ان التطور المتسارع في المجال الصناعي والاقتصادي ادى الى التغير المناخي والبيئي نتيجة لتراكم النفايات الصلبة والسائلة و الغازية مما انعكس تأثيره على الكائنات الحية بصورة عامة

حيث ان المخلفات الناتجة من الصناعة و الزراعة و المدن تهدد البيئة الطبيعية. حيث ان تراكم السموم للملوثات المختلفة في التربة والمياه الجوفية تؤدي الى تحطيم البيئة الطبيعية وتهدد تطور وتقدم الاستدامة البيئية

إن هذا التدهور الحاصل في البيئة ادى الى وجود (إيجاد) حلول عاجلة للحفاظ ومعالجة المصادر الطبيعية. اتجهت الدراسات في هذا المجال الى استخدام التقنيات غير المكلفة وغير المولدة للنفايات وصديقة للبيئة للتخلص ومعالجة الملوثات بكافة أنواعها

إن استخدام الطرق البايولوجية لمعالجة المخالفات اظهرت نتائج إيجابية للحفاظ على البيئة.

ان الدراسات الحديثة أشارت الى كفاءة استخدام الكائنات الحية مثل الفطريات والبكتريا والنباتات المختلفة في اعادة التوازن الى النظام البيئي والتخلص من المخلفات المختلفة مثل المبيدات والصبغات المختلفة ومخلفات صناعة الألبان وادارة مخلفات الغذاء ومخلفات الاوراق ومختلف المعادن الثقيلة وامكانية استغلال هذه المخلفات في إنتاج بعض المواد المفيدة مثل الوقود الحيوي وبعض الغازات مثل الايثانول وغيرها من المواد النافعة

ان مصطلح **bioremediation** يتكون من مقطعين وهو **bios** تعني الحياة وتشير الى الكائنات الحية
وان مصطلح **remediation**يعني لحل المشكلة

ان مصطلح **Bioremediate** تعني استخدام الأحياء لمعاجلة المشاكل البيئية مثل تلوث التربة والمياه الجوفية .

فالمعالجة البيولوجية :هي استخدام الأحياء المجهرية الحية لتحطيم الملوثات البيئية او لمنع حدوث التلوث .

يمكن تعريف المعالجة البيولوجية: هي عملية لإزالة التلوث من البيئة الملوثة وقد تكون البيئة برية او مائية او كلاهما.

وبمعنى أدق هو تنظيف البيئة الملوثة بواسطة تعريضها لنشاط الاحياء المجهرية الايضي لتحويل الملوثات الى مواد ومنتجات أقل ضررًا بواسطة المعدنية وتكوين أوكسيد الكاربون والماء. او
تحويلها الى كتلة حية داخل الكائن الحي.

هناك مصطلحان يجب ان يتم التفريق بينهما :- Bioremediation وBiodegradation

Bioremediation: تقنية ربما تتضمن **Biodegradation** كآلية وحيدة في عملية المعالجة البيولوجية.
Biodegradation :هي عملية أصغر من عملية **Bioremediation**

لأن بعض الملوثات فقط تتحطم بيولوجيا biodegradable والقليل من الاحياء المجهرية تتمكن من تحطيم الملوثات. (علل) ولهذا يفضل دراسة قدرة الكائنات على التحطيم قبل استخدامها.

تعد تقنية Bioremediation تقنية جديدة وصديقة للبيئة هناك عدة فوائد لل Bioremediation

بعض المساوئ او المحددات عدد قليل من
الكائنات المجهرية (الفطريات ،البكتريا) تعمل على مدى واسع من الملوثات العضوية ولا يعرف الى الان كائن مجهري له القدرة على تحطيم نسبة كبيرة من الكيماويات الطبيعية الموجودة في البيئة.

ويمكن تجاوز هذا العائق من خلال التحري للكشف أجناس بكتيرية جديدة من جهة وتشخيص قدرتها على إزالة الملوثات

(آين توجد هذه الكائنات ؟) الجواب/ توجد
هذه الكائنات في نفس المكان الذي يوجد فيه التلوث يمكن ملاحظة نمو نباتات بنفس موقع التلوث ويمكن استخدام هذه الكائنات في المعالجة كون الظروف مناسبة لها

المعالجة البيولوجية تكون محددة لتلك المركبات القابلة للتحطيم.
ليس جميع المركبات تسمح لتحطيم سريع وكامل ، حيث هنآك ناتجة من التحطيم الحيوي تكون اكثر سمية وتواجد من المادة ألأم.

هناك بعض الأمور يجب مراعاتها لنجاح عملية المعالجة البيولوجية.

1- وجود أحياء مجهرية قادرة على المعالجة البيولوجية في موقع التلوث
2- ظروف بيئية ملائمة للنمو 3-
مستويات مناسبة من الملوثات والمغذيات

انواع المعالجة البيولوجية

1-in situ Bioremediation فوائد. In
situ1- توفر تكاليف نقل
الملوثات واستخدام مجهرية ضارة. 2- لإزالة الملوثات الكيميائية .
3- توفر توافق في
عملية المعالجة حيث لا يتم تدمير النظام البيئي والبيئة نفسها وخصوصًا في مخلفات المصانع والمواد الضارة مثل الكيماويات والمواد المشعة . 4- أيضًا
تضاعفها وفائدتها في معالجة التربة والمياه الجوفية حيث من الصعب نقلها.

مساوئها تأخذ وقت طويل
مقارنة بالطرق الاخرى ويؤثر على نشاط الاحياء المجهرية وذلك بسبب تغير الظروف المناخية غير المسيطر عليها وان إي تغير او اضافة قد يؤدي الى المزيد من المشاكل

هناك نوعين من **in situ Bioremediation** 1- حقيقي
Intrinsic bioremediation: يحدث بدون تعديل او اضافة أحياء مجهرية وتحفيز نشاطها بواسطة تحسين ظروف التغذية والتهوية **Engineered in situ**
bioremediation-2 : يتم ادخال كائنات نشطة الى الموقع ولكون ان الظروف البيئية غير ملائمة للكائنات الجديدة فيتم تحسين البيئة من خلال اضافة مغذيات واوكسجين وتحسين والفيزيائية والكيميائية للبيئة

2- situ Bioremediation Ex تحدث
عملية المعالجة خارج المنطقة الملوثة وبهذا تحتاج الى نقل للتربة او ضخ المياه الى منطقة المعالجة ، هذه الطريقة مساؤها اكثر من فوائدها

وتصنف طبقًا لخطوات المعالجة البيولوجية الى :

1- نظام الطور الصلب **Solid phase system** تتضمن معالجة اليابسة وتسريب النفط
2- نظام الطور الطيني **Slurry phase systems** يتضمن المعلقات solid-Liquid

تمزج التربة مع الماء وإضافات اخرى في تانك يسمى bioreactor وذلك لجعل الاحياء المجهرية متجانسة مع الملوثات ويتم تعديل المغذيات والاوكسجين وتعديل الظروف لتصبح مثلى للنمو يزال الماء وتطرح المخلفات الصلبة او تعرض للمزيد من المعالجة

تقنيات المعالجة الحيوية **Bioremediation Techniques**

1- زيادة الحيوية **Bioaugmentation** وهي إضافة مزارع بكتيرية في الاوسط الملوثة والتي تحدث في الموقع الملوث نفسه

هناك محددات لاستخدام هذه الطريقة (أ)البكتريا
غير المستوطنة (غير الأصلية) نادرًا ما تتنافس بصورة جيدة مع مجاميع البكتريا المستوطنة (الاصيلة) لكي تتطور ولاستدامة النمو بمستويات عالية
(ب) معظم أنواع الترب التي تعامل بالأحياء المجهرية المستوطنة لفترات طويلة لغرض التحطيم الحيوي تكون فعالة في التحطيم اذا كانت تدار بصورة
جيدة.

2- المرشحات الحيويةBio filters استخدام أعمدة مايكروبية لمعالجة انبعاثات الهواء.

-3المفاعلات الحيوية Bioreactors استخدام
العمليات الحيوية في المناطق الملوثة أو المفاعل للمعالجة البيولوجية لمنطقة ملوثة صغيرة نسبيًا. تستخدم هذه الطريقة لمعالجة الطين أو السوائل. تستخدم مفاعلات الطين أو مفاعلات السوائل لمعالجة الملوثات خارج الموقع Ex situ للترب الملوثة وللماء المسحوب من المنطقة الملوثة.

تستخدم هذه الطريقة لمعالجة التربة الملوثة أو المياه من خلال نظام هندسي معين

يمكن تعريف المفاعل الحيوي على أنه جهاز او وعاء يستخدم لتكوين ثلاثة اطوار (تربة ، سائل ، وغاز)ممزوجة لزيادة نسبة المعالجة الحيوية للملوثات المرتبطة بالتربة والقابلة للذوبان في الماء

هناك محددات لهذه الطريقة:- تحتاج الترب الملوثة الى معاملة مسبقة مثل عمل أحواض او غسل التربة او استخدام فيزيائية مثل شفط الملوثات قبل وضعها في المفاعل.
تستخدم هذه الطريقة لمعالجة الترب الملوثة او مواد اخرى ملوثة بمخلفات النفط

- 4التحفيز الحيوي Biostimulation عملية
تحفيز مجاميع البكتريا المستوطنة (الأصلية) في التربة و أو في المياه الجوفية. وهذه العملية يمكن ان تحدث في كلا النوعين من المعالجة Ex situ و in situ

-5 التهوية الحيوية Bioventing وهي الطريقة التي
يتم فيها ضخ الهواء خلال وسط الملوثات لدعم وتحفيز النمو البكتيري والفعالية

التهوية الحيوية هي من الطرق الاكثر شيوعا في المعالجة الموقعة in situ وتتضمن تزويد الهواء والمغذيات ألى التربة الملوثة لتحفيز البكتريا المستوطنة indigenous . حيث تعمل على ضخ تيار هوائي خفيف وتزويد فقط من كمية الاوكسجين الضروري للتحطيم الحيوي بينما يقلل التبخر وطرح الملوثات الى الجو.
تعمل هذه الطريقة لملوثات الهايدروكاربونات البسيطة وممكن ان تستخدم مع الملوثات تحت سطح التربة من (0-30)سم وفي بعض الأحيان يكون فعال في 60 سم .

6- الدبال Composting
العملية لاهوائية وعالية درجة الحرارة التي تمزج مكونات ملوثات التربة مع عوامل التكتل bulking agent ال Composting ممكن ان يتم باستخدام اكوام ساكنة او مهواة او مستمرة التغذية .
Composting تقنية تتضمن مزج ملوثات التربة مع المواد العضوية غير الخطرة مثل المخلفات الزراعية التي تحفز نمو الاحياء المجهرية والتي ترفع درجات الحرارة فيها . حيث يتم تحطيم
المواد العضوية بواسطة الاحياء المجهرية بارتفاع درجة الحرارة بين (60-55) درجة مئوية والتي تنتج من قبل نشاط الاحياء المجهرية في تحطيم المواد العضوية .

عملية الكومبوستج **Composting** للمخلفات الزراعية تحدث بخطوات :-
1- يتم فحص التربة الملوثة لإزالة الصخور الكبيرة والمخلفات . -2

نقل التربة الى مكان الـ Composting التي تحتوي على المخلفات مثل المواد النباتات والجت ومخلفات الزراعة والأخشاب بحيث تمثل عوامل التكتل ومصدر للكاربون يتم التحكم بدرجة الحرارة و الـ PH والرطوبة ثم ينقل الـ Compost الى مناطق اخرى .

7- المعالجة السطحية **Land farming/Land Treatment/Prepared Bed Bioreactors**

ان معالجة الحالة الصلبة لتلوث التربة التي ممكن ان تنفذ in situ او Ex situ للتربة **Land farming** هي طريقة بسيطة للمعالجة البيولوجية والتي يتم من خلالها حفر ونشر (مثل حراثة) فوق منطقة معينة الى ان تتحطم الملوثات . الهدف فيها هو تحفيز الاحياء المستوطنة وتسهيل التهوية لتحطيم الملوثات. وعموما فأن التحطيم يكون محصور في المنطقة 10- 35)Cm) من التربة.
المتسرب ومخلفات الاخشاب تتم معالجتها باستخدام Land farming النفط

8- التراكم الحيوي **Biopiling** وهي طريقة مزدوجة وهجينة بين**Land farming** و **Composting** حيث يتم اضافة الـ Compost الى التربة الملوثة لتحفيز المعالجة البيولوجية حيث يحفز الـ Compost اكسدة المركبات الاروماتية الملوثة في التربة الى ketones و quinones والتي تختفي في النهاية .

وتستخدم لمعالجة التلوث السطحي بالنفط Bio piles

توفر بيئة مناسبة للأحياء المجهرية المستوطنة الهوائية وغير الهوائية Biopile هي تقنية تعمل على مزج التربة مع تربة معدلة توضع في منطقة المعالجة وتتم المعالجة البيولوجية في ظروف مهواة حيث تختزل الملوثات الى ثاني اوكسيد الكاربون وماء . يتم نظام Biopile يشكل اساس منطقة المعاملة bed treatment ونظام تهوية ونظام ري وتغذية . يتم فيه السيطرة على الحرارة والرطوبة والتغذية والاوكسجين و الـ PH لتحفيز المعالجة البيولوجية . يتم التغذية و الارواء تحت سطح التربة لتمرير الهواء و المغذيات. وهذه الطريقة تعالج النفايات لعمق 20 قدم وربما يتم تغطيتها بالبلاستك للتحكم بالتسرب والتبخر و التطاير . مدة المعالجة بين 6-3 اشهر

الاحياء المجهرية المسؤولة عن المعالجة البيولوجية **Organisms Involved in Bioremediation Process**

إن الاحياء المجهرية المستخدمة في عمليات البايورميديشن Bioremediation يجب ان يتوفر فيها عدة متطلبات وشروط

1- لها القدرة على العيش وتعبر عن فعاليتها تحت ظروف التكون
2- احتوائها على مجموعة انزيمات فعالة في عمليات التحطيم الحيوي.
3- لها القدرة على اختراق الملوثات التي من الممكن ان تكون غير ذائبة في الوسط المائي في البيئة .
4- المادة الملوثة يجب ان تكون متاحة لفعالية الانزيم لعملية التحطيم الحيوي .
5- يجب ان تكون الملوثات والنظام الأنزيمي بتلامس مع بعضها .
6- وجود ظروف ملائمة لزيادة واستمرار نشاط الاحياء المجهرية .

ان نجاح وجود المعالجة البيولوجية يعتمد على ما ذكر اعلاه بالإضافة الى انواع مختلفة من الاحياء المتعددة الخلايا او الاحادية تحتاج الى نشاط وصفات معينة لاستخدامها في المعالجة .

الاجناس المختلفة من النباتات والبكتريا والفطريات تستخدم لإزالة التلوث وتتميز الاحياء المجهرية بقدرتها العالية على ازالة الملوثات بكونها محللة طبيعية في مختلف الانظمة البيئية . الاحياء المجهرية مثل الفطريات والبكتريا تحطم وتحلل المركبات الطبيعية و المصنعة ولها نسبة عالية من التكاثر ولها ايضاً انجذاب كيمياوي chemotactism ونظام انزيمي معقد ونظام افراز يجعلها عوامل مهمة في عملية التحطيم الحيوي .

الدراسات المستمرة واختيار اجناس جديدة وسلالات لعملية التحطيم الحيوي مهم جداً .
حيث الاكتشاف لبكتريا *Geobacter metallireducens* حيث لهذه البكتريا القدرة على اختزال وازالة اليورانيوم من المياه في المناجم والمياه الجوفية حتى الخلايا البكتيرية الميتة تكون مفيدة لعملية المعالجة البيولوجية
المعادن الثقيلة العالية السمية تختزل بواسطة افرازات بعض البكتريا والطحالب وازالتها من المواد الغذائية في النظام البيئي

كذلك بعض النباتات لها القدرة على امتصاص وتراكم السلينيوم في خلاياها .

هناك عدة مصطلحات

biosorption
mycoremediation
biotransformation
detoxification

phytoremediation

Bioaccumulation

biodegradation

بالاعتماد على نوع الكائن