**ازالة أوطرد الاوكسجين من الماء Removal of $O_2$ from Water:-**

يكون الماء مشبعاً بالهواء عند درجة حرارة (٨ °م) ويحتوي عندئذٍ على (٨ سم$^3$) من الاوكسجين في اللتر. يعد الحديد بسبائكه المختلفة أهم مادة تستخدم في صناعة المعدات الكيمياوية، وان الاوكسجين المذاب في الماء يعمل على تاكل الحديد وكما موضح في التفاعلات الكيميائية التأكسدية ادناه:-

$$2\,Fe_{(s)} \rightarrow 2\,Fe^{++}_{(aq)} + 4\,e^-$$

$$O_{2(g)} + 2\,H_2O + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^-_{(aq)}$$

$$2\,Fe^{2+}_{(aq)} + 4\,OH^-_{(aq)} \rightarrow 2\,Fe(OH)_{2(s)}$$

أي ان:- OR:-

$$2\,Fe_{(s)} + O_{2(g)} + 2\,H_2O \rightarrow 2\,Fe(OH)_{2(s)}$$

ان هيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ المتكون قابل للذوبان في الماء بدرجة ملحوظة، مما يؤدي الى استمرارية التفاعل وبالتالي استمرار التاكل للمعدن. ولأجل ايقاف هذا التأثير السلبي على الحديد يجب طرد الهواء ($O_2$) من الماء وخاصة من مياه المراجل (Boilers). وان اهم طرق لازالة الاوكسجين المذاب في الماء هي:-

١. اضافة املاح مانعة للتاكسد، وتسمى ايضاً املاح حافظة (Protective Salts) مثل الكرومات، السليكات، الفوسفات، وبعض القلويات ويكون دور هذه الاضافات انها تتفاعل بنفسها مع $O_2$ المذاب في الماء وبسرعة وكفاءة اعلى من تفاعل الحديد (او أي معدن اخر) مع الاوكسجين المذاب في الماء. وبذلك يتم حماية الحديد (او أي معدن اخر) من تأثير الاوكسجين عليه، ومن وجهة نظر الكيمياء الكهربائية تكون هذه الاملاح المضافة بمثابة انودات (Anodes) في تفاعل الاكسدة والاختزال الذي يتم على سطح المعدن وبذلك يتم حماية المعدن (الحديد) والذي يكون بمثابة كاثود (Cathode) في هذا التفاعل.

٢. اضافة مادة مختزلة قوية تتفاعل مع الاوكسجين وتزيله من الماء بكفاءة ومن اهم المواد المتداولة صناعياً في هذا المجال هي مادة كبريتيت الصوديوم ($Na_2SO_3$) ويكون تفاعل ازالة الاوكسجين كما يلي:-

$$2\ Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2\ Na_2SO_4$$

مذاب

## اعداد الماء للاستعمال المنزلي:-

ان اهم خواص ومميزات الماء الصالح للاستعمال البشري في المنزل هي:-

١. ان يكون خالي من الميكروبات المرضية.
٢. ان يكون خالي من المواد العالقة.
٣. عديم اللون والطعم والرائحة.
٤. يستحسن ان يكون الماء يسراً (خالي او قليل العسرة).

تتضمن عملية اعداد المياه للاستعمال المنزلي ما يلي:-

١. التهوية:- وتجري هذه العملية لازالة الحديد المذاب:-

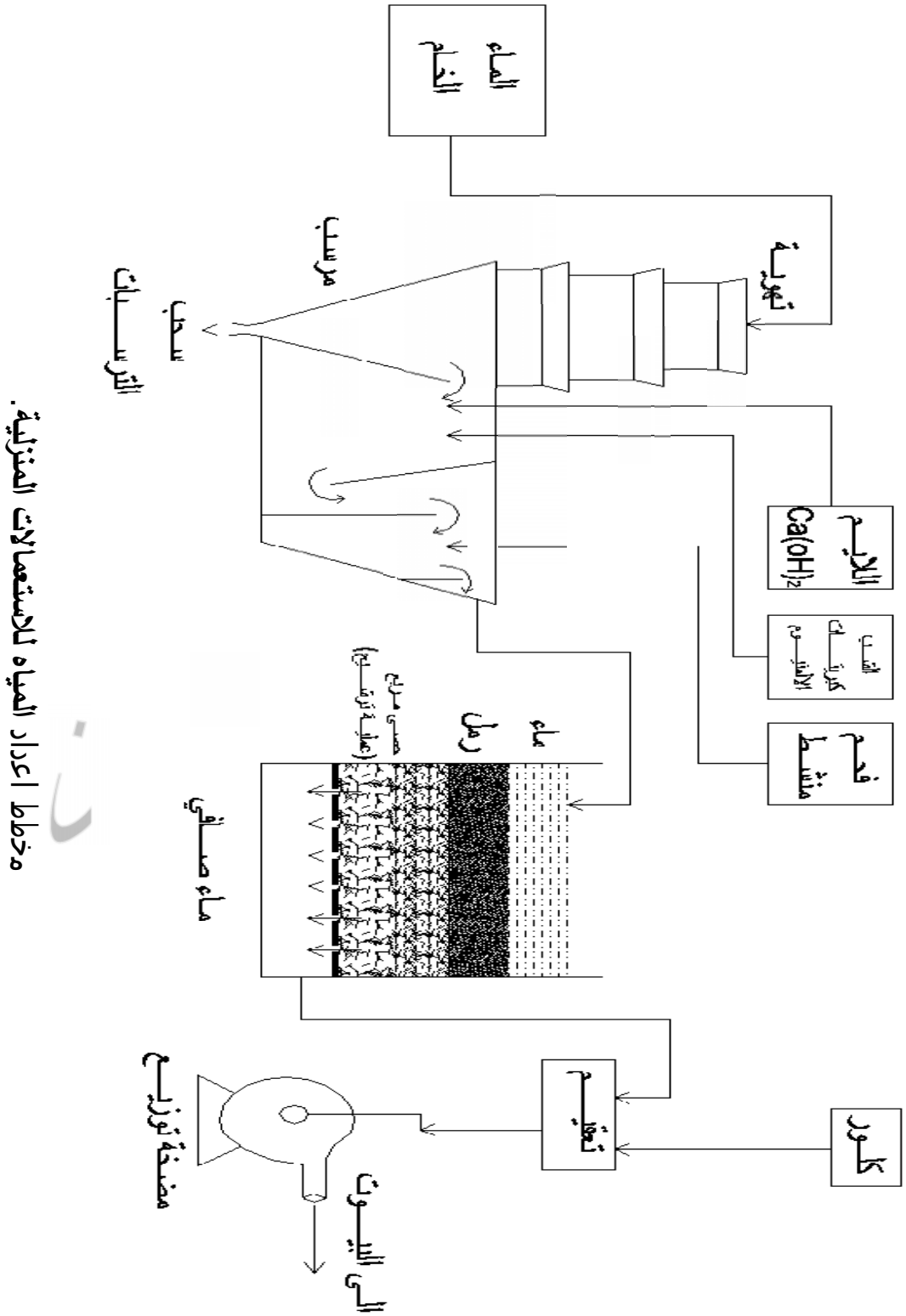
$$2\ Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow 2\ Fe(OH)_3$$

مادة جيلاتينية  مادة مذابة

كما ان التهوية تطرد العديد من الغازات الضارة مثل الامونيا ($NH_3$) وغاز كبريتيد الهيدروجين ($H_2S$) وغاز الميثان ($CH_4$) وغيرها، كما انها تنشط البكتريا الهوائية التي تتغذى على الفضلات العضوية (تقضي على الفضلات العضوية) وبذلك يتحسن لون وطعم الماء.

٢. ازالة جزئية للعسرة بواسطة مادة اللايم $Ca(OH)_2$ ثم ازالة الرواسب المتكونة.
٣. قد يضاف الفحم المنشط لازالة الالوان وتحسين الطعم والرائحة.
٤. اضافة مادة الكلور (او الكلور امين) للتعقيم وقتل الميكروبات.

يبين الشكل ادناه مخطط توضيحي لعملية اعداد مياه الشرب:-




مخطط اعداد المياه للاستعمالات المنزلية.

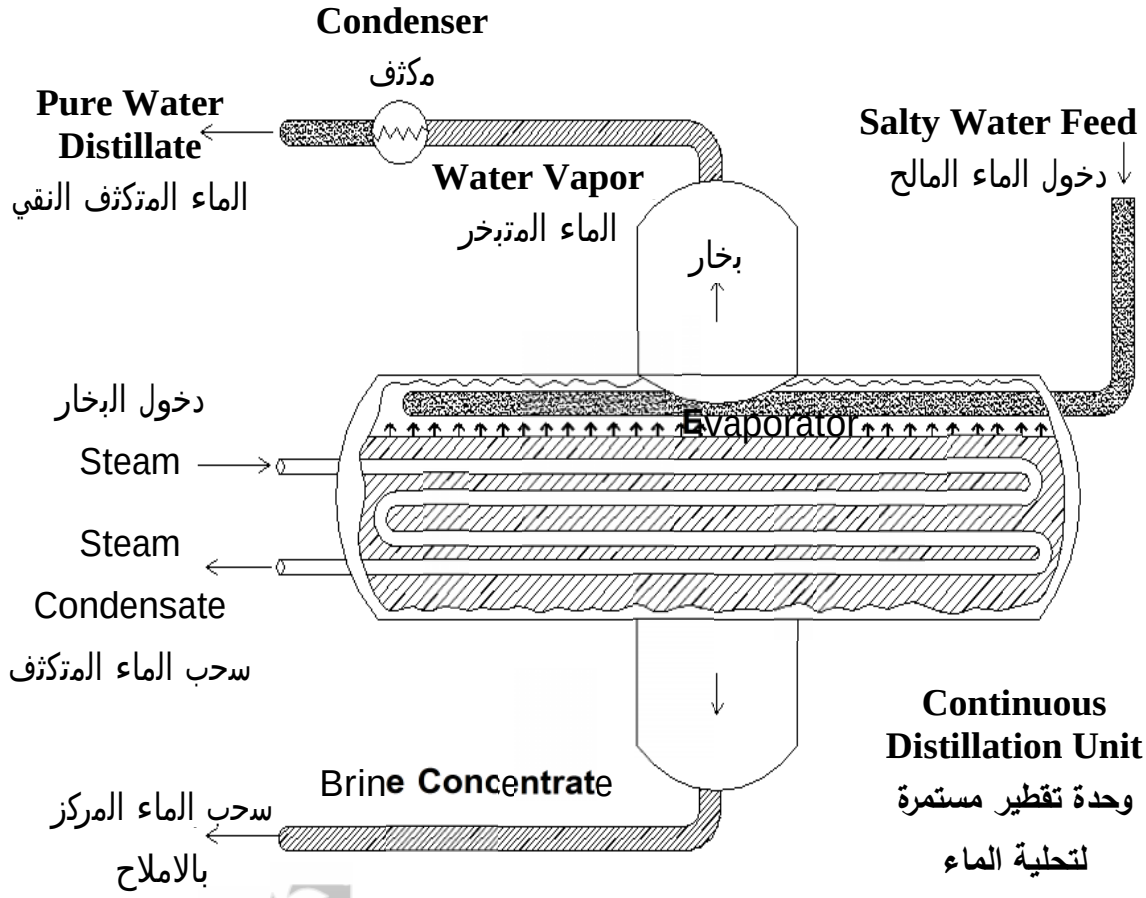
**اعداد المياه للاستعمالات الصناعية:-**

عموماً يعد الماء لاي استعمال صناعي حسب الطلب اعتماداً على الصناعة المعنية والغاية منه في تلك الصناعة فمثلاً:-

١. ماء المرجل (البويلر) يجب ان يكون عديم العسرة وقد طرد منه الهواء المذاب (الاوكسجين).
٢. ماء التبريد:- يتطلب على الاقل ازالة جزئية للعسرة.
٣. تتطلب بعض الصناعات ماء عديم الايونات بشكل تام، كما يتطلب تقطير الماء الخام ولاكثر من مرة مع اجراء عمليات الازالة للايونات.

ان الحاجة المتزايدة الى المياه نتيجة لزيادة السكان والتطور الحضاري المتسارع جعل من الحاجة الملحة لتوفير كفاية من المياه العذبة وحتى تطوير طرق لتحلية المياه المالحة وجعلها صالحة للصناعة والاستعمال المنزلي والبشري. ان تحلية مياه البحر تتطلب معادلات خاصة لازالة الاملاح منها Desalting. حيث يحتوي ماء البحر على (٣٥) الف جزء بالمليون (ppm) من الاملاح المذابة.

ان من اهم طرق ازالة الاملاح من مياه البحر هي طريقة التبخير (التقطير)، حيث يتم تقطير مياه البحر في عدد من وحدات التقطير الصناعية المربوطة مع بعضها وتكون العملية مستمرة (Continuous Process)، ويبين المخطط ادناه احد هذه الطرق:-




حسين

## معالجة فضلات المياه Water Treatment:-

١. المياه السكنية:-

يجب ان تعالج فضلات المياه المنزلية (السكنية) قبل اعادتها الى المصدر المائي الطبيعي الذي اخذت منه سواء كان نهراً ام بحيرة. والا ادى الامر الى زيادة تلوث مصادر المياه الى حدود غير مقبولة. تحوي فضلات المياه السكنية على تراكيز عالية من المواد العضوية التي تتطلب كميات كبيرة من الاوكسجين المذاب لاكسدتها وتحويلها الى مكوناتها الاولية. تتم الاكسدة عادة بواسطة البكتريا الهوائية التي تتغذى على الفضلات العضوية وتحولها الى $CO_2$ و$H_2O$، بعد تحرير كميات من الطاقة الضرورية لادامة حياتها. تتم الاكسدة هذه وفق المعادلة التالية:-

$$C, H + \text{Aerobic Bacteria} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{Energy}$$

مركبات عضوية بكتريا هوائية اوكسجين ثاني اوكسيد الكاربون ماء طاقة

(فضلات في الماء) مذاب في الماء

تعرف كمية الاوكسجين المذابة والمطلوبة للاكسدة البايولوجية للفضلات العضوية بالاحتياج البايولوجي للاوكسجين Biological Oxygen Demand (BOD)، وكلما زادت كمية الاوكسجين المذاب المطلوبة دل ذلك على زيادة تركيز الفضلات العضوية في الماء. وبما ان هناك اشكال مختلفة من الحياة الحيوانية والنباتية في المياه فان زيادة الفضلات العضوية (او زيادة الـ BOD) سيجعل بقاء الحياة المائية واستمرارها في خطر. لذا يتوجب ازالة معظم الفضلات العضوية من المياه السكنية، وتقليل حدوث التعفنات وانبعاث الغازات الكريهة السامة من المياه مثل غازات $H_2S$ ، $NH_3$، والميثان $CH_4$.

ان من اهم الطرق المتداولة في معالجة فضلات المياه السكنية وتقليل تلوثها بالفضلات العضوية هي كما يلي:-

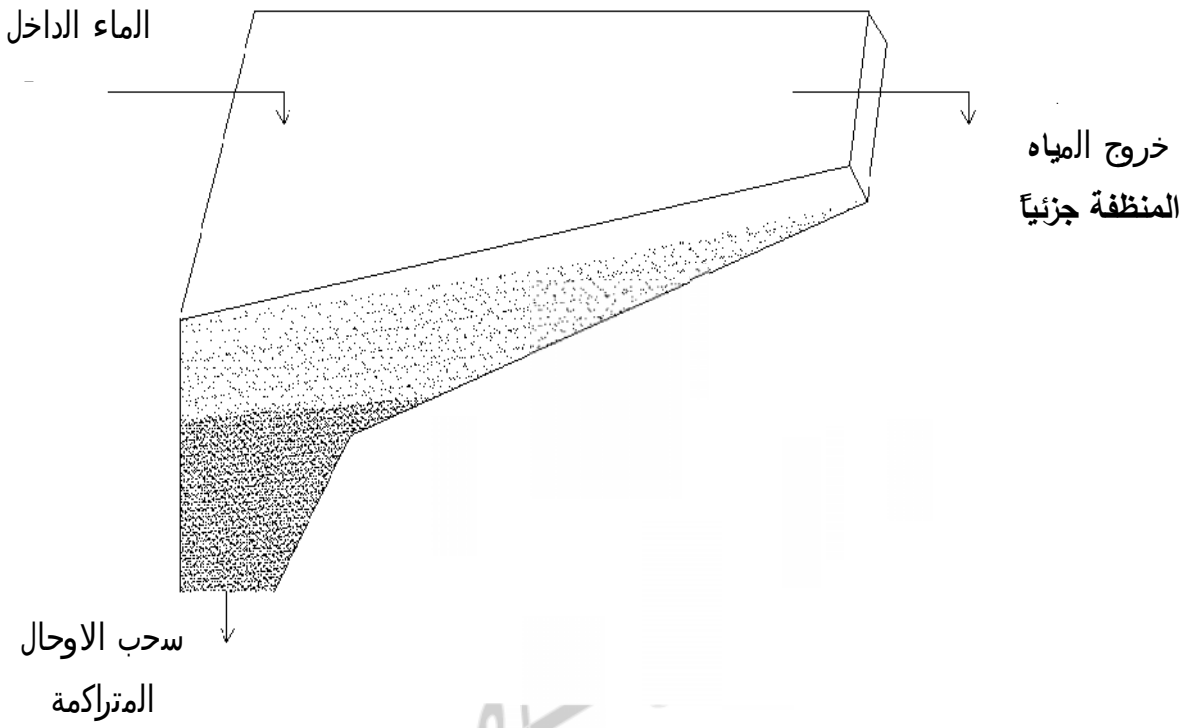
١. الطريقة الميكانيكية Mechanical Treatment.
٢. الطريقة الكيمياوية Chemical Treatment.
٣. طريقة الحمأة المنشطة (الاوحال المنشطة) Activated Sludge Method.

### ١. الطريقة الميكانيكية Mechanical Treatment:-

وتشمل هذه الطريقة ما يلي:-

أ. ازالة القطع الكبيرة الطافية والعالقة (Screening) عن طريق امرار فضلات المياه من خلال شبكات معدنية او بلاستيكية بحجوم مختلفة.

ب. عملية التركيد Settling، تستعمل في حالة الاوحال والدقائق الصغيرة والتي تخترق المشبكات اعلاه، وتستعمل عادة في هذه الحالة خزانات ضحلة يقضي فيها الماء وقتاً محسوباً وتكون هذه الخزانات بشكل مستطيلات ذات قعر مائل ليتسنى انزلاق الاوحال الى فتحة سحبها والتخلص منها ويبين الشكل ادناه مخطط توضيحي لعملية التركيد هذه:-




**مخطط توضيحي لعملية التركيد.**

جـ. عملية الترشيح Filtration:- ويستعمل الترشيح لازالة الدقائق الصغيرة العالقة التي تتبقى من عملية التركيد ان تطلب الامر. وهناك مرشحات صناعية بتصاميم وحجوم متعددة، ومن أهم طرق الترشيح المتداولة، هي امرار الماء مع الدقائق العالقة فيه على طبقات من الرمل والحصى المتدرج في الحجم وسحب الراشح من الاسفل.

**٢. الطريقة الكيمياوية Chemical Treatment:-**

وفي هذه الطريقة يتم اضافة عدد من المواد الكيمياوية للمساعدة في اسراع تركيد المواد العالقة (مثل مادة الشب) واخرى لترسيب المواد الذائبة مثل اضافة مادة اللايم ($Ca(OH)_2$). وتفصل المواد المترسبة عادة بعملية الترشيح، تجري هذه العملية عادة بترافق مع الطرق الميكانيكية لتحقيق ازالة جيدة للمواد العالقة والذائبة.

**٣. طريقة الحمأة المنشطة (الاوحال المنشطة) Activated Sludge Method:-**

تعتبر هذه الطريقة احدى اهم الطرق المتداولة في المجمعات السكنية المتقدمة للتخلص من المواد العضوية الذائبة العالقة. تنمى في هذه الطريقة بكتريا هوائية Aerobic Bacteria في الاوحال نفسها وتقوم هذه العضويات الدقيقة Micro Organisms بهضم الفضلات (الملوثات) العضوية عن طريق اخذها كغذاء وحرقها في عملية التنفس وتحويلها الى النواتج الطبيعية الاعتيادية $CO_2$ ، $H_2O$.

**معالجة فضلات المياه الصناعية:-**

ان اهم مصادر ملوثات المياه في الوقت الحاضر تتمثل بما نفذته العمليات الصناعية المختلفة من فضلات لاعضوية واخرى عضوية مذابة او عالقة. ان بعض الملوثات اللاعضوية تعتبر سموماً خطرة جداً مثل مركبات المعادن الثقيلة كالزئبق والرصاص والكادميوم، ولو ان قذفها يتم بتراكيز واطئة، الا ان لها خاصية التراكم التدريجي في اجسام الحيوانات والنباتات المائية والتي تعد ضمن غذاء الانسان. كما ان قسم من المواد المذابة في فضلات المياه الصناعية ذو طبيعة حامضية قوية او قاعدية قوية وفي كلتا الحالتين ينتج عنها تهديد للحياة المائية. كما ان العديد من الفضلات الصناعية يحوي على تراكيز عالية من المواد العضوية الذائبة او العالقة، أي ان متطلباتها من الاوكسجين المذاب عالية (لها قيمة BOD عالية).

وللاسباب اعلاه فقد شرعت معظم الدول المتقدمة تعليمات وقوانين واضحة ورادعة للحد من تاثيرات الفضلات الصناعية الملوثة للمياه الطبيعة، وقيام بعض الهيئات الصحية المختصة باجراء الفحوص والتفتيشات الدورية لغرض التاكد من التراكيز المسموحة.

بعض الطرق المستعملة **في معالجة فضلات المياه الصناعية:-**

١. الخزانات الوقتية قبل التصريف Lagoons:-

تستعمل هذه الخزانات خاصة في الصناعات التي تحتوي فضلاتها المائية على

تركيز عالي من المواد العضوية، وتصمم هذه الخزانات بصورة علمية يؤخذ فيها المساحة السطحية والعمق بنظر الاعتبار، وتكون بشكل مسطحات واسعة، قد تكون ابعادها بحدود (٣٠٠ م × ٣٠٠ م)، واما عمقها فيتراوح بين (١ – ٢) متر وذلك للسماح لاكبر قدر ممكن من ضوء الشمس لاختراق الماء، وقد يكون هناك اكثر من خزان واحد، وتكون هذه الخزانات متصلة مع بعضها، بحيث يقضي الماء الملوث فيها فترات محسوبة قبل الانتقال من خزان الى اخر في طريق تصريفه الى النهر ومن فوائد هذه الطريقة ما ياتي:-

أ. تعادل الحوامض والقواعد الاتية من المعمل.
ب. تقليل نسبة المواد العالقة بفعل عملية التركيد.
ج. تقليل الاحتياج البايولوجي للاوكسجين (BOD) بفعل ازالة المواد العضوية، حيث تقوم البكتريا الهوائية بالتغذي عليها، وحيث ان تصميم الخزان بالشكل المذكور يساعد على تنفيذ هذه العملية بكفاءة وبطريقة مكملة لبعضها، وكما مبين ادناه:-

١) عملية نباتية:- $CO_2$ + نباتات $\xrightarrow[\text{كلوروفيل}]{\text{أشعة الشمس}}$ $O_2$ + سليلوز

أوكسجين (أشنات)

(عامل مساعد)

وان هذا الاوكسجين الناتج ضروري لحياة البكتريا الهوائية (Aerobic Bacteria).

٢) $AB + O_2 \longrightarrow$ نمو وتكاثر

(البكتريا الهوائية)

هظم وحرق

٣) عملية حيوانية: $AB + C, H + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O +$ طاقة

فضلات عضوية بكتريا هوائية اثناء التنفس

ان غاز ثاني اوكسيد الكاربون الناتج من المعادلة الثالثة هو مادة مطلوبة في المعادلة الاولى وبذلك تتكامل العمليات البايولوجية النباتية (التمثيل الضوئي) والحيوانية (الاكسدة البايولوجية) وبتكاملها يقضى على الفضلات العضوية المستهلكة للاوكسجين فيما لو طرحت مباشرة الى المصادر المائية الطبيعية.

قد تضاف كمية من الكلور الى الماء المسحوب من الخزانات (Lagoons) قبل عودته الى المصدر المائي الطبيعي الذي اخذت اصلاً منه وقد تضاف مواد اخرى ان تطلب الامر لغرض ترسيب بعض المواد المذابة الضارة ان وجدت بتراكيز غير مقبولة.

٢. الرواسب الناتجة من عمليات ازالة العسرة والتي تكون بشكل كاربونات الكالسيوم او المغنيسيوم او هيدروكسيد المغنيسيوم فتجفف وتخزن وقد تباع الى من يحتاجها، او قد تعامل حرارياً (تفكك) لاستعادة الاكاسيد الاصلية التي تستعمل مرة اخرى في ازالة العسرة.

$$CaCO_3 \xrightarrow{\Delta} CaO + CO_2$$

$$MgCO_3 \xrightarrow{\Delta} MgO + CO_2$$

$$Mg(OH)_2 \xrightarrow{\Delta} MgO + H_2O$$

٣. المحاليل المركزة بالاملاح المسببة للعسرة (الحاوية على $Ca^{+2}$ , $Mg^{+2}$) والناتجة من عملية استعادة اعمدة التبادل الايوني، اما مع محلول ملح الطعام الزائد المستعمل في الاستعادة او مع حامض الكبريتيك في الراتنجات الكاتيونية المزودة للبروتون ($H^+$) فان هذه الاملاح المركزة تجمع وتخزن الى موسم الفيضان ثم تصرف تدريجياً الى الانهر.

٤. فضلات المياه الناتجة من الصناعات الغذائية (التعليب، الالبان، التخمير... الخ) ونظراً لاحتوائها على تراكيز عالية من المواد العضوية، فان احسن طريقة لمعالجتها هي

طريقة الاوحال المنشطة (الحمأة المنشطة).

٥. مياه معامل الدباغة:- تضاف لها مواد مرسبة للايونات السامة (مثل املاح المعادن الثقيلة كالكروم) المستعملة في الدبغ ثم ترشح وتعامل لتقليل متطلبات الـ (BOD) قبل استخدام طريقة التخزين قبل التصريف (Lagooning).

٦. من الممكن استعادة العديد من المواد الكيمياوية المستعملة في الصناعة، ويطبق هذا فعلاً في العديد من الدول المتقدمة. حيث ان الفضلات الصناعية هي ممكن ان تكون مواد اولية لصناعا ت اخرى. ان اسلوب استعادة هذه المواد وتدويرها وفصل مواد عرضية جديدة وتنقيتها، لها مردودات اقتصادية كبيرة بالاضافة الى تخليص البيئة من مشاكل وتعقيدات التلوث البيئي.

عبد الحق خلف حسين