الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق والبتروكيمياء

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستـــر أكاديمـــي

ميـــدان: العلوم والتكنولوجيا

شعبـــــة: هندسة الطرائق والبتروكيمياء

تخصـــــص: هندسة كيميائية

مـن اعـــداد الطلبـــة:

1- بسرياني ياسر

2- نصيرة طارق

الموضـــــــوع

معالجة مياه الصرف الصحي بتقنية الترشيح الجذري باستخدام نبات *Ipomoea pes-caprae*

نوقشت في: 2026/06/13

أمام لجنة المناقشة:

ثابت أمينة	أستاذة محاضرة أ	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	رئيسا
رواحنة نور الدين	أستاذ محاضر أ	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	مناقشا
بوهريرة عبد العزيز	أستاذ محاضر أ	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	مشرفا

الموسم الجامعي: 2026/2025

بسم الله
الرحمن الرحيم

الملخص:

تمثل معالجة مياه الصرف الصحي وسيلة محورية لتعزيز استدامة الموارد المائية وتخفيف الأحمال الملوثة على البيئة، لا سيما عند إعادة استخدامها في قطاعي الزراعة والصناعة. وتتشكل هذه المياه نتيجة الأنشطة المنزلية والصناعية وتدفقات الأمطار، حيث تتسم باحتوائها على مركبات عضوية وعناصر كيميائية ومواد صلبة عالقة تتطلب عمليات معالجة دقيقة قبل التخلص منها في الأوساط الطبيعية أو إعادة توظيفها.

تهدف هذه الدراسة الى تقييم كفاءة المعالجة البيولوجية باستخدام نوع نباتي محدد وهو Ipomoea pes-caprae subsp ضمن نظام ترشيح جذري يتألف من حوضين يعملان وفق ظروف تشغيلية متباينة. وأشارت النتائج التجريبية إلى تفوق الحوض المزروع في خفض مستويات الملوثات العضوية والمواد الصلبة العالقة؛ اذ تم تسجيل:

- انخفاض في نسبة الطلب البيوكيميائي للأكسجين% 48.18.
- انخفاض في الطلب الكيميائي للأكسجين بنسبة% 84.56.
- انخفاض في المواد الصلبة العالقة بنسبة% 97.56.
- زيادة في تركيز الأكسجين الذائب بمقدار 3.21 ملغ/لتر.

مع تغير في قيمة الدليل الهيدروجيني بنسبة% 91.28.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، المعالجة البيولوجية، المعالجة النباتية، الترشيح الجذري، النباتات المائية، Ipomoea pes-caprae subsp، الطلب البيوكيميائي للأكسجين، الطلب الكيميائي للأكسجين، المواد الصلبة العالقة، الأكسجين الذائب.

Abstract:

Wastewater treatment is a crucial means of enhancing the sustainability of water resources and mitigating pollutant burdens on the environment, particularly when reused in the agricultural and industrial sectors. This wastewater, generated from domestic and industrial activities and rainwater runoff, is characterized by its high content of organic compounds, chemical elements, and suspended solids, requiring meticulous treatment processes before disposal into natural environments or reuse.

This study aims to evaluate the efficiency of biological treatment using a specific plant species, Ipomoea pes-caprae subsp., within a root filtration system consisting of two basins operating under different conditions. The experimental results indicated the superiority of the planted basin in reducing levels of organic pollutants and suspended solids, specifically:

- A 48.18% decrease in biochemical oxygen demand (BOD).
- An 84.56% decrease in chemical oxygen demand (COD).
- A 97.56% decrease in suspended solids.
- An increase of 3.21 mg/L in dissolved oxygen concentration.

With a change in pH value of 91.28%.

Keywords: Wastewater, Biological Treatment, Phytoremediation, Root Filtration, Aquatic Plants, Ipomoea pes-caprae subsp., Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Suspended Solids, Dissolved Oxygen.

إهداء

إلى من كانوا النور الذي أنار دربي، والسند الذي منحني القوة والعزيمة لمواصلة الطريق...

إلى والديَّ العزيزين، اللذين كان دعاؤهما وتشجيعهما مصدرًا للأمل والنجاح، فلهما مني كل الحب والامتنان.

إلى أسرتي الكريمة، التي أحاطتني بالدعم والمساندة في مختلف مراحل حياتي.

إلى أساتذتي الأفاضل، الذين أناروا طريق العلم والمعرفة، وأسهموا في تكويني العلمي.

إلى أصدقائي وزملائي،

وإلى كل من قدّم لي يد العون أو كلمة تشجيع صادقة.

أهدي هذا العمل المتواضع، ثمرة سنوات من الجهد والمثابرة،

راجيًا أن يكون خطوة موفقة في مسيرتي العلمية والعملية.

إلى جميع هؤلاء، أهدي هذا الإنجاز بكل تقدير ووفاء.

شكر وعرفان

نتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى كل من ساهم، من قريب أو بعيد، في إنجاز هذه المذكرة التي تمثل ثمرة سنوات من التعلم والاجتهاد.

ونخص بالشكر والتقدير أستاذنا المشرف الدكتور عبد العزيز بوهريرة، على إشرافه العلمي القيّم، وتوجيهاته السديدة، ونصائحه البناءة، ومتابعته المستمرة طوال مراحل إنجاز هذا العمل، حيث كان لدعمه وملاحظاته الأثر الكبير في إتمام هذه الدراسة على الوجه المطلوب.

كما نتوجه بالشكر إلى أساتذتنا الكرام الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم وتوجيهاتهم القيمة، وكان لهم الأثر البالغ في إثراء معارفنا وتنمية اهتمامنا بهذا التخصص الحيوي.

كما نتوجه بالشكر إلى إدارة المؤسسة وكل من ساهم في توفير الظروف الملائمة لإنجاز هذا العمل، وإلى زملائنا الذين كانوا خير عون وسند طوال فترة الدراسة.

ونتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المهندسة خولة مسعي بمحطة الديوان الوطني للتطهير (ONA) بكوينين، على تعاونها الكريم ومرافقتها القيمة
وتقديمها للمعلومات والتوجيهات التي ساعدت في إنجاز هذا العمل.

وإلى كل من قدم لنا الدعم والمساندة والتشجيع، نتوجه بأصدق عبارات الشكر والعرفان.

الـفهـرس

فهرس المحتويات

	الصفحة
الملخص	-
إهداء	-
شكر وعرفان	-
الفهرس	-
قائمة الجداول	-
قائمة الأشكال	-
قائمة الاختصارات	-
المقدمة العامة	01
الفصل الأول:عموميات حول المياه الملوثة	
1- تعريف تلوث المياه	05
2–مصادر تلوث المياه	05
3-أنواع تلوث المياه	06
3-1 التلوث الفيزيائي	06
3-2 التلوث الطبيعي	06
3-3 التلوث الحراري	06
3-4 التلوث الإشعاعي	06
3-5 التلوث البيولوجي	07
3-6 التلوث الكيميائي	07
3-7التلوث النفطي	08
4- مياه الصرف الصحي	08
4-1 تعريف مياه الصرف الصحي	08
4-2 خصائص مياه الصرف الصحي	09
4-2-1 ملوثات فيزيائية	09
4-2-2 المواد الصلبة المنحلة	09
4-2-2 الغازات المنحلة	09

4-3 مصادر وأنواع مياه الصرف الصحي	09
4-3-1مياه الأمطار الملوثة	10
4-3-2 مياه غسيل الشوارع	10
4-3-3 المياه الصناعية	10
4-3-4 مياه الرشح	10
4-3-5 مياه الصرف المنزلي	10
4-4 مخاطر مياه الصرف الصحي	11
4-4-1 الأخطار التي تهدد الأرض والفلاحة	11
4-4-2 الأخطار التي تهدد صحة الإنسان	11
4-5 تركيب مياه الصرف المنزلي وأهم صفاته	11
4-6 مقاييس تصنيف الملوثات في المياه المستعملة	12
4-7 المعايير والتراكيز المسموح بها	17
5- معالجة مياه الصرف الصحي	18
5-1 تعريف معالجة مياه الصرف الصحي	18
5-2 الهدف من معالجة مياه الصرف الصحي	18
5-3 طريقة معالجة مياه الصرف الصحي	18
5-4 بعض التقنيات لمعالجة مياه الصرف الصحي	19
الفصل الثاني: معالجة مياه المستعملة بالنباتات	
تمهيد	23
1- نبذة تاريخية	23
2-تعريف عملية التنقية بالنباتات	24
3-محطات المعالجة	25
4-مبدأ نظام GWW	25
5-المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات	26
6-مبدأ المعالجة بالنباتات الكبيرة	28
7-المزايا والعيوب	29
7-1 المزايا	29
7-2 العيوب	29

8-النباتات المائية المستخدمة ضمن محطات المعالجة بالنباتات	30
8-1 نبات البردي	31
8-2 نبات JUNCUS EFFUSUS	31
8-3 نبات TYPHA LATIFOLIA (البوط عريض الأوراق)	31
9- دور النباتات في عملية المعالجة	32
9-1 الدور المباشر	33
9-2 الدور غير مباشر	33
10-استخدامات المياه المعالجة بالنباتات	35
11–آليات إزالة الملوثات وفعالية أحواض المعالجة بالنباتات	35
12-النبات المستعمل في التجربة Ipomoea pes-caprae	36
12- 1 التصنيف العلمي لنبات Ipomoea pes-caprae	37
12–2 وصف نبات Ipomoea pes-caprae	38
الفصل الثالث: طرق وأدوات	
1-تقديم منطقة الدراسة	41
2- محطة التصفية بالوادي ONA (الديوان الوطني للتطهير) STEP 1	41
2-1 الموقع الجغرافي	41
2-2 وصف محطة التصفية STEP 1	42
3- البروتوكول التجريبي protocole expérimentale	43
4- تحديد الوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة	44
4-1-تحديد الأس الهيدروجيني pH ودرجة الحرارة T والناقلية الكهربائية EC	44
4-2 تحديد كمية الأكسجين المنحل O2	45
4-3 تحديد الطلب الكيميائي للأكسجين DCO	46
4-4- تحديد المواد الصلبة العالقة MES	47
4-5 تحديد الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO5	49
4-6 تحديد تركيز النترات NO^-_3	50
4-7 تحديد تركيز النتريت NO^-_2	51
5- أخذ العينات	52
الفصل الرابع :نتائج ومناقشة	

تمهيد	55
1-مناقشة النتائج	58
الخاتمة	68
قائمة المراجع	70
قائمة الملاحق	78

قائمة الجداول

	الصفحة
الجدول (1): أصناف البكتيريا المتواجدة في مياه الصرف الصحي.	07
جدول (02): المكونات الأساسية للمياه المستعملة ومصادرها وبعض المخاطر وطرق معالجتها.	12
الجدول (03): قيم الحد الأقصى لمعالم صرف نفايات الوحدات الصناعية.	17
الجدول (4): دور النباتات ضمن محطات المعالجة بالنباتات (الأراضي الرطبة)	34
الجدول (5): أهم آليات الإزالة الرئيسية للملوثات ضمن أحواض النباتات	36
الجدول (6): نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة عند بداية التجربة (اليوم الأول).	55
الجدول (7): نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة بعد 15 يوما	56
الجدول (8): نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة بعد 30 يوما	57

قائمة الأشكال

	الصفحة
الشكل (01): المكونات الأساسية للمياه المستعملة المنزلية.	12
الشكل (02): مخطط العملية النموذجية للحمأة النشطة.	20
الشكل (03): حوض التهوية.	21
الشكل (04): مراحل معالجة مياه الصرف	27
لشكل (05): نبات CYPURUS PAPYRUS	31
لشكل (06): نبات JUNCUS EFFUSUS	31
الشكل (07): نباتTYPHA LATIFOLIA	32
الشكل (08): صورة توضح نبات Ipomoea pes-caprae	39
الشكل (09): خريطة توضح الموقع الجغرافي لولاية الوادي.	42
الشكل (10): الموقع الجغرافي لمحطة مياه الصرف الصحي بكونين.	43
الشكل (11): العتاد التجريبي المستعمل	44
الشكل (12): أعمدة بيانية تبين تطور PH	58
الشكل (13): أعمدة بيانية تمثل تطور درجة الحرارة	59
الشكل (14): أعمدة بيانية تمثل الأكسجين المنحلO_2	60
الشكل (15): أعمدة بيانية تمثل اتطور الناقلية الكهربائية EC	61
الشكل (16): أعمدة بيانية تمثل تطور المواد الصلبة العالقة MES	62

الشكل (17): أعمدة بيانية تمثل تطور الطلب الكيميائي للأكسجين DCO	63
الشكل (18): أعمدة بيانية تمثل تطور الطلب البيو الكيميائي للأكسجين DBO_5	64
الشكل (19): أعمدة بيانية تمثل تطور النتريت NO^-_2	65
الشكل (20): أعمدة بيانية تمثل تطور النترات NO^-_3	66

قائمة الاختصارات

DCO	الطلب الكيميائي للأكسجين
DBO5	الطلب البيوكيميائي للأكسجين
MES	المواد الصلبة العالقة
GWW	نظام حديقة معالجة المياه المستعملة
pH	درجة الحموضة

المقدمة العامة

المقدمة العامة:

تُمثل المياه مورداً طبيعياً أساسياً لاستدامة الحياة على كوكب الأرض، ويتألف تركيبها الكيميائي من عنصري الهيدروجين والأكسجين. وتتجلى صورها الطبيعية في حالاتها الصلبة والسائلة والغازية، فضلاً عن كونها أحد أكثر المركبات وفرة وتجدداً في الأنظمة البيئية.[1]

إلا أن التوسع الحضري المتسارع والنمو المتواصل للأنشطة البشرية أسهما في بروز تلوث المياه كتحدٍ بيئي رئيسي يواجه العديد من البلدان، لا سيما في سياق المياه المستعملة الحضرية. إن تصريف المياه غير المعالجة يفضي إلى تدهور جودة المسطحات المائية السطحية، محولاً إياها إلى بيئة مواتية لتكاثر الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض، فضلاً عن إطلاق روائح غير مرغوبة، مما يحول دون استخدامها للاستهلاك البشري [2]، [3]، [4].

في هذا السياق، ظهرت تقنيات المعالجة النباتية للمياه المستعملة كخيار بيئي مجدٍ، تستند هذه التقنية بشكل رئيسي إلى وظيفة الجذور والجذامير في توفير بيئة ملائمة لنمو البكتيريا، والمساهمة في ترشيح وإزالة المواد العالقة [5]. علاوة على ذلك، تُسهم هذه التراكيب النباتية في زيادة مساحة التلامس بين المياه والوسط المحيط بها، مما يعزز من حركة المياه وفعالية عملية المعالجة.[6]

تُعرف النباتات المائية بقدرتها الفسيولوجية على نقل الأكسجين من أجزائها الهوائية، كالسيقان والأوراق، إلى منطقة الجذور [7][8]. تُسهم هذه الآلية في تحفيز نمو وتنشيط البكتيريا الهوائية المتخصصة في تحلل المواد العضوية الموجودة في المياه المستعملة. إلى جانب ذلك، تُفرز الجذور والجذامير مركبات حيوية ذات خصائص مضادة للميكروبات الضارة، الأمر الذي يعزز من كفاءة المعالجة البيولوجية.

تُعد المعالجة النباتية من التقنيات الاقتصادية والسهلة التشغيل، إذ تتميز بانخفاض تكاليفها التشغيلية ومتطلباتها المحدودة مقارنة بطرق المعالجة التقليدية، فضلاً عن مساهمتها في الحد من الآثار البيئية السلبية. [9].

تقوم هذه الطريقة على استخدام أنواع نباتية تتمتع بالقدرة على خفض مستويات الملوثات المتنوعة، وذلك من خلال آليات حيوية وأيضية تعمل على استخلاص الملوثات وتحسين جودة المياه. عادةً ما يتم تنفيذ هذه المعالجة ضمن أنظمة أحواض مصممة هندسياً، أحيانا قد تُدمج فيها مواد مثل الحصى أو الرمل أو مزيج منهما، وذلك بهدف تقليل تركيز الملوثات في المياه المستعملة.[9]

يسعى هذا العمل إلى تقييم فعالية نبات Ipomoea pes-caprae subsp في المساهمة بمعالجة المياه المستعملة الحضرية. يتم ذلك عبر مقارنة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه في حوض مزروع بالنبات مع حوض ضابط (شاهد)، بهدف تحديد مدى قدرة النبات على تحسين جودة المياه وخفض مستويات التلوث.[10]

لقد تم تنظيم هذه المذكرة في جزأين رئيسيين على النحو التالي:

الجزء النظري، ويتضمن فصلين:

- الفصل الأول: عموميات حول المياه المستعملة.
- الفصل الثاني: معالجة المياه المستعملة بواسطة النباتات.

الجزء العملي، ويتضمن فصلين:

- الفصل الثالث: المواد وطرائق العمل.
- الفصل الرابع: النتائج والمناقشة.

الفصل الأول:

عموميات حول المياه الملوثة

1- تعريف تلوث المياه

جاء تعريف منظمة الصحة العالمية عام 1961م لتلوث المياه على أنه: " هو أي تغير يطرأ على الخصائص الطبيعية والكيميائية والبيولوجية للمياه مما يؤدي إلى تغير في حالتها بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، بحيث تصبح المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها، سواء للشرب أو الاستهلاك المنزلي أو الزراعي أو غيره "[09]

هو أي تغير غير مرغوب به يؤثر فيزيائيا وبيولوجيا وكيميائيا في نوعية المياه ويؤثر سلبا على الكائنات الحية، ويجعل المياه غير الصالحة للاستخدامات المطلوبة [11]

تعريف هوبكنز وشولز (Hopkins et Schulz) في سنة 1954م للماء الملوث هو أن الماء الملوث هو الماء الذي تنخفض جودته بسبب اختلاطه بمخلفات الصرف الصحي أو غيرها من المخلفات، مما يجعله غير صالح للشرب أو للاستخدام في الأغراض الصناعية. ويعتمد تأثير مكونات الماء على مدى صلاحية استخدامه على تركيز هذه المكونات؛ فإذا كانت المكونات موجودة بتركيز منخفض كفاية، فلا تسبب تأثيراً ضاراً عند استخدام الماء لأي غرض. وهناك العديد من المكونات التي قد يكون وجودها غير مقبول عند تركيزات مرتفعة، لكن يمكن قبول وجودها بتركيزات منخفضة عند استخدام الماء لغرض معين .[12].

2- مصادر تلوث المياه:

المصادر المتعددة لتلوث الماء يمكن تقسيمها إلى:

- **مصادر طبيعية**: وتشمل الغلاف الجوي، المعادن الذائبة، تحلل المواد النباتية، الجريان السطحي للأملاح والمواد الكيميائية.
- **مصادر زراعية**: وتشمل تعرية التربة، فضلات الحيوانات مثل المواشي والدواجن، الأسمدة الكيميائية، ومياه الري.
- **مياه الصرف:** وتشمل الصرف الصحي، الصرف الصناعي، المركبات البحرية.
- **مصادر أخرى متنوعة**: مثل أنشطة البناء، المناجم، المياه تحت الأرض، أماكن تجمع القمامة، وأماكن إنتاج الإسمنت [13]

3 أنواع تلوث المياه:

3-1 التلوث الفيزيائي:

يشير التلوث الفيزيائي إلى أي تغير في الخصائص الطبيعية للماء، مثل درجة الحرارة، أو الملوحة، أو وجود مواد عالقة. غالبًا ما تحدث زيادة الملوحة بسبب ارتفاع معدلات التبخر في البحيرات والأنهار، خاصة في المناطق القاحلة التي تعاني من محدودية تجدد المياه. أيضًا، يمكن أن ينتج التلوث الحراري عن تصريف مياه التبريد من المصانع والمفاعلات النووية القريبة من مصادر المياه، وهذا يرفع درجة الحرارة ويقلل من نسبة الأكسجين، مما يتسبب في موت الكائنات الحية.

3-2 التلوث الطبيعي:

التلوث الطبيعي هو ظاهرة ملازمة للبيئة، فالمواد العضوية كانت موجودة في المياه منذ ظهور الكائنات الحية. هذه المواد، الناتجة عن الكائنات الحية والمواد العضوية المتحللة، تصل إلى المياه بشكل مستمر، خاصة مع جريان المياه والأمطار. ومع ذلك، قد يكون تدخل الإنسان في البيئة، مثل إزالة الغابات، قد زاد من حدة هذا التلوث الطبيعي.

هو التلوث الذي يغير صفات المياه الطبيعية، ويجعلها غير صالحة للاستخدام البشري بسبب تغير طعمه ولونه ورائحته. [14]

3-3 التلوث الحراري:

يظهر التلوث الحراري عادةً قرب محطات الطاقة والمصانع التي تعتمد على الماء في عمليات التبريد. هذه المنشآت تزيد من درجة حرارة المياه، وهو ما قد يؤدي إلى أضرار كبيرة للحياة النباتية والحيوانية، تفوق حتى تلك التي تسببها الملوثات الأخرى. أي زيادة في حرارة المياه تتجاوز المعدل الطبيعي تؤثر سلبًا على استقرار النظام البيئي. [15][16]

3-4 التلوث الإشعاعي:

عادةً ما ينشأ هذا التلوث من تسرّب الإشعاعات من المفاعلات الذرية، أو من خلال إلقاء المخلفات في المسطحات المائية. غالبًا لا يغير هذا النوع خصائص المياه الطبيعية، مما يجعله الأخطر، حيث تمتصه الكائنات الحية في الماء ويتراكم فيها، ثم ينتقل إلى الإنسان عند تناول هذه الكائنات، مُسببًا له آثارًا وخيمة، مثل التشوهات والتغيرات في الجينات. [17]

3-5 التلوث البيولوجي:

يحدث هذا النوع من التلوث نتيجة زيادة الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفيروسات والطحالب في المياه. يبين الجدول (1) بعض أنواع البكتيريا الموجودة في المياه الملوثة، غالبًا ما تنشأ هذه الملوثات من اختلاط فضلات الإنسان والحيوان بالماء بشكل مباشر عبر تصريفها في المسطحات المائية العذبة أو المالحة، أو بشكل غير مباشر عبر اختلاطها بمياه الصرف الصحي أو الزراعي. يؤدي وجود هذا النوع من التلوث إلى الإصابة بأمراض متعددة.[18]

الجدول (1): أصناف البكتيريا المتواجدة في مياه الصرف الصحي.[18]

نوع البكتيريا	بيئة ودرجة البقاء	طرق انتقال العدوى
بكتيريا القولون(coliform)	تعيش في التربة ضمن مجال حراري يتراوح بين 20و30 درجة مئوية	تنتقل عبر استهلاك الأغذية أو المياه الملوثة
الإشريكية القولونية (E.coli)	قدرة على البقاء في التربة في درجات حرارة بين 20و30 درجة مئوية	العدوى تحدث نتيجة شرب مياه ملوثة أو تناول طعام ملوث
البكتريا العقدية المعوية	تنمو في التربة ضمن درجات حرارة من 10إلى 45 درجة مئوية	تنتقل عن طريق التلامس مع مياه ملوثة أو تربة مشبعة بالمياه الملوثة
السالمونيلا (salmonella)	تستمر في العيش في التربة بدرجات حرارة تتراوح بين 20و30درجة مئوية	تنتقل عبر استهلاك أغذية ملوثة أو التعرض لمصادر مياه غير نظيفة

3-6 التلوث الكيميائي:

يحدث التلوث الكيميائي للمياه عندما تتسرب مواد خطيرة مثل المعادن الثقيلة إلى مصادر المياه، مما يجعله تحديًا كبيرًا للإنسان اليوم. التخلص من هذه الملوثات الكيميائية أكثر صعوبة مقارنة بالتعامل مع الملوثات الطبيعية. [19]

وتشمل مصادر هذا التلوث:

- الأمطار الحمضية

- المركبات الكيميائية غير المرغوب فيها
- المبيدات الحشرية والمواد ذات الصلة
- المركبات السامة والمنظفات والمواد الكيميائية الملونة

معظم هذه الملوثات ناتجة عن الأنشطة البشرية المختلفة.

3-7التلوث النفطي:

يشكل النفط تحديًا بيئيًا كبيرًا، حيث يؤدي إلى تلوث المياه ويترك آثارًا سلبية على الكائنات البحرية في البحار والمحيطات. يشتمل هذا على موت النباتات المائية بسبب السموم النفطية التي تعيق تبادل الغازات بين الهواء والماء عبر تشكيل طبقة عازلة. علاوة على ذلك، يلوث النفط الشواطئ، ما يؤثر سلبًا على السياحة وصحة الإنسان. يقع هذا التلوث نتيجة لحوادث السفن الكبيرة، ومخلفات مصانع التكرير، والتسربات من آبار النفط والأنابيب. [20]

4- مياه الصرف الصحي:

4-1 تعريف مياه الصرف الصحي:

هي تلك المياه التي استخدمها الإنسان في أنشطة متعددة، وتلوثت بمواد غيّرت من تركيبتها الكيميائية وخصائصها، ما جعلها غير صالحة للاستخدام البشري أو الحيواني أو حتى للكائنات البحرية [21]

هذا الماء الملوث يحتوي على مواد غريبة تفسد خصائصه، وقد يكون مصدره صناعيًا بمكونات متعددة، سواء كانت كيميائية أو عضوية أو معدنية، وهذا يختلف حسب نوع الصناعة [22]

تتكون مياه الصرف بشكل أساسي من الماء بنسبة تزيد عن 99%، أما الباقي فهو خليط من مواد ذائبة وغروية وجزيئات عضوية وغير عضوية، إضافة إلى كائنات حية دقيقة مثل الميكروبات والفيروسات والبكتيريا والفطريات. هذا الخليط يحدد جودة الماء كيميائيًا وبيولوجيًا

المحتوى العضوي هو العامل المؤثر في تلوث مياه الصرف، حيث تمثل المواد البروتينية الجزء الأكبر منه بحوالي 50%، تليها الكربوهيدرات بنسبة 45%، ثم الدهون والزيوت بنسبة 5%. تتحلل المواد البروتينية والكربوهيدرات بسرعة، بينما تتحلل الدهون والزيوت ببطء. [22]

4-2 خصائص مياه الصرف الصحي:

تُعدّ مياه الصرف الصحي مصدرًا رئيسيًا للتلوث وتشكل خطرًا على الصحة العامة نظرًا لاحتوائها على ملوثات متنوعة:

4-2-1 ملوثات فيزيائية:

يمكن التخلص من الملوثات الفيزيائية مباشرة من خلال عمليات مثل الترسيب، الترشيح، الامتزاز، الفصل الغشائي، أو التبخير وتشمل هذه الملوثات بشكل أساسي الرمال والشوائب غير المتفاعلة.

4-2-2 المواد الصلبة المنحلة:

قد تتكون هذه الملوثات من مواد عضوية مثل الهيدروكربونات، الدهون، الزيوت، المبيدات (الحشرية والعشبية) والبروتينات والفينولات...الخ، أو من مواد غير عضوية مثل القلويات، الأحماض، الكلوريدات، المعادن الثقيلة، النيتروجين، الفسفور، والكبريت.

4-2-2 الغازات المنحلة:

وتشمل هذه الغازات كبريت الهيدروجين والأمونيا والميثان والأكسجين.

4-2-3 ملوثات حيوية:

لإزالة هذه الملوثات، يجب تطبيق عمليات حيوية أو الفيزيوكيميائية مثل المعالجة الحيوية أو التعقيم. تشمل هذه الملوثات الحيوانات الميتة، وبعض الكائنات العضوية المجهرية (الأحياء الدقيقة) كالبكتيريا والفيروسات، إضافة إلى الديدان وبعض أنواع النباتات. [23]

4-3 مصادر وأنواع مياه الصرف الصحي:

تختلف تصنيفات مياه الصرف الصحي عبر المراجع البحثية. فقد صُنِّفَت من قِبَل CHOCAT (1997) وOUALI (2001) إلى مياه مستعملة منزلية وصناعية. في المقابل، وسَّعَ RICHARD (1996) وBOUZIANI (2000) هذا التصنيف بإضافة فئتين أخريين: المياه المستعملة الفلاحية ومياه الأمطار. [26]

ومن أهم أنواع مياه الصرف الصحي هي:

4-3-1مياه الأمطار الملوثة:

تهطل الأمطار عادةً ملوثة بسبب وجود ملوثات في الهواء. وتزداد نسبة التلوث في المناطق الصناعية التي تكثر فيها المصانع الكيميائية. وعندما تسقط الأمطار على الأراضي الزراعية أو الطرق أو أسطح المنازل، فإنها تعمل كعامل لنقل الرمال إلى شبكات الصرف، حيث تجد طريقها عبر البالوعات، حاملة معها مواد عالقة من الأسطح والشوارع. [26]

4-3-2 مياه غسيل الشوارع:

تتجه مياه غسيل الشوارع إلى فتحات المجاري، ومنها إلى شبكة الصرف، حاملة معها بعض الرمال والأوراق التي تجرها من الطرق.

4-3-3 المياه الصناعية:

تشمل مياه الصرف الصناعي في المدينة أنواعًا مختلفة من المياه باختلاف المصانع. فمثلًا، مياه التبريد غالبًا ما تكون نقية تقريبًا. في المقابل، تحتوي نفايات صناعة الورق على تركيز مرتفع من المواد العالقة الذائبة، سواء كانت عضوية أو غير عضوية. وتختلف هذه المياه عن مياه الصرف المنزلي لاحتوائها على مواد كيميائية وسامة مصدرها المصانع والمختبرات والمستشفيات، وتنتج عنها روائح كريهة خاصة عند ارتفاع درجة الحرارة. [27]

4-3-4 مياه الرشح:

تتسرب مياه الترشيح إلى أنابيب الصرف الصحي عبر الوصلات المعيبة أو من خلال مسامية غطاء الأنبوب نفسه.

4-3-5 مياه الصرف المنزلي:

تنتج هذه المياه من ممارسات منزلية مختلفة وتتصف باحتوائها على ملوثات عضوية، ويمكن تصنيفها إلى نوعين رئيسيين:

- المياه المستعملة في المنازل، والتي تنشأ عادةً من الحمامات والمطابخ، غالبًا ما تحتوي على كميات كبيرة من المنظفات، والدهون، والصابون، وأنواع أخرى من الملوثات.

- المياه العادمة الناتجة عن استخدام المراحيض، والتي تحتوي على تراكيز عالية من المواد العضوية، بما في ذلك مركبات النيتروجين (مثل البوراز والبول)، بالإضافة إلى الفيروسات التي قد تشكل خطرًا على الصحة.

4-4 مخاطر مياه الصرف الصحي:

تشمل المخاطر الصحية المرتبطة باستخدام مياه الصرف الصحي عدة جوانب، منها:

4-4-1 الأخطار التي تهدد الأرض والفلاحة:

- تزايد نسبة الأملاح
- نقل وانتقال المواد السامة
- احتمالية تلوث المياه الجوفية من خلال التسرب المباشر لمياه الصرف

4-4-2 الأخطار التي تهدد صحة الإنسان:

الأمراض المنقولة بالماء تشمل أنواعًا مختلفة، منها:

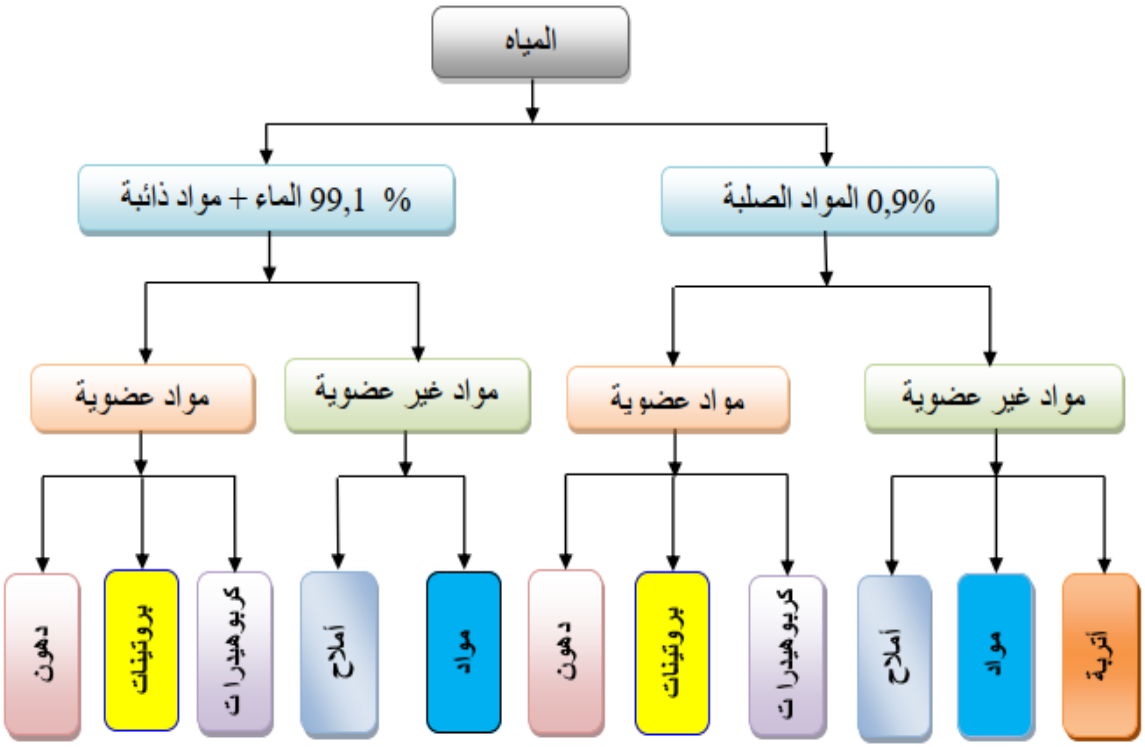
- العدوى البكتيرية (الأمراض التي تسببها البكتيريا).
- الكوليرا vibrion cholera: Le cholera
- التيفوئيد les fievresthypho-paratyphiques (الناجم عن بكتيريا السالمونيلا).
- الإسهال العضوي، والتسمم البوتيلي (الناجم عن بكتيريا clostridium).

إضافة إلى ذلك، توجد أيضًا عدوى فيروسية وطفيليات تسبب أمراضًا تنتقل عن طريق المياه. [9]

4-5 تركيب مياه الصرف المنزلي وأهم صفاته

تتألف مياه الصرف بشكل رئيسي من الفضلات البشرية كالبراز والبول ومياه التنظيف. وتتغير تركيبة هذه المياه دوريًا على مدار العام والشهر وحتى اليوم تبعًا لكمياتها المتفاوتة. وهي تتكون في المتوسط من الماء ومواد ذائبة بنسبة 99.1% ومواد صلبة بنسبة 0.9%، وتضم هذه المواد العضوية وغير العضوية، سواء كانت عالقة أو ذائبة [28]

يُبين الرسم التوضيحي والجدول التاليان المكونات الرئيسية لمياه الصرف المنزلي بشكل عام [29]



الشكل (01): المكونات الأساسية للمياه المستعملة المنزلية.

عند فحص المياه العادمة وتحليلها، تظهر الملوثات الموضحة في الجدول الآتي:

جدول (02): المكونات الأساسية للمياه المستعملة ومصادرها وبعض المخاطر وطرق معالجتها.

نوع الملوث	مصدره	المخاطر الناجمة	نوع المعالجة
مواد صلبة (حجارة مواد بلاستيكية، أتربة عالقة..)	- نفايات منزلية - ما تجره السيول	إعاقات في استعمال هذه المياه (انسداد أنابيب نقل المياه)	معالجة فيزيائية كلاسيكية (غربلة، ترشيح، تركيد...)
زيوت صناعية	نفايات منزلية، نفايات صناعية (محطات غسل وتشحيم السيارات...)	تلوث البيئة، تسمم المياه....	معالجة فيزيائية كلاسيكية (فصل الزيوت)
مواد عضوية منحلة، مواد كيميائية	استعمالات منزلية مبيدات فلاحية	حالات تسمم وأمراض أخرى خطيرة	- معالجة بيولوجية - معالجة كيميائية

4-6 مقاييس تصنيف الملوثات في المياه المستعملة

1) مقاييس فيزيائية

أ) درجة الحرارة: T (C°)

تُعدّ درجة حرارة الوسط المائي عنصرًا جوهريًا لتحقيق التوازن البيئي والتغير المفاجئ في درجة الحرارة يعود إلى تصريف النفايات الصناعية، بما في ذلك المواد الكيميائية والبترولية، فضلاً عن بعض المعادن الثقيلة. [30]

ب) الناقلية الكهربائية (CE)

تحتوي المياه الطبيعية على كميات قليلة من الأملاح المعدنية المتأينة، وهذا ما يجعلها موصلة للكهرباء. الزيادة في الموصلية الكهربائية غالبًا ما تشير إلى ارتفاع نسبة الأملاح نتيجة وجود ملوثات.

ت) المواد العالقة (MES)

تشمل المواد الصلبة غير المنحلة في مياه الصرف مواد عضوية وغير عضوية ويرمز لها ب MES أي Matière en suspension ويُعبر عن تركيزها بوحدة مليغرام لكل لتر. يجب ألا تتجاوز قيمة المواد العالقة 35 مليغرام/لتر لتصريفها في المحيط بشكل آمن، وإلا ستشكل خطرًا عليه.

ث) المواد العضوية

تتواجد على أشكال فيزيائية مختلفة، فقد تكون:

- جزيئات تتفاوت في حجمها، تشمل السكريات كالنشاء والسليلوز، وأحماض عضوية متطايرة، إضافة إلى البولة.
- على شكل مواد غروية منحلة، حيث تتشكل هذه الأخيرة أساسًا من مركبات النيتروجين والكربون والأكسجين والكبريت والفوسفور. ويجري تقييم هذه المواد العضوية بواسطة تحديد قيم كل من الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) والطلب البيوكيميائي على الأكسجين لمدة خمسة أيام (DBO_5). [31]

ج) العكارة

تتأثر شفافية الماء بشكل عكسي بوجود الملوثات، حيث يشير انخفاضها إلى احتمال وجود مواد عضوية أو معدنية معلقة في مياه الصرف الصحي. ويتغير مدى هذا التأثير بناءً على طبيعة المواد العالقة. [32]

ح) اللون والرائحة

عادةً ما يكون لون مياه الصرف الصحي غير المعالجة رماديًا. اما اللون الأسود فيشير إلى أن المواد العضوية الذائبة أو الغروية تتحلل جزئيًا. في كثير من الأحيان تكون رائحة مياه الصرف الصحي الطازجة مقبولة إلى حد ما، بينما تشير الرائحة القوية إلى أن التخمر بدأ بسبب الركود داخل نظام الصرف الصحي أو قبل التصريف في القنوات. [33]

2) مقاييس كيميائية

أ) الدليل الهيدروجيني pH

يعكس الرقم الهيدروجيني تركيز أيونات الهيدروجين في الماء، ويتراوح عادةً بين 6 و8.5، مما يوفر استقرارًا نسبيًا. ومع ذلك، يمكن لمياه الصرف الصناعي أن تغير هذا التوازن، فمثلاً، ما تُظهر مياه الصرف من مصانع الغاز رقمًا هيدروجينيًا منخفضًا يتراوح بين 3 و3.5. [30]

ب) اختبار الطلب البيوكيميائي للأوكسجينDBO_5

هو مقياس لكمية الأكسجين التي تستهلكها الكائنات الحية الدقيقة الهوائية لتحليل المواد العضوية في الماء. يشير ارتفاع قيمة DBO_5 إلى وجود كمية كبيرة من المواد العضوية، ما يعني زيادة في تلوث المياه .

يساعد قياس DBO_5 في تحديد:

- كمية المواد العضوية القابلة للتحلل في الماء.
- إمكانية الماء على تنقية نفسه ذاتيًا.
- مستوى التلوث العضوي في الماء.

عادة ما تتراوح قيمة DBO_5 في المياه المستعملة المنزلية بين (150 و500) ملغ/لتر. [34].

ت) اختبار الطلب الكيميائي للأوكسجين DCO

يُعرَّف الطلب الكيميائي للأكسجين بأنه كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة المواد العضوية الموجودة في لتر واحد من الماء كيميائيًا. هذه الطريقة لا تعتمد على الكائنات الحية الدقيقة، وتُستخدم لتقدير المواد غير القابلة للتحلل البيولوجي مثل المواد السليلوزية.

لأكسدة هذه المواد، تُستخدم عوامل مؤكسدة قوية مثل ثاني كرومات البوتاسيوم.

قياس DCO يوفر نتائج سريعة ولا يتطلب حضانة العينات. [35]

ث) الأزوت(N)

بسبب أهمية النيتروجين في تركيب البروتينات، تُستخدم بياناته لتقدير مدى صلاحية مياه الصرف للمعالجة الحيوية. إذا كان النيتروجين غير كافٍ، فيجب إضافته لجعل المياه قابلة للمعالجة وللسيطرة على نمو الطحالب في المياه يجب تقليل أو إزالة النيتروجين من مياه الصرف. والنيتروجين الكلي الذي يشمل الأمونيا والنترات والنيتروجين العضوي يُستخدم كمؤشر شائع على هذه المركبات.

ج) الفوسفور(P)

يعتبر الفوسفور عنصراً أساسياً لنمو الطحالب والكائنات الحية الأخرى، ويمثل الفوسفور العضوي مكوناً رئيسياً في مياه الصرف الصناعي والحمأة.

ح) النيترات(NO_3^-)

تُمثّل أيونات النتريت مرحلة وسيطة في تفاعلات الأكسدة والإرجاع بين النيترات والأمونيوم. بالتالي، وجود أيونات النتريت في الماء يشير إلى أنها ناتجة إما عن إرجاع النيترات أو عن أكسدة الأمونيوم، ولا توجد مصادر طبيعية أخرى معروفة للنتريت. [35]

خ) أرتوفوسفات(PO_4^{3-})

ينتج الفوسفات في المياه السطحية من مصادر طبيعية وصناعية، كالأسمدة والمنظفات. وتوجد أيونات الفوسفات بأشكال مختلفة حسب درجة الحموضة (pH) للماء؛ ففي المياه ذات درجة حموضة بين 5 و8، توجد أيونات الفوسفات أحادية وثنائية الهيدروجين ($H_2PO_4^-$، H_2PO-)، بينما يعتبر الفوسفات الذائب في مياه الري مغذيًا للنباتات، إلا أن ارتفاع نسبته لأكثر من 60 ملجم/لتر قد يغير في تركيب بعضها. وتتغذى الأسماك أيضًا على الفوسفات الذائب في الماء. [35]

د) النتريت (NO_2^-)

تعتبر أيونات النتريت مرحلة وسيطة في تفاعلات الأكسدة والاختزال بين النترات والأمونيوم. وجود النتريت في الماء يشير إلى أنه ناتج إما عن اختزال النترات أو أكسدة أيونات الأمونيوم، ولا يوجد مصدر طبيعي مباشر للنتريت. [9]

3) مقاييس بيولوجية

يهدف التحليل البكتريولوجي للمياه إلى تحديد الأنواع التي قد تكون ضارة. نظرًا لصعوبة الكشف المباشر عن هذه الأنواع، يتم فحص المياه للكشف عن مجموعة القولونيات، إذ يشير وجودها إلى تلوث المياه. أهم هذه المجموعات هي مجموعةColi forme group ، التي تشمل القولونيات البرازية Bactérie Coliformes Fécaux، والتي تتكون بشكل رئيسي من بكتيريا Escherichia coli وبعض سلالات بكتيريا Pneumonie Klebsiella تحدد بكتيريا القولون البرازية حجم التلوث وخطورته، وتوجد بشكل طبيعي في أمعاء الإنسان والحيوانات ذوات الدم الحار بمعدل مليون/جرام من البراز، ونادرًا ما توجد في التربة أو النباتات.

تتشابه البكتيريا الكلية Coliforme totaux مع البكتيريا السابقة في الخصائص، ولكنها قادرة على العيش خارج جسم الإنسان، خاصة في الأراضي الزراعية. أما البكتيريا الكروية السبحية البرازية Les Streptocoques Fécaux فهي بكتيريا كروية الشكل تتواجد متراصة بشكل سبحي. توجد هذه البكتيريا بشكل طبيعي في أمعاء الإنسان والحيوان، ولكن النسبة بينها وبين بكتيريا القولون البرازية تختلف بين الإنسان والحيوان، مما يزيد من أهميتها كمؤشر لتحديد مصدر التلوث. تتميز بتحملها الملوحة والحرارة والقلوية، كما أنها تبقى حية لفترة أطول خارج الأمعاء، ولكنها توجد بأعداد قليلة [36]

الفيروسات هي كائنات مُعدية دقيقة جدًا، يتراوح حجمها بين 10 و350 نانومتر. وجودها في الكائنات الحية يكون غير طبيعي، إما نتيجة للتلقيح المتعمد أو عن طريق العدوى العرضية. تنتقل الفيروسات بملامسة سوائل وإفرازات الجسم المصاب، مثل الدم واللعاب والعرق والبراز. ومن الأمثلة على ذلك فيروسات التهاب الكبد بأنواعه A,B,C ، وكذلك فيروس شلل الأطفال. [37]

تحتوي المياه العادمة أيضًا على طفيليات تُعرف باسم الأوليات أوProtozoaires ، وهي كائنات وحيدة الخلية ذات نواة معقدة وأكبر من البكتيريا. أثناء دورة حياة بعض الأوليات فإنها تعتمد على ما يسمى بالكيس، وهو شكل يساعدها على مقاومة طرق معالجة المياه العادمة.

تشمل الديدان الطفيلية الديدان متعددة الخلايا، وهي في الغالب كائنات طفيلية، مثل دودة الإسكارس والدودة الشريطية. بيض هذه الديدان مقاوم للغاية ويمكن أن يعيش لأسابيع أو حتى شهور في التربة أو النباتات المزروعة. [37]

4-7 المعايير والتراكيز المسموح بها

في إطار جهود الجزائر لحماية البيئة وصحة المواطنين، تم تحديد معايير للحدود القصوى لتصريف النفايات السائلة من المصانع، وذلك بموجب القرار المؤرخ في25 شعبان 1433 الموافق ل 15جويلية 2012.

الجدول التالي يوضح النفايات الصناعية السائلة التي تخضع لهذه المعايير:

الجدول (03): قيم الحد الأقصى لمعالم صرف نفايات الوحدات الصناعية.[9]

المقاييس	القيمة
درجة الحرارة	30م°
pH	6,5– 8,5
المواد العالقة MES	30مغ/ل
الطلب البيوكيميائي للأكسجين DPO_5	30مغ/ل
الطلب الكيميائي للأكسجين DCO	90 مغ/ل
الأزوت N	50 مغ/ل
الفوسفات PO_4^{-3}	02 مغ/ل
الزنك	02 مغ/ل
الكروم	0,1 مغ/ل
المنظفات	01 مغ/ل
الزيوت والدهون	20 مغ/ل
الأكسجين المنحل Oxy.diss	2-5 مغ/ل
النتريت NO^{2-}	0,1 مغ/ل

5- معالجة مياه الصرف الصحي

5-1 تعريف معالجة مياه الصرف الصحي:

هي عبارة عن مجموعة من التفاعلات الطبيعية والكيميائية والبيولوجية التي تهدف إلى إزالة المواد الصلبة والعناصر العضوية وغير العضوية العالقة والمنحلة في الماء، إلى جانب تقليل أعداد الفيروسات

والبكتيريا وأنواع مختلفة من الملوثات، وذلك بغرض إنتاج مياه ذات نقاء يتوافق مع المعايير المعتمدة للتصريف. [38]

5-2 الهدف من معالجة مياه الصرف الصحي:

تشكل عملية معالجة مياه الصرف الصحي بطرق صحية ضرورة أساسية لضمان بيئة صحية للمجتمعات، وفقاً لمعايير دولية، وبالاعتماد على أحدث الأساليب الهندسية والعلمية للحفاظ على البيئة المحيطة خالية من ملوثات الصرف .

تهدف هذه المعالجة إلى تجهيز المياه بحيث تصبح صالحة للطرح في المجاري الزراعية واستخدامها في الري، حيث تركز على إزالة نسبة كبيرة من الملوثات بما في ذلك المواد الصلبة العالقة العضوية وغير العضوية، بالإضافة إلى الجسيمات الغروية والعكارة والرائحة، مع تحسين اللون وزيادة محتوى الأكسجين المذاب، فضلاً عن القضاء على الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية. [39]

5-3 طريقة معالجة مياه الصرف الصحي:

أ) المرحلة الأولية (المعالجة الفيزيائية):

تمثل المرحلة الأولى في معالجة مياه الصرف خطوة حيوية تهدف إلى تحسين جودة المياه الداخلة إلى المحطة من خلال تقليل تركيز المواد الملوثة فيها. يسهم هذا التخفيف في تعزيز كفاءة العمليات المعالجة التي تليها، وتتم المعالجة الأولية عن طريق: [40]

1. إزالة المواد الصلبة

في هذه المرحلة، تُزال الأجسام الكبيرة باستخدام مصفاة قد تؤدي إلى تعطيل عمليات المعالجة مثل الأشجار والبلاستيك.....

2. إزالة الرمال والزيوت والشحوم

في هذه المرحلة، تترسب مياه الصرف في أحواض مخصصة حيث يترسّب الرمل في القاع وتطفو الزيوت على السطح مما يتطلب إزالتها من خلال كشطها. تعد إزالة الرمال والزيوت ضرورية للحفاظ على سلامة وكفاءة المعدات المستخدمة في المحطة.

ب) المرحلة الثانوية (المعالجة البيولوجية)

تعتبر هذه المرحلة من العمليات العلاجية الأساسية، حيث يُهيَّأ المناخ الملائم عبر التهوية لتعزيز تكاثر الكائنات الدقيقة والبكتيريا. في هذه الظروف تقوم البكتيريا بتحويل المخلفات العضوية إلى مواد غير عضوية تشمل غازات وأنسجة خلوية أثقل وزناً من الماء، مما يؤدي إلى ترسيبها في القاع فيسهل عملية إزالة هذه الرواسب. [40]

ت) مرحلة المعالجة الثلاثية

تمثل هذه المرحلة النهائية في عملية المعالجة، حيث تتم إضافة الكلور كجزء من الإجراءات المتبعة. تهدف هذه المعالجة إلى إزالة الملوثات التي لم يتم التخلص منها في المراحل السابقة، بالإضافة إلى تحسين بعض معايير الجودة. ومن أهم الأهداف التي يسعى هذا العلاج لتحقيقها ما يلي :

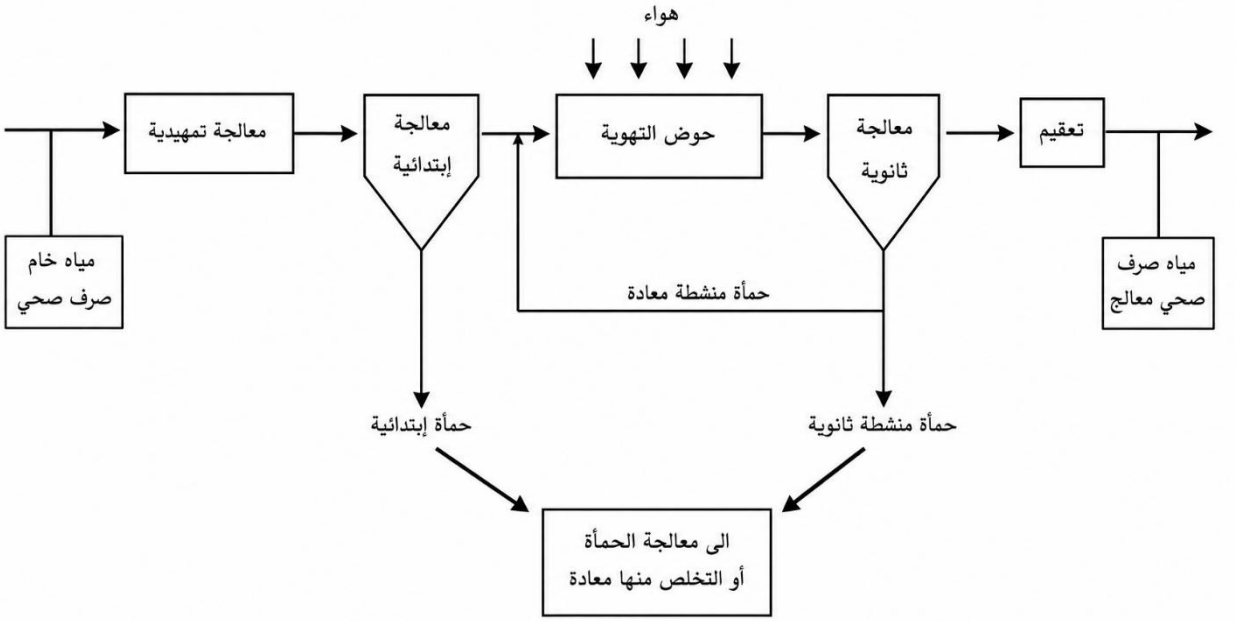
- التطهير للحد من مخاطر التلوث
- إزالة الجسيمات العالقة الدقيقة، وخفض قيمة DBO5 في المياه المعالجة نهائياً
- تقليل تركيز العوامل الممرضة.

5-4 بعض التقنيات لمعالجة مياه الصرف الصحي

تُجبر محدودية مصادر المياه ومشكلات الجفاف والتصحر الدول العربية على اعتماد تقنيات متقدمة وفعالة لمعالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها بصورة مستدامة. [41]

ويوجد عدد من الأساليب المعتمدة في هذا السياق من بينها:

1) **المعالجة باستخدام الحمأة النشطة**: تعتبر هذه الطريقة من الأساليب الأكثر شيوعًا في محطات المعالجة، حيث تقتصر متطلباتها على توفير المادة العضوية، والكائنات الحية الدقيقة، بالإضافة إلى التهوية المستمرة.



الشكل (02): مخطط العملية النموذجية للحمأة النشطة. [11]

2) **المعالجة بتقنية الأغشية البيولوجية**: من بين التقنيات المستخدمة في معالجة وإعادة تدوير مياه الصرف الصحي تقنية الأغشية البيولوجية(Biodek-Technology) ، حيث تتميز بعدم حاجتها لمساحات واسعة لإقامة المحطات، إضافة إلى تكلفتها المالية المعقولة. تُعتبر هذه التقنية بديلاً فعالاً للطرق التقليدية في المعالجة البيولوجية التي تعتمد بشكل رئيسي على الحمأة النشطة والتهوية المكثفة لفترات طويلة. [41]
3) **المعالجة بالبحيرات**: تتطلب هذه المعالجة وجود تضاريس ومساحات شاسعة تُعتبر أساساً ضرورياً لتمكين تدفق وسريان المياه البطيء.

الشكل (03): حوض التهوية. [11]

4) المعالجة بالنباتات :

تُعد هذه الطريقة من الوسائل المعتمدة في معالجة المياه المستعملة، وتعرف بنظام الحدائق أو المناطق الرطبة الاصطناعية، حيث تحاكي ظروف المناطق الرطبة الطبيعية. تعتمد العملية بشكل رئيسي على النشاط البيولوجي للنباتات والكائنات الحية الدقيقة في تفكيك الملوثات والمواد العضوية .

ويفضل أن يبقى الماء في الأحواض لمدة تتراوح بين 4 إلى 5 أيام، مما يستدعي تصميم أحواض كبيرة بما يكفي لضمان بقاء الماء لفترة مناسبة، وبالتالي تحقيق معالجة فعالة ذات جودة عالية. تتألف هذه الطريقة من عدة مراحل، تشمل:

أ) **حوض التجميع**: والذي يُستخدم لجمع المياه الملوثة ويتم فيه إجراء معالجة أولية.

ب) **حوض النباتات**: والذي يشكل المرحلة الثانية ويحتوي على طبقة سميكة من الحصى تعمل كدعم لجذور النباتات، ويظل الوسط مشبعاً بالماء باستمرار، مع العلم أن هذه النباتات ليست نباتات مائية بالمعنى التقليدي لأن الماء لا يغطي سطحها.

ت) **حوض الجريان الحر**: الذي يحتوي على نباتات مائية مغمورة بالكامل، وتساهم هذه المرحلة في إزالة العوامل الممرضة بسبب تعرض المياه لأشعة الشمس بشكل مباشر. [42]

الفصل الثاني:

معالجة المياه المستعملة بالنباتات

تمهيد

معالجة المياه المستعملة باستخدام الطرق الصناعية تعتمد على بناء محطات محددة تتطلب الكثير من الاستثمارات في تجهيزاتها ومواردها البشرية المهنية. كما أظهرت التحليلات العملية في العديد من الدول أن هذه الأنظمة تعاني من تعقيد كبير وأنها تحتاج إلى مواصفات فنية دقيقة جداً. ولذلك، اتجهت الدراسات إلى البحث عن حلول بديلة أقل تعقيداً وتكلفة منها، مثل الأنظمة الطبيعية المعتمدة على النباتات العالية، التي يتميز تكلفتها وقلة تدخل الإنسان في تنفيذها.

1- نبذة تاريخية:

تعد معالجة المياه المستعملة باستخدام المرشحات المزروعة تقنية جرى تطويرها في البداية بوحدة Biosfera التجريبية عام 1987 على يد الدكتور مارك نيلسون. وقد طُبقت هذه التقنية لاحقاً في أول مختبر بيئي عالمي، الذي أقيم في أريزونا خلال الفترة من 1991 إلى 1994.

أجريت أولى تجارب هذه المعالجة في الجزائر ضمن منطقتي تماسين ونقوسة، وذلك عبر نظام حدائق معالجة المياه المستعملة(GWW) . وحسب مقال صحفي صدر بتاريخ 30 أبريل 2013، تحت عنوان " الجزائر – سيتم تقريبا تحديد ميزانية في تأسيس حدائق ترشيح لتصفية المياه المستعملة "، ونظراً للنتائج الإيجابية لهذه التجربة، وجه وزير الموارد المائية بتعميم استخدام هذه التقنية البيئية منخفضة التكلفة في سائر مناطق الواحات. وقد أُعلن عن إنشاء 100 حديقة تصفية، جرى إدراج مخصصاتها المالية ضمن قانون التمويل التكميلي لعام 2013، وذلك في سياق اجتماع مخصص لتطبيق برنامج تطوير الولايات الصحراوية.

غير أنه بحلول عام 2014، لم تتجاوز نسبة المحطات المنفذة 3 بالمئة من إجمالي المحطات المزروعة المخطط لها، حيث اقتصرت على محطتي تماسين ونقوسة، اللتين صُنّفتا كمحطتين تجريبيتين [43].

2-تعريف عملية التنقية بالنباتات:

نظام مبتكر يتسم بفعالية ملحوظة، يعتمد على النباتات المائية في عملية التنقية. يقدم هذا النظام بديلاً بيئياً، اقتصادياً، مستداماً، وجذاباً من الناحية الجمالية للأنظمة التقليدية.

يعتمد هذا النظام على مبدأ تآزري بين الكائنات الحية الدقيقة والنباتات المائية. تقوم البكتيريا الهوائية بتحويل المواد العضوية إلى مركبات معدنية قابلة للامتصاص بواسطة النباتات. في المقابل، تطلق النباتات المائية الأكسجين من خلال جذورها، مما يدعم النشاط الحيوي للبكتيريا. [44]

تُعرف هذه العملية باسم التنقية الحيوية بالنباتات (Phytoremediation)، وهي منهجية لمعالجة المياه تستفيد من النباتات المصفية، والركائز، والكائنات الحية الدقيقة ضمن بيئة رطبة اصطناعية، والتي يُشار إليها بالأراضي الرطبة (wetlands).

يمكن أن يشمل نظام التنقية الحيوية هذا مرشحاً مزروعاً واحداً أو سلسلة من المرشحات المتعددة.

3-محطات المعالجة:

تُجرى هذه المعالجة ضمن نظام حدائق معالجة مياه الصرف الصحي (Gardens Wastewater Treatment)، والمُشار إليه اختصارًا بـ (GWW). يُصنف هذا النظام كمنطقة رطبة اصطناعية تحاكي

الظروف البيئية المتوفرة في المناطق الرطبة الطبيعية. يتألف هذا النظام من طبقة حصوية سميكة تُستخدم كدعامة هيكلية لجذور النباتات المزروعة ضمنه، إذ تُبقي هذه الطبقة على وسط غارق بالمياه بشكل دائم.

تُستهل عمليات المعالجة ضمن نظام حدائق معالجة المياه المستعملة بحوض تجميع (fosse septique)، حيث يتم استقبال المياه الخام وتجري فيه مرحلة معالجة أولية. بعد ذلك، تُوجَّه المياه إلى حوض النباتات. يمكن أن يتألف النظام من وحدة معالجة واحدة أو عدة وحدات متكاملة، ويعتمد تحديد العدد الأمثل لهذه الوحدات على حجم التدفق المطلوب والمساحة المتاحة للتنفيذ. يُدمج ضمن النظام أيضًا صندوق تحكم، يُعرف اصطلاحًا بـ 'علبة المراقبة' (Boite de contrôle)، يتم تثبيته في موقع محدد. تُستخدم هذه العلبة كنقطة تصريف للمياه المُعالجة، كما تُؤخذ منها العينات بانتظام لإجراء التحاليل المخبرية اللازمة. تُسهم هذه التحاليل في تقييم جودة المياه الناتجة والتحقق من مدى فعالية النظام في إزالة الملوثات من المياه المستعملة. [45]

4-مبدأ نظام GWW:

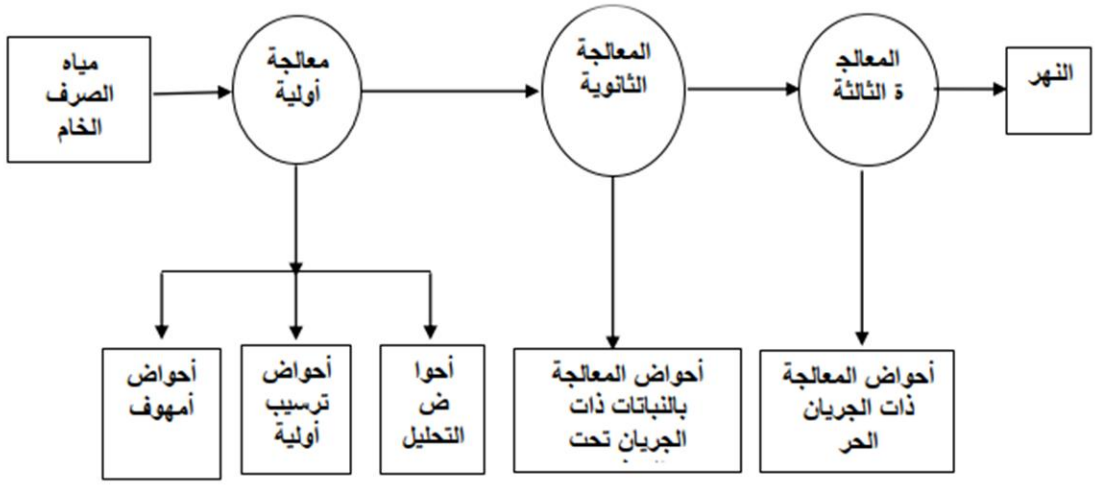
تعتمد منظومة (Gardens Wastewater Treatment) أو GWW بشكل أساسي على التفاعلات التكافلية المعقدة بين الكائنات الحية الدقيقة، والنباتات المائية القادرة على النمو في بيئة غارقة بالمياه والحصى، مشكلة بذلك عملية بيولوجية متكاملة. تستمد الكائنات الدقيقة طاقتها وموادها الغذائية من المركبات العضوية وغير العضوية المتواجدة ضمن النفايات السائلة. يتسم الماء العادم بتركيز مرتفع من المركبات التي تمثل مصدراً حيوياً للطاقة بالنسبة لهذه الكائنات الدقيقة. في هذا السياق، تلعب الجذور دوراً محورياً؛ إذ توفر بيئة ملائمة لنمو الكائنات الدقيقة، إضافة إلى ذلك، تفرز

الجذور إنزيمات متخصصة تساهم في تفكيك المواد الضارة الموجودة في الماء المعالج، وبالتالي تسهل عملية التخلص منها [46] [47]

5-المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات:

يتضمن التصميم النمطي في البداية مرحلة معالجة تمهيدية، تشمل أحواض التحلل أو أحواض إيمهوف، التي تعمل كأحواض ترسيب أولية، بالإضافة إلى وحدة مخصصة لإزالة الرمال والزيوت والشحوم. بعد ذلك، تنتقل المياه المعالجة أولياً إلى وحدة المعالجة النباتية ذات التدفق السطحي، والتي قد تكون أفقية، رأسية، أو هجينة، وذلك لإجراء المعالجة الثانوية. لاحقاً، تمر المياه الخارجة إلى وحدة معالجة نباتية ذات تدفق حر، تُصنف ضمن المعالجة الثالثة التكميلية، بهدف تحسين الخصائص النهائية للمياه المعالجة.

توجد خيارات متعددة لتسلسل وحدات المعالجة، حيث يتمثل أبسطها في توفير سلسلة معالجة أحادية. يتطلب تصميم محطة المعالجة النباتية وجود نقاط فحص (حفر تفتيش) لمراقبة جودة المياه قبل وبعد وحدة المعالجة النباتية. يُعد هذا الخيار مناسبًا بشكل خاص عندما يكون الهدف الأساسي هو تقليل المواد العضوية والمواد الصلبة العالقة. ومع ذلك، في حال كان المطلوب خفض تراكيز الأمونيا، النتريت، النترات، أو غيرها من الملوثات، فإن تسلسل الوحدات ونوع الأحواض يختلف تبعًا لطبيعة المكونات المستهدفة بالإزالة. [48]



الشكل (04): مراحل معالجة مياه الصرف

تُعد معالجة المياه بالنباتات آليةً مجدية لتنقية مياه الصرف الصحي، لا سيما في مراحل المعالجة الثانوية والثالثية. إذ تُسهم في تخفيض مستويات الملوثات بشكل ملموس، مثل النيتروجين والفسفور، بالإضافة إلى مؤشرات جودة المياه كـ (الطلب الحيوي للأكسجين) و(الطلب الكيميائي للأكسجين). تتأثر كفاءة أحواض المعالجة بالنباتات (GWW) بمدة مكوث المياه داخلها، إذ يُعد وقت الاحتفاظ بالماء عاملاً حاسماً في تحديد حجم الوحدة وفعاليتها. ويُقترح أن تتراوح مدة الاحتفاظ بالمياه داخل الحوض بين 4 إلى 5 أيام لضمان أفضل أداء. لذا، يُفضّل تصميم أحواض الأراضي الرطبة بأبعاد كافية تسمح بتحقيق هذه المدة المثلى لإقامة المياه، مما يسهم في الحصول على جودة معالجة مرتفعة. لتحسين كفاءة المعالجة، يمكن تمديد فترة مكوث الماء، أو إدخال آليات لتهوية المياه، والتي من شأنها تعزيز نشاط الكائنات الحية الدقيقة في تحليل الملوثات والمواد العضوية.

يُسهم وجود النباتات في أحواض الأراضي الرطبة في توفير، من خلال هياكلها الجذرية والساقية والورقية، بيئةً مواتية لنمو الكائنات الدقيقة المسؤولة عن تحلل المواد العضوية في مياه الصرف. تُعرف هذه التجمعات المتنوعة من الكائنات الدقيقة باسم البيريفايتون (Periphyton). تتكامل أدوار البيريفايتون مع العمليات

الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية الطبيعية ضمن النظام، مما يُساهم في إزالة ما يصل إلى 90% من الملوثات. فضلاً عن ذلك، فإن محطات المعالجة بالأراضي الرطبة لا تستلزم تهوية ميكانيكية، مما يلغي الحاجة إلى الاستهلاك الكبير للطاقة المرتبط بمثل هذه العمليات. [46] [49]

6-مبدأ المعالجة بالنباتات الكبيرة:

تتضمن المعالجة النباتية تنقية المياه باستخدام مرشحات حيوية مزروعة تضم نباتات كبيرة، والتي بدورها تسهم في تعزيز التنوع البيولوجي ضمن الأحواض المعالجة. تتعمد محطات المعالجة في هذا السياق إلى توظيف مرشحات نباتية تحاكي في تصميمها ووظيفتها المستنقعات الطبيعية. ضمن هذه المنظومة تمر المياه الخام (كالرمادية والسوداء) عبر أحواض تحتوي على طبقات من ركيزة معدنية مسامية (مثل الرمل والحصى)، حيث تُزرع فيها مجموعة متنوعة من النباتات شبه المائية، كالقصب على سبيل المثال. ويُفضل انتقاء الأنواع القادرة على تحمل الملوحة نظرًا لتكيفها مع الظروف المناخية السائدة. تتميز هذه النباتات، ولا سيما القصب (Phragmites Communis أو Phragmites Australis) بقدرتها الفائقة على تطوير نظام جذري كثيف وشبكة متفرعة من القنوات الداخلية. هذه الشبكة لا تقتصر وظيفتها على تصريف المياه، بل تعمل كذلك على توفير الأكسجين اللازم، مما يشكل بيئة مثالية لدعم نمو البكتيريا الهوائية. تقوم هذه البكتيريا، بالتعاون مع الكائنات الحية الدقيقة الأخرى وحيوانات التربة الكبيرة (مثل ديدان الأرض)، بعملية تحليل وتمعدن للمواد العضوية. تسهم هذه العملية في تحويل المواد العضوية إلى مركبات قابلة للاستيعاب من قبل النباتات. [50]

7-المزايا والعيوب:

7-1 المزايا:

- تتميز هذه الأنظمة بانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة، وذلك يعزى إلى اعتمادها على عمليات المعالجة البيولوجية الطبيعية. إضافة إلى ذلك، لا تتطلب هذه الأنظمة سوى الحد الأدنى من الطاقة اللازمة للتشغيل والصيانة. كما تنتفي الحاجة إلى استخدام المواد الكيميائية أو التجهيزات الميكانيكية الاحتياطية. وعلى عكس محطات المعالجة التقليدية، لا تستلزم هذه الأنظمة كادراً تشغيلياً متخصصاً أو ذا خبرة عالية.

- تقتضي الضرورة إزالة الملوثات المتنوعة، والتي تشمل الكائنات الممرضة وبيض الديدان، فضلاً عن المركبات الذائبة في الماء كالنيتروجين والفسفور، التي تمثل مكونات أساسية للمواد المغذية.

- تُظهر هذه المنظومة قدرةً كبيرة على استيعاب التقلبات في التدفقات، الأمر الذي يقترن بمستوى عالٍ من الثبات، وينعكس إيجاباً على موثوقية أدائها.

- يمثل توظيف المياه المعالجة في ري المحاصيل نموذجاً مشابهاً لإعادة استغلال المنتجات النباتية بعد حصادها، حيث تُوجه لتغذية الثروة الحيوانية. [51]

7-2 العيوب:

- تستلزم هذه المحطة عادةً مساحةً أكبر مقارنةً بالمساحة المطلوبة لمحطات المعالجة التقليدية.
- تستدعي هذه العملية توفير كميات كبيرة نسبياً من مواد الملء، كالحصى والرمل والحجارة.

- يُمكن أن يؤدي التحلل البيولوجي للمواد الصلبة الخام والكتلة الحيوية إلى انسداد مكونات معينة ضمن نظام المعالجة، لاسيما المرشحات الرملية. وفي سياق متصل، يُعدّ عدم كفاية معالجة الحمأة الأولية المتولدة عاملاً مساهماً في انتشار الروائح. [51]

8-النباتات المائية المستخدمة ضمن محطات المعالجة بالنباتات:

لقد أظهرت هذه الأصناف النباتية قدرةً فعالةً على استخلاص أنواع متباينة من الملوثات والمعادن من مياه الصرف الصحي في البيئات الحضرية والصناعية. ويُعزى تميزها إلى شيوع استخدامها في أنظمة الأراضي الرطبة والسبخات، إذ تتكيف هذه النباتات للنمو في نطاقات مائية تتراوح من عمق 0.5 متر تحت سطح التربة إلى عمق 1.5 متر أو أكثر في المياه السطحية. ومن بين الأمثلة البارزة لهذه الأنواع نبات البردي (Cyperus papyrus) والقصب (Phragmites) ونبات (Typha).

8-1 **نبات البردي** CYPERUS PAPYRUS

تتعدد استخدامات هذا النبات لتشمل قطاعات صناعية وجمالية. فهو يُوظف في إنتاج الورق وتصنيع الأحذية، فضلاً عن استغلاله في أغراض التزيين. كما يُسهم في سياقات معالجة المواد المعدنية وإعادة استخدامها، ويُطبق في عمليات تنقية المياه ومعالجتها. [57]

الشكل (05): نبات CYPURUS PAPYRUS

2-8 **نبات** JUNCUS EFFUSUS

يُوظّف هذا النبات في خفض مستويات المعادن في المياه الملوثة. وتُستغل بعض أجزائه في صناعة القوارب. كما يُعد مصدراً غذائياً لبعض الحيوانات. وإضافة إلى ذلك، يُسهم في عمليات تنقية المياه الملوثة في المناطق الرطبة، مما يعزز جهود صيانة البيئة والحد من التلوث. [58]

الشكل (06): نبات JUNCUS EFFUSUS

3-8 نبات TYPHA LATIFOLIA (البوط عريض الأوراق):

تُستخدم هذه النبتة بكفاءة في تخفيض مستويات التلوث البيئي. وتُعد ذات أهمية في استراتيجيات الوقاية من الفيضانات، ومعالجة المياه الراكدة، فضلًا عن امتصاص المخلفات الصلبة والحد من الانسدادات في البيئات المائية. كما تُطبق في معالجة أنواع مختلفة من النفايات، بما في ذلك النفايات البشرية والزراعية والصناعية. وتُظهر فاعلية في خفض التراكيز الفائضة من معادن مثل الزنك والنحاس والنيكل. [58]

الشكل (07): نباتTYPHA LATIFOLIA

9-دور النباتات في عملية المعالجة:

علاوة على وظيفتها الجمالية ودورها الميكانيكي الأساسي، تساهم النباتات، بأساليب مباشرة وغير مباشرة، في عملية التنقية.

9-1 الدور المباشر

- تمتص النباتات المواد المعدنية، مثل الآزوت والفوسفور، لغرض التمثيل الغذائي أو لتخزينها بكميات محدودة. تُعتبر هذه القدرة ذات أهمية في سياقات المعالجة الكاملة للمياه الملوثة، خاصةً عند التدفق البطيء. ومع ذلك، عند تحلل النباتات الميتة، يُعاد إطلاق جميع المركبات الممتصة إلى النظام البيئي، مما يستدعي إزالة الكتلة النباتية من المرشحات، تحديدًا من منطقة الجذور، لتجنب هذا الإطلاق. علاوة – على ذلك، تُفرز بعض النباتات مركبات ذات خصائص مضادة للبكتيريا، والتي تُسهم في تثبيط نمو الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض. [59] يرتبط نزع النيتروجين بكمية الكتلة الحيوية المتكونة؛ فكلما زادت الكتلة الحيوية، تحسنت كفاءة امتصاص النيتروجين. يُشار إلى أن نوع النبات لا يُعد عاملًا مؤثرًا بشكل مباشر في عملية التنقية، لأنها تعتمد على آليات فيزيوكيميائية وبكتيرية بالدرجة الأولى

- تستطيع النباتات الازدهار في أحواض التنقية المكشوفة، والتي تُستخدم في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة وتتميز بتربة رطبة أو شبه رطبة تدعم نموها. تُسهم هذه النباتات أيضًا في تقليل الروائح الكريهة في المرشحات الشاقولية. وقد لوحظ أن تقليل مدة احتجاز المياه في الأحواض يرتبط بانخفاض ملحوظ في انبعاث الروائح. [60]

9-2 الدور غير مباشر

في المرشحات العمودية، تسهم النباتات في منع تراكم المواد العضوية على الطبقة السطحية. بالإضافة إلى ذلك، فإن التذبذبات الناتجة عن حركة الرياح تسهل تسرب الماء إلى داخل الأحواض من خلال الفراغات التي تشكلها سيقان النباتات. تعمل النباتات على تعزيز نمو الكائنات الحية الدقيقة المحللة، وذلك بفضل توفير الظل والمحافظة على مستويات الرطوبة المناسبة. هذا يؤدي بدوره إلى تسريع تشبع الطبقة السطحية بالمواد المعدنية. توفر أوراق وسيقان النباتات المغمورة أسطحًا ملائمة لتكاثر الكتلة الحيوية. إضافة إلى ذلك، تستوطن البكتيريا والطحالب أنسجة هذه النباتات؛ حيث تستهلك الطحالب المغذيات وتساهم في إمداد

الماء بالأكسجين المذاب عبر عملية التركيب الضوئي، بينما تقوم البكتيريا بهضم المواد العضوية. وقد لوحظ أن كثافة البكتيريا تكون أعلى في المناطق المزروعة مقارنة بالمناطق غير المزروعة. أشار العالم هوفمان (HOFMANN)في بعض دراساته إلى أن هذه العملية قد تكون فعالة في التخلص من الكائنات الدقيقة مثل بكتيريا الإشريكية القولونية .(E. coli) تساعد أوراق وسيقان النباتات في إمداد البكتيريا بالأكسجين داخليًا عن طريق الجذور والجذامير. ومع ذلك، خلال فصل الشتاء، تدخل النباتات في طور السكون، مما يؤدي إلى انخفاض توافر الأكسجين. في هذه الحالة، يمكن للأكسجين أن يتحرر عبر الجذور الشعرية، ولكن هذه الظاهرة تكون أكثر كفاءة في المرشحات الأفقية. يسهم وجود النباتات في أحواض المعالجة في تقليل سرعة تدفق التيار المائي. هذا بدوره يوفر ظروفًا مواتية لعملية ترسيب المواد الصلبة العالقة [60].

والجدول التالي يلخص دور النباتات ضمن محطات المعالجة بالنبات:

الجدول (4): دور النباتات ضمن محطات المعالجة بالنباتات (الأراضي الرطبة)

أجزاء النبات	الأهمية في المعالجة
أنسجة النبات المحاطة بالهواء الجوي	• تحد من نفاد الضوء إلى الماء مما يقلل نمو العوالق النباتية. • تخفيض سرعة التيار المائي وهذا يساعد على تامين الظروف المناسبة لعملية ترسيب المواد الصلبة العالقة • العزل الحراري للحوض وخصوصا في فصل الشتاء عندما يكون الطقس باردا. • تخزين المغذيات ضمنها. • سرعة الرياح منخفضة (تخفض من خطر قلع النباتات من قوة الرياح).
أنسجة النبات المغمور بالماء	• تؤمن مساحة سطحية لنمو الطبقة البيولوجية. • تطرح الأكسجين المنحل للوسط المائي مما يزيد التحلل الهوائي للملوثات. • تمنع الإنسدادات في الأحواض ذات الجريان الشاقولي حيث تتم تغذية الحوض من السطح العلوي. • تستهلك المغذيات.
الجذور وأشباه الجذور ضمن وسط الفلترة	• تؤمن نباتية سطح الفلترة (التربة). • تمنع الوسط من الانسداد في الأحواض ذات الجريان الشاقولي. • تحرير الأكسجين مما يساعد على عملية النترجة. • تحرير مضادات حيوية

10- استخدامات المياه المعالجة بالنباتات

يمكن توظيف المياه المعالجة، ولا سيما مياه الصرف الصحي الحضرية التي تمت معالجتها نباتيًا، في ري المحاصيل الاستهلاكية والنباتات غير المثمرة. يُصنّف القطاع الزراعي بوصفه المستهلك الأكبر للمياه، حيث تستحوذ على ما يتراوح بين 75% و85% من إجمالي الاستهلاك. تتميز هذه المياه بارتفاع محتواها

من الفوسفور والنترات، مما قد يقلل من الحاجة إلى الأسمدة الكيميائية، فضلاً عن خلوها من الملوثات الكيميائية والبيولوجية. علاوة على ذلك، يمكن استغلال المياه المعالجة في التطبيقات الصناعية. تُظهر الدول الأوروبية أمثلة بارزة في تبني معالجة المياه بالنباتات، حيث وصلت بعض الدول مثل سويسرا وهولندا إلى مستوى يمكن فيه استخدام المياه المعالجة لأغراض الشرب. وفي هذا السياق، تبرز ألمانيا وسنغافورة بصفتهما من الدول الرائدة في تطبيق هذه التقنيات.

11- آليات إزالة الملوثات وفعالية أحواض المعالجة بالنباتات:

تُصنف آليات الإزالة ضمن أنظمة متعددة تتراوح بين الفيزيائية والكيميائية والفيزيوكيميائية، فضلاً عن الجوانب البيولوجية، والتي تُعرض بإيجاز في الجدول التالي:

الجدول (5): أهم آليات الإزالة الرئيسية للملوثات ضمن أحواض النباتات

الملوثات	آلية الإزالة الرئيسية
المواد العضوية	• التحلل البيولوجي (هدم ميكروبي هوائي ولا هوائي).
المواد الصلبة العالقة	• الترسيب الفيزيائي، الفلترة الفيزيائية والتحلل البيولوجي.
النيتروجين	• النترجة وإزالة النترجة البيولوجية. • عمليات الامتصاص الفيزيائية والكيميائية ضمن وسط الفلترة ومن طرف النبات.
المعادن	• امتصاص وتبادل الكاتيونات. • تشكيل مركبات. • ترسيب – امتصاص من طرف النبات. • أكسدة وإرجاع من طرف المكروبات.
الفوسفور	• عمليات الامتصاص الفيزيائية والكيميائية ضمن وسط الفلترة ومن طرف النبات.
العوامل الممرضة	• الافتراس البيولوجي والموت الطبيعي وعمليات الترسيب الفلترة الفيزيائية. • إفراز مضادات حيوية من طرف جذور النبات.

12- النبات المستعمل في التجربة Ipomoea pes-caprae:

Ipomoea pes-caprae تُصنف هذه النبتة ضمن أنواع النباتات المانجروف التي عادةً ما تستوطن المناطق الساحلية. يُلاحظ إزهارها خلال الفترة الممتدة من أغسطس إلى فبراير. وبصفتها نباتًا خنثى، تتطلب التلقيح الخلطي نظرًا لخاصية عدم التوافق الذاتي لديها.

يُلاحظ أن تلقيحها يتم بشكل فعال بواسطة كل من الحشرات (ميلتوفيليا) والرخويات (مالاكوفيليا). ومع ذلك، يُسجل معدل منخفض في إنتاج الثمار الطبيعي، حيث لا يتجاوز 10%. يُعزى هذا الانخفاض المحتمل إلى عدة عوامل، منها فقدان حبوب اللقاح عبر التلقيح الذاتي غير

المثمر، فضلاً عن الطبيعة سريعة التلاشي للأزهار، وتعرضها للافتراس ومتطلباتها الغذائية المحددة. تتسم بذورها بأنها غير ماصة للماء، وتُظهر قابلية عالية للإنبات، ما لم تُدفن تحت الرمال. في المقابل، تتعرض البذور المعرضة بشكل مباشر لمياه البحر للتحلل والتآكل بمرور الوقت.

تسهم عدة عوامل في التحكم في حجم جماعات نبات قدم الماعز، أهمها انخفاض إنتاج الثمار، وموت نسبة من البذور والشتلات نتيجة التعفن أو دفنها بالرمال، إلى جانب ضيق المساحات المناسبة للنمو والتظليل الناتج عن النباتات القائمة.

يتكاثر النبات أيضًا خضريًا من خلال تجزؤ الأغصان، التي تتفتت إلى أجزاء بفعل العواصف، ثم تُحمل بواسطة المياه وتُجرف بفعل الأمواج إلى مواقع جديدة، حيث يمكنها الاستقرار والنمو. [61]

12- 1 **التصنيف العلمي لنبات** Ipomoea pes-caprae:

- **الاسم العلمي**:Ipomoea pes-caprae (L,B,Br)
- **الاسم الشائع**: مجد الصباح الشاطئي Beach morning-glory
- **العائلة**: المحمودية (مجد الصباح)Convolvulaceae Morning-glory
- **النطاق**: نبات محلي، معروف أيضا في مناطق استوائية أخرى حول العالم.
- **الجزر التي ينتشر فيها**: جينوفيسا، إيزابيلا، مارشينا، سانتا كروز، الجزر الصغيرة.
- **الموئل**: **المنطقة** الساحلية Coastal zone[62]

12-2 وصف نبات Ipomoea pes-caprae:

Ipomoea pes-caprae هو نبات عشبي زاحف ينمو عادةً على شواطئ البحار. يتميز بامتلاكه سيقانًا طويلة وممتدة.، حيث تتكون الجذور عند العقد. تتخذ الأوراق البسيطة شكلاً بيضاوياً رباعي الزوايا أو مستديراً، ويبلغ قياسها من 2.5 سم إلى 10 سم، وتستند على أعناق رفيعة. تظهر الأزهار في تجمعات تتراوح بين زهرة واحدة وثلاث زهرات؛ تتميز الكؤوس الخمسة بشكل بيضاوي غير حاد، بينما يصل طول قمع الزهرة إلى حوالي 3–5 سم. تنتج النبتة كبسولات نافرة يبلغ قطرها حوالي 1.2 سم، تحتوي هذه الكبسولات على بذور مشعرة تتفتت بسهولة. [63]

هذا النبات الملحي يتميز بقدرته الفائقة على التأقلم مع الظروف البيئية القاسية، بما في ذلك تحمل مستويات عالية من ملوحة مياه البحر والجفاف. بناءً على هذه الخصائص، يُعد هذا النبات خيارًا شائعًا في برامج إعادة التأهيل البيئي للمناطق الساحلية والجزر المتدهورة، لا سيما في الأقاليم الاستوائية وشبه الاستوائية. [64]

تُظهر النباتات الملحية بشكل عام قدرة تحمل ملحوظة للمعادن الثقيلة، ويعزى ذلك جزئيًا إلى آليات فسيولوجية مشتركة تمكنها من التعامل مع كل من الملوحة والمعادن. يُفترض أن قدرة هذه النباتات على تخليق مواد عضوية ذائبة متوافقة تسهم في مقاومتها للمعادن الثقيلة. إحدى السمات الفسيولوجية المميزة للنباتات الملحية هي تراكم الأملاح بتراكيز مرتفعة داخل خلاياها وأنسجتها. [65]

نُصنف هذا النبات كمتسلق، يتميز بسيقان طويلة ونظام جذري عميق، مما يمنحه قدرة استثنائية على تحمل البيئات الملوحة والهواء المشبع بالملح. علاوة على ذلك، يضطلع بدور بيئي مهم كعامل مثبت للرمال. وقد كشفت الدراسات التي أجريت على تحمل هذا النبات للأملاح في أنظمة الزراعة المائية عن أن هذه الأنظمة توفر ظروفًا مثالية لنمو الجذور والبراعم.

يُعرف هذا النبات بعدة أسماء شائعة، منها "قدم الماعز" و"مجد الصباح الشاطئي". اسمه العلمي هو Ipomoea pes-caprae (L, B, Br). ينتمي إلى الفصيلة المحمودية (Convolvulaceae)، التي تضم أكثر من 200 نوع موثق، ويُصنف كنبات زاحف أو متدل، ويلعب دورًا فعالًا في تثبيت الرمال. تؤكد الأبحاث والدراسات المكرسة لقدرة هذا النبات العشبي على تحمل الملوحة أنه مرشح واعد للاستخدام في البيئات شديدة الملوحة. [66]

الشكل (08): صورة توضح نبات Ipomoea pes-caprae

الفصل الثالث:

طرق وأدوات

1-تقديم منطقة الدراسة:

تتمركز ولاية الوادي في الجزء الشمالي الشرقي من الصحراء الجزائرية على بُعد مسافة تُقدّر بحوالي 630 كيلومترًا من العاصمة الوطنية. وتبلغ مساحتها التقريبية 44,585 كيلومترًا مربعًا. يحدها شمالاً ولايات تبسة وخنشلة وبسكرة، وجنوبًا ولاية ورقلة، وغربًا ولايتا الجلفة وبسكرة، بينما تتقاسم حدودها الشرقية مع الجمهورية التونسية، يُعرف سكان هذه المنطقة بقدرتهم الفائقة على التكيف مع قسوة المناخ المحيط بهم، وببراعتهم في استغلال الموارد المتاحة والمساحات الشاغرة لتحقيق أقصى درجات الفائدة. وقد ساهمت هذه القدرة على مواجهة التحديات وتطوير الحلول المبتكرة في دفع الولاية إلى موقع رائد ضمن قطاعات اقتصادية متعددة، يأتي في مقدمتها القطاع الزراعي، تتجسد هذه الريادة الزراعية في تطبيق استراتيجيات فريدة لإنشاء الواحات، المعروفة محليًا باسم " الغوط"، وهي منظومة زراعية مصنفة عالميًا ضمن قائمة التراث الزراعي. يهدف هذا النظام بشكل أساسي إلى إنتاج التمور، وخاصة صنف "دقلة النور الرطب" الذي يتميز بجودته العالية. بالإضافة إلى التمور، تشمل قائمة المحاصيل الزراعية الناجحة في المنطقة البطاطا والزيتون، إلى جانب الفول السوداني والثوم ومجموعة متنوعة من المنتجات الزراعية الأخرى. يعكس هذا التنوع منهجًا فعالًا في تطوير محاصيل عالية الجودة، مما يبرز التجربة الزراعية المتميزة في الولاية. [67]

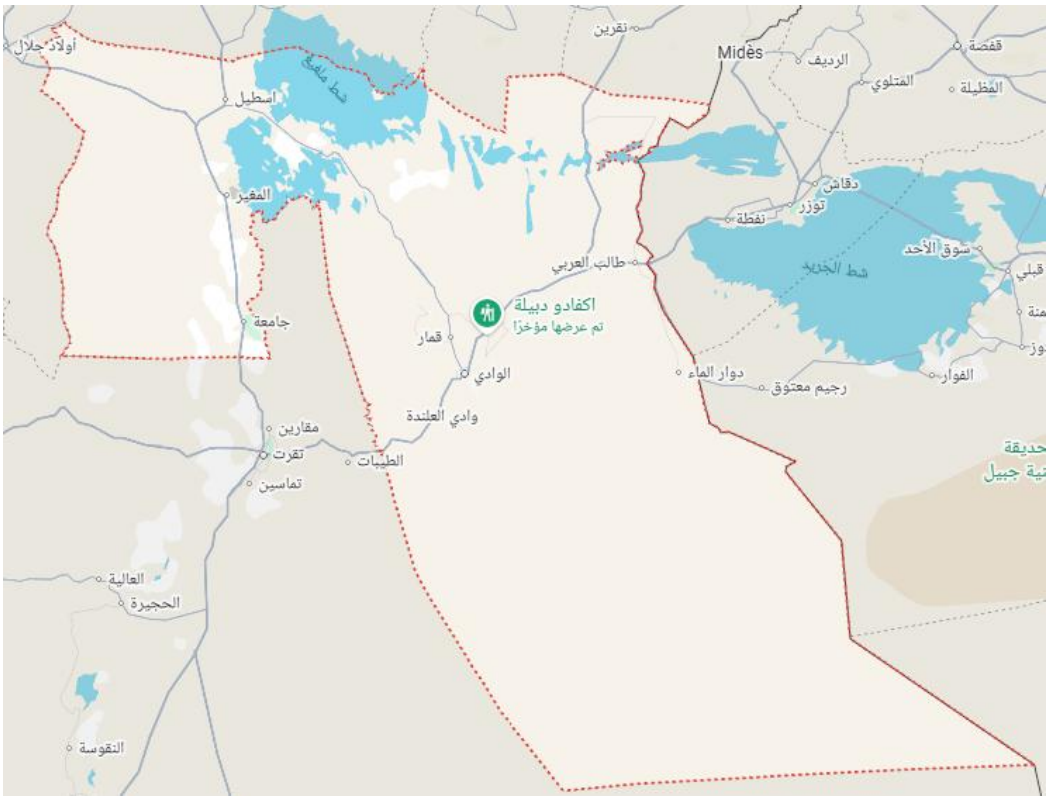
2- محطة التصفية بالوادي ONA(الديوان الوطني للتطهير) STEP 1

2-1-الموقع الجغرافي :

تتولى محطة معالجة المياه المستعملة بالوادي، الواقعة شمال شرق بلدية كونين، استقبال المياه المستعملة من عدة بلديات مجاورة، من بينها البياضة وكونين. تتموضع بلدية كونين في الجزء الشمالي من ولاية

الوادي، حيث تحدها من الشمال بلدية تغزوت، ومن الجنوب بلدية الوادي. أما من الجنوب الشرقي، فيفصلها وادي العلندة، في حين تحدها من الشرق بلدية حساني عبد الكريم، ومن الغرب بلدية ورماس. تشغل محطة المعالجة مساحة تقدر بـ 100 هكتار، ويتميز موقعها بشكل هندسي مستطيل، يتجه محوره الرئيسي من الجنوب إلى الشمال، وتتحدد أبعاده على النحو الآتي:

- ✓ العرض: يتراوح بين 500 و800 متر. الطول: يتراوح بين 500 و1400 متر. [66]



الشكل (09): خريطة توضح الموقع الجغرافي لولاية الوادي. المصدر (google Earth)

2-2-وصف محطة التصفية STEP 1 :

تتولى محطة معالجة المياه المستعملة استقبال التدفقات المائية من أربع بلديات رئيسية، وهي الوادي، الرباح، كونين، والبياضة. وقد بلغ مجموع التعداد السكاني لهذه البلديات في عام 2018 ما يقارب

486,170 نسمة. وتشكل مسألة استمرارية قدرة المحطة على العمل بفعالية ضمن تصميمها الحالي حتى عام 2023 محوراً للبحث والتقييم. [66]

الشكل (10): الموقع الجغرافي لمحطة مياه الصرف الصحي بكونين. المصدر (google Earth)

3- **البروتوكول التجريبي** protocole expérimentale

- **العتاد التجريبي المستعمل:**

يتألف الجهاز التجريبي من حوضين؛ حيث خصصنا الحوض الأول منهما لاحتواء الماء الخام فقط، بينما زُود الحوض الثاني بالماء الخام بالإضافة إلى النبتة.

- ✓ الحوض الأول: الماء الخام فقط (شاهد).
- ✓ الحوض الثاني: مملوء بالماء الخام بالإضافة للنبتة.

الشكل (11): العتاد التجريبي المستعمل

4- تحديد الوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة:

4-1-تحديد الأس الهيدروجيني pH ودرجة الحرارة T والناقلية الكهربائية E_C:

لغرض تحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، استُخدم جهاز رقمي متعدد المعايير (Multiparameter Meter). وقد أتاح هذا الجهاز قياس الأسّ الهيدروجيني (pH)، ودرجة الحرارة (T)، والتوصيلية الكهربائية (E_C).

من مزايا هذا الجهاز الرقمي، سهولة استخدامه، مما يتيح جمع البيانات بسرعة وفعالية. كما يوفر مستوى من الدقة يُعد ملائماً للقياسات الميدانية والمخبرية على حد سواء.

- **المبدأ**: تُعد درجة الحرارة من المحددات البيئية الأساسية التي تؤثر في جوانب متعددة، وذلك من خلال تأثيرها على تركيز الأكسجين المذاب، وإسهامها في معدلات تحلل المواد العضوية، فضلاً عن تحفيزها لنمو الكائنات الطفيلية المسببة للأمراض. ومن جانب آخر، تُسهم الارتفاعات الحرارية في دعم تكاثر الطحالب المزرقة، المعروفة بقدرتها على إنتاج مركبات ذات سمية.

- بينما يمثل الأس الهيدروجيني (pH) مؤشراً حيوياً يعكس تركيز أيونات الهيدروجين ضمن الأوساط المائية أو المحاليل الكيميائية المتنوعة، ويُوظف هذا المقياس لتحديد تصنيف الوسط من حيث كونه حمضياً، قاعدياً، أو متعادلاً.
- كما تُعرف الناقلية الكهربائية (E_C) كمؤشر يعكس محتوى الأملاح والأيونات الذائبة في الماء، الأمر الذي يسهم في تقييم مستوى التمعدن وجودة المياه بشكل عام.
- **الهدف**: تحديد حموضة، حيادية أو قاعدية الماء. يتم إجراء القياس باستخدام جهاز قياس pH (pH-Mètre 5en1) المحمول.

- **طريقة العمل:**

- نقوم بأخذ عينة ما يقارب 100 مل من الماء المراد تحليله.
- غسل القطب بالماء المقطر.
- الضغط عدة مرات حتى تظهر الوحدة المطلوبة على الشاشة.
- نغمس الجزء الحساس من الجهاز في عينة الماء المراد تحليلها.
- انتظار استقرار القيم الظاهرة على الشاشة.
- قراءة وتسجيل قيم كل من pH، T، Ec .

4-2 تحديد كمية الأكسجين المنحل O_2:

المبدأ: تتأثر تراكيز الأكسجين الفعلية بعوامل عدة تشمل درجة الحرارة والضغط الجوي، إلى جانب استهلاك الأكسجين الناجم عن الأنشطة الميكروبيولوجية. وفي سياق تحديد تركيز الأكسجين في الوسط المائي، يُعتمد حاليًا على المنهجية الموصى بها وفقًا للمعايير المعمول بها، حيث أُجري قياس الأكسجين المنحل باستخدام جهاز oxy mètre (HACH)

✓ **طريقة العمل:**

- نفتح جهاز oxy mètre (HACH)
- نقوم بغسل القطب بالماء المقطر.
- نأخذ حوالي 100 مل من الماء المراد تحليله.
- نغمس القطب في البيشر.
- نتركه ليستقر لبعض الوقت
- نقوم بقراءة تركيز الأكسجين المذاب.
- نغسل القطب الكهربائي جيدا بعد كل استخدام بالماء المقطر.
- وتعطي النتيجة مباشرة بوحدة mg/l.

3-4 تحديد الطلب الكيميائي للأكسجين DCO:

يهدف هذا التحليل إلى قياس الطلب الكيميائي للأكسجين (DCO)، والذي يوفر بدوره معلومات حيوية حول الأداء التشغيلي لأحواض التهوية. كما يُسهِّل تحديد الحجم الأمثل للعينة اللازمة لإجراء اختبار الطلب البيوكيميائي الأوكسجيني على مدى خمسة أيام (DBO_5).

✓ **المبدأ**:

- تتضمن هذه العملية أكسدة كيميائية للمواد المختزلة المتوفرة في الماء. يتم ذلك باستخدام كمية فائضة من ثنائي كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$) ضمن وسط حمضي، والذي يتم تحضيره بواسطة حمض الكبريتيك (H_2SO_2). كما يتطلب التفاعل وجود كبريتات الفضة ($AG_2\ SO_4$) وكبريتات الزئبق ($HgSO_4$).

✓ **الأجهزة والأدوات المستعملة:**

- جهاز spectrophotomètre

- Réacteur (CR 2200)

- تكييف أنبوب DCO مع قياس الطيف الضوئي بحجم 2مل بواسطة ماصة.

✓ **المتفاعلات:**

- كاشف DCO (LCK 314) بقياس 15إلى 150ملغ/لتر،لقياس التراكيز المنخفضة للطلب الكيميائي للأكسجين.

- **طريقة العمل:**

- نرج أنبوب الاختبار جيدا لإعادة بقايا العينة.

- نضيف 2 مل من العينة الى أنبوب كاشف DCO.

- نغلق الأنبوب بإحكام باستخدام السدادة اللولبية.

- نخلط محتوى الأنبوب بعناية وبقوة بحيث نمسك الأنبوب دائما من الجهة العلوية (جهة السدادة).

- نسخن الأنبوب لمدة 20 دقيقة عند درجة حرارة 148 درجة مئوية داخل جهاز التفاعل الحراري thermo - réacteurالمزود بحامل أنابيب.

- نخرج الأنبوب الساخن من جهاز التفاعل وندعه يبرد في الحامل المخصص.

- بعد مرور 10 دقائق، نحرك الأنبوب مجددا ونعيده إلى الحامل حتى يبرد إلى درجة حرارة الغرفة (مدة التبريد لا تقل عن 30دقيقة). لا يستخدم التبريد الماء البارد.

- نقوم بقياس العينة باستخدام جهاز الفوتومتر (تبقى القيمة المقاسة مستمرة لفترة طويلة).

- تقاس النتيجة مباشرة بوحدة mg/l

4-4- تحديد المواد الصلبة العالقة MES

- **هدف التحليل**: تحديد محتوى المياه العالقة في المياه المستعملة.
- **المبدأ**: يتم ترشيح الماء ثم يحدد وزن المواد المحتجزة من خلال الفرق في الكتلة قبل وبعد الترشيح.
- **الأدوات والأجهزة المستعملة**:

- ورق ترشيح زجاجي بقطر 47µm.

- وحدة الترشيح بالشفط (تحت التفريغ).

- مضخة شفط

- فرن تجفيف بدرجة حرارة 105 درجة مئوية..

- مجفف (Le dessiccateur).

- **الصيغة**: $M\ E\ S = (P_1 - P_0)/V \times 1000000$

حيث:

P_0 : وزن ورقة الترشيح وهي فارغة

P_1 : وزن ورقة الترشيح بعد جمع المواد العالقة

V : حجم العينة المستخدمة

- **طريقة العمل:**

- نقوم بترطيب ورقة الترشيح بالماء المقطر

- نضع ورقة الترشيح داخل فرن التجفيف على درجة حرارة لبعض دقائق بشكل مسبق.

- نترك ورقة الترشيح لتبرد داخل المجفف لبعض دقائق بعد التجفيف.

- نزن ورقة الترشيح باستخدام الميزان

- نقوم بتثبيت ورقة الترشيح بحيث يكون الجانب الأملس إلى الأسفل داخل وحدة الترشيح وتوصيلها بمضخة التفريغ.

- نقوم بترشيح حجم V (مل) من العينة ثم نغسل المخبار المدرج بحوالي 20مل من الماء المقطر ونغسل الجدران الداخلية للقمع بحجم إضافي قدره 20مل من الماء المقطر.

- ننزع ورقة الترشيح من القمع بحذر باستخدام ملقط ذو أطراف مسطحة.

- نضع ورقة الترشيح في فرن التجفيف عند درجة الحرارة (105 درجة مئوية) لمدة ساعتين.

- نترك الورقة للتوازن في درجة حرارة الغرفة داخل المجفف دون تعريضها للتلوث، ثم نزنها كما في السابق (حيث يمثل هذا الوزن P_1 بالميليغرام).

4-5 تحديد الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5

- **المبدأ**: نضع عينة مائية في وعاء مُعين، وتُحتضن داخل حاضنة حرارية (ثرموستات) للحفاظ على درجة حرارة ثابتة. تهدف هذه العملية إلى تقدير كمية الأكسجين الذائب التي تستنفذها الكائنات الدقيقة بغرض تحليل المواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي في بيئة هوائية، ويستمر هذا القياس لمدة خمسة أيام. في سياق هذه العملية، تستهلك الكائنات الدقيقة الموجودة الأكسجين الذائب، والذي يُعوض باستمرار بواسطة الأكسجين الجوي الموجود في الحيز العلوي للقارورة. يؤدي هذا الاستهلاك والتعويض المتتالي إلى حدوث انخفاض في الضغط فوق سطح العينة. يُسجل هذا الانخفاض في الضغط بدقة باستخدام جهاز OXI TOP.

- **الأجهزة والأدوات المستعملة:**

- ثلاجة تحافظ على درجة حرارة ثابتة تبلغ 20 درجة مئوية.

- قوارير تحضين بسعة 510 مل مزودة بسدادات مخروطية محكمة الإغلاق.

- محرك مغناطيسي

- محرك قضيب التحريك المغناطيسي.

- أقراص هيدروكسيد البوتاسيوم KOH

- **طريقة العمل:**

- نضع قضيب التحريك المغناطيسي داخل زجاجة DBO.

- نضيف الحجم المطلوب Vمن العينة إلى زجاجة DBO.

- نضع حامل القاعدة القوية (المصنوع من المطاط) على فوهة الزجاجة.

- نضيف 3أو4 أقراص من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH على حامل القاعدة القلوية مع الحرص على عدم سقوط أي كمية من KOH في العينة المائية المراد تحليلها.

- نغطي الزجاجة بإحكام استخدام حساس DBO Sensor.

- نضبط الحساس DBO وفقا لنطاق المطلوب.

- نضغط على الزرين A وB في نفس الوقت لتغيير البرمجة.

- نضغط على الزر A لضبط النطاق.

- نضغط على الزر B لتسجيل القيمة يوميا خلال فترة التحضين.

✓ **نقرأ القيمة بعد 5أيم للطلب البيوكيميائي للأكسجين بالعلاقة التالية:**

DBO5 (mg/l) = Lecteur × Facteur

4-6 تحديد تركيز النترات NO_3^-

- **الأجهزة والأدوات المستعملة**:

-جهاز قياس الطيف الضوئيSpectrophotomètre HACK

-ماصة.

- **المتفاعلات**:

-كواشف النيترات LCK339 بمدى قياس يتراوح بين 1إلى60(1/mg).

- **طريقة العمل**:

- نفتح غطاء أنبوب الكاشف.

- نضيف 1مل من العينة إلى الأنبوب.

- نضيف 0.2 مل من المحلول A

- نعيد إغلاق أنبوب الكاشف بإحكام.

- نقوم بمزج محتويات الأنبوب جيدا.

- نترك الأنبوب في وضع الراحة لمدة 15 دقيقة.

- نضع أنبوب الكاشف في جهازHACH لقياس الطيف الضوئي ونقرا النتيجة.

- تعطى النتيجة مباشرة بوحدة mg/1.

4-7 تحديد تركيز النتريت NO_2^-

- **الجهاز المستعمل:**

مطياف امتصاص الأشعة المرئية فوق البنفسجية Spectrophotomètre (من نوع HACH)

- **الأدوات المستعملة:**

- ماصات بسعة 2مل.

- **الكواشف**:

• **الكواشف**:

- كواشف النتريت LCK341 بنطاق قياس يتراوح من 2 الى 20 ملغ /ل مخصصة للتركيزات المنخفضة.

• **طريقة العمل:**

- نفتح غطاء أنبوب الكاشف.

- نفتح غطاء الكاشف الداخلي.

- نضيف 2 مل من العينة.

- نعيد تدوير الغطاء ونغلق أنبوب الكاشف بإحكام.

- نمزج محتوى الأنبوب جيدا.

- نترك الأنبوب لمدة 10 دقائق دون تحريكه.

- نضع أنبوب الكاشف في جهاز Spectrophotomètre HACHونقرا النتيجة.

- تعطى النتائج مباشرة بوحدة mg/l.

5- أخذ العينات:

تتسم عملية جمع عينات المياه بدقتها البالغة، مما يستدعي اهتمامًا كبيرًا نظرًا لتأثيرها المباشر على مصداقية النتائج التحليلية وعلى سياقات تفسيرها. يتوجب أن تتميز العينة المأخوذة بتجانسها، وأن تمثل الوسط المدروس تمثيلاً دقيقًا، مع ضمان عدم إحداث أي تغيير في الخصائص الفيزيائية-الكيميائية للمياه خلال عملية الجمع، وذلك يشمل الغازات الذائبة والمواد العالقة وغيرها. كما يجب أيضا أن يتم تجميع العينات في قوارير بلاستيكية سبق إخضاعها لعمليات تنظيف وغسيل شاملة، ومن ثم شطفها بالماء لضمان جاهزيتها.

الفصل الرابع:

نتائج ومناقشة

تمهيد:

بعد عرض المنهجية المعتمدة للتحاليل الفيزيائية والكيميائية في هذه الدراسة، يُخصص هذا القسم لعرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها لتقييم كفاءة نبات Ipomoea pes-caprae في معالجة المياه المستعملة.

وقد أُجريت التحاليل على عينات المياه الخام والمياه المعالجة بالنبات عند ثلاث نقاط زمنية محددة: (اليوم الأول، بعد 15 يومًا، وبعد 30 يومًا)، وذلك بهدف تتبع التغيرات في مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية.

وفي ضوء النتائج المتحصل عليها تم التوصل إلى ما يلي:

الجدول (6): نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة عند بداية التجربة (اليوم الأول).

التحاليل	الماء الخام	النبتة + الماء الخام
الدليل الهيدروجيني pH	7.78	6.9
درجة الحرارة T (°C)	25	23.5
الأكسجين المنحل O_2 dissous (mg/l)	0.9	2.4
المواد الصلبة العالقة MES (mg/l)	436	73
الناقلية الكهربائية EC (ms/cm)	6.21	7.85
الطلب الكيميائي للأكسجين DCO (mg/l)	45.41	27.07
الطلب البيوكيميائي للأكسجين DPO_5 (mg/l)	49.11	39.99
النتريت NO_2^- (mg/l)	0.077	0.036
النترات NO_3^- (mg/l)	10.91	5.95

بعد 15 يوماً من بداية التجربة، أُعيدت التحاليل لمتابعة تطور خصائص المياه وتقييم تأثير النبات على المؤشرات المدروسة وتم التوصل إلى:

الجدول (7): نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة بعد 15 يوما

التحاليل	الماء الخام	النبتة + الماء الخام
الدليل الهيدروجيني pH	7.65	6.75
درجة الحرارة T (°C)	25.7	23.6
الأكسجين المنحل O_2 dissous (mg/l)	1.2	2.8
المواد الصلبة العالقةMES (mg/l)	515	61
الناقلية الكهربائية EC (ms/cm)	5.39	6.89
الطلب الكيميائي للأكسجين DCO (mg/l)	516	195
الطلب البيوكيميائي للأكسجين DPO_5 (mg/l)	418.2	156
النتريت NO_2^- (mg/l)	0.112	0.045
النترات NO_3^- (mg/l)	57.5	25.2

ولإبراز التغيرات النهائية المسجلة خلال فترة الدراسة، يوضح **الجدول** (8) النتائج المتحصل عليها بعد 30 يوماً من المعالجة بالنبات:

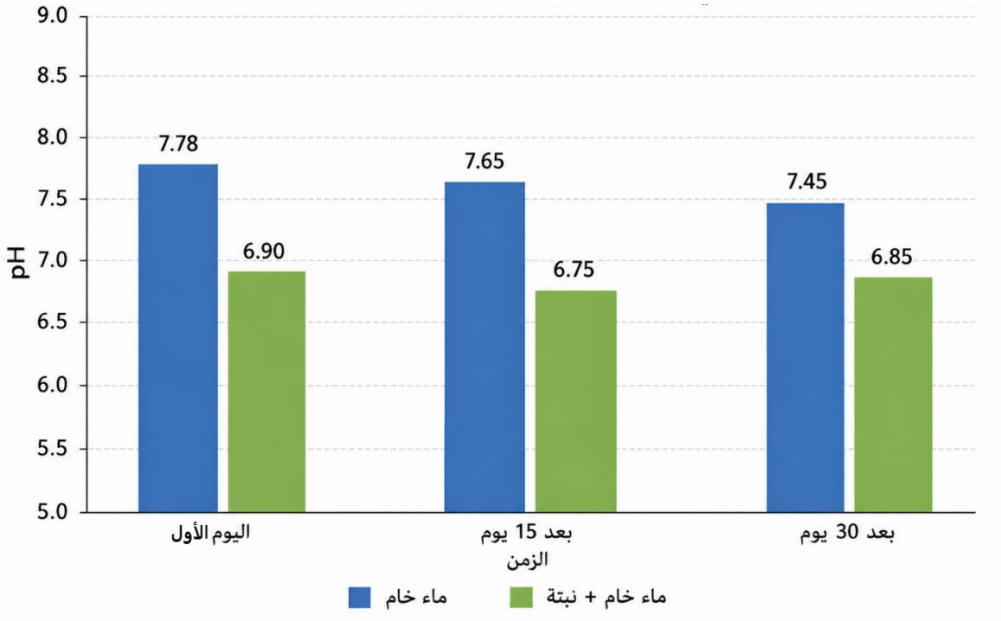
الجدول (8): نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة بعد 30 يوما

التحاليل	الماء الخام	النبتة + الماء الخام
الدليل الهيدروجيني pH	7.45	6.85
درجة الحرارة T (°C)	27	25.2
الأكسجين المنحل O_2 dissous (mg/l)	0.8	2.4
المواد الصلبة العالقة MES (mg/l)	226	35
الناقلية الكهربائية EC (ms/cm)	6.39	7.78
الطلب الكيميائي للأكسجين DCO (mg/l)	80.93	68.37
الطلب البيوكيميائي للأكسجين DPO_5 (mg/l)	180	60.3
النتريت NO_2^- (mg/l)	0.415	0.105
النترات NO_3^- (mg/l)	52.5	15.20

1-مناقشة النتائج:

✓ **الدليل الهيدروجيني** PH:

من خلال الشكل (12) لتطور الدليلي الهيدروجيني نلاحظ ان قيمة pH انخفضت تدريجيا في الماء الخام من 7.78 في اليوم الأول إلى 7.65 بعد 15يوما ثم إلى 7.45 بعد 30 يوما، كما انخفضت في الماء المزروع بالنبتة من 6.90 إلى 6.75 ثم استقرت تقريبا عند 6.85 بعد 30 يوما



الشكل (12): أعمدة بيانية تبين تطور pH

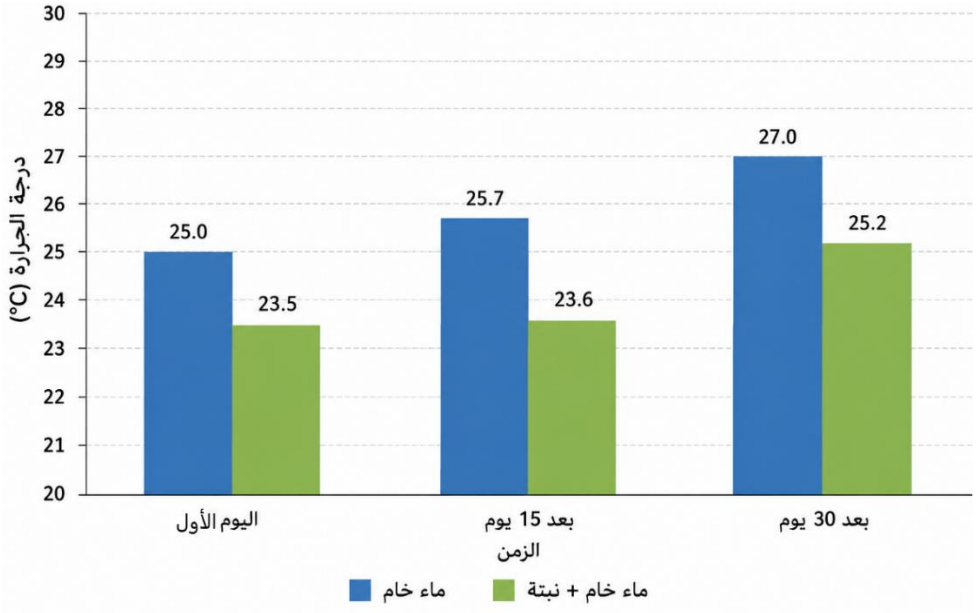
التفسير: هناك عدة عوامل تفسر انخفاض في الدليل الهيدروجيني بعد إضافة النبتة إلى الماء الخام مقارنة بالماء الخام فقط (الشاهد) منها: إنتاج CO_2 من الوسط مما يقلل تكوّن حمض الكربونيك أكسدة النتريت إلى نترات والأكسدة بفعل الطلب الكيميائي للأكسجين (DCO) حيث ينتج عنها CO_2 مسببا حموضة في الوسط، ويرجع سبب ذلك إلى: [67] [68]

- إنتاج أيونات H^+،H_3O^+ ويتم ذلك من طرف النبات لتعويض بعض الكاتيونات الداخلة في التغذية المعدنية للنبات. [69]
- إنتاج بعض الإفرازات (أحماض عضوية) من طرف جذور النبات... [70]

✓ **درجة الحرارة**: T

من الشكل رقم (13): نلاحظ ارتفاعًا تدريجيًا في درجة الحرارة لكلا الوسطين على مدار فترة التجربة. فقد سجل الماء الخام زيادة من 25.0 °C في اليوم الأول إلى 25.7 °C بعد 15 يومًا، وصولًا إلى27.0 °C بعد 30 يومًا. في المقابل ارتفعت درجة الحرارة في الماء المزروع بالنبتة من 23.5 °C إلى 23.6 °C، ثم بلغت 25.2 °C.

وقد لوحظ أن درجات الحرارة في الماء المزروع بالنبتة كانت أقل باستمرار مقارنة بالماء الخام طوال مدة الدراسة.

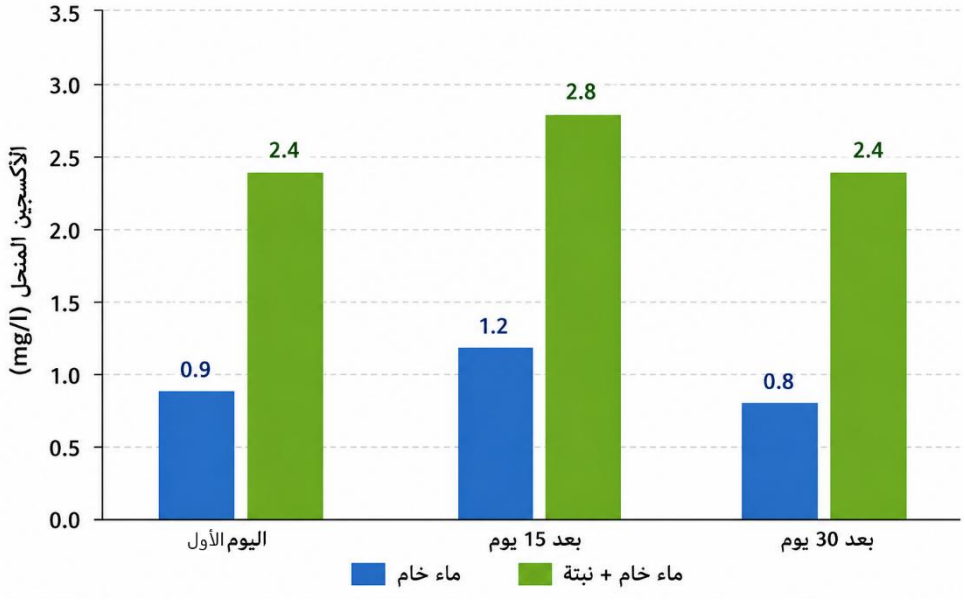


الشكل (13): أعمدة بيانية تمثل تطور درجة الحرارة

التفسير: يُفسَّر ارتفاع درجة الحرارة في الأحواض المعالجة بزيادة النشاط البيولوجي داخل الوسط، خاصةً تزايد أعداد البكتيريا الدقيقة التي تقوم بعمليات التحلل والأكسدة، مما يؤدي إلى حدوث تفاعلات كيميائية وبيوكيميائية مطلقة للحرارة. [9]

- ✓ **تغيرات الأكسجين المنحل O_2**

من الشكل رقم (14): نلاحظ أن تركيز الأكسجين المنحل كان أعلى في الماء المعالج بالنباتات مقارنة بالماء الخام على مدار جميع مراحل التجربة. ففي الماء الخام، ارتفع التركيز من 0.9 mg/L إلى 1.2 mg/L بعد 15 يومًا، ثم انخفض إلى 0.8 mg/L بعد 30 يومًا. في المقابل، سجل الماء المعالج بالنباتات ارتفاعًا من 2.4 mg/L إلى 2.8 mg/L، ثم استقر عند قيمة 2.4 mg/L.

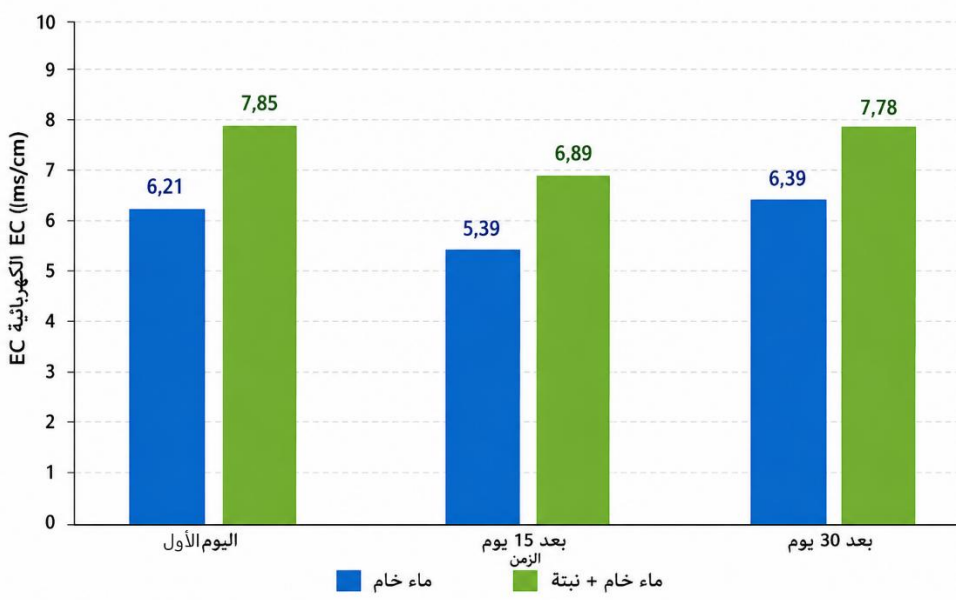


الشكل (14): أعمدة بيانية تمثل الأكسجين المنحل O_2

التفسير: يُحدد مستوى الأكسجين المذاب ضمن البيئات المائية بفعل النشاط الأيضي للكائنات النباتية والبكتيرية، بالإضافة إلى عمليات انتقال الأكسجين التي تُنتجها التهوية وتوزيعه في عمق الوسط المائي. تُظهر الملاحظات ازدياداً في تركيز الأكسجين المذاب عند وجود النباتات، مقارنةً بالبيئات المائية الخالية من الزراعة أو المياه الأولية (الشاهد). تُعزى هذه الظاهرة إلى الآلية الفسيولوجية للنباتات في نقل الأكسجين من الغلاف الجوي عبر الأوراق إلى السيقان ومن ثم إلى الجذور، مما يؤدي إلى زيادة ملحوظة في مستويات الأكسجين ضمن هذه الأحواض ويُسهم في تحسين جودة المياه بشكل عام. علاوةً على ذلك، يتناسب مستوى الأكسجين المذاب تناسباً عكسياً مع الحمل العضوي للمياه المستخدمة. فارتفاع نسبة المواد العضوية يُسفر عن استهلاك كميات أكبر من الأكسجين بواسطة الكائنات الدقيقة، الأمر الذي يؤثر سلباً على تركيز الأكسجين. [71]

✓ **تطور الناقلية الكهربائية EC**:

من الشكل رقم (15): نلاحظ أن قيم الناقلية الكهربائية انخفضت بعد 15 يومًا، ثم ارتفعت مجددًا بعد 30 يومًا في كلا الوسطين المدروسين. تحديدًا في الماء الخام، انتقلت القيم من 6.21 إلى 5.39 ms/cm ثم إلى 6.39 ms/cm. وفي المقابل، سجل الماء المزروع بالنبتة تغيرًا من 7.85 إلى 6.89 ms/cm ثم إلى 7.78 ms/cm. لوحظ أيضًا أن قيم الناقلية الكهربائية في الماء المزروع بالنبتة كانت أعلى باستمرار مقارنة بالماء الخام على مدار فترة التجربة بأكملها.

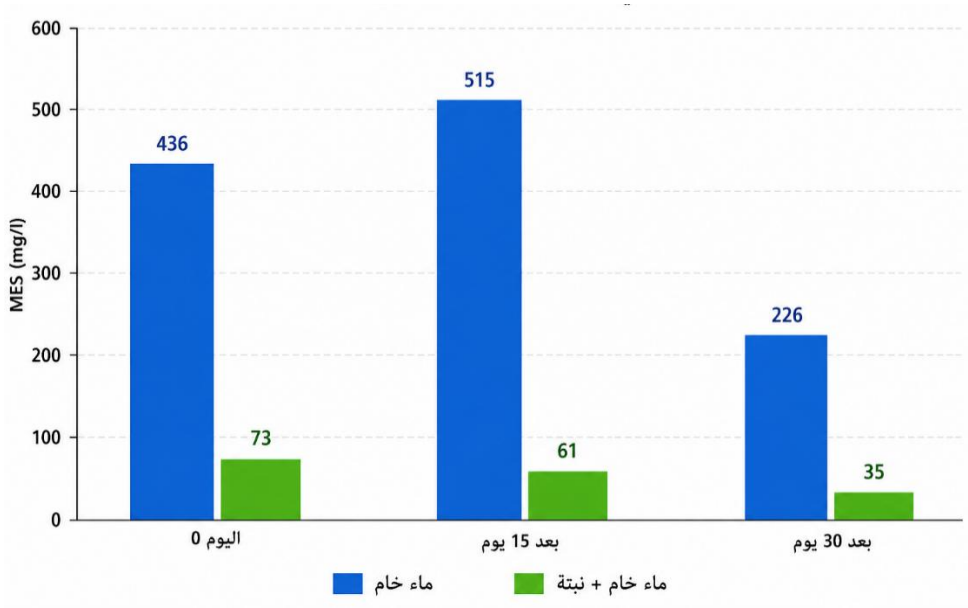


الشكل (15): أعمدة بيانية تمثل اتطور الناقلية الكهربائية EC

التفسير: تتوافق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسة (FINLAWSON et al,1983)، ويمكن تفسير الارتفاع الملحوظ في الناقلية الكهربائية ضمن هذا السياق بتحول المكونات العضوية إلى مواد معدنية وأيونات منحلة في الوسط المائي، مما يترتب عليه تعزيز قدرة المحلول المائي على التوصيل الكهربائي. وبناءً على ذلك، تُعتبر هذه التغيرات ضمن النطاق المتوقع خلال مراحل المعالجة. [09]

- ✓ **تطور المواد الصلبة العالقة** MES

من الشكل رقم ((16: نلاحظ أن تركيز المواد العالقة (MES) في الماء الخام ظل مرتفعاً طوال مراحل التجربة مقارنة بالماء الذي يحتوي على النبتة. ففي اليوم الأول، سُجل تركيز 436 مغ/لتر في الماء الخام مقابل 73 مغ/لتر في الماء المزروع بالنبتة. وبعد 15 يوماً، ارتفع التركيز في الماء الخام إلى 515 ملغم/لتر، في حين انخفض إلى 61 ملغم/لتر في الوسط المزروع. وبحلول اليوم 30، تراجعت القيم في كلا الوسطين لتصل إلى 226 ملغم/لتر و35 ملغم/لتر على الترتيب.



الشكل (16): أعمدة بيانية تمثل تطور المواد الصلبة العالقة MES

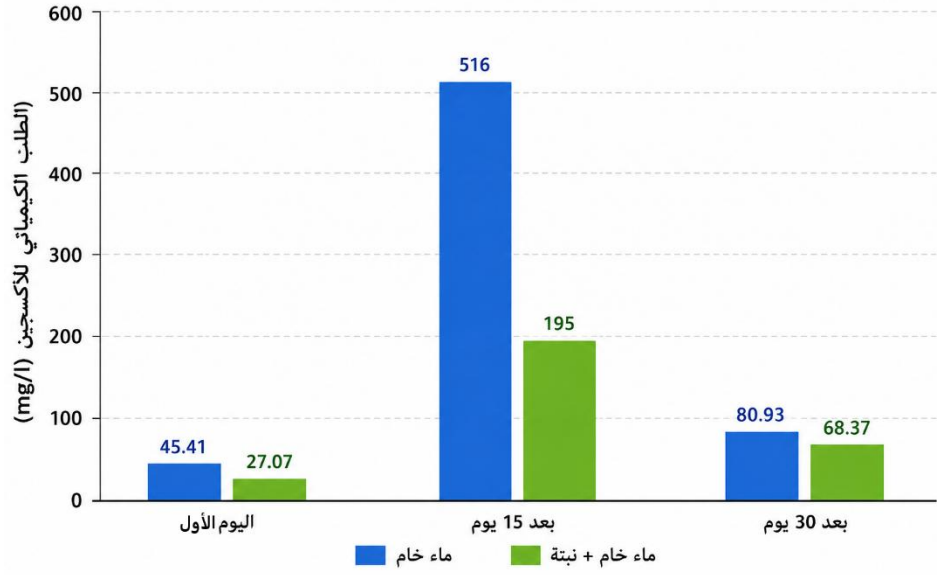
التفسير: إن انخفاض تركيز المواد الصلبة (MES) في المياه المعالجة المختلفة يعود بالأساس إلى المعالجة الفيزيائية، مثل الترشيح [67]. حيث تتضمن هذه العمليات احتجاز المواد الخشنة العالقة، وحجز الجسيمات الدقيقة داخل مسامات المرشحات، أو من خلال التفاعلات الكيميائية كقوى Vander Waals. [72]

لقد لوحظ أن معدل إزالة المواد العالقة في الحوض الذي به النبتة أعلى مما هو عليه في الحوض الذي به ماء الخم فقط (الشاهد). يُفسر ذلك بكفاءة النباتات وقدرتها على ترسيب وترشيح هذه المواد العالقة، وفقًا لما أشار إليه (P LEMOL.2003) [73]

- ✓ **تطور الطلب الكيميائي للأكسجين** DCO

من الشكل رقم (17): نلاحظ أن قيمة الطلب الكيميائي للأكسجين (DCO) في اليوم الأول للتجربة بلغت 45.41 مغ/لتر في الماء الخام، بينما سجلت 27.07 مغ/لتر في الماء المزروع بالنبتة. وبعد مرور 15 يومًا، لوحظ ارتفاع كبير في القيم، حيث وصلت إلى 516 مغ/لتر في الماء الخام و195 مغ/لتر في الماء المزروع بالنبتة. ثم تلت ذلك انخفاضات ملحوظة بعد 30 يومًا لتصل ل 80.93 مع/لتر في الماء الخام، بينما سجلت 68.37 مغ/لتر في الماء المزروع بالنبتة.

كما بقيت قيم DCO في الماء المزروع بالنبتة أقل من الماء الخام خلال جميع مراحل التجربة

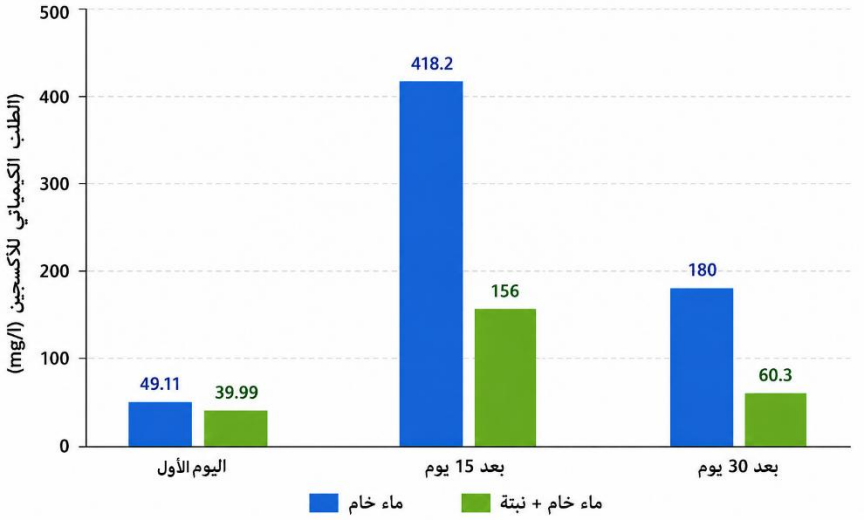


الشكل (17): أعمدة بيانية تمثل تطور الطلب الكيميائي للأكسجين DCO

التفسير: يُعزى هذا الانخفاض إلى التفاعل الحيوي للنبات، حيث يُسهم وجوده في تحسين تهوية الوسط المائي. ويتحقق ذلك عبر نقل الأكسجين من الأجزاء الهوائية (الأوراق) إلى الأجزاء المغمورة (السيقان والجذور). وقد نشّطت هذه الآلية البكتيريا الهوائية، وهي الكائنات الدقيقة المسؤولة عن أكسدة وتحليل المواد العضوية. ونتيجة لذلك، سُجل انخفاض في قيمة الطلب الكيميائي للأكسجين. [09] [73]

- ✓ **تطور الطلب البيوكيميائي للأكسجين** DBO_5

من الشكل رقم (18): لا حضنا في اليوم الأول تقاربٌ في قيم DBO_5 بين العينات المدروسة، حيث بلغت 49.11 مغ/لتر في الماء الخام و39.99 مغ/لتر في الماء المحتوي على النبات. بعد 15 يومًا، ارتفعت هذه القيم بشكل ملحوظ لتصل إلى 418.2 مغ/لتر و156 مغ/لتر على التوالي. تلا ذلك انخفاض بعد 30 يومًا، لتصل القيم إلى 180 مغ/لتر في الماء الخام و60.3 مغ/لتر في الماء المحتوي على النبات.



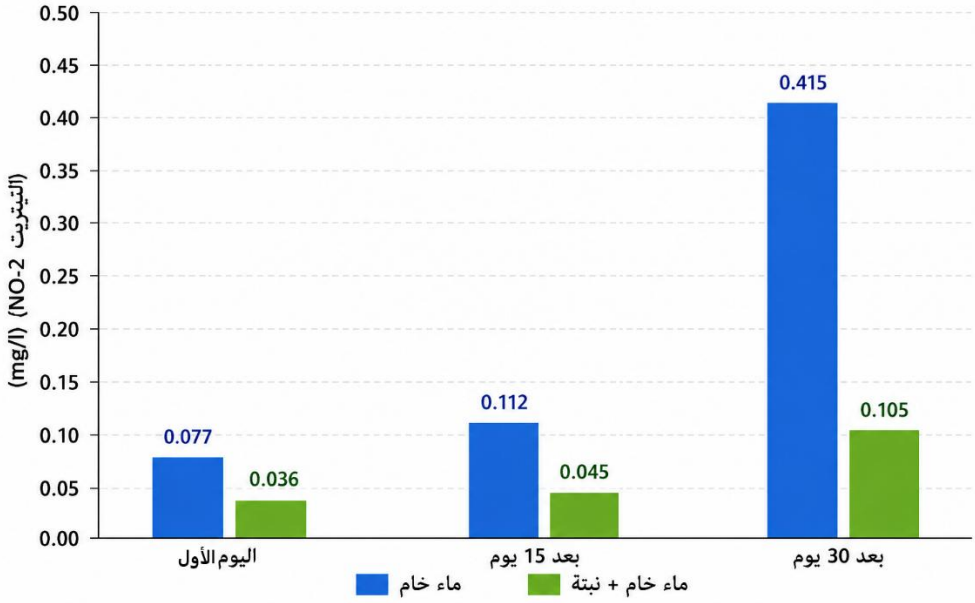
✓ **الشكل (18)**: أعمدة بيانية تمثل تطور الطلب البيو الكيميائي للأكسجين DBO_5

التفسير: يمكن تفسير هذا الانخفاض من خلال آلية تمتلكها النبتة، حيث تقوم بنقل الأكسجين من الجو عبر أجزائها الهوائية وصولاً إلى الجذور، ومن ثم تقوم بتحريره في المنطقة الملاصقة للجذور. هذا الفعل يُسهم في تنشيط البكتيريا الهوائية، والتي تضطلع بمسؤولية أكسدة وتحليل المواد العضوية، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تقليل قيمة الطلب البيوكيميائي للأكسجين. [9]

✓ **تطور النتريت** NO^-_2

من الشكل رقم (19): لاحظنا ارتفاعًا في تركيز النتريت (NO_2^-) على مدار فترة الدراسة في كلا الوسطين. ففي الماء الخام، ازداد التركيز من 0.077 mg/L في اليوم الأول إلى 0.112 mg/L بعد 15 يومًا، ثم بلغ 0.415 mg/L بعد 30 يومًا. بينما في الوسط المزروع بالنبات، ارتفع التركيز من 0.036 mg/L إلى 0.045 mg/L، ليصل إلى 0.105 mg/L.

تجدر الإشارة إلى أن مستويات النتريت في الوسط المزروع بالنبات كانت أقل من تلك المسجلة في الماء الخام في جميع مراحل التجربة المائي.



الشكل (19): أعمدة بيانية تمثل تطور النتريت NO^-_2

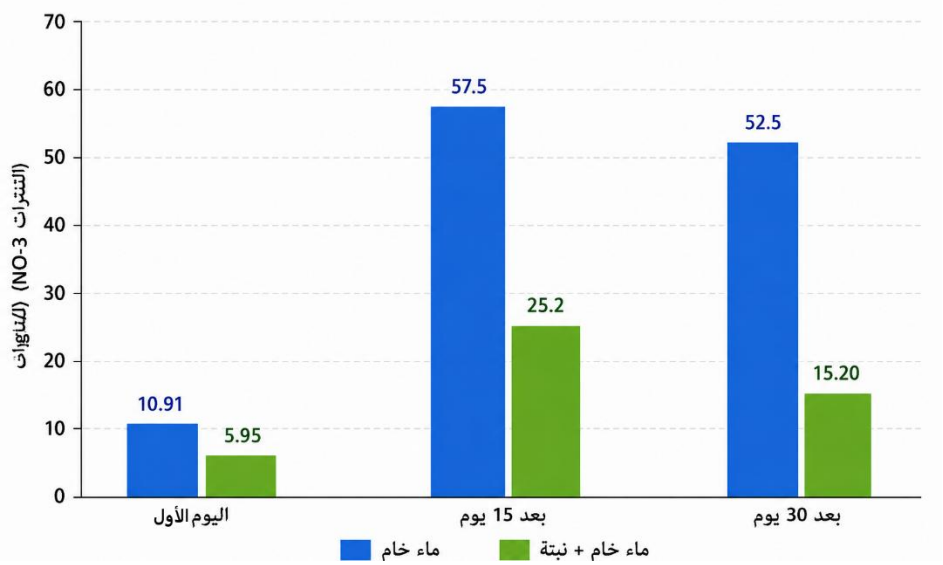
التفسير: يرجع هذا الانخفاض إلى وجود النبتة، التي تُسهم في نقل الأكسجين من الغلاف الجوي عبر أوراقها وسيقانها إلى نظام الجذور. [9]

هذا الإمداد بالأكسجين يُحفز نشاط البكتيريا الهوائية، التي تضطلع بتحويل أيونات النتريت (NO_2^-) إلى أيونات النترات (NO_3^-) من خلال عملية النترجة. وقد أفضى ذلك إلى تراجع ملحوظ في تركيز النتريت ضمن الحوض المزروع.

✓ **تطور النترات** NO^-_3

من الشكل رقم (20): نلاحظ أن تركيز النترات (NO_3^-) ارتفع ارتفاعا ملحوظًا في كلا الوسطين خلال الفترة الممتدة من اليوم الأول إلى اليوم الخامس عشر. ففي الوسط المكون من الماء الخام، زاد التركيز من 10.91 mg/L إلى 57.5 mg/L. أما في الوسط المحتوي على النبات، فقد ارتفع التركيز من 5.95 mg/L إلى 25.2 mg/L. وبعد مرور 30 يومًا، انخفضت هذه القيم، لتصل إلى 52.5 mg/L في الوسط المكون من الماء الخام و15.20 mg/L في الوسط المزروع بالنبات.

يلاحظ أن تركيزات النترات في الوسط المزروع بالنبات ظلت أقل من تلك المسجلة في الوسط المكون من الماء الخام عبر جميع مراحل التجربة.



الشكل (20): أعمدة بيانية تمثل تطور النترات NO^{-}_{3}

التفسير: يتم استهلاك النترات من قِبل النباتات خلال ساعات النهار أو في سياق عملية البناء الضوئي. وينجم عن هذا الاستهلاك انخفاض في تركيز النترات بعد امتصاصها بواسطة النبات [77] [76]. وتُنسب إزالة النترات (NO_3^-) وتحويلها إلى النيتروجين الجزيئي (N_2) إلى نشاط بكتيريا Anammox، التي تُعرف بمسؤوليتها عن عمليات الأكسدة الهوائية.

الخـــاتمة

الخاتمة

تنتج الأنشطة البشرية اليومية كميات كبيرة من المياه المستعملة التي تُصرف غالبًا بشكل مباشر إلى البيئة الطبيعية. هذا الوضع يهيئ ظروفًا ملائمة لتكاثر الحشرات وانتشار الأمراض، لا سيما تلك المنقولة بالمياه الملوثة. لذلك، من الضروري التركيز على تطوير وتطبيق أساليب معالجة هذه المياه قبل تصريفها. ومن بين هذه الأساليب التنقية بمساعدة النباتات.

تُبرز هذه الدراسة إمكانية استخدام نبات Ipomoea pes caprae subsp في معالجة مياه الصرف الصحي، نظرًا لقدرته على تحمل الملوحة وقدرته الكبيرة على امتصاص المعادن الثقيلة، بالإضافة إلى نموه السريع وتشكيله جذورًا جديدة في الأوساط المائية والتربة.

الهدف من هذه الدراسة هو إثبات قدرة النبات Ipomoea pes caprae subsp على معالجة المياه المستعملة وتقييم كفاءته في هذا السياق.

كشفت النتائج أن كفاءة أحواض المعالجة المزروعة بالنبات تتزايد بمرور الوقت. ويرجع ذلك إلى النمو المستمر للجذور وتطورها، مما يؤدي إلى زيادة مساحة وحجم الجزء اللاهوائي. في المقابل، لوحظ أن كفاءة الأحواض غير المزروعة تبدأ بمستوى مرتفع ثم تتناقص تدريجيًا، بسبب استنفاذ المواد غير المتجددة. كما تؤكد هذه النتائج الأثر الإيجابي لوجود النبات في تعزيز كفاءة أحواض المعالجة.

قائمة المـراجع

المراجع باللغة العربية:

[14] محمد عبد الناصر الزرقة، تحطيم ملوثات المياه في محافظتي الشمال والوسطى وتأثيراتها على صحة الإنسان، مذكرة ماجستير، الجامعة الإسلامية غزة 2018, ص45 –50 –52- 53

[15] السعدي حسين علي، 2006، أساسيات علم البيئة والتلوث دار اليازوري العلمية عمان الأردن.

[17] أبو سعد نجيب إبراهيم، 2000، التلوث البيئي ودور الكائنات الدقيقة ايجابيا وسلبيا، دار الفكر العربي: القاهرة.

[37] هاني عبد القادر عمارة،2011، كتاب الماء بين العلم والإيمان، الطبعة الأولى دار زهران للنشر والتوزيع ص306.

[09] الدكتور العابد إبراهيم، 2015، أطروحة دكتوراه لمعالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية، كلية الرياضيات وعلوم المادة، قسم الكيمياء، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

[49] محمد محمود الروبي محمد, الضبط الإداري ودوره في حماية البيئة, 2014 ص 295.

[11] جوري نسيم ماهر، 2007، تحليل وتقويم جودة المياه، دار نشأة المعارف جلال حزي وشركائه ص 121

[12] الشرابي نجم الدين، هابيل منير، أبو لبدة زياد, أساسيات الأحياء الدقيقة – الجزء العملي المطلعة الجديدة بدمشق, 1987.

[19] محمد علي فرج 2111، موسوعة الهندسة الصحية، شبكات الصرف الصحي (تنقية المياه ومعالجة الهندسة لتلوث البيئة). الطبعة الأولى. دار الكتب الحديثة

[21] نصر الحايك 1989 تلوث المياه وتنقيتها، الطبعة الثالثة، ديوان المطبوعات الجامعية، ص: 126–6–31

[25] طرابلسي يوسف ابراهيم، 2111، الميكروبيولوجية الزراعية، جامعة الملك سعود، النشر العلمي والمطابع، ع ح / 4831/ 10، ص: 311–255

[27] غري وفان لون – ستيفن ج دفي، 1999، كيمياء البيئة نظرة شاملة، مدينة الملك عبد العزيز للتقنيات والعلوم.

[28] محمد عبد الناصر الزرقة، 2010، تلوث المياه في محافظة الشمال والوسطى وتأثيرها على الإنسان

[30]: محمد احمد السيد خليل (خصائص عمليات تنقية المياه وإستعمالاته) 2006 ص5.

[33] محمد مروان (مراحل معالجة المياه المستعملة 3 فيفري 2019)

[35] عبد الرزاق التركماني، 2009، محطات المعالجة بالنباتات، دليل تخطيط وتصميم وتنفيذ محطات المعالجة بالنباتات، شبكة خبراء المياه السوريين، صفحة 22–28

[39] زغدي، س. (2017). تحديد محطات التنقية المحمية واستخدامها في تطيير المياه العادمة في منطقة الوادي (سنة 2016/2017)

[42] محمد صادق العدوي 1990 هندسة الصرف الصحي والتحكم في التلوث البيئة هندسة صحية 2.

[48] الخدمات لاستشارية في قطاع المياه والصرف الصحي. صرف الصحي الموقعي والمركزي للمدن والتجمعات السكانية الصغيرة صفحة. بتصرف .

[66] عباس كمرشو (2017). إستعمال كربون نشط محضر من مشتقات نخيل التمر (نواة تمرة دقلة نور) في معالجة المياه المستعملة الحضرية. دراسة مقارنةDoctoral dissertation) ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

المراجع باللغة الأجنبية:

[1] Lindberg, C. F. (1997). Control and estimation strategies applied to the activated sludge process. Stockholm, Sweden: Uppsala University.

[2] Häfliger, D., Hübner, P., & Lüthy, J. (2000). Outbreak of viral gastroenteritis due to sewage- contaminated drinking water. International journal of food microbiology, 54(1-2), 123- 126

[3] Carr, R. (2001). Excreta- related infections and the role of sanitation in the control of transmission. World Health Organization Water Series, 89- 114

[4] World Health Organization. (2003). Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters (Vol. 1). World Health Organization

[5] Gersberg, R. M., Elkins, B. V., Lyon, S. R., & Goldman, C. R. (1986). Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water

research, 20(3), 363- 368.

[6] Radoux, M., & Kemp, D. (1988). Epuration comparee des eaux usees

Domestiques par trois plantations hélophytiques et par un lagunage à

Microphytes sous un meme climat tempere. Acta oecologica. Oecologia

Applicata, 9(1), 25-38.

[7] Brix, H. (2020). Macrophyte- mediated oxygen transfer in wetlands:

Transport mechanisms and rates. In Constructed wetlands for water quality

improvement (pp. 391-398). CRC Press.

[8] Biddlestone, A. J., Gray, K. R., & Job, G. D. (1991). Treatment of dairy farm

wastewaters in engineered reed bed systems. Process Biochemistry, 26(5), 265]

[10] Belkaçem, H., Abdelhafidh, D. B. A., Zineb, H., & Saad, Z. (2013). Gardens planted with macrophytes filters, purification performance in an arid climate. Pilot station of Témacine, Ouargla (Algeria). International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy, 8, 259- 268.

[13] SATIN, M. ; SELMI, B. 1995 : Guide technique de l'assainissement : Évacuation des eaux usées et pluviales conception et composant des réseaux ، épuration des eaux et protection de l'environnement, exploitation et gestion des systèmes d'assainissement. ISBN 2-281-1152-0, Edition le moniteur, Paris, pp75-86

[16] RICHARD CLAUDE, 1996, les bactéries,les hommes et les animaux, Collection Option Bio, Paris ،p82.

[18] CARDOT, C. 1999. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Ellipses Edition Marketins S.A ; Paris. ISBN 2-7298-5981-0, pp :17,31-34,110-116,121-127,185-188.

[20] AYAZ, S : AKCA ،L. 2001. Treatement of wasterwater y natural sustems. Environnement international. 26 : pp 189-195.

[22] REJSEK FRANCK, 2002, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, CRDP d'Aquitaine pp 125-255

[23] Mr metahri mohammed said élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées ،par des procédés mixtes cas du step est de la ville de Tizi-Ouzou thése de doctorat 2012

[24] Rodier ،J. 2009. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles ،eaux résiduaires ،eaux de mer. Dunod9،ème Edition ،Paris : s.n

[26] RODIER JEAN , 1996. L'analyse De L'eau (chimie, physico chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats) DUNOD paris, 8e édition, pp36-63-745-809….

[29] Bachi O E K. Diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du gardian d'épuration de station du vieux ksar Témacin. Mémoire présenté envue de L'obtention du diplôme de magister. Ouargla : Université Kasdi Merbah ; 2010

[31] http://www.beatona.net/ar/kmowledge-hub/article/content 39650.2020/5/19.10 :10.

[32] dw.com/ar/a-ميـاه-الصـرف-الصـحي-فـي-البلـدان- العربيـة-تخطيطـات- ألمانيـة –لمعالجـة

16631519.2020/5/19.10 :55.

[34] Gherib, A., Boufendi, M., Temime, A., & Bedouh, Y. (2016). Applications

Of phytoremediation in wastewater treatment in Algeria. LARHYSS Journal P-

ISSN 1112- 3680/E- ISSN 2521- 9782, (27), 23- 37.

[36] CARR R ; 2001.Excreta-related infections and the role of sanitation in the control of transmission. Water Quality : Guidelines ،Standards and Health. WHO. ،Ed Frewtrell L .and Bartram J. ،London ،UK،pp-89-113.

[38] Degremont. ،(2005). Mémento technique de l'eau10 ، ème édition ،Ed. Lavoisier ،Paris.

[40] KARIA. G.L. and CHRISTIAN. R.A. 2006. wastewater treatment ،concepts and design Approach. Prentice Hall of India Pvt. Ltd. ،New Delhi. Pp 302-304

[41] Eco- gestion d'habitats. (n.d).bureau d'études industrielles,énergies

Renouvelables et environnement.

[43] Laatra. (M,2013)

[44] AL-MAYAH, A. A. 1994. The Aquatic plants of the Marshes of southern Iraq. Marin Sci. Cent. 18 : pp127-143.

[45] REJSEK FRANCK, 2002, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, CRDP d'Aquitaine pp 125-255

[46] Riemer,1989[47] Mburu, N., Rousseau, D. P., Van Bruggen, J. J., & Lens, P. N. (2015). Use of the macrophyte Cyperus papyrus in wastewater treatment. The role of natural and constructed wetlands in nutrient cycling and retention on the landscape, 293- 314.

[47] Mburu, N., Rousseau, D. P., Van Bruggen, J. J., & Lens, P. N. (2015). Use of the macrophyte Cyperus papyrus in wastewater treatment. The role of natural and constructed wetlands in nutrient cycling and retention on the landscape, 293- 314.

[50] Zheng, J. X., Zhang, H., Su, H. X., Xia, K. F., Jian, S. G., & Zhang, M. (2018). Ipomoea pes- caprae IpASR improves salinity and drought tolerance in transgenic Escherichia coli and Arabidopsis. International Journal of Molecular Sciences, 19(8), 2252.

[51] Venkatesan, A., & Mathan, G. (2020). Influence of tannery wastewater irrigation on growth and enzymatic activities of Ipomoea pes- caprae Sweet and Clerodendron inerme (L.) Gaertn. International Journal of Scientific & Technology Research, 9(1), 1132–1136.

[52] McMullen, C. K. (1999). Flowering plants of the Galápagos. Cornell University Press.

[53] Koh, H. L., Chua, T. K., & Tan, C. H. (2009). Guide to medicinal plants, a : An illustrated scientific and medicinal approach. World scientific.

[54] Khan, S. A., Al Faraji, S. R. S., Almukhaini, M. S. H., Mohd, A., Jamal, F., & Verma, S. S. P. P. (2023). In Vitro Establishment, Hydroponic, Salt Tolerance, Antifungal and Phytochemical Investigations in Important Sand Binder Medicinal Plant Ipomoea pes- caprae. Traditional Medicine, 4(1), 1- 0.

[58] Dommergues, Y., & Mangenot, F. (1970). Ecologie microbienne du sol.

[59] Munch, C., Kuschk, P., & Roske, I. (2004). La stimulation racinaire de l'élimination de l'azote concerne- t- elle des zones limitées ou l'ensemble d'un marais artificiel ? Sciences Eaux & Territoires, (Spécial Ingénieries- EAT- 20), 05- 11

[62] Édeline, F. (1993). Epuration biologique des eaux. Theorie et technologie des reacteurs.

[67] Gabriel Bitton, (2005). Wastewater microbiology. Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida, Edition Gainesville, Florida 142pp.

[68] Hammadi, B. (2021). Lagunage Aéré en Zone Aride Performances Epuratoires, Paramètres Influents : Cas de la Région de Ouargla (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).

[69] Ndzomo, G. T., Ndoumou, D. O., & Awah, M. T. (1994). Effect of Fe 2+, Mn 2+, Zn 2+ and Pb 2+ on H+/K+ fluxes in excised Pistia stratiotes roots. Biologia plantarum, 36, 591- 597.

[70] Bowes, G., & Beer, S. (1987). Physiological plant processes: Photosynthesis. Aquatic plant for wastewater treatment and resource recovery, 311- 335.

[71] Jedicke, A., Furch, B., Saint, U. P., & Schlüter, U. B. (1989). Increase in the oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plants, Eichhornia crassipes (Pontederiaceae) and Pistia stratiotes (Araceae). Volume 11, fascículo 1, 1989, página 53- 69.

[72] Chachuat, B. (1998). Traitement D'effluents Concentrés par Cultures Fixées sur Gravier. Rapport de DEA. ENGEES- Cemagref, 118.

[73] Molle, P. (2003). Filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore (Doctoral dissertation, Doctorat discipline Energétique génie des procédés, Université Montpellier II).

[76] JETENS. M. S et al (2001("Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox') Process." Current Opinion in Biotechnology 12(3): pp 283- 288

[77] JETENS. M. S.M.)2002). 'Aerobic and anaerobic ammonia oxidizing bacteria- competitors or natural partners?' FEMS Microbiol. Ecol 39(3) : pp 175-181

قائمة المـلاحق

Etuve

PH-Mètre 5en1

Thermoreactor CR 2200 - WTW

Dessiccateur balance électrique

Oxy -métre

DBO métre(oxitop)