

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة



مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي
شعبة: هندسة الميكانيكية
التخصص: طاقة
من اعداد الطالب :
بن تواتي ياسين
بعنوان

الأثر البيئي لنظام ذكي لجمع النفايات الحضرية

نوقشت يوم: 2026/06/07

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

د. ذكار بوبكر	أستاذ التعليم العالي	رئيسا	جامعة قاصدي مرباح
د. كمال بن الشيخ	أستاذ محاضر (أ)	مشرفا	جامعة قاصدي مرباح
د. بولبينة الشريف	أستاذ محاضر (أ)	مناقشا	جامعة قاصدي مرباح

الموسم الجامعي: 2026/2025

شكر و تقدير

أود أن أعتنم هذه الفرصة لأشكر كل من ساعدني في إتمام هذه المذكرة وشكرا على دعمهم السخي والغير مشروط لي للخروج بهذا البحث القيم في النهاية، كما أقدم أجمل معاني الامتنان لأسرتي والى الاصدقاء الذين لم يتركوني خلال سنوات دراستي وفي فترة كتابة هذا البحث. يا من كان لهم السبق في ركب العلم والتعليم، ويا من بذلتم جهودكم معي ولم تنتظروا مني شيئاً أهدي لكم أسمى عبارات الشكر والتقدير، وأفتخر بأنكم أساتذتي.

أشكر الاستاذ (بن الشيخ كمال) الذي زادني من علمه ومنحني من وقته الثمين ولم يتخلى عني حتى أخرج لكم بهذا البحث القيم كما أتوجه بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى الأساتذة الأفاضل أعضاء لجنة المناقشة الموقرة، الذين تفضلوا بقبول مناقشة هذا العمل وتقويمه.

اهداء

أهدي هذا العمل المتواضع ...

إلى من أفنيا عمرهما من أجل أن أصل إلى ما أنا عليه، إلى من كانت دعواتهما سرّ توفيقني وسندي في كل لحظة عسيرة... إلى والديّ الكريمين أطال الله في عمرهما.

إلى أستاذي المشرف الفاضل الذي لم يبخل عليّ بتوجيهاته وملاحظاته القيّمة، ولم يضق صدره يوماً بأسئلتي واستفساراتي، فكان خير معين وخير موجه على طول مسيرة هذا البحث.

إلى إخوتي وأخواتي الأعزاء الذين كانوا مصدر دفء وطمأنينة في أوقات التعب، وإلى أصدقائي الذين شاركوني همّ الدراسة وبهجة النجاح.

إلى كل أساتذتي الكرام الذين أمّدوني بالعلم والمعرفة طوال مشواري الدراسي، وإلى كل من علّمني حرفاً واحداً فكان له الفضل في بناء ما أنا عليه اليوم.

فهرس المحتويات :

1	مقدمة
3	الفصل الأول : مفاهيم عامة
4	مقدمة الفصل
5	1-1 تعريف النفايات
5	2-1 تعريف المشرع الجزائري التعريف القانوني
5	3-1 تصنيف النفايات
5	1-3-1 المنزلية وما يماثلها
6	2-3-1 النفايات الخاصة
6	3-3-1 النفايات الخاملة
6	4-3-1 النفايات الغير خطرة
7	5-3-1 النفايات النهائية
7	6-3-1 النفايات الطبية و الصيدلانية
9	4-1 خصائص نفايات الصلبة الحضرية
9	1-4-1 الكثافة (Density)
9	2-4-1 الرطوبة (Moisture content)
9	3-4-1 القدرة الحرارية (Calorific value)
10	4-4-1 نسبة الكربون الى الازوت (N/C)
10	5-1 طرق المعالجة
10	1-5-1 الردم الصحي
10	2-5-1 الحفر
11	3-5-1 إعادة تدوير النفايات
11	4-5-1 التحلل البيولوجي للنفايات
11	5-5-1 الحرق لانتاج الطاقة
12	6-1 حساب كمية إنتاج النفايات الحضرية
13	1-2 نشأة الاقتصاد الدائري
13	2-2 تعريف الاقتصاد الدائري Circular economy
14	3-2 مبادئ الاقتصاد الدائري
14	1-3-2 التصميم من أجل طول العمر والمتانة Design for Longevity and Durability

14	2-3-2 الحفاظ على قيمة المنتج و إطالة عمره Preserve and Extend Product Value
14	3-3-2 إعادة التدوير واسترجاع المواد Recycling and Material Recovery
15	4-3-2 التعاون وإشراك أصحاب المصلحة Collaboration and Stakeholder Engagement
15	4-2 موانع التحول للاقتصاد الدائري
15	1-4-2 عوائق ثقافية
15	2-4-2 عوائق تسويقية
15	3-4-2 عوائق تشريعية
16	4-4-2 عوائق تكنولوجيا
16	5-2 فوائد تطبيق الاقتصاد الدائري
16	1-5-2 الفوائد البيئية
16	2-5-2 الفوائد الاقتصادية
17	3-5-2 الفوائد الاجتماعية
17	4-5-2 الفوائد على مستوى المؤسسات
17	5-5-2 الفوائد على مستوى الدول النامية
18	1-3 البصمة الكربونية
18	1-4 مفهوم جودة الحياة
19	خاتمة
20	الفصل الثاني : واقع تسيير النفايات لمدينة ورقلة
21	مقدمة
22	1-1 الإطار الجغرافي والديموغرافي لمدينة ورقلة
22	2-1 تركيبة النفايات المنتجة على مستوى الولاية
22	3-1 وضعية نقاط الرمي والتجميع
23	4-1 السلبيات المترتبة عن نظام التجميع
23	1-4-1 التباين في فترات الرمي
23	2-4-1 تشكل نقاط سوداء
24	5-1 نظام جمع النفايات الحضرية لمدينة ورقلة
24	1-5-1 مرحلة الجمع و النقل
24	1511 مؤسسة NET COM
26	2-1-5-1 الية تسيير جمع النفايات
27	3-1-5-1 وسائل عملية النقل

27	4-1-5-1 المشاكل التي تواجه المؤسسة.....
27	2-5-1 مرحلة الفرز و الردم
27	1-2-5-1 مركز الردم التقني ورقلة (EPWG CET)
28	2-2-5-1 احواض مركز الردم التقني لولاية ورقلة
28	3-2-5-1 كمية النفايات المستقبلية بمركز الردم ورقلة.....
29	6-1 تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO ₂
29	1-6-1 لنظام الجمع الحالي
30	2-6-1 لنظام الجمع المقترح (مراكز تجميع)
33	خاتمة.....
34	الفصل الثالث : نتائج وتحليل
35	مقدمة
36	1-1 النظام الذكي لإدارة النفايات الحضرية
38	2-1 أهمية الانتقال لنظام مراكز التجميع
38	1-2-1 الجانب البيئي وخفض انبعاثات CO ₂
40	2-2-1 الجانب المادي و الاقتصادي
41	3-2-1 الأثر على جودة الحياة والمستوى المعيشي
43	3-1 تحديات قد تواجه النظام
43	1-3-1 أبعاد التحدي وأسبابه
43	1-3-1 استراتيجيات تحويل التحدي إلى واقع
44	خاتمة
45	خاتمة عامة

قائمة الاشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
1-1	امثلة عن النفايات المنزلية	13
2-1	موقع تجميع مخلفات الهدم و البناء	14
3-1	نماذج عن النفايات الصيدلانية	15
4-1	مخطط لدورة الاقتصاد الدائري	22
5-2	النسب المئوية لتركيبية النفايات	29
6-2	صورة تبرز نقطة سوداء	30
7-2	الهيكل التنظيمي لمؤسسة NET-COM	32
8-2	رسم توضيحي لمسار التجميع	33
9-2	شاحنة المستعملة في عملية النقل	34
1-3	مخطط توضيحي لمبدأ عمل نظام الحاوية الذكية	45
2-3	مقارنة انبعاث ثاني أكسيد الكربون بين النظامين	46
3-3	كمية خفض أكسيد الكربون	47
4-3	استهلاك الوقود	48
5-3	كمية الوقود الممكن توفيرها	49

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
1-1	امثلة عن بعض أنواع النفايات	16
1-2	الآلية تسيير جمع النفايات	33
2-2	احواض مركز الردم التقني لولاية ورقلة	35
3-2	كمية النفايات المستقبلية بمركز الردم ورقلة	36
3-2	الاستهلاك الشهري للوقود لشاحنات جمع النفايات لسنة 2025	37

قائمة المختصرات :

AND: الوكالة الوطنية للنفايات.

AQI: مؤشر جودة الحياة.

CE: الاقتصاد الدائري.

E_{CO2} : اجمالي انبعاث أكسيد الكربون.

EF: معامل انبعاث الوقود.

FC total: اجمالي حجم الوقود.

GPS: نظام تحديد المواقع .

IOT: انترنت الأشياء .

SWM: إدارة النفايات الذكية .

مقدمة :

تشهد المجتمعات المعاصرة تحولات اقتصادية وديموغرافية متسارعة، أدت بدورها إلى تزايد مستمر في معدلات الاستهلاك، وصاحب ذلك تدفق هائل في حجم النفايات والمخلفات بأنواعها. ولم يعد تسيير هذه النفايات مجرد تحدٍ بيئي عابر، بل تحول إلى معضلة اقتصادية وتنظيمية تستنزف الموارد المادية والبشرية. وفي ظل قصور النموذج الاقتصادي الخطي التقليدي القائم على مبدأ "الإنتاج، الاستهلاك، ثم التخلص"، برز مفهوم الاقتصاد الدائري كبديل استراتيجي حتمي يسعى إلى تحويل النفايات من عبء بيئي إلى مورد اقتصادي مستدام عبر آليات التدوير وإعادة الاستخدام، وتمديد دورة حياة المنتجات. في هذا السياق، برزت الحاجة الملحة للانتقال من نظم إدارة النفايات التقليدية إلى "أنظمة الإدارة الذكية". بفضل دمج تكنولوجيات إنترنت الأشياء (IoT) والاستشعار عن بعد، أصبح من الممكن تحسين مسارات شاحنات الجمع، وتقليص أوقات التشغيل والمسافات المقطوعة. ومع ذلك، فإن تقييم نجاعة هذه الأنظمة لا يقتصر على الجانب التنظيمي والمالي فحسب، بل يمتد بشكل أساسي إلى قياس مدى مساهمتها في خفض الانبعاثات الكربونية وتقليل البصمة البيئية الناتجة عن شاحنات النقل.

إشكالية البحث:

رغم المحاسن النظرية التي توفرها أنظمة الجمع الذكية، يبقى السؤال الجوهرى يكمن في مدى الفعالية البيئية الواقعية لتطبيق هذه التقنيات على مستوى تسيير شاحنات جمع النفايات. ومنه تتجلى الإشكالية التالية :

" كيف يساهم تبني نظام ذكي لجمع النفايات الحضرية في خفض الأثر البيئي وتقليل الانبعاثات الغازية الناتجة عن شاحنات الجمع؟" وينبثق عن هذا التساؤل مجموع الأسئلة الفرعية التالية: كيف يمكن لتقنيات الحاويات الذكية تحسين مسارات أسطول شاحنات الجمع؟ ما هو حجم الخفض المتوقع في استهلاك الوقود والانبعاثات الملوثة (CO_2) عند الانتقال من الجمع التقليدي إلى الجمع الذكي؟ ما هي الآثار البيئية الإجمالية الناتجة عن تشغيل أسطول شاحنات جمع النفايات (دراسة حالة لعدد محدد من الشاحنات في الوسط الحضري)؟

أهداف الدراسة :

تهدف هذه الدراسة بشكل رئيسي إلى تحقيق الأهداف الأكاديمية والتطبيقية التالية:

تحليل وتقييم الأثر البيئي الحالي: تكميم حجم استهلاك وقود الديزل والانبعاثات الغازية الحالية الصادرة عن أسطول شاحنات الجمع الـ 22 في المنطقة الحضرية محل الدراسة. محاكاة ديناميكية النظام الذكي: تصميم ومحاكاة نموذج مسارات ذكي يعتمد على البيانات الفورية لامتلاء الحاويات، لتقليص المسافات المقطوعة من طرف الشاحنات. المقارنة الحسابية وإبراز الجدوى البيئية: إجراء موازنة طاقة وبيئية بين النظامين التقليدي والذكي، لتحديد مدى مساهمة النظام المقترح في تقليل الكربون وتحقيق الاستدامة وعصرنة التسيير البلدي.

هيكلية المذكرة :

للإجابة على الإشكالية المطروحة وتحقيق الأهداف المرجوة، تم تقسيم هذا العمل المتواضع إلى ثلاثة فصول متكاملة تتبع التسلسل المنهجي التالي:

الفصل الأول (الجانب النظري): ويخصص للمفاهيم العامة حول إدارة النفايات الحضرية، واستعراض أفكار الاقتصاد الدائري و البصمة الكربونية.

الفصل الثاني (الجانب المنهجي والحسابي): ويركز على الجانب الميكانيكي والطاقي، من خلال تبيان طرق حساب انبعاثات شاحنات النقل، وميكانيكيات احتراق وقود الديزل، والمعايير المعتمدة في تقييم الأثر البيئي.

الفصل الثالث (الجانب التطبيقي ودراسة الحالة): ويتضمن دراسة الحالة الميدانية للأسطول المكون من 22 شاحنة جمع، وعرض البيانات التشغيلية المستهدفة، تليها محاكاة النتائج، حساب ميزان الخفض في الانبعاثات، ومناقشة مدى مساهمة النظام المقترح في تحقيق الاستدامة البيئية في المدينة.

الفصل الأول:

مفاهيم عامة : النفايات ,الاقتصاد الدائري ,جودة الحياة

مقدمة:

يُعدّ موضوع النفايات من أبرز التحديات التي تواجه المجتمعات المعاصرة في ظل التسارع المتزايد للتطور الصناعي والنمو الديموغرافي، إذ باتت الكميات الهائلة من المخلفات الصلبة والسائلة تُشكّل ضغطاً بالغاً على البيئة والصحة العامة وجودة حياة الإنسان. وقد أفضت النماذج الاقتصادية التقليدية القائمة على منطق "الإنتاج، الاستهلاك، الرمي" إلى استنزاف متسارع للموارد الطبيعية وتراكم للنفايات بصورة غير مسبقة، مما دفع الباحثين وصانعي القرار إلى البحث عن بدائل اقتصادية أكثر استدامة وفاعلية [1].

في هذا السياق، برز مفهوم الاقتصاد الدائري بوصفه نموذجاً اقتصادياً بديلاً يسعى إلى إعادة تصور العلاقة بين الإنسان والموارد والنفايات، من خلال إغلاق حلقة الإنتاج والاستهلاك وتحويل النفايات من عبء بيئي إلى مورد اقتصادي حقيقي قابل للتنمية والاستعادة. ويرتكز هذا النموذج على مبادئ التقليل وإعادة التدوير، مما يُسهم في الحدّ من التبعات البيئية السلبية وترشيد استهلاك الموارد.

غير أن أهمية الاقتصاد الدائري لا تقتصر على أبعاده الاقتصادية والبيئية فحسب، بل تمتد لتطال بعداً إنسانياً جوهرياً يتمثل في جودة الحياة، تلك المنظومة المتكاملة من المؤشرات المادية والصحية والاجتماعية والنفسية التي تعكس مدى رفاهية الأفراد والمجتمعات. ذلك أن تحسين إدارة النفايات وفق مقاربة تدويرية من شأنه أن يُنتج بيئات أنظف وأكثر أماناً، ويوفر فرص عمل لائقة، ويُعزز التماسك الاجتماعي، ويرفع من مستوى الوعي البيئي.

انطلاقاً مما سبق، يتناول هذا الفصل الإشكالية المحورية المتعلقة بالعلاقة الجدلية بين تدوير النفايات وجودة الحياة، مستعرضاً المفاهيم النظرية ذات الصلة، ومحللاً أبعاد هذه العلاقة على الصعيدين المحلي والدولي، بغية تسليط الضوء على دور الاقتصاد الدائري بوصفه رافعة حقيقية لتحسين جودة الحياة وتحقيق التنمية المستدامة [2].

1-1 تعريف النفايات :

بداية نقول أنه لا يوجد تعريف موحد للنفايات ، بل هناك تعريفات مختلفة، قد تلتقي في بعض الجوانب لكنها تختلف في الكثير منها ، على أساس أنه ما يعتبر نفاية لدى البعض قد يكون لدى البعض الآخر قابل للاستهلاك أو الاستخدام ، وعليه سنقتصر في هذه النقطة على إعطاء التعريف بشكل عام .

كما عرفت على أنها : "بواقي العمليات الانتاجية أو التحويلية بمختلف أنواعها وأحجامها وتركيباتها، أي كل ما يتبقى من مستلزمات عملية الانتاج أو التحويل ، كالمواد أو الاجزاء والقطع الزائدة عن الحاجة أو غير الصالحة للاستعمال بصورتها الحالية أو التي يبطل استعمالها لسبب ما، مهما كان شكلها صلبة أو سائلة أو غازية [3].

2-1 تعريف المشرع الجزائري التعريف القانوني :

في القانون رقم 01-19 المؤرخ في 12 ديسمبر 2001 و المتعلق بتسيير النفايات و مراقبتها إذ تعرف المادة 03 النفايات: كل البقايا الناتجة عن عمليات الانتاج أو التحويل أو الاستعمال و بصفة اعم كل مادة أو منتج و كل منقول يقوم المالك أو الحائز بالتخلص منه أو يلزم بالتخلص منه أو بإزالته [4].

3-1 تصنيف النفايات :**1-3-1 النفايات المنزلية وما يماثلها :**

تشير إلى مجموع النفايات الناتجة عن الأنشطة اليومية للأسر، إضافة إلى النفايات المشابهة لها من حيث الطبيعة والتركيب، والتي تصدر عن الأنشطة الصناعية والتجارية والحرفية وغيرها وفق ما يبرزه الشكل 1.1. وتُصنّف هذه النفايات ضمن فئة النفايات المنزلية نظراً لتشابه خصائصها الفيزيائية والكيميائية معها، مما يسمح بتسييرها ومعالجتها بطرق مماثلة [5].



شكل 1-1: امثلة عن النفايات المنزلية .

2-3-1 النفايات الخاصة :

هي جميع النفايات الناتجة عن مختلف الأنشطة الصناعية، الزراعية، الصحية والخدمية، والتي لا يمكن جمعها أو نقلها أو معالجتها بنفس الطرق المعتمدة للنفايات المنزلية وما يماثلها أو النفايات الخاملة، وذلك بسبب خصائصها الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية. وتستوجب هذه النفايات اعتماد طرق معالجة خاصة ومنشآت مهيأة للحد من المخاطر الصحية والبيئية [6].

2-3-1 النفايات الخطرة :

هي فئة من النفايات الخاصة التي تشكل خطراً على الصحة العمومية و/أو على البيئة، نتيجة احتوائها على مواد خطيرة أو خصائص ضارة. وتتطلب هذه النفايات تسييراً ومعالجة وإزالة وفق إجراءات تقنية وتنظيمية خاصة، بما يتماشى مع الإطار القانوني المعمول به، لا سيما القانون رقم 19-01 المؤرخ في 12 ديسمبر 2001 [7].

3-3-1 النفايات الخاملة :

هي نفايات تنتج عن أنشطة البناء والهدم أو عن استغلال المقالع والمناجم، ولا تتعرض لأي تغير فيزيائي أو كيميائي أو بيولوجي عند التخلص منها، كما أنها خالية من المواد الخطرة أو الملوثة، ولا تشكل خطراً على صحة الإنسان أو على البيئة [8]. وهذا ما يظهره الشكل التالي:



شكل 2-1: موقع تجميع مخلفات الهدم و البناء [34].

4-3-1 النفايات غير الخطرة :

تشمل النفايات التي لا تحتوي على مواد سامة ولا تمثل خطرًا على صحة الإنسان أو على البيئة، لعدم امتلاكها خصائص الخطورة. وتصدر هذه النفايات أساسًا عن المؤسسات الصناعية والاقتصادية، إضافة إلى الجماعات المحلية والمنازل. ويسمح علاج هذه النفايات بتحويلها إلى مواد قابلة لإعادة الاستعمال أو إلى مواد أولية ثانوية، مما يساهم في تقليل استنزاف الموارد الطبيعية.

5-3-1 النفايات النهائية :

هي النفايات التي لم يعد من الممكن تثمينها، سواء عن طريق إعادة التدوير أو الاسترجاع الطاقوي. وبناءً على ذلك، فهي الوحيدة التي يُسمح قانونيًا بتخزينها أو ردمها في مراكز تخزين النفايات النهائية. ووفقًا للمادة 1-541 L من قانون البيئة، يُعرّف النفاية النهائية بأنها نفاية ناتجة أو غير ناتجة عن معالجة نفايات أخرى، ولم تعد قابلة للمعالجة في ظل الشروط التقنية والاقتصادية المتاحة، خاصة من حيث استخراج الجزء القابل للتثمين أو تقليل طابعها الملوث أو الخطير [9].

6-3-1 النفايات الطبية والصيدلانية:

هي النفايات الناتجة عن أنشطة التشخيص والعلاج الوقائي أو العلاجي في مجال الطب البشري أو البيطري، إضافة إلى النفايات الصادرة عن مؤسسات الصحة والبحث العلمي والتي يبرزها الشكل 3-1 [10].



شكل 3-1: نماذج عن للنفايات الصيدلانية .

جدول 1-1: امثلة عن بعض أنواع النفايات [35].

نوع النفاية	الوصف	مثال
نفايات منزلية Ordures ménagères	هي جميع النفايات الصلبة المنتجة من طرف السكان والموضوعة سواء في مزابل فردية أو جماعية	فضلات المطابخ، بقايا الأطعمة، مواد التغليف، أوراق، كارتون، بلاستيك، النسيج، الجلد، الخشب والرماد
نفايات المضايقة Déchets encombrants	النفايات المنزلية التي لا يسمح حجمها بجمعها مع النفايات المنزلية بل تتطلب جمع خاص بها	مختلف الأثاث، الخشب، إطارات العجلات والأدوات الكهرومنزلية
النفايات التجارية الشبيهة بالنفايات التجارية Déchets du commerce assimilables aux déchets ménagères	النفايات الناتجة عن المؤسسات التجارية، الصناعية، الفنادق والمدارس والتي يمكن التخلص منها مع النفايات المنزلية	التغليف، الورق، الكارتون، البلاستيك، الرماد ونفايات التنظيف
نفايات الحدائق والحظائر Déchets verts de jardin et parcs	نفايات قلع الأعشاب وشذب الأشجار	الحشائش، أغصان الأشجار والأوراق
نفايات الأسواق Déchets des marchés	نفايات عضوية للتسميد شبيهة بالنفايات المنزلية	النفايات النباتية، التغليف والتنظيف
نفايات خطيرة Déchets dangereux	نفايات منزلية تحتوي على مواد خطيرة	بطريات، بقايا الأصبغة والمطهرات
نفايات تنظيف الطرقات Déchets de nettoyage des rues	كنس الطرق، محتوى الأكياس الورقية	رمل، ورق، وأوراق الأشجار
نفايات ناتجة عن المياه Déchets de construction	نفايات أشغال البناء والهدم	مواد الحفر والهدم، الأحجار
أوحال معالجة المياه Boues de traitement d'eau	أوحال رملية، أوحال التصفية والتقطير	رمل، أوحال التقطير

4-1 خصائص نفايات الصلبة الحضرية :

إن دراسة خصائص النفايات الصلبة تُعتبر خطوة أساسية في وضع استراتيجيات فعالة لجمعها، نقلها، معالجتها، والتخلص منها بطريقة آمنة ومستدامة. وتنقسم هذه الخصائص إلى عدة أنواع ، حيث يساهم كل نوع منها في تحديد السلوك العام للنفايات وتأثيرها على البيئة وصحة الإنسان.من بينها:

1-4-1 الكثافة (Density) :

وهي نسبة الحجم إلى الكتلة تبين لنا العلاقة بين كتلة النفاية والحجم الذي تشغله، وهي ذات تأثير كبير على حجم وسائل جمع وتخزين النفايات المنزلية وتتغير الكثافة خلال كل مراحل المعالجة التي تتعرض لها النفايات بداية من مكان انتاجها الى مكان التخلص منها.

كما تختلف الكثافة في الأحياء المركزية عن الكثافة في الأحياء السكنية، وفي الأحياء العصرية أكثر من الأحياء القديمة، ومن فوائد معرفة الكثافة الخاصة بالنفايات هي القيام ب:

. اختيار أحسن لعربات الجمع ومعدات المفرغة.

. إمكانية حساب حجم النفايات التي توضع في المفرغة، وبالتالي تحديد عمرها الافتراضي.

. تحديد أبعاد الآليات وعمليات التهيئة لمصانع المعالجة.

2-4-1 الرطوبة (Moisture content) :

تعبر الرطوبة على أنها نسبة الماء الموجود في المادة ، فبالنسبة للنفايات الصلبة نجد أنها تحتوي على كمية من المياه، بحيث أن المحتوى الإجمالي والفحوى من المياه يتغير أساسا مع نسبة الماء في مركبات النفايات، ويتغير هذا تبعا للفصول ودرجات الحرارة الى جانب الظروف الاجتماعية و الاقتصادية.

وتكمن الأهمية من معرفة الرطوبة في تحديد نوع المعالجة المناسبة لهذه النفايات حسب النسبة الموجودة فيها.

3-4-1 القدرة الحرارية (Calorific value) :

تعرف القدرة الحرارية في النفايات الصلبة بكمية الحرارة المنبعثة من احتراق وحدة كتلة من النفايات الخام، وكقاعدة عامة فإنه بقدر ما يزداد محتوى الماء في النفاية بقدر ما تنخفض القدرة الحرارية الدنيا. وتزداد هذه الأخيرة بازدياد المحتوى من السيليلوز (الورق، مواد التغليف...)، وكذا المواد البلاستيكية التي تعتبر ذات قدرة حرارية كبيرة جدا وتقاس بالكيلوكالوري/كغ.

كما أن الرطوبة والقدرة الحرارية يعتبران عنصران رئيسيان لاختيار طريقة المعالجة (الحرق أو التسميد)، حيث أن الحرق غير ملائم عندما تكون القدرة الحرارية الدنيا اقل من 1500 بالكيلوكالوري/كغ.

الرطوبة بين (45% و 65) . أما التخمر فيكون ممكنا في حالة نسبة

4-4-1 نسبة الكربون الى الازوت (N/C) :

المواد العضوية المتواجدة في النفايات الصلبة وخاصة المنزلية منها المتروكة في الهواء الطلق تدخل بسرعة في التخمر تحت تأثير ملايين الكائنات الدقيقة، فالمعالجة بواسطة التخمر الهوائي المراقب يؤدي إلى فقدان الكربون مع غناء نسبي للوسط بالازوت

ان نسبة الكربون الى الازوت عامل يسمح بتبيان صلاحية النفاية لعملية التخمر، وكذا نوعية السماد المحصل عليه، حيث نتحصل على سماد مقبول انطلاقاً من النفاية التي تكون فيها نسبة الكربون على الازوت محصورة بين 20% و 35% قبل التخمر وبعده تكون القيمة ما بين 15% و 18% [11].

5-1 طرق المعالجة :

تُعد معالجة النفايات من أهم المراحل الأساسية في نظام إدارة النفايات، حيث تهدف إلى تقليل تأثيراتها البيئية والصحية وتحسين إمكانية تثمينها أو التخلص منها بشكل آمن. وتشمل هذه المعالجة مجموعة من التقنيات المختلفة التي تعمل على تغيير خصائص النفايات الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية، مما يساهم في تقليل حجمها أو خطورتها وتسهيل عمليات إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير أو التخلص النهائي منها. وفيما يلي أهم طرق معالجة النفايات:

1-5-1 الردم الصحي :

يُعد الردم الصحي (المطامر الصحية) من أكثر الطرق شيوعاً في معالجة والتخلص النهائي من النفايات، حيث يتم فيه التخلص من النفايات بطريقة منظمة ومراقبة تهدف إلى تقليل أثارها السلبية على البيئة والصحة العامة. وتعتمد هذه الطريقة على وضع النفايات في مواقع مخصصة ومجهزة بطبقات عازلة، غالباً من الطين أو المواد الاصطناعية، لمنع تسرب العصارة الى التربة والمياه الجوفية.

كما يتضمن الردم الصحي أنظمة لجمع ومعالجة العصارة الناتجة عن تحلل النفايات، بالإضافة إلى أنظمة لجمع الغازات مثل غاز الميثان، مما يساهم في الحد من تلوث الهواء وتقليل مخاطر الانفجارات. ويتم أيضاً تغطية النفايات بطبقات من التربة بشكل دوري لتقليل الروائح وانتشار الحشرات. وبفضل هذه الإجراءات، يُعتبر الردم الصحي وسيلة فعالة وآمنة نسبياً للتخلص من النفايات التي لا يمكن إعادة استخدامها أو تدويرها، وذلك ضمن إطار نظام متكامل لإدارة النفايات [12].

2-5-1 الحفر :

تُعرف مخلفات البناء و الهدم بأنها النفايات الناتجة عن أنشطة البناء والتشييد والهدم، وتشمل مواد مثل الخرسانة، الطوب، الحجارة، البلاط، وبقايا الملاط. وتتميز هذه النفايات بكونها ذات طبيعة صلبة وخاملة نسبياً، كما أنها تمثل نسبة معتبرة من إجمالي النفايات المنتجة، خاصة في المناطق التي تشهد نشاطاً عمرانياً متزايداً. وتكمن أهمية إدارة هذه المخلفات في إمكانية تثمينها من خلال إعادة استخدامها أو إعادة تدويرها في مجالات مختلفة، مثل استخدامها كمواد للردم، أو في إنشاء الطرق، أو كركام في بعض أعمال البناء. ويساهم ذلك في تقليل استهلاك الموارد الطبيعية، خاصة الرمال والحصى، بالإضافة إلى الحد من حجم النفايات الموجهة إلى المطامر الصحية. لذلك فإن المعالجة السليمة لمخلفات البناء

والهدم تُعد عنصرًا مهمًا في إطار الإدارة المستدامة للنفايات، لما لها من دور في حماية البيئة وتحقيق الاستغلال الأمثل للموارد [13].

1-5-3 إعادة تدوير النفايات :

تُعد إعادة تدوير النفايات من أهم الأساليب الحديثة في إدارة النفايات، حيث تهدف إلى تحويل المواد المستعملة إلى مواد أولية يمكن إعادة استخدامها في إنتاج منتجات جديدة. وتساهم هذه العملية في تقليل كمية النفايات الموجهة إلى المطامر الصحية، والحفاظ على الموارد الطبيعية، بالإضافة إلى تقليل استهلاك الطاقة والحد من التلوث البيئي.

وتشمل عملية إعادة التدوير عدة مراحل، تبدأ بجمع النفايات وفرزها حسب نوع المادة، مثل الورق، البلاستيك، الزجاج، والمعادن، ثم معالجتها باستخدام تقنيات خاصة لتحويلها إلى مواد قابلة لإعادة الاستخدام. كما تساهم إعادة التدوير في تحقيق التنمية المستدامة من خلال تقليل الضغط على الموارد الطبيعية وتقليل التأثيرات السلبية للنفايات على البيئة والصحة العامة. وتُعتبر إعادة تدوير النفايات عنصرًا أساسيًا ضمن نظام متكامل لإدارة النفايات، لما لها من فوائد بيئية واقتصادية واجتماعية [14].

1-5-4 التحلل البيولوجي للنفايات :

يشير التحلل البيولوجي إلى العملية الطبيعية التي تقوم فيها الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا والفطريات، بتحليل المواد العضوية الموجودة في النفايات وتحويلها إلى مواد أبسط مثل الماء، ثاني أكسيد الكربون، والمركبات المغذية للتربة. وتُعد هذه العملية من الطرق الفعالة للتخلص من النفايات العضوية، مثل بقايا الطعام، المخلفات الزراعية، ومخلفات الحدائق، بطريقة صديقة للبيئة.

ويتميز التحلل البيولوجي بقدرته على تقليل حجم النفايات وتحويلها إلى سماد عضوي غني بالعناصر الغذائية، مما يساهم في تحسين خصوبة التربة ودعم الزراعة المستدامة. كما أن هذه الطريقة تقلل من الحاجة إلى المطامر الصحية وتحد من الانبعاثات الضارة الناتجة عن تحلل النفايات بطرق غير منظمة.

تُستخدم تقنيات التحلل البيولوجي في نظم إدارة النفايات العضوية المختلفة، سواء من خلال التسميد، المنزلي أو الصناعي المنزلي أو الصناعي وأيضاً في المفاعلات البيولوجية المخصصة لإنتاج الغاز الحيوي، مما يجعلها وسيلة مستدامة وآمنة للتخلص من النفايات العضوية [14].

1-5-5 الحرق لإنتاج الطاقة :

يُعد الحرق لإنتاج الطاقة إحدى خيارات إدارة النفايات المتكاملة، حيث تتميز هذه الطريقة بقدرتها الكبيرة على تقليل حجم النفايات بشكل كبير، إذ يمكن أن يصل التخفيض إلى تسعة أضعاف حجم النفايات الأصلي. كما تتيح هذه المنشآت إمكانية استرجاع الطاقة المفيدة إما على شكل بخار أو كهرباء، ويعتمد ذلك على الجدوى الاقتصادية للطاقة في المنطقة.

حتى في حالة ارتفاع تكاليف إنشاء محارق النفايات، يمكن أن يكون الحرق خيارًا جذابًا عند نقص مساحة المطامر أو عندما تكون المطامر بعيدة عن مناطق توليد النفايات. كما يمكن إعادة استخدام الرماد الناتج عن الحرق كمادة بناء، حيث يمكن استخدامه في صناعة الأسمنت أو الخرسانة.

أما القيود الرئيسية لهذه الطريقة فتتمثل في ارتفاع تكلفة المحارق، والحاجة إلى مستوى عالٍ من الخبرة لتشغيلها بشكل آمن واقتصادي، بالإضافة إلى المخاوف العامة حول السلامة. إذ يقلق الناس من انبعاث الغازات من المدخنة وسمية الرماد الناتج عن الحرق. وقد عالجته الجهات المعنية هذه المخاوف من خلال وضع تشريعات جديدة لمحارق النفايات وتحسين متطلبات المطامر الخاصة بالرماد، بما يضمن أن المنشآت المصممة والمشغلة بشكل جيد توفر حماية كاملة للإنسان والبيئة [15].

1-6 حساب كمية إنتاج النفايات الحضرية :

تُعدّ عملية حساب كمية إنتاج النفايات من الخطوات الأساسية في تسيير النفايات الصلبة، حيث تمكّن من تقييم حجم النفايات الناتجة عن الأنشطة البشرية وتحديد الاحتياجات اللازمة لجمعها ونقلها ومعالجتها. ويعتمد هذا التقييم على مجموعة من المؤشرات، أهمها معدل الإنتاج الفردي للنفايات، والكثافة السكانية، وطبيعة النشاط الاقتصادي والاجتماعي للمنطقة المدروسة.

تكتسي هذه العملية أهمية كبيرة في التخطيط البيئي، إذ تسمح بتصميم أنظمة فعّالة لجمع النفايات وتحديد سعة وسائل النقل ومواقع المعالجة، مثل مراكز الردم الصحي. كما تساهم في تقدير التأثيرات البيئية المرتبطة بالنفايات، خاصة فيما يتعلق بانبعاث الغازات الدفيئة وإنتاج العصارة. وبالتالي ، فإن التحديد الدقيق لكمية النفايات المنتجة يُعدّ أداة ضرورية لاتخاذ قرارات مستدامة في مجال تسيير النفايات، وتحسين الأداء البيئي والاقتصادي للمنظومات الحضرية [16].

وعادة ما يُعبر عن هذه الكميات بوحدات قياس قياسية تسهل نمذجة البيانات رياضياً، ومنها :

معدل الإنتاج الفردي اليومي:

ويُقاس بوحدة (كيلوغرام/فرد/يوم).

الكتلة الإجمالية المتولدة:

وتُقاس بالطن يوميا أو سنوياً.

الحجم الظاهري:

ويُقاس بالمتّر المكعب (m^3) ، وهو ضروري جداً لتحديد سعة حاويات ومراكز التجميع.

2-1 نشأة الاقتصاد الدائري :

ظهر مصطلح الاقتصاد الدائري لأول مرة عام 1989 مع صدور كتاب بعنوان "اقتصاديات الموارد الطبيعية والبيئة" عن مطبعة جامعة جونز هوبكنز الأميركية، لمؤلفيه ديفيد بيرس وآر. كيري تيرمز. يوضح الكتاب العلاقة بين الاقتصاد والموارد الطبيعية والبيئة، وطبيعة التكامل بين النظام البيئي والاقتصادي، بالإضافة إلى أبرز مظاهر الانحراف في النظام البيئي وأثارها الاقتصادية.

يتميز المؤلفان بين الاقتصاد الخطي، حيث يكون استهلاك الموارد مفتوحاً وينتهي بالتخلص منها، والاقتصاد الدائري ، الذي يسعى إلى إعادة بناء رأس المال بكافة أشكاله – المالي، الصناعي، البشري، الاجتماعي، والطبيعي – وتحسين عوائد الموارد من خلال تدوير المنتجات والمكونات والخامات المستخدمة باستمرار، بما يضمن تعزيز التدفق المستمر للمواد التقنية والبيولوجية [17].

2-2 تعريف الاقتصاد الدائري Circular economy :

هو نظام إنتاج وتبادل واستهلاك يهدف إلى تحسين استخدام الموارد في جميع مراحل دورة حياة سلعة أو خدمة، ضمن المنطق الدائري، مع الحد من البصمة البيئية والمساهمة في رفاهية الأفراد والمجتمع [18].

الاقتصاد الدائري هو نموذج اقتصادي وصناعي يهدف إلى تقليل النفايات إلى أدنى حد ممكن، والتقليل من الآثار السلبية على البيئة. يقوم هذا الاقتصاد على تدوير المكونات والمنتجات، وإعادة الاستخدام والتدوير بجودة عالية، مع تصميم السلع والمنتجات بحيث تكون قابلة للإصلاح والتجديد منذ البداية، مما يضمن الاستفادة منها مرات عديدة والاستخدام الأمثل والفعال للموارد المتاحة، وبالتالي تحقيق التنمية المستدامة.

كما يعتمد الاقتصاد الدائري على استخدام موارد أقل في عمليات التصنيع، وتغيير الأنشطة والممارسات المتعلقة بكيفية التخلص من النفايات من خلال الإصلاح وإعادة الاستخدام وإعادة التصنيع، بما يسمح بتحويل المنتجات والمكونات إلى مواد خام يمكن الاستفادة منها في عمليات جديدة [19].

يمثل الاقتصاد الدائري نظاماً صناعياً متجدداً، قائماً على إعادة التصميم، والتحول نحو استخدام الطاقة المتجددة، وتجنب المواد الضارة، بهدف القضاء على النفايات من خلال التصميم المتميز للمواد و المنتجات [20].

وفقاً لتقرير مؤسسة إلين ماك آرثر، يقوم مفهوم الاقتصاد الدائري على فكرتين أساسيتين :

- ادراك و الوعي بان كل ما يصنف بانه نفايات يمكن إعادة استخدامه كمورد لصناعة أخرى.

- فصل النمو الاقتصادي عن فكرة استخدام الموارد الطبيعية فقط [21].



شكل 1-4: مخطط لدورة الاقتصاد الدائري :[36]

3-2 مبادئ الاقتصاد الدائري :

1-3-2 التصميم من أجل طول العمر والمتانة Design for Longevity and Durability :

يشجع الاقتصاد الدائري على تصميم المنتجات بطريقة تعطي الأولوية للمتانة وطول العمر. من المفترض أن تتمتع المنتجات بعمر افتراضي أطول، مما يقلل الحاجة إلى الاستبدال. يركز هذا المفهوم على إنتاج منتجات عالية الجودة، قوية وموثوقة يمكن استخدامها لفترة طويلة، وبالتالي تقليل النفايات واستهلاك الموارد.

2-3-2 الحفاظ على قيمة المنتج وإطالة عمره Preserve and Extend Product Value :

يتم التركيز على الحفاظ على قيمة المنتجات وزيادتها. ويشمل ذلك تقنيات مثل قابلية الإصلاح وإمكانية التحديث أو التطوير. إن إصلاح المنتجات وتطويرها بدلاً من التخلص منها واستبدالها يسمح باستمرار استخدامها لفترة أطول، مما يقلل من توليد النفايات واستنزاف المواد الخام.

3-3-2 إعادة التدوير واسترجاع المواد Recycling and Material Recovery :

تعطي مفاهيم الاقتصاد الدائري (CE) أولوية لإعادة التدوير واسترجاع المنتجات. فعندما لا يمكن إصلاح المنتجات أو تجديدها، يجب تفكيكها وإعادة تدوير مكوناتها. وتتضمن هذه العملية تفكيك المنتجات إلى موادها الأساسية لاستخدامها كمدخلات في تصنيع منتجات جديدة، مما يقلل من الحاجة إلى المواد الخام ويخفف من التأثيرات البيئية.

4-3-2 التعاون وإشراك أصحاب المصلحة Collaboration and Stakeholder Engagement :

يعتمد نجاح الاقتصاد الدائري على تعاون مختلف الفئات وأصحاب المصلحة والعمل معاً، مثل الشركات والحكومات والمستهلكين والمنظمات غير الحكومية. ولتحقيق ذلك، يجب على جميع الأطراف المشاركة في سلسلة التوريد أن تتعاون وتتبادل الأفكار وتبتكر أساليب جديدة أكثر إبداعاً واستدامة.

2-3-5 اللامركزية والحلول المحلية : Decentralization and Local Solutions

تشجع مبادئ الاقتصاد الدائري على اعتماد الأساليب اللامركزية والحلول المحلية. فمن خلال تشجيع التصنيع المحلي ومراكز الإصلاح وإعادة التدوير، يمكن للاقتصاد الدائري أن يقلل من الآثار البيئية الناتجة عن النقل وأن يعزز النمو الاقتصادي الإقليمي. كما أن الأنظمة المحلية تكون أكثر مرونة في تلبية الاحتياجات والفرص الخاصة بكل منطقة [22].

2-4 موانع التحول للاقتصاد الدائري:

رغم ما يحققه الاقتصاد الدائري من حلول مبتكرة لتحقيق تنمية مستدامة و حماية للبيئة , الا ان تطبيقه على ارض الواقع يواجه مجموعة من العوائق و التحديات التي تحد من انتشاره وفعاليتته نذكر منها :

2-4-1 عوائق ثقافية :

تُعدّ العوائق الثقافية من أهم الموانع التي تواجه تطبيق الاقتصاد الدائري ، لأنها مرتبطة بسلوك الأفراد وعادات المجتمع. فكثير من الناس ما زالوا معتادين على نمط الاستهلاك الخطي القائم على “الاستخدام ثم الرمي”، دون التفكير في إعادة الاستعمال أو التدوير.

كما أن ضعف الوعي البيئي يجعل بعض الأفراد لا يدركون أهمية فرز النفايات أو ترشيد الموارد، فيعتبرون هذه الممارسات أمورًا ثانوية أو غير ضرورية. إضافة إلى ذلك، قد توجد مقاومة للتغيير، حيث يفضل الناس الأساليب التقليدية ويتخوفون من تبني أنماط جديدة في الاستهلاك والإنتاج

لذلك، يبقى نشر الثقافة البيئية والتوعية بأهمية الاقتصاد الدائري عبر التعليم والإعلام أساسياً لتجاوز هذه العوائق الثقافية

2-4-2 عوائق تسويقية:

تواجه الشركات التي تحاول تبني ممارسات التسويق الأخضر أو الدائري عدة مشكلات مثل ارتفاع تكاليف التسويق والترويج للمنتجات الصديقة للبيئة، ضعف الطلب الاستهلاكي على هذه المنتجات مقارنة بالبدايل التقليدية، بالإضافة إلى شكوك المستهلكين حول جودة وفائدة المنتجات المعاد تدويرها أو المعاد تصنيعها، مما يؤثر سلباً على قدرتها على اختراق الأسواق وجذب العملاء. كل هذه العوامل تُعرّف كعوائق تسويقية تُبطئ من اعتماد نماذج الأعمال الدائرية وتفرض على الشركات إعادة التفكير في استراتيجياتها التسويقية [23].

2-4-3 عوائق تشريعية :

لا تزال القوانين في العديد من الدول مصممة لخدمة النموذج الاقتصادي الخطي التقليدي. فغياب تشريعات واضحة تدعم إعادة التدوير، وإعادة الاستعمال، وإعادة التصنيع يجعل المؤسسات تتردد في الاستثمار في المشاريع الدائرية. كما أن تعقيد الإجراءات الإدارية وطول مسار التراخيص القانونية يشكل عائقاً إضافياً أمام الشركات الراغبة في تبني هذا النموذج.

إضافة إلى ذلك، قد تفتقر بعض القوانين إلى الحوافز المالية والضريبية التي تشجع على استخدام المواد المعاد تدويرها، أو قد لا تفرض قيوداً كافية على استغلال الموارد الطبيعية والتخلص من النفايات، مما يقلل من جاذبية الاقتصاد الدائري

مقارنة بالاقتصاد الخطي. لذلك، فإن تحديث الإطار التشريعي ووضع سياسات داعمة يُعدّ شرطاً أساسياً لتسريع الانتقال نحو الاقتصاد الدائري [24].

2-4-4 عوائق تكنولوجيا :

تُعدّ العوائق التكنولوجية من أبرز التحديات التي تعيق تطبيق الاقتصاد الدائري ، إذ إن نجاح هذا النموذج يعتمد بدرجة كبيرة على توفر تقنيات متطورة لإعادة التدوير، والفرز، وإعادة التصنيع، واسترجاع المواد. غير أن كثيرًا من الدول، خاصة النامية، تعاني من نقص في هذه التقنيات أو من ارتفاع تكاليف اقتنائها وصيانتها. كما أن محدودية الكفاءات التقنية وضعف البحث العلمي والابتكار يعرقلان تطوير حلول محلية فعّالة. إضافة إلى ذلك، فإن بعض المواد والمنتجات لا تزال تنفقر إلى تقنيات قادرة على إعادة تدويرها بجودة عالية، مما يقلل من فرص إدماجها في الدورة الإنتاجية من جديد ويجعل الاعتماد على النموذج الخطي أكثر سهولة [25].

2-5-5 فوائد تطبيق الاقتصاد الدائري :

2-5-1 الفوائد البيئية :

- تقليل النفايات بشكل كبير عبر إعادة الاستخدام والتدوير .
- حماية الموارد الطبيعية من الاستنزاف.
- خفض التلوث الهوائي والمائي والتربة.
- تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.
- الحفاظ على التوازن البيئي والتنوع البيولوجي [26].

2-5-2 الفوائد الاقتصادية :

- تقليل تكاليف الإنتاج على المدى المتوسط والطويل.
- خلق فرص عمل جديدة في مجالات إعادة التدوير، الصيانة، والإصلاح.
- تشجيع الابتكار في تصميم المنتجات والمواد.
- زيادة كفاءة استخدام الموارد.
- فتح أسواق جديدة مبنية على الاستدامة [26].

2-5-3 الفوائد الاجتماعية :

- تحسين جودة الحياة عبر بيئة أنظف.
- نشر ثقافة المسؤولية البيئية لدى الأفراد والمؤسسات.

– دعم التنمية المستدامة.

– تقوية العلاقة بين الاقتصاد والمجتمع والبيئة [27].

2-5-4 الفوائد على مستوى المؤسسات :

– تحسين صورة المؤسسة وسمعتها البيئية.

– الامتثال للتشريعات البيئية الحالية والمستقبلية.

– تقليل المخاطر المرتبطة بندرة الموارد.

– رفع القدرة التنافسية [28].

2-5-5 الفوائد على مستوى الدول النامية :

– استغلال النفايات كمورد اقتصادي.

– تقليل الاعتماد على استيراد المواد الأولية.

– خلق مشاريع صغيرة ومتوسطة في مجال التدوير.

– دعم الاقتصاد المحلي وتحقيق قيمة مضافة [29].

3-1 البصمة الكربونية :

تشير البصمة الكربونية إلى قياس انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وبشكل عام غازات الاحتباس الحراري، الناتجة عن نشاط معين أو شخص أو دولة. أي نشاط استهلاكي يولد كمية من الكربون تختلف حسب اختياراتنا في الحياة اليومية مثل وسيلة النقل، نوع الغذاء، عادات الشراء، وطريقة السكن. يُتيح قياس البصمة الكربونية مقارنة أساليب حياة أو مجتمعات مختلفة من حيث التأثير البيئي، كما يقدم دليلاً للمستهلكين الراغبين في تقليل أثر استهلاكهم على البيئي.

ويُساعد تحديد البصمة الكربونية للانبعاثات على :

- وضع سياسات بيئية فعّالة.

– تحديد إجراءات عملية قابلة للتنفيذ.

– معرفة موقع الفرد أو المؤسسة ضمن القطاع الذي ينتمي إليه.

- تقييم الاعتماد على غازات الاحتباس الحراري وإعادة النظر في استراتيجيات التنمية المستدامة [30].

4-1 مفهوم جودة الحياة :

تُعرّف جودة الحياة بشكل عام بأنها مستوى الرفاهية والاستقرار الذي يعيشه الأفراد في بيئة معينة، وهي مفهوم شامل ومتعدد الأبعاد لا يقتصر فقط على الجانب المادي أو الدخل، بل يمتد ليشمل أبعاداً صحية، بيئية، ونفسية.

وفقاً لمنظمة الصحة العالمية (WHO) ، ترتبط جودة الحياة بإدراك الأفراد لموقعهم في الحياة في سياق الثقافة وأنظمة القيم التي يعيشون فيها، وعلاقة ذلك بأهدافهم وتوقعاتهم. وتتأثر جودة الحياة بشكل مباشر بثلاثة محاور رئيسية تدعم التنمية المستدامة :

- **البُعد البيئي:** مدى نقاء الهواء، التخلص الآمن من النفايات، وتقليل التلوث الضوضائي والجوي.
- **البُعد الصحي:** انخفاض معدلات الأمراض التنفسية والناجمة عن التلوث، وتوفير بيئة معيشية آمنة.
- **البُعد الاقتصادي والخدمي:** كفاءة إدارة الموارد العامة المتاحة (مثل الوقود والميزانيات المحلية) وتوظيفها لتحسين الخدمات اليومية للمواطن.

وعليه، فإن تحسين إدارة النفايات عبر الاقتصاد الدائري يُحقق أثراً مباشراً وقابلاً للقياس على مؤشرات جودة الحياة بمختلف أبعادها [31].

خاتمة :

تناول هذا الفصل التأطير النظري والمفاهيمي للمحاور الجوهرية التي يقوم عليها البحث، إذ سعينا من خلاله إلى بناء منظومة مفاهيمية متكاملة تُشكّل الإطار المرجعي لما سيأتي من تحليل ميداني.

وقد استعرضنا في البداية مفهوم النفايات بمختلف أصنافها وأنواعها، وأساليب إدارتها التقليدية والحديثة، لنتبين حجم التحدي الذي تطرحه على المجتمعات المعاصرة سواء على الصعيد البيئي أو الاقتصادي أو الصحي. ثم انتقلنا إلى استجلاء مفهوم الاقتصاد الدائري بوصفه نموذجاً اقتصادياً بديلاً يُعيد تنظيم العلاقة بين الإنتاج والاستهلاك والنفايات، ويحوّل هذه الأخيرة من عبء إلى موارد قابلة للثمين والاستعادة ضمن دورة إنتاجية مغلقة ومستدامة.

كما تطرّقنا إلى مفهوم البصمة الكربونية وآليات ارتباطها بقطاع النفايات، مُبينين كيف أن الاعتماد على مبادئ التدوير وإعادة الاستخدام يُسهم في خفض الانبعاثات الكربونية وتخفيف الضغط على البيئة. وفي الأخير، توقفنا عند مفهوم جودة الحياة بأبعاده الصحية والبيئية والاجتماعية والاقتصادية، مستندين إلى أبرز النماذج النظرية الدولية كنموذج منظمة الصحة العالمية ومقاربة القدرات ، وأدوات قياسه المعتمدة كمؤشر التنمية البشرية ومؤشر الحياة الأفضل.

وقد كشف هذا التأطير النظري عن وجود علاقة وثيقة وتأثير متبادل بين تسيير النفايات وفق منظور تدويري من جهة، وجودة حياة الأفراد والمجتمعات من جهة أخرى، مما يستدعي دراسة هذه العلاقة على أرض الواقع.

وانطلاقاً من هذا التأسيس النظري، يأتي الفصل الثاني لِيُسقط هذه المفاهيم على الواقع المحلي، من خلال دراسة ميدانية تحليلية لواقع تسيير النفايات في ولاية ورقلة، رصداً للإشكاليات القائمة وتقييماً لمدى انعكاسها على جودة حياة سكانها.

الفصل الثاني :

تسيير النفايات لمدينة ورقلة

مقدمة :

تُمثل مدينة ورقلة إحدى الحواضر الجزائرية ذات الخصوصية المتميزة، إذ تجمع بين موروث حضاري عريق وثقل اقتصادي استراتيجي مرتبط أساساً بالثروة النفطية والغازية، فضلاً عن موقعها الجغرافي في عمق الجنوب الجزائري الكبير الذي يمنحها طابعاً بيئياً وديموغرافياً خاصاً. وقد شهدت المدينة في العقود الأخيرة نمواً عمرانياً وسكانياً متسارعاً، صاحبه تصاعد ملحوظ في حجم النفايات المنزلية والصناعية والطبية المنتجة يومياً، مما جعل قطاع تسيير النفايات يواجه ضغوطاً متزايدة تفوق في أحيان كثيرة الطاقة الاستيعابية للبنية التحتية القائمة.

وعلى الرغم من الجهود المبذولة على مستوى السياسات الوطنية لتحديث منظومة تسيير النفايات، لا سيما في إطار القانون 19-01 المتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها، والمخططات الوطنية للتسيير كـ PNAGDES وPROGDEM، إلا أن التطبيق الفعلي على المستوى المحلي لا يزال يعاني من اختلالات هيكلية وتشغيلية عديدة، تتجلى في قصور خدمات الجمع والنقل، وغياب ثقافة الفرز من المصدر، وضعف البنية التحتية لمعالجة النفايات وتثمينها.

إن دراسة واقع تسيير النفايات في مدينة ورقلة لا تقتسب أهميتها من البُعد البيئي وحده، بل تمتد لتشمل انعكاسات مباشرة على الصحة العامة والمحيط المعيشي وجودة حياة السكان، في ظل تنامي ظاهرة المطارح العشوائية وما تُفرزه من مخاطر بيئية وصحية جسيمة.

وعليه، يسعى هذا الفصل إلى تشخيص واقع تسيير النفايات في مدينة ورقلة تشخيصاً علمياً دقيقاً، من خلال التعرف على الفاعلين المؤسسين المعنيين، واستعراض الإمكانيات المادية والبشرية المتاحة، وتحليل مسار النفايات من مرحلة الإنتاج حتى الإزالة النهائية، وصولاً إلى تقييم مدى التوجه نحو تبني مبادئ الاقتصاد الدائري في إدارة هذا القطاع الحيوي وانعكاس ذلك على جودة حياة سكان المدينة.

1-1 الإطار الجغرافي والديموغرافي لمدينة ورقلة :

تتميز مدينة ورقلة بموقعها الاستراتيجي في الجنوب الشرقي الجزائري، حيث تشهد نمواً ديموغرافياً متسارعاً وتوسعاً عمرانياً كبيراً في السنوات الأخيرة. هذا التحول الحضري أدى بشكل مباشر إلى تغيير النمط المعيشي للسكان، وبالتالي زيادة مطردة في معدلات تولد النفايات الصلبة. كما أن الخصائص المناخية الجافة والصحراوية للمنطقة، والتي تتميز بارتفاع درجات الحرارة لمدد طويلة من السنة، تفرض تحديات إضافية على سرعة تحلل المواد العضوية، مما يستوجب منظومة تسيير سريعة وفعالة لتفادي المخاطر البيئية والصحية [32].

2-1 تركيبة النفايات المنتجة على مستوى الولاية :

تشير المؤشرات التقديرية المتاحة إلى أن مدينة ورقلة تنتج كميات معتبرة من النفايات المنزلية والمشابهة يومياً، وتتكون هذه النفايات في مجملها من نسبة عالية من المواد العضوية (بقايا الطعام)، تليها المواد القابلة لإعادة التدوير مثل البلاستيك، الورق، والكرتون، والمعادن. ويتأثر الحجم الإجمالي المنتج بعدد السكان ومعدل إنتاج الفرد اليومي؛ حيث يتطلب هذا التدفق المستمر للنفايات خطة تجميع يومية صارمة لاستيعاب الحجم المتزايد ومنع تراكمه داخل المحيط الحضري وتجنب تشكل النقاط السوداء. ويمثل الشكل التالي نسبة كل مركب من النفايات.



شكل 2-5: تمثل الصورة النسب المئوية لتركيب النفايات.

3-1 وضعية نقاط الرمي والتجميع :

تبدأ الحلقة التطبيقية للتسيير من عملية الرمي الأولي؛ حيث تنتشر في أحياء مدينة ورقلة حاويات تجميع تقليدية ذات سعات مختلفة. تعاني هذه النقاط من توزيع غير مدروس في بعض الأحيان، مما يؤدي إلى تكديس النفايات حول الحاويات وخروجها عن طاقتها الاستيعابية قبل وصول شاحنات الجمع. كما يغيب الفرز الانتقائي من المصدر تماماً، حيث تُرمى المواد العضوية والمواد الصلبة والقابلة للتدوير معاً في نفس الحاوية، مما يصعب عمليات الاسترجاع لاحقاً.

4-1 السلبات المترتبة عن نظام التجميع :

4-1-1 التباين في فترات الرمي :

إن إنتاج النفايات في مدينة ورقلة لا يسير على وتيرة واحدة طوال السنة، بل يخضع لتقلبات وتغيرات واضحة تعود أساساً إلى السلوكيات الاستهلاكية والمواسم :

ذروة فصل الصيف : يرتفع حجم النفايات بشكل ملحوظ خلال الصيف، مدفوعاً بزيادة استهلاك المواد المرطبة، الفواكه الموسمية، وعلب البلاستيك والمشروبات، بالتزامن مع تسارع وتيرة تعفن النفايات العضوية بسبب الحرارة المرتفعة، مما يتطلب تكتيف دورات الجمع.

فصل الشتاء : تنخفض الكميات نسبياً مقارنة بالصيف وتتغير تركيبها نتيجة لتغير النمط الغذائي والاستهلاكي للمواطنين.

هذه التباينات الموسمية تفرز ضغطاً غير متوازن على خطوط الجمع والنقل الحالية التي غالباً ما تعمل ببرنامج ثابت لا يراعي هذه التغيرات الديناميكية.

4-1-2 تشكل نقاط سوداء :

تعتبر "النقاط السوداء" والمفرغات العشوائية من أبرز الظواهر السلبية التي تترجم بوضوح الاختلالات الهيكلية في المنظومة الحالية للتسيير بمدينة ورقلة. وتُعرّف النقاط السوداء بأنها مواقع داخل النسيج العمراني أو على أطرافه تتحول بفعل الرمي غير القانوني والمستمر إلى أماكن عشوائية لتراكم النفايات بمختلف أنواعها، خارج الرقابة الرسمية والمخطط البلدي للتجميع. كما يظهره الشكل التالي:



شكل 2-6: صورة تبرز نقطة سوداء

1-5 نظام جمع النفايات الحضرية لمدينة ورقلة :

إن تشخيص المنظومة الحالية لتسيير النفايات المنزلية بمدينة ورقلة يتطلب تتبع المسار الفيزيائي والعملي الذي تمر به النفايات منذ لحظة التخلص منها من طرف الساكنة وحتى معالجتها النهائية. ولإعطاء قراءة دقيقة وشاملة لهذه المنظومة، سنقوم بتقسيم وتتبع هذه الدورة التطبيقية عبر مرحلتين أساسيتين:

1-5-1 مرحلة الجمع و النقل :

تُعد مرحلة جمع ونقل النفايات من أهم المراحل الأساسية في تسيير النفايات المنزلية، حيث تهدف إلى إزالة النفايات من الأحياء السكنية ونقلها إلى مراكز المعالجة أو الردم. وتشمل هذه المرحلة توفير الحاويات، تنظيم عمليات الجمع، تحديد مسارات الشاحنات، وتوفير الوسائل البشرية والمادية اللازمة. كما تساهم فعالية هذه المرحلة في الحد من انتشار الروائح والحشرات والمحافظة على نظافة المحيط الحضري. وتعد مؤسسة NET-COM المسؤولة عن هذه المرحلة :

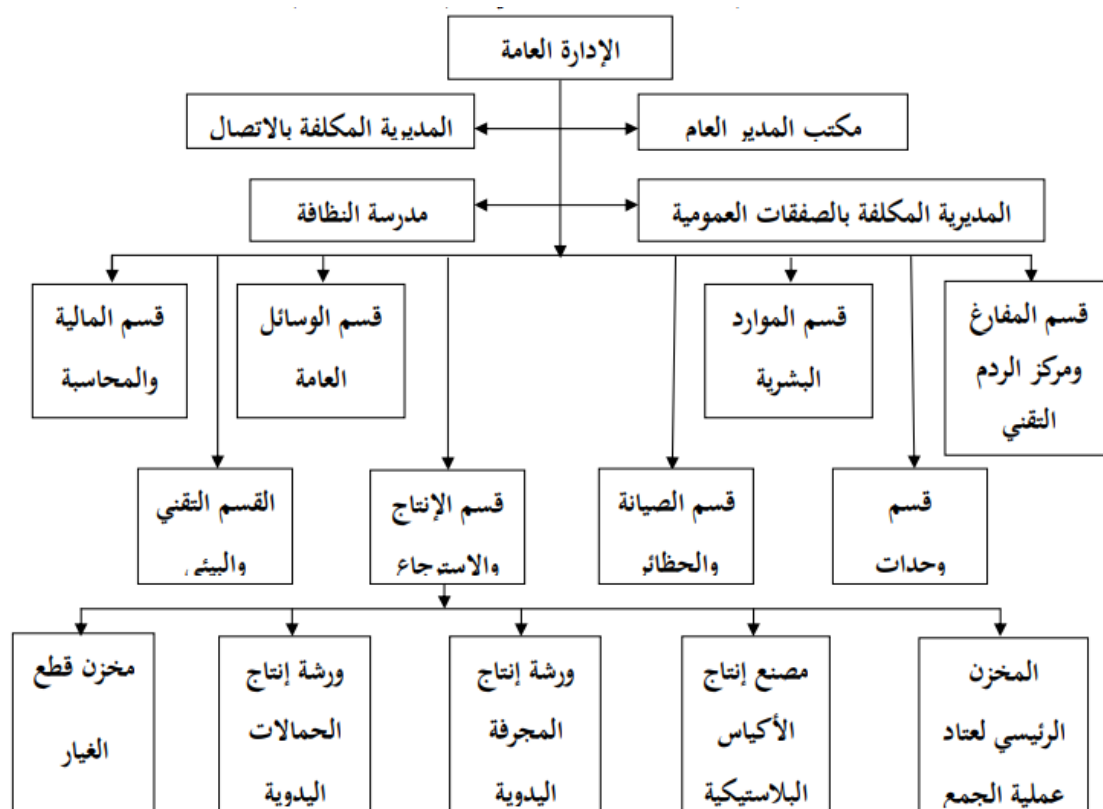
1-1-5-1 مؤسسة NET-COM :

هي شركة خاصة تنشط في مجال تسيير النفايات الصلبة الحضرية . تتمثل مهامها الرئيسية في جمع و نقل النفايات المنزلية من الأحياء السكنية الى مراكز الردم التقني، وذلك وفق عقود مبرمة مع البلديات. تساهم هذه المؤسسة في الحفاظ على النظافة العامة وحماية البيئة من خلال ضمان جمع منتظم و امن للنفايات مما يساعد في الحد من التلوث و تحسين الاطار المعيشي للسكان.

كما ان للمؤسسة أيضا نشاطين أساسيين :

- انجاز وصيانة الانارة العمومية.

-تهيئة المساحات الخضراء.



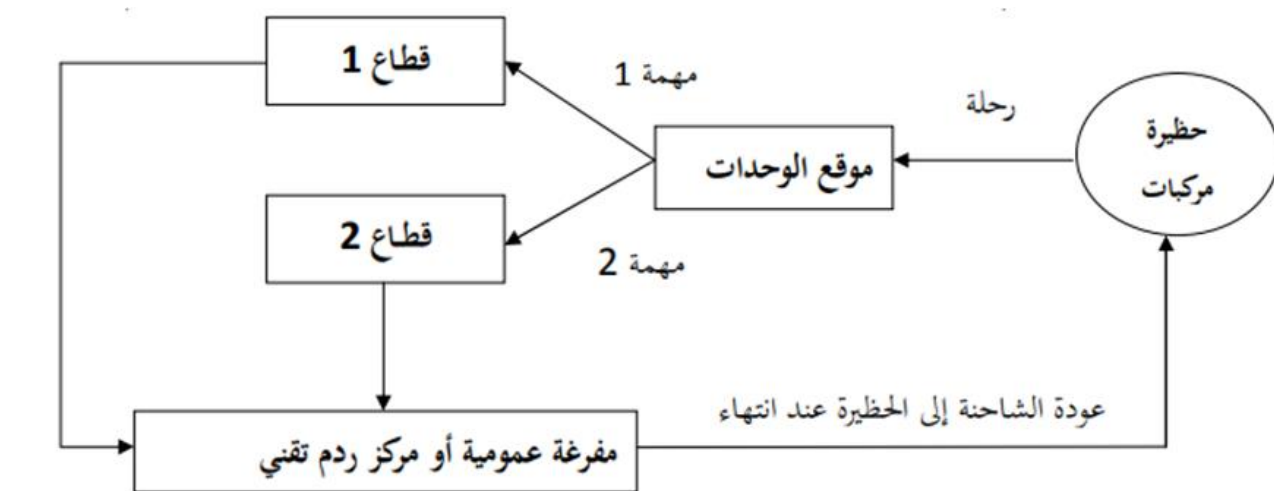
شكل 2-7: الهيكل التنظيمي لمؤسسة NET-COM

2-1-5-1 الية تسيير جمع النفايات :

لاستيعاب كمية النفايات الحضرية لولاية ورقلة تم تقسيمها الى عدة قطاعات تتضمن مختلف البلديات التابعة لها كما يظهرها الجدول 1-2 التالي :

الوحدة	القيمة	
عدد القطاعات	55	قطاع
عدد الشاحنات	55	شاحنة
عدد الدورات لكل شاحنة	2	دورة/يوم
حمولة الدورة	2.5	طن
انتاج الفرد	0.8	كغ/يوم
اجمالي كمية النفايات	275	طن

تتم مرحلة التجميع لدى المؤسسة وفق المخطط التالي :



شكل 2-8 : رسم توضيحي لمسار التجميع

1-5-1 وسائل عملية النقل :

تُستعمل شاحنات جمع النفايات ذات الكبس الهيدروليكي بشكل واسع في عمليات جمع ونقل القمامة، وذلك لما توفره من قدرة كبيرة على ضغط النفايات وتقليل حجمها داخل الحاوية. وتعتمد هذه الشاحنات على نظام هيدروليكي يسمح بكبس النفايات بطريقة آلية، مما يساهم في زيادة كمية النفايات المنقولة وتقليل عدد الرحلات .



شكل 9.2 : شاحنة المستعملة في عملية النقل

1-5-1-4 المشاكل التي تواجه المؤسسة:

- الرمي العشوائي للنفايات من قبل المواطنين.
- نقص الصيانة للعتاد نظرا للانشغال الدائم طيلة الأسبوع.
- عدم احترام مواقيت الرمي.
- سرقة حاويات القمامة.

1-5-2 مرحلة الفرز و الردم :

تأتي مرحلة الفرز والردم بعد عملية الجمع والنقل، وتهدف إلى معالجة النفايات والتخلص منها بطريقة منظمة تحافظ على البيئة والصحة العمومية. وتشمل عملية الفرز فصل المواد القابلة لإعادة التدوير عن باقي النفايات، مما يساعد على تقليل كمية النفايات الموجهة للردم. أما الردم الصحي فيتم داخل مراكز مهياة وفق شروط تقنية وبيئية تمنع تلوث التربة والمياه والهواء، وتضمن التخلص الآمن من النفايات.

1-2-5-1 مركز الردم التقني ورقلة (EPWG CET):

تم إنشاؤه بموجب قرار وزاري مشترك بتاريخ 09 نوفمبر 2008، وتُسيّر من طرف طاقم إداري وتقني، وتتكفل بـ الإشراف على تسيير جميع مراكز الردم التقني على مستوى ولاية ورقلة

تتمثل مهمتها الأساسية في التخلص من النفايات باستعمال تقنية الكبس، كما رُحِّص لها بممارسة نشاط ثانوي يتمثل في جمع النفايات المنزلية وما شابهها عبر تراب ولاية ورقلة، وذلك بموجب قرار والي الولاية رقم 284 المؤرخ في 17 ماي 2011 [33].

1-2-5-2 احواض مركز الردم التقني لولاية ورقلة :

يقوم المركز بالتخلص من النفايات النهائية الغير قابلة للاستعمال بعد مراحل الفرز على مستوى احواض خاصة تضمن عدم تأثير هذه المخلفات على البيئة. جدول 2-2

الادراج	قدرة الاستيعاب(طن)	العمق (م)	مدة الاستغلال (سنة)
الأول	16399.66	5	5
الثاني	30277.88	10	5
الثالث	/	/	5
الرابع	/	/	5
المجموع	/	/	20

1-5-2-3 كمية النفايات المستقبلية بمركز الردم ورقلة:

يبرز الجدول 2-3 التالي كميات النفايات بالطن التي استقبلها المركز من لبعض بلديات الولاية خلال عامي 2024 و 2025 :

بلدية عين البيضاء		بلدية نفوسة		بلدية سيدي خويلد		بلدية الرويسات		بلدية ورقلة		
2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	
/	/	/	/	200.32	/	1053.92	371.4	3252.0	4348.06	جانفي
/	/	/	92.62	201.66	/	1600.9	581.5	3431.7	3114.82	فيفري
/	/	/	89.34	181.62	28.16	1720.62	1431.6	3334.7	2854.12	مارس
/	/	/	73.82	180.64	70.8	1690.52	1153	2753.8	3388.26	أفريل
/	/	175.74	94.00	203.22	123.4	1765.64	1076.1	2877.2	3474.12	ماي
/	/	233.98	80.16	228.4	63.58	1736.38	1095.3	3282.0	3505.28	جوان
/	/	284.72	103.86	164.08	/	1688.38	1134.6	2353.3	2889.7	جويلية
/	/	275.92	83.74	128.92	85.24	1699.34	1065.52	1806.1	3006.88	أوت
/	/	383.06	108.84	168.48	164.18	1535.74	935.38	3289.0	3406.48	سبتمبر
/	/	425.2	107.62	202.68	174.58	1839.2	971.66	3386.9	3636.44	أكتوبر
122.94	/	324.08	91.2	179.66	175.82	1677.54	946.46	4143.3	3497.12	نوفمبر
245.86	/	343.84	97.1	217.9	198.58	1689.44	988.7	3984.0	3694.56	ديسمبر
368.8	00	2446.54	1022.24	2256.96	1083.62	19697.7	11750.8	37894.3	40815.9	المجموع

يُظهر الجدول أن مركز الردم التقني لولاية ورقلة يستقبل كميات متزايدة من النفايات، إذ تهيمن بلدية ورقلة على الحصة الأكبر بفارق كبير عن باقي البلديات، في حين تُسجل بلدية عين البيضاء غياباً تاماً لسنة 2024 مما يثير تساؤلات حول مصير نفاياتها. ويبقى النقص الأبرز في هذه البيانات هو اقتصارها على خمس بلديات فقط من أصل 21 تضمها الولاية، مما يعني أن الجزء الأكبر من النفايات الولائية لا يزال خارج المنظومة الرسمية ويُرجَّح توجهه نحو المطارح العشوائية. يُضاف إلى ذلك غياب بيانات كاملة لسنة 2025 وانعدام أي تصنيف نوعي للنفايات، فضلاً عن الاعتماد الكلي على أسلوب الطمر دون أي توجه نحو الفرز أو التدوير، وهو ما يُبعد ورقلة عن متطلبات الاقتصاد الدائري ويُديم الأثر البيئي السلبي لهذا القطاع.

6-1 تقدير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO₂) الناتجة عن احتراق وقود جمع ونقل النفايات المنزلية :

1-6-1 لنظام الجمع الحالي :

لقياس الأثر البيئي الناتج عن حرق وقود الديزل (المازوت) المشغل لأسطول شاحنات جمع النفايات، تم الاعتماد على الدليل التوجيهي الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لحساب البصمة الكربونية. تستند الطريقة الحسابية القياسية إلى كمية الوقود المستهلكة مضروبة في معامل الانبعاث المباشر للديزل وفق المعادلة التالية:

$$E_{CO_2} = FC_{total} * EF \quad (1)$$

- E_{CO_2} : إجمالي انبعاث أكسيد الكربون وتقاس بالكيلو غرام (Kg) .
 - FC_{total} : إجمالي حجم الوقود المستهلك (L) .
 - EF (Emission Factor) : معامل انبعاث الوقود ويقدر عالميا بـ 2.68Kg CO₂/L وهو ما يمثل كمية الكربون المنبعثة نتيجة الاحتراق الكامل للتر من الوقود .
- لحساب كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من المركبات المخصصة لجمع ونقل النفايات، يجب معرفة المعطيات التالية :

حجم الوقود المستهلك خلال عملية الجمع والنقل.

المسافة التي تقطعها الشاحنات أثناء أداء مهامها، أو تكلفة الوقود المستهلك كبديل لتقدير كمية الاستهلاك.

- يلخص الجدول 2-4 التالي الاستهلاك الشهري للوقود لشاحنات جمع النفايات لسنة 2025

الشهر	كمية الوقود (L)	المبلغ (DA)
جانفي	39612	1188360
فيفري	38765	1162950
مارس	34975	1049250
أفريل	36677	1100310
ماي	38456	1153680
جوان	37556	1126680
جويلية	38435	1153050
أوت	36627	1098810
سبتمبر	37896	1136880
أكتوبر	37567	1127010
نوفمبر	37625	1128750
ديسمبر	38567	1157010
المجموع	452758	13582740

وعليه فان :

متوسط الانبعاثات الكربونية شهريا :

$$E_{CO_2} = 30 * 39612 = 1188.6 \text{ ton (CO}_2\text{)} \quad (2)$$

متوسط الانبعاثات الكربونية سنويا :

$$E_{CO_2} = 1188.6 * 12 = 14263.2 \text{ ton (CO}_2\text{)} \quad (3)$$

1-6-2 لنظام الجمع المقترح (مراكز تجميع) :

سيتم بناء النموذج بناء على كميات النفايات المستقبلية لدى مركز الردم التقني.

طريقة عمل نظام مراكز التجميع:

لتطبيق نظام الجمع القائم على مراكز التجميع، تم الاعتماد على المعطيات التالية:

- تقسيم المدينة ل 55 قطاع .

جعل مركزين تجميع لكل قطاع .

اعتماد 22 شاحنة نقل .

اعتماد خمس رحلات تجميع لكل شاحنة يوميا .

قدرة تحميل 2.5 طن لكل شاحنة.

2 . آلية عمل الشاحنات :

تقوم الشاحنات بجمع النفايات من مراكز التجميع فقط، وفق برنامج محدد مسبقاً، حيث يتم الانتقال مباشرة إلى النقاط الممتلئة دون المرور بجمع عشوائي داخل الأحياء، مما يقلل من زمن التنقل.

حساب كفاءة النظام للتخلص من النفايات :

$$W = \sum_{i=1}^N (P_i) \quad (4)$$

• N : عدد القطاعات الإجمالي (N=55) .

• P_i : معدل تولد النفايات في القطاع حيث $i \in \{1,2,...,N\}$.

• W : اجمالي حجم النفايات.

بفرض P ثابت لكل القطاعات (ton5) تصبح المعادلة :

$$W = N * P = 55 * 5 = 275 \text{ ton/day} \quad (5)$$

2- اذا اعتبرنا ان كل مركز جمع C_{ij} يستقبل نفس الكميات فان الكمية في كل مركز (W_{ij}) هي :

$$W_{ij} = P_i / M = 5 / 2 = 2.5 \text{ ton/center} \quad (6)$$

-ملاحظة : هذا الرقم يتطابق مع سعة الشاحنة الواحدة (V_k) .

3. اجمالي القدرة على النقل يوميا (Q) :

$$Q = \sum_{k=1}^T (V_k * R_k)$$

بما ان الشاحنات متماثلة في المواصفات :

$$Q = T * V * R = 22.5 * 2.5 * 5 = 275 \text{ ton/day} \quad (7)$$

• T: اجمالي عدد الشاحنات ($T=22$) .

• R: عدد الدورات لكل شاحنة .

• V_k : سعة الحمولة لكل شاحنة ($V_k=2.5 \text{ ton}$) .

4- حساب استهلاك الوقود :

تم اعتماد نفس الاستهلاك اليومي للشاحنات في الطريقة التقليدية لجمع النفايات .

$$F_{\text{total}} = V * F_d \quad (8)$$

$$F_{\text{total}} = 22 * 24 = 528 \text{ L/day} \quad (9)$$

يعكس استهلاك الوقود المقدر بـ 528 لتر يومياً التكلفة التشغيلية المباشرة للنظام. ومن خلال الربط بين القدرة الاستيعابية واستهلاك الطاقة، نجد أن معامل الكفاءة الطاقوية يبلغ 1.92 لتر لكل طن مجموعة. هذا المعامل يُعد مؤشراً حيوياً عند إجراء دراسات تقييم الأثر البيئي (EIA) أو عند حساب البصمة الكربونية لعمليات الجمع، حيث يمكن تقدير انبعاثات CO2 بناءً على إجمالي الاستهلاك اليومي.

باستعمال معادلة رقم (1) نجد ان :

❖ اجمالي الانبعاثات الكربونية اليومية :

$$E_{\text{daily}} = 528 * 2.68 = 1415.04 \text{ Kg(CO}_2\text{)} \quad (10)$$

❖ اجمالي الانبعاثات الكربونية السنوية :

$$E_{\text{yearly}} = 1415.04 * 365 \approx 516.49 \text{ Tons/Year} \quad (11)$$

خاتمة :

تناول هذا الفصل دراسة ميدانية تحليلية لواقع تسيير النفايات في ولاية ورقلة، انطلاقاً من التعريف بالإطار الجغرافي والديموغرافي للولاية بوصفه سياقاً محدداً لطبيعة الإشكالية وحجمها، ثم التعريف بالفاعل المؤسسي الرئيسي المتمثل في المؤسسة العمومية الولائية لتسيير مراكز الردم التقني (EPWG CET) ، التي تضطلع بمهمة استقبال النفايات المنزلية ومعالجتها من بلديات الولاية.

وقد كشف التشخيص الميداني عن جملة من الاختلالات البنيوية التي تعترى المنظومة الحالية، أبرزها محدودية التغطية الجغرافية لخدمات الجمع، وغياب الفرز من المصدر، وانتشار ظاهرة المطارح العشوائية، فضلاً عن اقتصار التسيير على أسلوب الردم. وقد تجلّت هذه الاختلالات بوضوح من خلال تحليل بيانات الكميات المستقبلية، التي أظهرت هيمنة بلدية ورقلة وغياب شبه كامل لبلديات عديدة عن المنظومة الرسمية.

وفي إطار قياس الأثر البيئي لهذا الواقع، تم حساب البصمة الكربونية لمنظومة التسيير الحالية من خلال تقدير انبعاثات CO_2 الناجمة عن عمليات الجمع والنقل باستخدام معامل الانبعاث المعتمد دولياً، مما كشف عن حجم الأثر الكربوني المرتبط بهذا القطاع.

وفي المقابل، تم اقتراح نظام بديل قائم على مراكز التجميع الموزعة، وأثبت الحساب المقارن للبصمة الكربونية أن هذا النظام المقترح يُحقق تخفيضاً ملموساً في الانبعاثات مقارنة بالنظام الحالي، مما يُعزز الحجة العلمية لتبني مقاربة الاقتصاد الدائري في تسيير نفايات الولاية.

وانطلاقاً من هذا التشخيص الميداني والمقارنة الكمية، يأتي الفصل الثالث ليقيم انعكاسات هذا الواقع على جودة حياة سكان ولاية ورقلة، ويستخلص التوصيات الكفيلة بتحسين المنظومة نحو نموذج أكثر استدامة وفعالية.

الفصل الثالث :
نتائج و تحليلات

مقدمة :

انطلاقاً مما تم تناوله في الفصلين السابقين، من تأطير نظري مفاهيمي في الفصل الأول، وتشخيص ميداني لواقع تسيير النفايات في ولاية ورقلة في الفصل الثاني، يأتي هذا الفصل ليُشكّل المحطة التركيبية والنقدية للبحث، إذ يسعى إلى مناقشة النتائج المتوصل إليها وتفسيرها في ضوء الإطار النظري المعتمد والأدبيات العلمية ذات الصلة.

وتتمحور الإشكالية الجوهرية التي يُعالجها هذا الفصل حول مدى قدرة المنظومة الحالية لتسيير النفايات في ولاية ورقلة على الاستجابة لمتطلبات الاقتصاد الدائري من جهة، وانعكاساتها الفعلية على جودة حياة السكان من جهة أخرى. وقد كشفت نتائج الدراسة عن هوة واسعة بين الواقع التشغيلي القائم والنموذج المستدام المنشود، تتجلى في ضعف التغطية الجغرافية، وغياب الفرز، وارتفاع البصمة الكربونية لمنظومة الجمع والنقل.

في المقابل، أثبت النظام البديل المقترح القائم على مراكز التجميع الموزعة فاعليته من الناحية الكمية، من خلال التخفيض الملموس في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالنظام الحالي، مما يُعزز جدواه البيئية والاقتصادية ويجعله خياراً قابلاً للتطبيق في سياق ولاية ورقلة.

وعليه، يتناول هذا الفصل مناقشة هذه النتائج وتفسيرها، ثم استخلاص التوصيات العملية الكفيلة بتحسين منظومة تسيير النفايات بما ينعكس إيجاباً على جودة حياة سكان الولاية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

1-1 النظام الذكي لإدارة النفايات الحضرية :

(Smart Underground Waste Management System)

يُعدّ النظام المقترح في هذا البحث حاويةً ذكيةً نصف مدفونة ، تتميز بقدرة استيعابية تبلغ 2.5 طن، وتندرج ضمن منظومة متكاملة لإدارة النفايات الصلبة الحضرية. يستجيب هذا النظام للتحديات المتزايدة التي تفرضها التوسعات العمرانية السريعة، والتي باتت تُثقل كاهل أنظمة جمع النفايات التقليدية من حيث التكلفة، والكفاءة، والأثر البيئي.

فيما يلي نبرز التصميم النهائي للحاوية الذكية :

أولاً – البنية الهيكلية :

تتكوّن الحاوية من وحدتين رئيسيتين:

الوحدة السفلية (الجوفية): مدفونة في باطن الأرض بعمق يتراوح بين 1.5 و 2 متر، مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) أو البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) لضمان المقاومة الكيميائية والميكانيكية. الوحدة العلوية (السطحية): تحتوي على فتحة الإدخال المريحة للمستخدم، وعناصر التحكم، ولا يتجاوز ارتفاعها 60-80 سم فوق مستوى الأرض، مما يُحسن الجماليات الحضرية.

ثانياً – نظام الكبس الهيدروليكي :

تُجهّز الحاوية بمكبس هيدروليكي آلي يعمل بضغط يتراوح بين 150 و 200 بار، قادر على تحقيق نسبة ضغط (Compaction Ratio) تصل إلى 1:4، أي أن الحاوية تستوعب فعلياً ما يعادل أربعة أضعاف حجمها الظاهري من النفايات غير المضغوطة. يُفعّل المكبس تلقائياً عند كل عملية إيداع أو وفق جدول زمني مبرمج، ويتوقف فور اكتشاف أي عائق بفضل حساسات الأمان المدمجة، مما يضمن سلامة المستخدمين ويُطيل عمر المعدات.

ثالثاً – منظومة الطاقة الشمسية المدمجة :

يُغذّى النظام بالكامل عبر ألواح فوتوفولطية (Monocrystalline) (Photovoltaic Panels) بكفاءة تحويل تفوق 20%، مثبتة على غطاء الحاوية بمساحة تتراوح بين 0.5 و 1 م². يُخزّن الفائض في بطاريات ليثيوم-أيون بسعة تكفي لتشغيل النظام لمدة 72 ساعة في غياب أشعة الشمس، مما يضمن الاستمرارية التشغيلية في الأيام الغائمة. يجعل هذا الحل النظام مكتفياً ذاتياً طاقياً بنسبة 100% ومستقلاً كلياً عن الشبكة الكهربائية، مع بصمة كربونية شبه معدومة في مرحلة التشغيل.

رابعاً – نظام الاستبدال الكامل للحاوية :

لا تعتمد عملية الإفرار على تفريغ النفايات في عين المكان، بل تقوم شاحنة متخصصة مجهزة بذراع رافعة هيدروليكية (Hydraulic Lift Arm) برفع الحاوية الممتلئة بالكامل واستبدالها فوراً بحاوية فارغة جاهزة للاستخدام. مما يُقلّص وقت التوقف إلى الحد الأدنى، ويُجنّب الروائح والانبعاثات الناجمة عن التفريغ المباشر في الشارع. كما تتيح هذه الآلية غسل وتعقيم الحاويات المستبدلة في منشأة مركزية بدلاً من الشارع، مما يرفع من مستوى النظافة العامة.

خامساً – نظام المعلومات والتحكم عن بُعد (IoT) :

تُزوّد كل حاوية بمنظومة استشعار متكاملة تشمل:

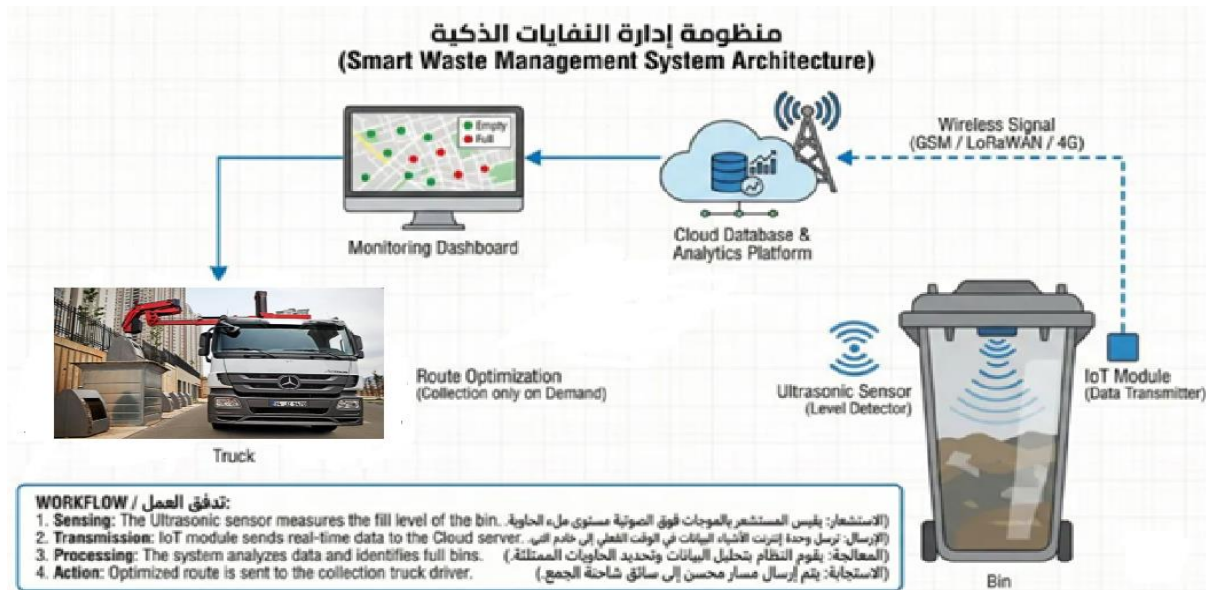
حساس الامتلاء بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Sensor) لقياس مستوى النفايات بدقة عالية.

حساس الوزن (Load Cell) لتحديد الكتلة الفعلية للمحتوى.

حساس الحرارة: للكشف المبكر عن أي اشتعال داخل الحاوية.

حساس الغاز: لرصد تراكم غاز الميثان (CH_4) الناتج عن تحلل النفايات العضوية.

تتصل هذه الحساسات بوحدة اتصال تعمل عبر شبكة الانترنت ، وترسل بيانات فورية إلى مركز التحكم المركزي الذي يُشغّل خوارزميات ذكاء اصطناعي لتحسين مسارات الشاحنات ديناميكياً. يُرسل إشعار تلقائي للشاحنة المعنية عند بلوغ نسبة الامتلاء 90%، مع إمكانية تتبع الموقع الجغرافي لكل حاوية عبر نظام GPS .



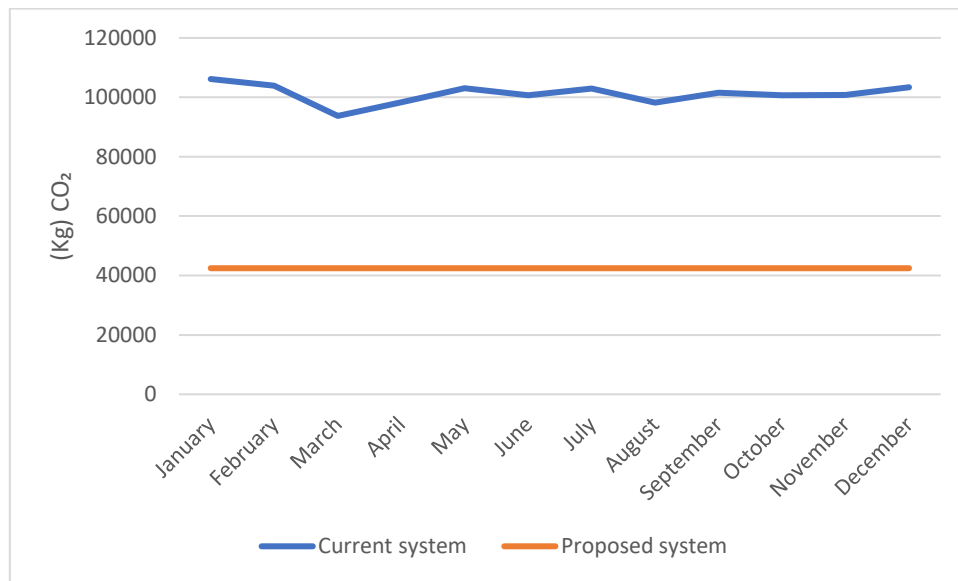
شكل 1.3: مخطط توضيحي لمبدأ عمل النظام

2-1 أهمية الانتقال لنظام مراكز التجميع :

1-2-1 الجانب البيئي وخفض انبعاثات CO₂ :

لتجسيد الفارق البيئي بين النظامين بشكل ملموس، تم الاعتماد على التحليل البياني لرصد حجم انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO₂) ، وهو ما تظهره المنحنيات التالية :

يبرز المنحنى التالي نسبة CO₂ الناتجة عن كل نظام :



شكل 2.3 : مقارنة انبعاث ثاني أكسيد الكربون بين النظامين .

يُظهر التمثيل البياني بوضوح الفارق الجوهري في البصمة الكربونية الناتجة عن عمليات جمع النفايات بين المنظومتين، حيث يمكن استخلاص النقاط التالية:

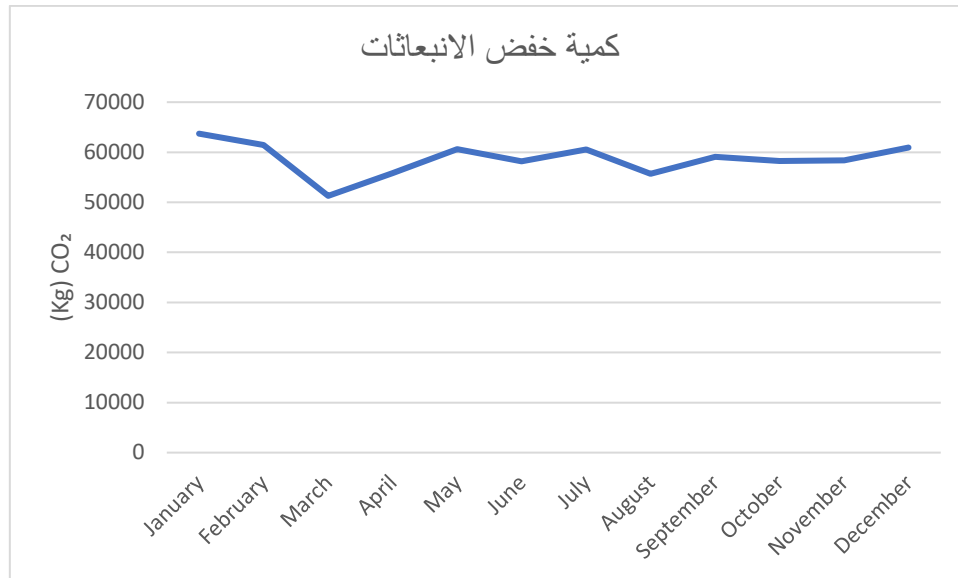
تحليل النظام الحالي (Current System):

سجل المنحنى الخاص بالنظام الحالي تذبذباً واضحاً بمستويات انبعاثات مرتفعة جداً، تراوحت ما بين 90,000 و 110,000 كغ من CO₂ هذا الارتفاع يعود مباشرة إلى الاستهلاك المفرط للوقود في النظام الحالي نتيجة عشوائية المسارات المتبعة، مما يؤدي إلى زيادة في المسافات المقطوعة وزمن التشغيل.

في حين أظهر النظام المقترح انخفاضاً معتبراً ومستقراً في مستويات الانبعاثات، حيث استقر الخط البياني عند مستويات أدنى بكثير (تقريباً أقل من 50,000 كغ). وهذا يعود إلى الدقة في تنقل الشاحنات واتباع مسارات قصيرة و محددة .

ويعود الثبات في نسبة الانبعاثات إلى عدم وجود بيانات فعلية حالية .

يبرز المنحنى التالي كمية CO₂ المتوقع خفضها في حال الانتقال للنظام الجديد .



شكل 3.3: كمية خفض أكسيد الكربون

يُحقق النظام الذكي المقترح تخفيضاً يصل الى 704000 ton(CO₂) أي بنسبة تفوق 59% من إجمالي الانبعاثات مقارنةً بالنظام التقليدي. ويعود هذا الانخفاض الكبير إلى ثلاثة عوامل رئيسية:

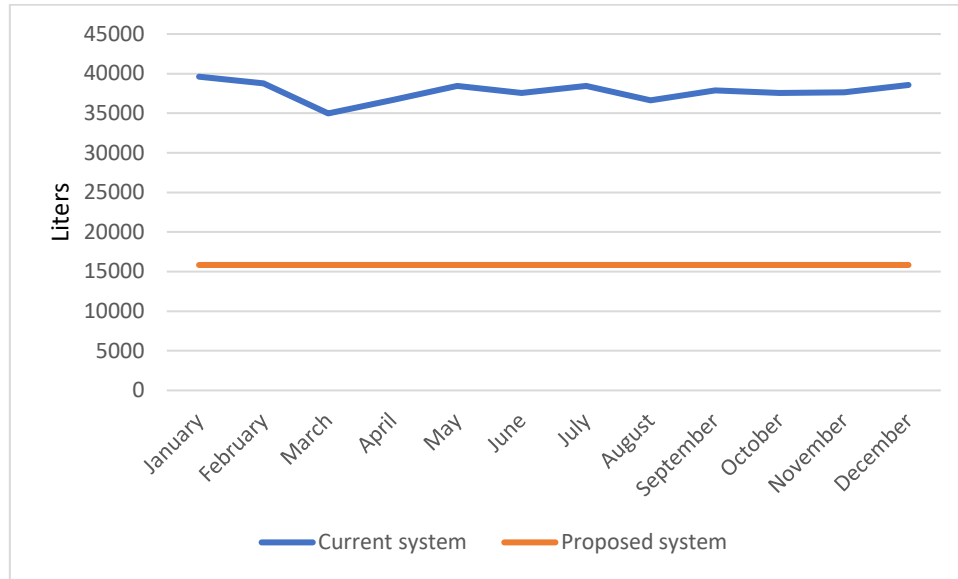
تقليص عدد رحلات الشاحنات بفضل نظام الإشعار الذكي .

إلغاء الدورات العشوائية التي تولّد انبعاثات دون مردود فعلي.

تقليص المسافات التي تقطعها الشاحنة .

2-2-1 الجانب المادي و الاقتصادي :

يظهر المنحنى التالي استهلاك الوقود لمدة عام لكلا النظامين .



شكل 4.3: استهلاك الوقود

يُلاحظ من خلال تتبع منحنى النظام الحالي وجود تذبذبات حادة في استهلاك الوقود عبر أشهر السنة، وهي تذبذبات لا تعود فقط لعشوائية المسارات، بل هي انعكاس مباشر لعدة عوامل :

مواسم الذروة واختلاف نمط الاستهلاك:

تظهر القمم (Peaks) في المنحنى خلال هذه الفترات نتيجة الارتفاع الحاد في إنتاج النفايات العضوية ونفايات التغليف، مما يضطر الشاحنات للقيام برحلات إضافية أو إطالة ساعات العمل، وهو ما يفسر القفزات في استهلاك الوقود.

فصل الشتاء: عادة ما ينخفض فيه معدل الاستهلاك مقارنة بالصيف، مما يفسر الانخفاضات (Troughs) الملحوظة في بعض الأشهر.

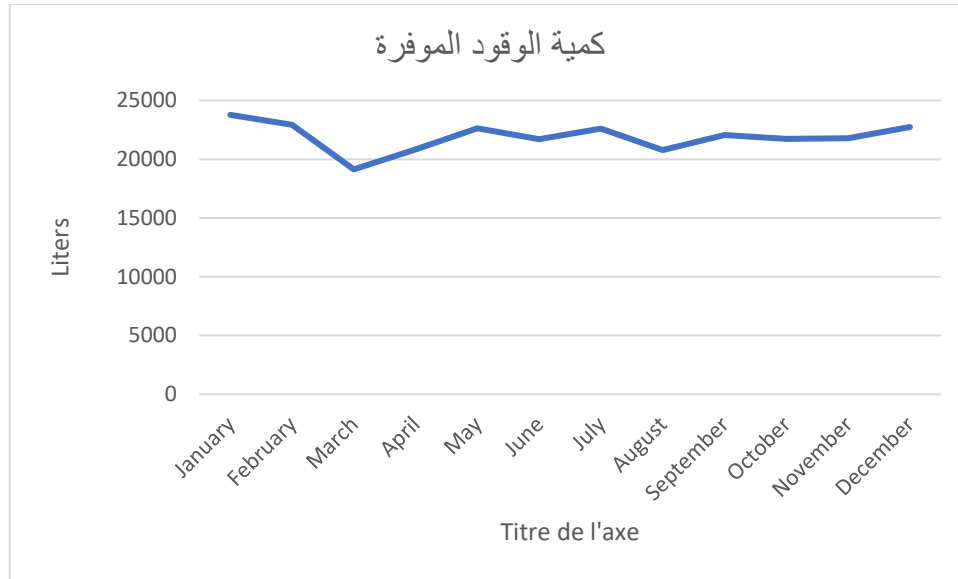
تأثير الظروف المناخية (خصوصية منطقة ورقلة):

يؤدي ارتفاع درجات الحرارة في فصل الصيف إلى زيادة الضغط التشغيلي على المحركات واستهلاك أجهزة التكييف، بالإضافة إلى تغير كثافة النفايات (بسبب تبخر السوائل أو العكس في فترات الأمطار القليلة)، مما يغير من كفاءة عملية الكبس الهيدروليكي للشاحنة.

تباين فترات الرمي العشوائي:

يعاني النظام الحالي من عدم انضباط المواطنين بمواعيد الرمي، مما يجعل الشاحنات تضطر لقطع مسافات إضافية أو الانتظار لفترات أطول عند نقاط الجمع، وهذا يرفع من ساعات "العمل في حالة التوقف"، وهي فترة يستهلك فيها المحرك الوقود دون قطع مسافة، مما يسبب تذبذباً غير منتظم في المنحنى.

يمثل المنحنى البياني التالي كمية الوقود الممكن توفيرها في حال اعتماد نظام الحاويات الذكية .



شكل 5.3: كمية الوقود الممكن توفيرها

تطبيق النظام المقترح يوفر على المؤسسة ما يقارب 756 مليون سنتيم جزائري سنوياً (7,560,006.00 DA) ، في الوقود وحده كما يمكن توفير أيضا في :

خفض تكاليف الصيانة والتشغيل: صيانة شاحنات النفايات مكلفة جداً (إطارات، زيوت، قطع غيار، أعطال ميكانيكية ناتجة عن الضغط اليومي). تقليص الأسطول للنصف يقلل مصاريف الصيانة الدورية وقطع الغيار بنسبة 50%، مما يطيل العمر الافتراضي للشاحنات المتبقية.

إعادة توجيه الموارد البشرية: تقليل عدد الشاحنات يعني تقليص عدد السائقين والعمال المطلوبين لكل رحلة، مما يسمح للمؤسسة مثل (NETCOM أو CET) بإعادة توزيع العمالة على قطاعات أخرى تعاني من نقص في التغطية، أو تقليل مصاريف ساعات العمل الإضافية.

3-2-1 الأثر على جودة الحياة والمستوى المعيشي :

يُعدّ نظام جمع النفايات من أهم عناصر التسيير الحضري لما له من تأثير مباشر على البيئة وصحة السكان وجودة الحياة داخل المدن. فاختيار طريقة الجمع المناسبة لا يقتصر فقط على ضمان نقل النفايات، بل يمتد ليشمل الحد من التلوث البيئي، تقليل الانبعاثات الغازية، المحافظة على نظافة المحيط، وتحسين الظروف الصحية والاجتماعية للسكان، وذلك من خلال :

خفض معاملات تلوث الهوائي :

تقليص مسافات وأوقات تشغيل شاحنات الديزل (الـ 22) يقلل مباشرة من احتراق الوقود، مما يخفض تركيز الغازات الدفينة والجسيمات الدقيقة المعلقة في الهواء PM_{2.5} و PM₁₀ والحد من ظاهرة الاحتباس الحراري للمدينة.

تحسين جودة الهواء (AQI) :

الانخفاض الحسابي في انبعاثات CO₂ وأكاسيد النيتروجين (NOx) يرفع من مؤشر جودة الهواء في الأحياء السكنية، وهو عامل بيئي حاسم يرتبط طردياً بانخفاض الأثر الصحي السلبي (تقليل كلفة الرعاية الصحية الناجمة عن الأمراض التنفسية والقلبية للسكان).

السيطرة على التلوث البيولوجي والكيميائي :

تنشيط الانبعاثات الغازية الحيوية في النظام الحالي، يؤدي مكوث النفايات العضوية لفترات طويلة في الحاويات التقليدية (تحت درجات حرارة ورقلة المرتفعة) إلى تنشيط التحلل اللاهوائي، مطلقاً غاز الميثان (CH₄) والروائح المركبة مثل الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين H₂S. النظام الذكي يضمن تفريغاً ديناميكياً يمنع وصول النفايات لمرحلة التحلل هذه.

خفض الازدحام المروري :

تشير الدراسات البيئية والصحية إلى وجود علاقة طردية بين الوقت المقتضي في الازدحام المروري وارتفاع مستويات هرمونات التوتر (مثل الكورتيزول) لدى السائقين والمواطنين، نتيجة للتلوث السمعي المستمر (أصوات المحركات والمنبهات) وضغط الوقت، مما يؤثر سلباً على الرفاهية النفسية والإنتاجية اليومية.

تقليل التلوث السمعي:

تحسين المشهد السمعي الحضري: شاحنات جمع النفايات تصنف علمياً كمصادر ضوضاء نقطية متحركة ذات تردد منخفض شديد الإزعاج. تقليل وتيرة مرورها واعتماد مسارات مثالية يخفض من مستويات الضجيج داخل المناطق السكنية، مما يحسن من جودة النوم والراحة النفسية للسكان.

كفاءة الموارد والمظهر الهيكلي للمدينة :

استدامة التدفقات الحضرية: إدخال حساسات الوزن والامتلاء (IoT) يحول إدارة النفايات من نظام عشوائي خطي إلى نظام مغلق وذكي يسهل عمليات الفرز مستقبلاً (الاقتصاد الدائري). هذا يرفع من القيمة الجمالية والعمرانية للمدينة، ويؤثر إيجاباً على السلوك البيئي الجمعي للمواطنين من خلال التفاعل مع بنية تحتية حديثة.

3-1 تحديات قد تواجه النظام :

يُعتبر العامل البشري (سلوك المستهلك) أحد أكبر التحديات التي تواجه نجاح نظام الحاويات الذكية. فمهما بلغت التكنولوجيا من تطور وذكاء، فإن كفاءة النظام تعتمد بشكل أساسي على الخطوة الأولى وهي رغبة المواطن ومدى التزامه بالرمي في الأماكن المحددة.

1-3-1 أبعاد التحدي وأسبابه :

تغيير العادات اليومية: يعتاد الكثير من المواطنين على التخلص من النفايات في أقرب نقطة ممكنة من منازلهم (أمام الباب، أو في حاويات عشوائية قريبة). إجبارهم على السير لمسافات معينة للوصول إلى "مركز التجميع الذكي" يُعد تغييراً في نمط الحياة قد يواجه بمقاومة وكسل.

البُعد الجغرافي والمكاني: إذا كانت مراكز التجميع موزعة بشكل بعيد عن بعض التجمعات السكنية، فإن كلفة الجهد والوقت المبدولين من المواطن ستدفعه إلى التخلي عن النظام واللجوء للحلول التقليدية أو الرمي العشوائي.

1-3-1 استراتيجيات تحويل التحدي إلى واقع :

نظام المكافآت الذكية :

ربط الحاويات الذكية بنظام نقاط (عبر تطبيق الهاتف أو بطاقة مغناطيسية). كلما التزم المواطن بالذهاب ورمي النفايات بشكل صحيح، يحصل على نقاط تُترجم إلى:

- خصومات على فواتير (الكهرباء، الماء، أو الإنترنت).

- إعفاءات ضريبية .

الرقابة والقوانين الصارمة :

دمج كاميرات مراقبة ذكية حول المراكز وخارجها لفرض غرامات على الرمي العشوائي، ليكون هناك ردع لمن يرفض الالتزام بالنظام.

خاتمة :

مثّلت دراسة الحالة الميدانية والمحاكاة الرقمية التي قمنا بها في هذا الفصل حجر الزاوية في التحقق من الفرضيات النظرية والمنهجية المطروحة في هذه المذكرة. حيث أتاح لنا إسقاط نظام جمع النفايات الذكي القائم على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) على أسطول مكون من 22 شاحنة جمع، الانتقال من التصور النظري إلى التقييم الكمي والبيئي الملموس.

ومن خلال تحليل البيانات التشغيلية للأسطول ومقارنة مؤشرات الأداء بين نظام الجمع التقليدي والنظام الذكي المقترح، يمكننا استخلاص أهم النتائج التالية:

تحسين كفاءة المسارات: أظهرت نتائج المحاكاة أن الاعتماد على البيانات الفورية لمستويات امتلاء الحاويات قد ساهم بشكل فعال في تقليص المسافات المقطوعة الإجمالية لأسطول الشاحنات، وتفاذي المسارات العشوائية أو الحاويات غير الممتلئة.

الخفض الملموس في استهلاك الوقود: ارتبط تقليص المسافات المقطوعة وأوقات التشغيل الميكانيكي للشاحنات بانخفاض مباشر ومعتبر في الحجم الإجمالي لاستهلاك وقود الديزل (المازوت)، مما ينعكس إيجاباً على خفض التكاليف التشغيلية للمرفق العام.

الجدوى البيئية وتقليل الكربون: أثبتت الحسابات الطاقوية والبيئية المقارنة تراجعاً ملحوظاً في حجم الانبعاثات الغازية الملوثة، وعلى رأسها غاز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x) ، مما يؤكد المساهمة المباشرة للنظام الذكي في خفض البصمة الكربونية وتحسين جودة الهواء في الوسط الحضري محل الدراسة.

ختاماً، يمكن القول إن التحول نحو رقمنة وعصرنة قطاع تسيير النفايات الحضرية باستخدام الحاويات الذكية لم يعد ترفاً تقنياً، بل هو ضرورة ميكانيكية وبيئية ملحة لتحقيق الاستدامة وتخفيف العبء على أساطيل النقل البلدية.

تفتح هذه النتائج الإيجابية المستخلصة آفاقاً واعدة لتطبيق هذا النموذج وتعميمه، وهو ما سنقوم بتلخيصه وتوسيع آفاقه في الخاتمة العامة لهذه المذكرة.

خاتمة عامة :

تأتي هذه الخاتمة العامة لتتوج مسار البحث المخصص لتقييم الأثر البيئي لنظام جمع النفايات البلدية الذكي، والذي تم إسقاطه تجريبياً وحسابياً على أسطول مكون من 22 شاحنة جمع في الوسط الحضري. لقد سمحت لنا هذه الدراسة بالربط بين تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وميكانيكيات احتراق الوقود في أساطيل النقل للوصول إلى مؤشرات بيئية وطاقوية.

بناءً على ما تم التوصل إليه في الجانبين النظري والتطبيقي، يمكن تلخيص النتائج الاستخلاصية والتوصيات المستقبلية في المحاور المنهجية التالية:

أولاً: الاستخلاصات والنتائج المحققة :

فعالية الرقمنة: أثبتت الدراسة أن دمج مستشعرات الامتلاء في الحاويات يغير جذرياً استراتيجيات التسيير، حيث تحولت عملية الجمع من "مسارات ثابتة يومية" إلى "مسارات ديناميكية مرنة" تُحدد بناءً على الحاجة الفعلية. المؤشرات الميكانيكية والطاقوية: أدى تحسين المسارات إلى خفض مباشر في المسافات المقطوعة لأسطول الشاحنات الـ 22، وهو ما تُرجم تقنياً إلى تقليص ساعات تشغيل المحركات بنسب أولية تفوق 50%، وبالتالي انخفاض معتبر في معدل استهلاك وقود الديزل (المازوت).

المؤشرات البيئية: ارتبط انخفاض استهلاك الوقود طردياً بتراجع كميات الانبعاثات الغازية الملوثة المنبعثة من عوادم الشاحنات، لا سيما غاز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_x)، مما يبرهن على الجدوى البيئية العالية للنظام في تقليل البصمة الكربونية للمدينة.

صيانة الأسطول: إن تقليص المسافات وساعات العمل لا يخدم البيئة فحسب، بل يساهم في خفض الإجهاد الميكانيكي على أجزاء الشاحنات، مما يقلل من تكاليف الصيانة الدورية ويزيد من العمر الافتراضي لأسطول الجمع.

ثانياً: التوصيات والاقتراحات:

بناءً على الخبرة المكتسبة خلال إعداد هذه المذكرة، نوصي بالجوانب التطبيقية التالية:

التبني التدريجي للتكنولوجيا: البدء بتجهيز النقاط السوداء (الحاويات ذات معدل الامتلاء السريع جداً) بمستشعرات IoT قبل تعميم النظام على كامل الحاويات الحضرية.

الاستثمار في الطاقة المتجددة: تشغيل مستشعرات الحاويات الذكية وأجهزة الإرسال عبر لوحات طاقة شمسية مصغرة لضمان استقلاليتها الطاقوية التامة واستدامتها البيئية.

تحديث برمجيات خوارزميات المسارات: الاعتماد على خوارزميات متقدمة لإدارة المسارات تأخذ بعين الاعتبار ليس فقط امتلاء الحاويات، بل وحالة الازدحام المروري في المدينة لتقليل أوقات الخمول للشاحنات.

ثالثاً: آفاق البحث المستقبلي:

تفتح هذه المذكرة آفاقاً علمية جديدة يمكن دراستها مستقبلاً، ومنها:

دراسة إمكانية دمج شاحنات جمع كهربائية أو هجينة في الأسطول وتقييم أثرها البيئي مقارنة بشاحنات الديزل الحالية.
دراسة الجدوى الاقتصادية الشاملة حساب فترة استرداد رأس المال للتكاليف الاستثمارية الخاصة بأجهزة الـ IoT مقابل الوفرة المحقق في الوقود والصيانة.

ملحق :

جدول 1 : مقارنة كميات النفايات المستقبلية **بالطن** بمركز الردم التقني لورقلة

المجموع		بلدية عين البيضاء		بلدية انقوسة		بلدية سيدي خويلد		بلدية الرويسات		بلدية ورقلة		الانشاء
2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	ر
4.506,24	4.719,50	/	/	/	/	200,32	/	1.053,92	371.44	3.252,00	4.348,06	جنتفي
5.234,32	3.788,94	/	/	/	92.62	201,66	/	1.600,90	581.50	3.431,76	3.114,82	فيغري
5.236,98	4.403,22	/	/	/	89.34	181,62	28,16	1.720,62	1.431,60	3.334,74	2.854.12	مارس
4.624,98	4.685,18	/	/	/	73,82	180,64	70,08	1.690,52	1153.02	2.753,82	3.388.26	أفريل
5.021,84	4.767,64	/	/	175,74	94,00	203,22	123,40	1.765,64	1.076,12	2.877,24	3.474.12	مسي
5.480,84	4.744,36	/	/	233,98	80,16	228,40	63,58	1.736,46	1 095,34	3.282,00	3.505,28	جوان
4.490,52	4.127,56	/	/	284,72	103,80	164,08	00	1.688,38	1 134,06	2.353,34	2.889,70	جويلية
3.910,32	4.241,38	/	/	275,92	83,74	128,92	85,24	1.699,34	1 065,52	1.806,14	3.006,88	اوت
5.337,06	4.614,88	/	/	343,84	108,84	168,48	164,18	1.535,74	935,38	3.289,00	3.406,48	سبتمبر
5.811,28	4.890,30	/	/	383,06	107,62	202,06	174,58	1.839,20	971,66	3.386,96	3.636,44	أكتوبر
6.548,64	4.710,60	122,94	/	425,20	91,20	179,66	175 ,82	1.677,54	946 ,46	4.143,30	3.497,12	نوفمبر
6.461,34	4.978,94	245,86	/	324,08	97,10	217,90	198,58	1.689,44	988.70	3.984,06	3.694,56	ديسمبر
62.664,36	54.672,59	368,80	0,00	2.446,54	1.022,24	2.256,96	1.083,62	19.697,70	11.750,80	37.894,36	40.815,93	مجموع

جدول 2 : مقارنة مواد المفروزة 2024 و 2025

سنة 2025	سنة 2024	المواد
% 1,02	% 0.78	الألمنيوم
% 4,46	% 42.78	حديد
% 7,98	% 34.16	بلاستيك PEHD
% 48,52	% 57.06	بلاستيك PET
% 0,88	% 0.00	بلاستيك FILEM
% 18,98	7.06%	الخشب
% 0.00	% 17.94	النحاس
% 7,04	% 26.98	الكرتون

جدول 3 : مقارنة كميات النفايات المستقبلية بالطن بمركز الردم التقني لورقلة

الاشهر	بلدية ورقلة		بلدية الرويسات		الخواص		المجموع	
	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022
جانفي	3.333,3	3.091,02	319,32	253,70	82,86	151,44	3.735,48	3.496,16
فيفري	2.971,64	2.931,04	590,04	618,20	73,32	168,50	3.635,00	3.717,74
مارس	3.189,16	4.631,02	665,02	666,10	80,3	234,62	3.934,48	5.531,74
أفريل	3.133,2	4.384,66	653,02	690,86	66,7	247,24	3.852,92	5.322,76
ماي	3.513,22	4.808,10	656,20	715,70	107,72	99,78	4.277,14	5.623,58
جوان	3.377,96	4.080,56	635,78	677,20	69,96	88,16	4.083,70	4.845,92
جويلية	2.842,54	4.414,74	583,46	694,12	73,06	70,34	3.499,06	5.179,20
اوت	2.885,92	3.844,82	582,94	625,24	64,72	70,66	3.533,58	4.540,72
سبتمبر	3.331,18	3.737,04	614,04	607,98	84,00	74,50	4.029,22	4.419,52
اكتوبر	3.502,32	3.957,64	636,50	638,64	88,58	81,86	4.227,40	4.678,14
نوفمبر	3.558,02	3.889,62	664,52	601,16	92,46	87,14	4.309,68	4.583,24
ديسمبر	3724,7	4.109,52	599,98	679,62	84,84	97,32	4.501,64	4.794,34
مجموع	39.363,16	47.879,78	7.280,46	7.388,88	1.464,40	975,68	56.733,06	47.619,30

جدول 4 : مقارنة مواد المفروزة 2024 و 2025

المواد	سنة 2022	سنة 2023
الألمنيوم	0.16 %	0.10 %
حديد	18.24 %	26.04 %
بلاستيك PEHD	18.46 %	15.48 %
بلاستيك PET	339.08 %	137.98 %
الخشب	18.42 %	12.94 %

- [1] Balle Friedrich ، 'Politiques et organizations nationaux en matière de gestion des déchets'، 'Présentation de l'étude préparatoire '، Dans : la gestion intégrée des déchets solides '، Deutscha gesellschaft –fur
- [2] Damien, A. (2004). Guide du traitement des déchets. Paris: Dunod
- [3] ابي الفضل محمد بن مكرم بن منظور ، لسان العرب ، المجلد ، 14 بيروت : دار إحياء التراث العربي 1985
- [4] الجريدة الرسمية رقم 77
- [5] د. سيد احمد سالم قاسم، المخلفات الصلبة المنزلية في مدينة أسيوط، " دراسة في الجغرافيا التطبيقية "، ص 548 .
- [6] idem, Yousef Kehila, conception et exploitation des centres d'enfouissement technique.
- [7] د. علي خوجة ، دروس السنة الأولى ما بعد التدرج، سنة 2007
- [8] د. زين العابدين عبد السلام، تلوث البيئة سنة 1992، ص 160.
- [9] Encyclopédie de géographie, " deuxième édition Ed. ECONOMICA 1995.
- [10] idem, Manuel d'information sur la gestion des déchets solides urbains, 2001, p 25
- [11] https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://scispace.com/pdf/expertises-des-centres-d-enfouissement-techniques-de-dechets-r7uoo1x1c3.pdf&ved=2ahUKewj78q631KCUAxUWdqQEHYhdBbMQFnoFCIMBEAE&usg=AOvVaw2WvkkGAPwReQR_n_F95xRY
- [12] الشحات، السيد (2014). إدارة ومعالجة النفايات الصلبة وسلوكيات البيئة. دار الفكر العربي، القاهرة.
- [13] بوخالفه، أسماء (2019). تسيير النفايات الحضرية الصلبة وآثارها البيئية والاقتصادية: دراسة حالة مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح - ورقلة
- [14] عمارة، محمد (2010). التلوث البيئي: النفايات الصلبة وكيفية معالجتها. دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان

[15] Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill.

[16] الوكالة الوطنية للنفايات (AND) التقرير الوطني حول تسيير النفايات المنزلية وما شابهها في الجزائر، 2020، ص 45

[17] جواد العناني (2016)، الاقتصاد الدائري، مجلة العربي الجديد، الدوحة

Magdelaine, C notre-planete. infoOnLine:

[18]

https://www.notre-planete.info/ecologie/developpement_durable/economie-circulaire.php

[19] جواد العناني (2016)، الاقتصاد الدائري، مجلة العربي الجديد، الدوحة

[20]

Hobson, K (2015). Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. Progress in Human Geography, 40(1), p 01

[21]

Report of INSTITUTE MONTAIGNE (2016), The circular economy: reconciling economic growth with the environment, France, P 09

[22]

عثمان بوزيان، استراتيجيات الانتقال نحو الاقتصاد الدائري كآلية لتحقيق التنمية المستدامة، (أطروحة دكتوراه، جامعة ورقلة، 2022)، ص 64.

[23]

Beaurain et al. Cultural and societal challenges for circular economy implementation

[24]

Preston, F. (2012). A global redesign? Shaping the circular economy. Chatham House, London.

[25]

Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition.

[26]

بن خليفة الحاج، "متطلبات التحول نحو الاقتصاد الدائري لتحقيق التنمية المستدامة"، أطروحة دكتوراه، جامعة بسكرة، 2020، ص 74.

[27]

عصام محمد نور الدين، "الاقتصاد الدائري: المدخل الحديث للتنمية المستدامة"، دار رسلان للنشر، دمشق، 2021، ص 52.

[28]

قويدر رابح، وبوقرة رابح، "الاقتصاد الدائري كآلية لحماية البيئة وتحقيق التنمية المستدامة"، مجلة الباحث، جامعة ورقلة، المجلد 19، العدد 01، 2019، ص 115.

[29]

لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا)، "الابتكار والتكنولوجيا من أجل الاقتصاد الدائري في المنطقة العربية"، الأمم المتحدة، بيروت، 2021، ص 18.

[30]

كافي، مصطفى يوسف (2017). اقتصاديات البيئة والتنمية المستدامة، دار ومؤسسة رسلان للطباعة والنشر والتوزيع، ص112.

[31]

العساف، صالح بن حمد. (2012). جودة الحياة: المفهوم والأبعاد والقياس. مجلة العلوم التربوية والنفسية، جامعة البحرين، 13(1)، 13-47.

[32]

بن عمر، محمد. (2018). التحولات الديموغرافية وأثرها على التنمية المحلية في المناطق الصحراوية — حالة ولاية ورقلة. رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

[33]

المؤسسة العمومية الولائية لتسيير مراكز الردم التقني لولاية ورقلة. (2024). التعريف بالمؤسسة. تم الاطلاع عليه بتاريخ 2024.

الوكالة الوطنية للنفايات(AND) ، دليل تسيير النفايات المنزلية بتصرف[34]

تقارير وزارة البيئة والتهيئة العمرانية، دليل تسيير النفايات الحضرية الصلبة في الجزائر.[35]

برنامج الأمم المتحدة للبيئة(UNEP) ، تقارير الاقتصاد الدائري، بتصرف.[36]

Abstract

Modern urban waste management increasingly relies on technological integration to achieve environmental sustainability and operational efficiency. This thesis evaluates the transition from a traditional waste collection system to an optimized, centralized collection framework enabled by IoT-based smart bins. By modeling a logistics fleet, this research analyzes the impact of real-time fill-level data on reducing fuel consumption, minimizing CO₂ emissions, and mitigating urban noise pollution. The comparative analysis reveals significant advancements in route efficiency and overall environmental metrics under the proposed system, ultimately contributing to an enhanced Quality of Life in urban areas. It is noted that the observed data stability within the proposed model reflects theoretical optimization parameters rather than empirical field variations. **Keywords:** Smart Bins, IoT, Waste Management, Route Optimization, CO₂ Emissions, Quality of Life, Centralized Collection.

Résumé

La gestion moderne des déchets urbains s'appuie de plus en plus sur l'intégration technologique pour atteindre la durabilité environnementale et l'efficacité opérationnelle. Cette thèse évalue la transition d'un système de collecte traditionnel vers un modèle de collecte centralisé et optimisé, basé sur des poubelles intelligentes dotées de l'Internet des Objets (IoT). En modélisant une flotte logistique, cette recherche analyse l'impact des données de remplissage en temps réel sur la réduction de la consommation de carburant, la minimisation des émissions de CO₂ et l'atténuation de la pollution sonore urbaine. L'analyse comparative révèle des améliorations significatives de l'efficacité des itinéraires et des indicateurs environnementaux mondiaux dans le système proposé, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de vie dans les zones urbaines. Il est à noter que la stabilité des données observée dans le modèle proposé reflète des paramètres d'optimisation théoriques plutôt que des variations empiriques sur le terrain. **Mots-clés :** Poubelles Intelligentes, IoT, Gestion des Déchets, Optimisation des Itinéraires, Émissions de CO₂, Qualité de Vie, Collecte Centralisée.

ملخص

تعتمد إدارة النفايات الحضرية الحديثة بشكل متزايد على التكامل التكنولوجي لتحقيق الاستدامة البيئية والكفاءة التشغيلية. تتناول هذه الأطروحة تقييم الانتقال من نظام جمع النفايات التقليدي (الوضع الحالي) إلى إطار تجميع مركزي ومحسن مدعوم بالحاويات الذكية القائمة على تكنولوجيا إنترنت الأشياء (IoT). من خلال نمذجة أسطول نقل لوجيستي، يبحث هذا البحث في أثر بيانات مستوى الامتلاء الفوري (في الوقت الحقيقي) في خفض استهلاك الوقود، وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO₂)، والتخفيف من التلوث الضوضائي داخل المدن. وتظهر التحليلات المقارنة تحسناً كبيراً في كفاءة المسارات والمؤشرات البيئية الإجمالية في ظل النظام المقترح، مما يساهم في نهاية المطاف في تعزيز جودة الحياة في المناطق الحضرية. كما تجدر الإشارة إلى أن استقرار البيانات الملاحظ في النموذج المقترح يعود إلى اعتماده على محاكاة ونمذجة نظرية وليس على تغيرات تجريبية ميدانية. **الكلمات المفتاحية:** الحاويات الذكية، إنترنت الأشياء، إدارة النفايات، تحسين المسارات، انبعاثات CO₂، جودة الحياة، التجميع المركزي.