الكحول، الحموض العضوية، بعض المركبات النتروجينية العضوية و بعض المركبات الكبريتية العضوية.

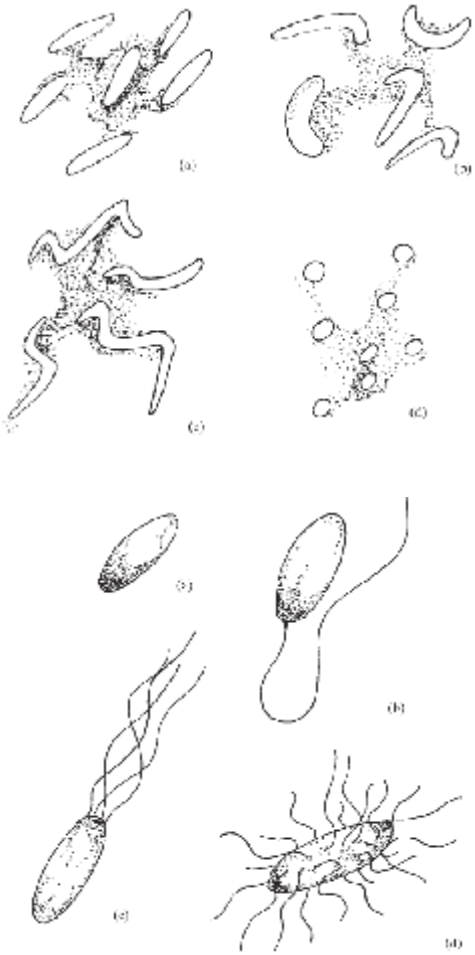
Name	Formula
Acetate	CH_3COOH
Butanol	$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$
Butyrate	$CH_3(CH_2)_2CH_2COOH$
Caproic acid	$CH_3(CH_2)_4COOH$
Formate	$HCOOH$
Ethanol	CH_3CH_2OH
Lactate	$CH_3CHOHCOOH$
Methanol	CH_3OH
Propanol	$CH_3CH_2CH_2OH$
Propionate	CH_3CH_2COOH
Succinate	$HOOCCH_2CH_2COOH$

جدول يبين بعض نواتج عمليات التخمر اللاهوائي

كما أن الحموض ذات السلاسل الدهنية القصيرة (غير الخل) و الناتجة عبر المرحلة الحمضية تتحول بدورها عبر بكتريا الخل الى ثاني أكسيد الكربون و غاز الهيدروجين و حمض الاسيتيت (الخل). و من ثم يتم تحويل ثاني أكسيد الكربون و غاز الهيدروجين جزئيا" الى حمض الخل عبر بكتريا *Homoacetogenic* .

- في المرحلة الثالثة: إنتاج الميتان

هناك مجموعتان أساسيتان من البكتريا المشكلة للميتان (الشكل ١٩)، المجموعة الأولى تحول الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون إلى الميتان. و المجموعة الثانية تحول ملح حامض الخل إلى الميتان.



الشكل (١٩) بعض أشكال البكتريا المشكلة لغاز الميتان

و على العموم يمكن تلخيص عمليات إنتاج غاز الميتان عبر المجموعات التالية:

* *Group 1 Hydrogenotrophic Methanogens:* $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$
* *Group 2 Acetotrophic Methanogens:* $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
* *Group 3 Methylotrophic Methanogens:* $3CH_3OH + 6H \rightarrow 3CH_4 + 3H_2O$

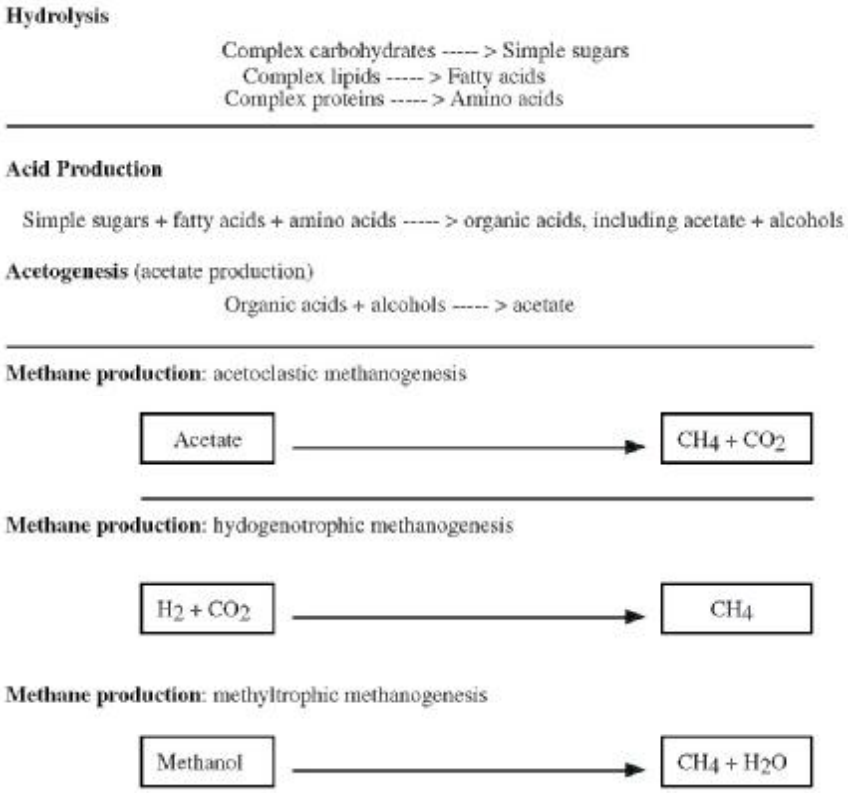
و أما المواد المستهلكة من قبل البكتريا المشكلة لغاز الميتان فيمكن تلخيصها بالجدول التالي:

Substrate	Chemical Formula
Acetate	CH_3COOH
Carbon dioxide	CO_2
Carbon monoxide	CO
Formate	HCOOH
Hydrogen	H_2
Methanol	CH_3OH
Methylamine	CH_3NH_2

جدول يبين المواد المستهلكة من قبل البكتريا المشكلة لغاز الميتان

في أغلب الحالات تتحكم البكتريا المشكلة للميتان بالعملية. إن مشكلات الميتان حساسة جداً للعوامل البيئية " درجة الحرارة ، قيمة pH والسموم و تكون إعادة الإنتاج بطيئة جداً و بتعابير بسيطة إن مشكلات الميتان من السهل قتلها و من الصعب أن تنمو. بكتريا الميتان هي بكتريا لاهوائية وهي كائنات تتحسس بوجود أكسجين الهواء الذي يضر بوظائف العديد من أنزيماتها مما يسبب و بسرعة موت جزء منها. و لذلك يجب أن تصمم العملية بشكل جيد بحيث تلبي احتياجات البكتريا المشكلة للميتان . تنمو المتعضيات و تزداد الفعالية عادة بازدياد درجة الحرارة و بذلك تصنع المتعضيات الطعام بشكل أسرع، كما يسمح النمو الأسرع بسحب أكثر للحمأة " زمن المكوث أقصر " .

- تعمل الهواضم في الشروط الميزوفيلية حيث تتراوح درجة الحرارة (32 – 38 C°) و في الشروط الترموفيلية بين (50 – 60 C°) . الشكل(٢٠) يبين مراحل الهضم اللاهوائي.



الشكل (٢٠) يبين الخطوات العامة لعملية الهضم اللاهوائي للمواد العضوية

- **إيجابيات المعالجة البيولوجية اللاهوائية :**

1- كمية الحمأة المتشكلة منخفضة مقارنة بكمية الحمأة الناتجة عن المعالجة البيولوجية الهوائية وهي أقل بحوالي عشرة مرات .

2- انخفاض استهلاك الكهرباء مقارنة بعملية التخمر الهوائية ، حيث إن المعالجة اللاهوائية لا تحتاج إلى أجهزة ضخ الهواء كما هو الحال في المعالجة الهوائية .

3- تتمتع أنظمة المعالجة اللاهوائية بكفاءة عالية في معالجة المياه الملوثة ذات قيم COD مرتفعة جدا". و عادة ما تستخدم للمياه الملوثة التي تحوي COD أكبر من ٣٠٠٠ ملغ/ل.

4- تؤمن أنظمة المعالجة اللاهوائية إنتاج طاقة متمثلة بالغاز الحيوي الغني بالميتان والذي نحصل عليه كناتج ثانوي للمعالجة اللاهوائية، حيث يمكن استخدام هذا الغاز كبديل عن الغاز الطبيعي في تشغيل المراجل أو المولدات أو المحركات أو في أي مجال لتوليد الطاقة .

5- تتصف المعالجة اللاهوائية باستقرار كبير من أجل حمولات عضوية متغيرة، وغيرها من عوامل أخرى يمكن أن تسبب خللاً في الأنواع الأخرى من المعالجة البيولوجية .

6- تحتاج أنظمة المعالجة اللاهوائية إلى مغذيات أقل (آزوت ، فوسفور، ...) مقارنة مع أنظمة المعالجة الهوائية .

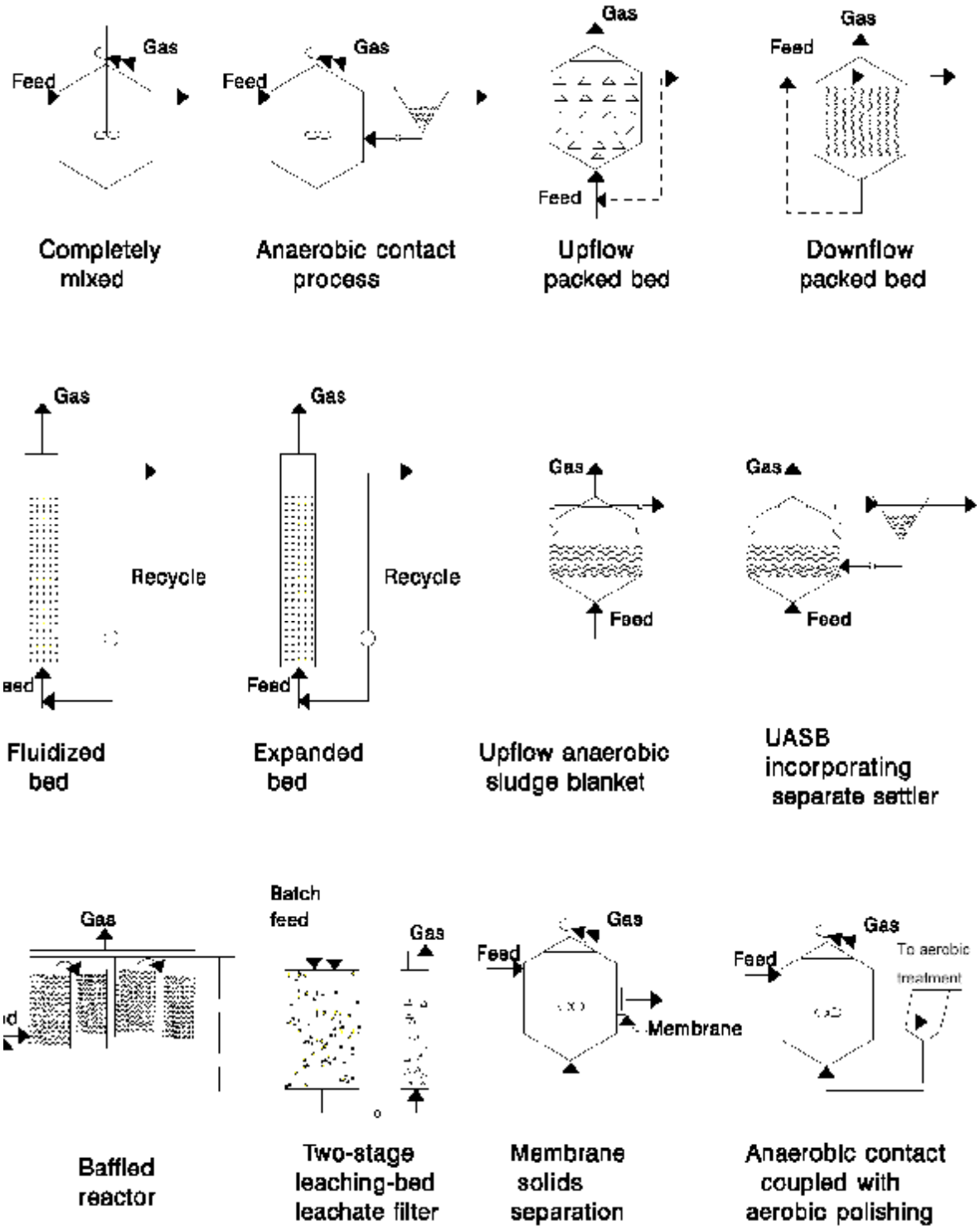
7- تتطلب المعالجة اللاهوائية مساحة أرض أقل مقارنة بالمعالجة الهوائية .

8- تحتاج أنظمة المعالجة اللاهوائية إلى تكاليف تشغيل أقل مما تحتاجه أنظمة المعالجة الهوائية، و ذلك نتيجة انخفاض الحاجة للمغذيات و استهلاك الكهرباء و قلة كمية الحمأة المتشكلة. و يبين الجدول التالي مقارنة عامة بين المعالجة البيولوجية الهوائية و اللاهوائية للمياه الملوثة .

جدول : مقارنة بين المعالجة البيولوجية الهوائية والمعالجة البيولوجية اللاهوائية

المعالجة البيولوجية الهوائية	المعالجة البيولوجية اللاهوائية
1- تحتاج إلى أجهزة ضخ الهواء، وإلى مولدات كبيرة	1- لاتحتاج إلى أجهزة ضخ الهواء ولا إلى مولدات كهربائية .
2- كمية كبيرة من الحمأة الناتجة.	2- كمية قليلة من الحمأة الناتجة وهي أقل بعشرة مرات من المعالجة الهوائية .
3- تعالج مياه ذات COD مرتفع نسبيا" .	3- تعالج مياه ذات COD مرتفع جداً.
4- حجم الوحدة المستخدمة صغير.	4- حجم الوحدة المستخدمة كبير .
5- تكاليف التشغيل مرتفعة .	5- تكاليف التشغيل متدنية .
6- لاينتج غاز حيوي .	6- ينتج غاز حيوي .
7- تحتاج المعالجة إلى وقت صغير نسبياً (6-7 أيام) .	7- تحتاج المعالجة إلى وقت كبير (20-30 يوم)

المعالجة البيولوجية اللاهوائية يمكن أن تتم عبر الأحواض اللاهوائية ذات الوسط المعلّق أو عبر الأحواض اللاهوائية ذات النمو على الوسط الثابت(وسط بلاستيكي مثلا") كما يبدو بالشكل(٢١).



الشكل (٢١) يبين بعض أنواع الأحواض اللاهوائية المستخدمة لمعالجة المياه الملوثة

ثالثا": الإزالة البيولوجية للمغذيات (النتروجين و الفوسفور)

بدأ القلق في العقد الماضي يتزايد حول نوعية المياه الطبيعية و التي تتلقى مياه الصرف مباشرة". وقد تم توجيه التركيز على حماية المياه الراكدة أو شبه الراكدة كالبحيرات والخلجان .

تدفق مياه الصرف الى المياه السطحية قد يعرضها لخطر التلوث بالعضويات المسببة للأمراض والبقايا القابلة للطفو كما يعرضها للترسبات و بالتالي ظهور حالات لاهوائية ، كما أنها تؤثر على سلامة الحياة المائية وعلى أية حال فان الاهتمام الاعظم كان تسارع ظهور حالات النمو الطحلبي في هذه المياه السطحية.

ان ظاهرة النمو الطحلبي (بسبب التوفر الغذائي) هي عملية نمو طبيعي ضمن المياه بسبب تزايد النشاط الحيوي. تتصف المياه ذات النمو الطحلبي بوجود أعشاب مائية و أشنيات طحلبية ضمنها بتراكيز عالية. ان تموت هذه العضويات يؤدي الى ترسبها الى القاع و من ثم تحللها و تأكسدها مما يؤدي في النهاية الى استهلاك الاكسجين المنحل المتوفر بالمياه و بالتالي ظهور حالات لاهوائية في القاع مترافقة مع روائح كريهة. كما أن عملية النمو اطحلبي للأشنيات تتأثر بدورة الليل والنهار بشكل كبير من حيث محتوى الاكسجين المنحل في الوسط ففي النهار يتم انتاج الاكسجين بسبب التمثيل الضوئي في النباتات و في الليل يتم استهلاكه. و ترتبط سرعة النمو الطحلبي بزيادة حمولات المغيات في السيب النهائي الناتج عن محطات المعالجة.

إن الفوسفور والازوت هما المغذيان الرئيسيان المسببان لظاهرة النمو الطحلبي و لذلك فإن ازالتهما ضمن محطات المعالجة سيحد من هذه الظاهرة. إن مهندسي البيئة يعتبرون أن التخلص من هذه المواد المغذية ضمن محطات المعالجة الطريقة الأكثر فاعلية للتحكم بهذه الظاهرة. لكن هذه العملية ليست المشكلة الوحيدة التي تسببها هذه المغذيات . فالامونيا تعتبر سامة لبعض الأحياء المائية ولو كانت بتراكيز صغيرة. ويمكن لأكسدة الامونيا إلى نتريت و نترات أن تستنفذ بشدة تركيز الكسجين المنحل (DO) ضمن المياه .

لقد وجد أن النتريت ذات ارتباط أقوى بالهيموغلوبين من الأوكسجين وبذلك تزيحه في الدم مسببة الميتهيموغلوبينيا أو مرض الطفل الأزرق عند الأطفال . ويتعارض وجود الفوسفات و لو بتراكيز ضئيلة بحدود ٠.٢ mg/l مع الإزالة الكيميائية للعكارة في مياه الشرب. وأمام التحميل المتزايد من المغذيات ، إضافة للاهتمام المطرد والطلب المتعاقب لحماية مصادر المياه في العالم فإن أبحاث وتطوير عمليات إزالة الفوسفور والآزوت من مياه الصرف قد تقدمت بشكل ملحوظ .

لقد انصب معظم الاهتمام في مجال التلاعب بالظروف المحيطة لتعزيز الآليات البيولوجية المسؤولة عن إزالة المغذيات . ودورياً تستخدم كل من التسهيلات الإدارية والصناعية العديد من

عمليات معالجة مياه الصرف استجابة للأنظمة المحلية المعتمدة . و يمكن تصنيف عمليات إزالة المغذيات في مجموعتين :

١- الأنظمة الحيوية

٢- الأنظمة الفيزياكيميائية

و يمكن أيضاً تقسيم العمليات الحيوية إلى أنظمة الغشاء المثبت وأنظمة النمو المعلق ، ومؤخراً فقد لزم الكثير من التعديلات ضمن عملية المعالجة لإزالة المغذيات لأن معظم المحطات المبنية في السبعينات من القرن الماضي كانت مخصصة لإزالة الـ BOD و TSS دون أخذ ازالة المغذيات بعين الاعتبار. و على الرغم من التطبيقات الموجودة للغشاء المثبت والعمليات الفيزياكيميائية لإزالة المواد الغذائية ، فقد نالت أنظمة النمو المعلق أكثر الاهتمام .

١ - النترجة و إزالة النترجة :

تتم **النترجة** في أحواض التهوية كما ذكرنا ذلك سابقا". يتم تحويل المركبات النتروجينية (نشادر أو امونيا، النتروجين العضوي ..الخ) الى نتريت و من ثم الى نترات.

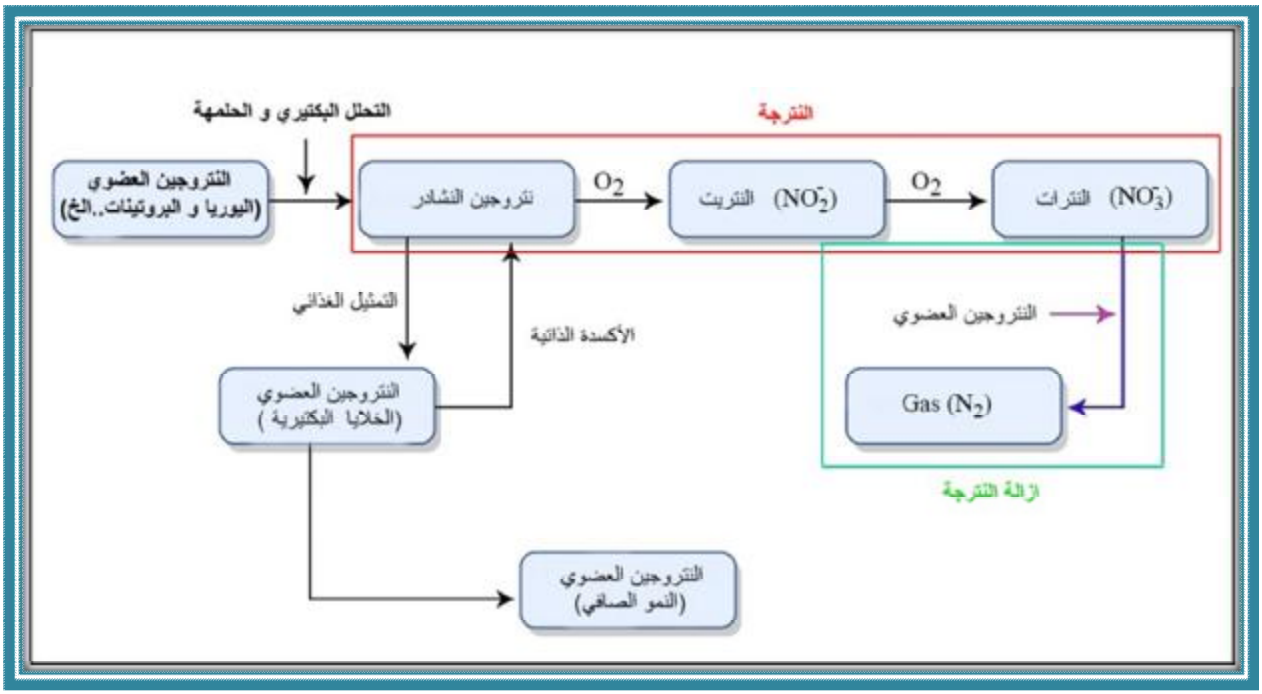
إن عملية أكسدة النشادر يطلق عليها عملية النترجة. و تحصل بواسطة نوعان مختلفان من بكتريا النترجة. المجموعة الأولى تؤكسد النشادر الى نتريت و تدعى بكتريا النتروزوموناس و التفاعل المعبر عن العملية يعطى كما يلي:

$$2NH_4 + 3O_2 = 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+ + energy$$

المجموعة الثانية تؤكسد النتريت و تحوله إلى نترات و تدعى بكتريا النتروباكتر و التفاعل الحاصل يكون كما يلي:

$$2NO_2 + 2O_2 = NO_3 + H_2O + 2H^+ + energy$$

بحالة **إزالة النترجة** فإن النتريت و النترات تحول تحت ظروف شبه لاهوائية (أنوكسية) إلى غاز النتروجين الذي يتحرر للجو المحيط (الشكل ٢٢).



الشكل (٢٢) يبين مراحل إتمام عمليات النترجة و إزالة النترجة

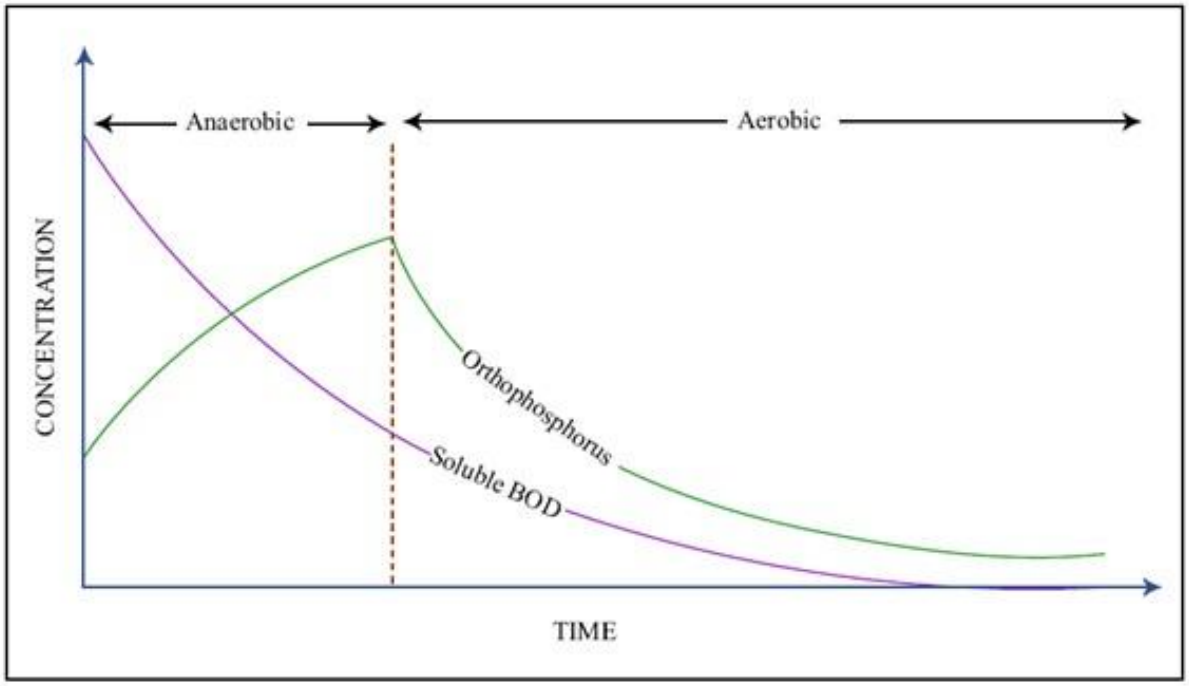
٢ - إزالة الفوسفور:

يتواجد الفوسفور ضمن مياه المجاري على شكل عضوي و شكل لاعضوي (اورثوفوسفات و بولي فوسفات) حيث يشكل الفوسفور اللاعضوي حوالي ٧٠ % من الفوسفور الكلي الداخل لمحطة المعالجة. تتم إزالة الفوسفورعبر تأمين مرحلة لاهوائية تليها مرحلة هوائية. في المرحلة اللاهوائية يتم تحرير الفوسفور إلى الوسط على شكل فوسفور لاعضوي منحل (الاورثو فوسفور). و بدورها تستخدم المتعضيات الهوائية في المرحلة الهوائية هذا المركب للنمو الخلوي و يخرج الفوسفور من محطة المعالجة عبر الحمأة الفائضة.

لقد تم البحث في ظاهرة إزالة الفوسفور بيولوجيا" بواسطة الحمأة المنشطة و في فترة الستينات (Enhanced Biological Phosphorus Removal) و التي يرمز لها اختصارا" (EBPR). و قد أشير إليها على أنها من متطلبات عمليات الإستقلاب الخلوي للحمأة و لقد تم إنجاز العديد من الدراسات منذ أوائل السبعينات على أشكال متنوعة من الآليات التي تتحكم بهذه العملية و قد وجد أنه يجب أن تخضع مرحلة المعالجة الحيوية لفترة للعمليات اللاهوائية قبل عملية التهوية.

ومن المتطلبات الأساسية لعملية EBPR الاختيار المناسب للعضويات . و إخضاع الحمأة مع مياه الصرف إلى دورة هوائية / لا هوائية و بشكل متعاقب فإن المتعضيات الدقيقة القادرة على تخزين الفوسفور في كتلتها الحيوية على شكل فوسفات معقدة (Poly-P) تتكاثر بالإنقسام في هذا النظام. يظهر الشكل (٢٣) المنحني النظامي لتراكيز BOD و الفوسفور . ان تحرير الفوسفور المعقد المتواجد ضمن الخلايا البكتيريا الى الوسط المائي يعكس الامتصاص السريع للمواد العضوية /

BOD / في البيئة اللاهوائية. وفي المنطقة الهوائية يتم امتصاص الفوسفات المنحلة ضمن الوسط (المياه) لتصل لتراكيز منخفضة جداً بالتزامن مع الإزالة المستمرة للـــ BOD .



الشكل (٢٣) توضيح للتغير الحاصل للـــ BOD & P أثناء الإزالة البيولوجية

لقد طرح العالم Hong et. al في عام ١٩٨٢ تفسيراً لهذه الآلية الحيوية. إن تحطم البولي فوسفات في المنطقة اللاهوائية يولد طاقة تلزم لنقل الملوثات إلى داخل الخلايا البكتيرية التي يتجمع فيها الفوسفور وهذا يفسر تغيرات تركيز BOD و الفوسفات في المعالجة اللاهوائية .

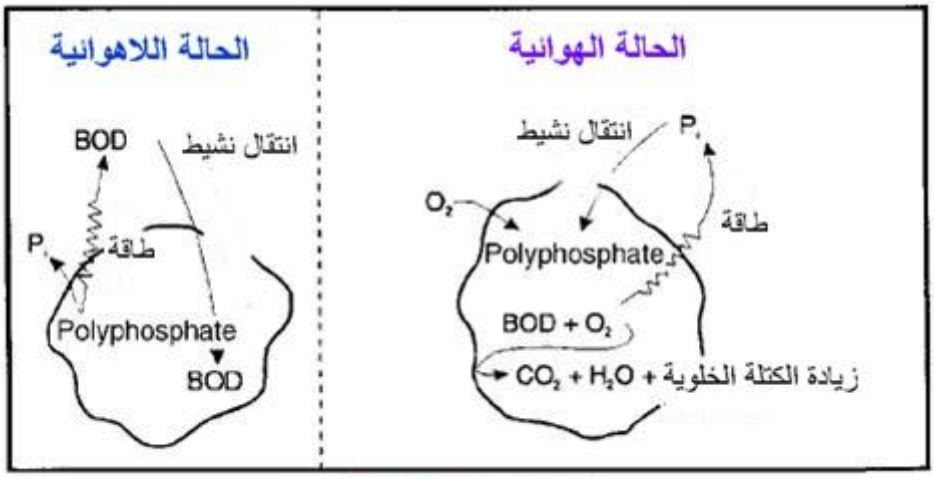
نتيجة لذلك فإن هذه البيئة تعمل كمنطقة اختيارية و البكتريا المجمعة للفوسفات تعرف بالآسينتوبكتريا (Acinetobacter) و هي تملك حسنات تنافسية و تتكاثر بالإنقسام ضمن هذا النظام. و حالما يصل تجمع الخلايا المجمعة للفوسفات وبقية الكائنات الدقيقة إلى البيئة الهوائية فإن أغلب المواد العضوية / BOD / سهلة التأكسد ستنتقل الى داخل البكتريا المخزنة للفوسفات.

وحالما تتأكسد المواد العضوية (BOD) فإن الطاقة الناتجة تستخدم لتركيب البولي فوسفات وتشكل خلايا جديدة وهذه الخلايا الجديدة هي المسؤولة عن إزالة الفوسفور في النظام.

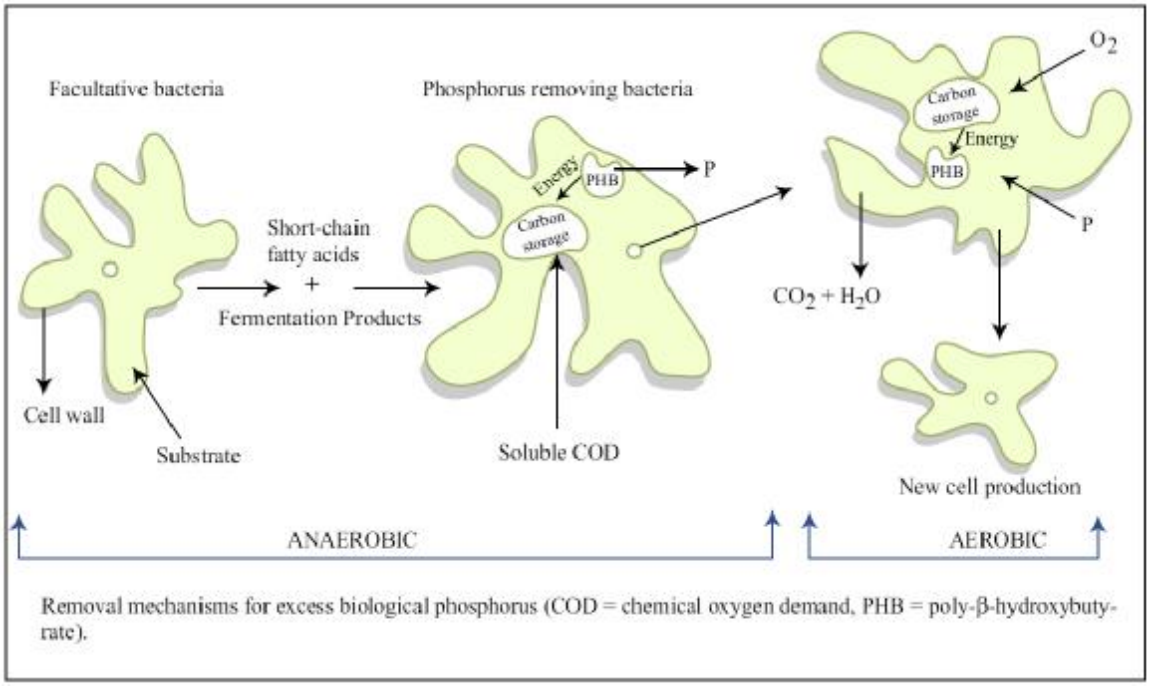
إن العملية المتبادلة للحياة الهوائية و اللاهوائية تعطي مياه معالجة ذات تراكيز منخفضة من BOD و الفوسفور المنحل كما أنها تنتج حمأة غنية بالبولي فوسفات.

افترض العالمان (Tracy and Flammino) تفسيراً أكثر تفصيلاً للعلاقة بين استقلاب الملوثات و البولي فوسفات المختزن كما في الشكل (٢٤) نسخة مبسطة من المسار المقترح ويجب إن

تكون المتعضيات المخزونة من البولي هيدروكسي بيوتايريت (Polyhydroxybutyrate) أو اختصارا" (PHB).

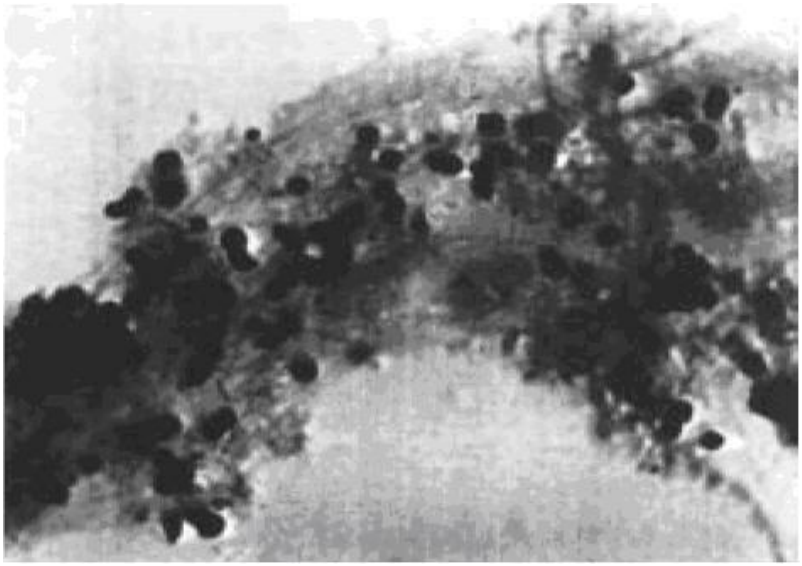


التفاعلات الخلوية



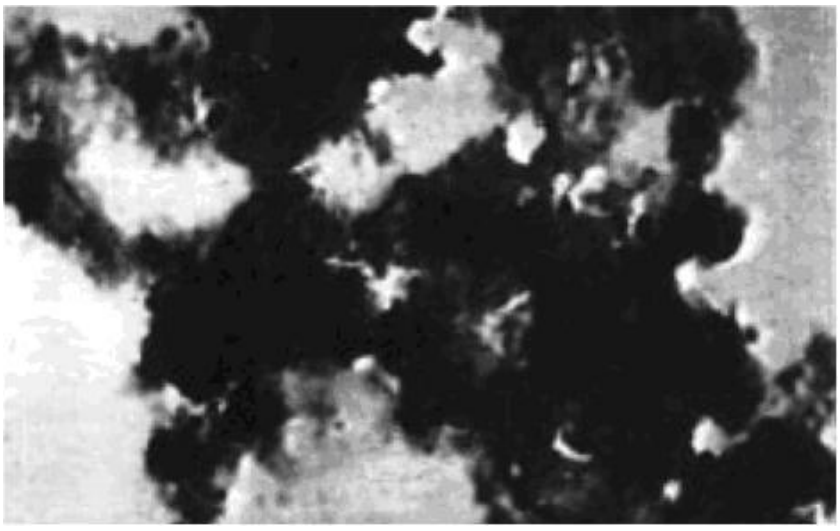
الشكل (٢٤) شرح تخطيطي لعملية إزالة الفوسفور بيولوجيا"

تمت اختبارات مجهريه على عينة من المزيج السائل من EBPR و العمليات التقليدية للحمأة المنشطة باستعمال ملون نايسر الذي يبدل لون الحبيبات التي تحتوي البولي فوسفات و يبين الشكل (٢٥) صوراً مجهريه للعينات الملونة مع المعالجة وفق نايسر تدل المواد قاتمة اللون على وجود البولي فوسفات . وكما يبين الشكل فإن عينة المزيج السائلة (خليط الحمأة و الملوثات ضمن حوض التهوية) من عملية EBPR تحتوي حجماً أكثف من مخزون البولي فوسفات . إن معدل و مدى إزالة الفوسفات مرتبط بنوع و كمية الملوثات المنحلة في مياه الصرف .



الشكل (٢٥) يبين صورةً مجهريه لعينة ملونة مع المعالجة وفق نايسر

و الشكل (٢٦) التالي يبين غياب حبيبات البولي فوسفات من الحمأة المتحكم بها.



الشكل (٢٦) يبين غياب حبيبات البولي فوسفات من الحمأة

تظهر الدراسات إن الحموض الدسمة ذات الوزن الجزيئي المنخفض (VFAS) كالخلات هي المصدر المفضل للكربون . إضافة إلى ان الكاتيونات كالبوتاسيوم و المغنزيوم ضرورية لتركيب البولي فوسفات .

تحتوي مياه الصرف المدنية العادية على ما يكفي من المواد المتخمرة المنحلة و الكاتيونات لإزالة الفوسفور الحيوية . و وفق خصائص مياه الصرف يصمم نظام EBPR لمعدل F/M أعلى ويحقق هذا عموماً درجة إزالة أعلى للفوسفور ، إن نظاماً يعمل بمعدل أعلى من الـــ F/M ينتج كتلة

أكبر من الحمأة لضم الفوسفور . وبما إن إنتاج الحمأة واستهلاكها هو المسؤول عن الإزالة الصافية للفوسفور فإن هذا المتغير هو المفتاح للنجاح بإزالة الفوسفور بيولوجيا". وقد دلت التجارب المخبرية على أن ازالة الفوسفور تتحسن مع انخفاض درجة حرارة التشغيل.

و كمعظم التفاعلات الحيوية تميل العضويات في عملية EBPR إلى pH معتدل . وقد أظهرت الدراسات المخبرية الشاملة إن معدل الامتصاص الأعلى للفوسفور يتحقق في مجال pH من ٦.٨-٧.٤ . تنخفض المعدلات تدريجياً إلى حدود ٧٠% من الحد الأدنى عند pH يساوي ٦ . وتحت القيمة pH .6 تنخفض المعدلات بسرعة حتى تنعدم الإزالة عند pH.5 . ولكن الخبرة في عمليات الدرة الأولى تدل على إن تأثير pH على EBPR أشد من ذلك .

عند تصميم نظام الحمأة المنشطة للوصول لتراكيز تدفق منخفضة للفوسفور ١-٢ mg/l في المياه بعد المعالجة يجب توفير الشروط التالية :

١- منطقة حياة لاهوائية مع زمن مكوث ١-٢ ساعة .

٢- يجب أن تكون نسبة BOD المنحلة P المنحلة أكبر من ١٢ أو أكثر ضمن التدفق.

٣- التشغيل عند أعلى قيمة لـــ F/M وأقصر SRT و بحيث تسمح بالنترجة إذا كانت ضرورية

المراجع العلمية:

- د.م أحمد فيصل الأصغري (1997) منظومات الصرف الصحي ومعالجة مياه المجاري .
- د.م صادق العدوي (1985) النظم الهندسية لمياه الصرف الصحي .

- EPA (1999), ((*Operation of Wastewter Treatment Plants*)) USA
- G.K.Santosh G.rajes hwavi (1995), ((*Sweage Disposal*)) India
- C.Ron & T.G eorge (1998), ((*Small and Decentralized Wastewater Management Systems*)) USA .
- Metcalf & Eddy (1991) *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th Edition, Mcgraw-Hill, New York
- Butler D. and Smith S., (2003). *" Advanced Wastewater Treatment*", Imperial College, London. UK
- Eric. S Winkler (2000), *On-Site Wastewater Treatment Technologies Handbook*, USA
- State of Washington, Department of Ecology (1998) *"Criteria for sewage works design"*
- Irene Liu (1999). *Environmental Engineers' Handbook. USA*
- John Wiley & Sons (2003), *Environmental Engineering 5th Edition. USA*
- DEC PUBLICATION Division of Water (1998). "*DESIGN STANDARDS FOR WASTEWATER TREATMENT WORKS INTERMEDIATE SIZED SEWERAGE FACILITIES". USA*
- *Syed R. Qasem (2000). "Wastewater Treatment Plants, Planning-Design-Operation". USA*
- Udo Wiesmann & Eva-Maria Dombrowski ." Fundamentals of Biological Wastewater Treatment". 2007 Germany.