مجلة الادارة والتنمية للبحوث والدراسات

المجلد 12 / العـدد: 02 ديسمبر(2023)، ص 125– 139

دور الذكاء الاصطناعي في تطوير الاقتصاد الدائري: دراسة حالة مؤسسة ZenRobotics الفنلندية

The Role of Artificial Intelligence in Developing the Circular Economy: A Finnish ZenRobotics Case Study

ط د. برغوث أسامة[1]*، أ.د. معوشي بوعلام[2]

[1] المركز الجامعي تيبازة، berghout.oussama@cu-tipaza.dz

[2] المركز الجامعي تيبازة، boualem.maouchi@yahoo.fr

تاريخ الاستلام: 15 /2023/07 تاريخ القبول: 30 /2023/10 تاريخ النشر: 01 /2023/12

ملخص:

تعد تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي أداة رئيسية في تحقيق الإقتصاد الدائري، حيث تسهم في تحسين إدارة النفايات وعمليات إعادة التدوير بطرق أكثر كفاءة، تعتمد الحلول التكنولوجية المبتكرة على قدرة الذكاء الاصطناعي على تحليل وفرز النفايات وتوليد بيانات دقيقة لدعم قرارات إدارة النفايات، ومن خلال هذه الدراسة، توصلنا إلى أن الجمع بين الذكاء الاصطناعي وفلسفة الإقتصاد الدائري سيشكل فرصة هامة لتحقيق تحول مستدام، قمنا بتسليط الضوء على مؤسسة ZenRobotics الفنلندية، التي قدمت مساهمة ملموسة في تحقيق الإقتصاد الدائري من خلال تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات وإعادة التدوير، تعتبر هذه المؤسسة نموذجًا ناجحًا يمكن أن يلهم ويوجه جهود تحقيق الإقتصاد الدائري في المستقبل.

كلمات مفتاحية :الاقتصاد الدائري، الذكاء الاصطناعي، الاستدامة، إدارة النفايات، الكفاءة البيئية.

تصنيف JEL : Q56، O33، Q53.

Abstract

*المؤلف المرسل

Artificial intelligence technology is a key tool in achieving a circular economy, as it contributes to improving waste management and recycling processes in more efficient ways. Innovative technological solutions rely on the ability of artificial intelligence to analyze and sort waste and generate accurate data to support waste management decisions. Through this study, we found Noting that the combination of artificial intelligence and the philosophy of the circular economy will constitute an important opportunity to achieve a sustainable transformation, we highlighted the Finnish ZenRobotics Corporation, which made a tangible contribution to achieving the circular economy by applying artificial intelligence techniques in waste management and recycling, this organization is considered a successful model that can To inspire and direct efforts to achieve a circular economy in the future.

Keywords: circular economy, artificial intelligence, sustainability, waste management, environmental efficiency.

Jel Classification Codes: Q56, O33, Q53.

1. مقدمة:

يستند نموذج الإقتصاد الخطي إلى افتراض ضمني بأن الموارد التي يحتاجها لتطوير وإنتاج السلع غير محدودة (الخشب والمعادن والرمل وما إلى ذلك) وأن الطاقة اللازمة لتحويل هذه الموارد يمكن أن تظل رخيصة إلى أجل غير مسمى (الغاز والنفط والفحم وما إلى ذلك)، وقد مكن هذا النموذج الاقتصادي في سياق العولمة والانفجار السكاني والتقدم التقني والتكنولوجي إلى تنمية اقتصادية هائلة بجميع مكوناتها: الناتج المحلي الإجمالي (GDP)، واستهلاك الطاقة الأولية والمياه، النقل، الاتصالات السلكية واللاسلكية والسياحة الدولية.(Steffen, Crutzen, & McNeill, 2007, p. 614)

أدى الجمع بين التنمية الديمغرافية ونمو الإستهلاك في البلدان المتقدمة والناشئة إلى إستهلاك كبير للموارد الطبيعية لدرجة أن النمو الإقتصادي أصبح غير مستدام، وأصبح من الصعب الحفاظ على منطق الإستهلاك هذا بالنسبة للبيئة، مما دفع بعض الجهات الإقتصادية والسياسية والإجتماعية إلى إعادة التفكير بشكل كامل في قضية الإنتاج والاستهلاك.(Collard, 2020, p. 7)

الإقتصاد الدائري يعارض نظريا الإقتصاد الخطي، يشهد العالم اليوم اهتماما متزايدًا بالإقتصاد الدائري، وهو نموذج إقتصادي مستدام يهدف إلى تحقيق استخدام أفضل للموارد وتقليل النفايات، يوجد إمكانيات كبيرة لتطوير هذا النموذج، ومن بين الأدوات المبتكرة المساهمة في ذلك هو الذكاء الاصطناعي كونه أداة حديثة ومبتكرة من خلال تحسين استخدام الموارد وتوجيه الإحتياجات وتقليل النفايات.

سنستكشف من خلال هذه المقالة الدور المحوري للذكاء الاصطناعي في تطوير الإقتصاد الدائري مع تسليط الضوء على الفرص التي تنتظر هذا المجال الواعد، وعليه يمكننا طرح الإشكالية البحثية التالية:

كيف يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساهم في تطوير الاقتصاد الدائري؟

ومن أجل الإجابة عن هذا التساؤل فإننا نفترض ما يلي:

الفرضية 1: يمكن للذكاء الإصطناعي أن يساهم في تطوير الإقتصاد الدائري؛

الفرضية 2: غير ممكن في الوقت الحالي تبني الإقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي معا في المؤسسات؛

للإجابة على الإشكالية البحثية اعتمدنا على المنهج التحليلي حاولنا من خلاله تسليط الضوء على آفاق التحول نحو الإقتصاد الدائري بالإستعانة بتقنيات الذكاء الإصطناعي.

تنبع أهمية الدراسة مما يلي:

– تعد هذه الدارسة من بين الدراسات الحديثة على حد علم الباحث التي تسلط الضوء على دمج متغيري الإقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي؛

– عرض وتحليل أهمية تطبيق الإقتصاد الدائري؛

– قد تساهم هذه الدراسة في تحفيز المسؤولين في الوطن العربي بشكل عام، والجزائر بشكل خاص على التحول نحو تطبيق الإقتصاد الدائري، خاصة في ظل الفرص الإقتصادية التي تصاحبها؛

– توفر هذه الدراسة نقطة انطلاق لبحوث مستقبلية بشأن الاقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي.

ومن بين أهداف الدراسة نذكر ما يلي:

– عرض مفهوم ومبادئ الاقتصاد الدائري؛

– التعريج على مختلف تطبيقات وأهداف الإقتصاد الدائري؛

– التعرف على التكنولوجيا الحديثة في الذكاء الإصطناعي؛

– تحليل دور الذكاء الإصطناعي في الإقتصاد الدائري.

2. الإطار النظري للإقتصاد الدائري:

يعتبر هذا الإطار النظري للإقتصاد الدائري مرجعًا أساسيًا لإستيعاب المفاهيم والمبادئ الأساسية التي تحكم هذا النموذج الاقتصادي المستدام.

1.2. تعريف الإقتصاد الدائري: مفهوم الاقتصاد الدائري لا يحتوي على تعريف مستقر واحد، إنما له تعاريف متعددة سيتم التطرق إلى أهم التعريفات الشائعة حول العالم.

تعرف مؤسسة إلين ماك آرثر الخيرية البريطانية الإقتصاد الدائري بأنه "تصالحي ومتجدد بطبيعته ويميل إلى الحفاظ على القيمة والجودة الجوهرية للمنتجات والمكونات والمواد في كل مرحلة من مراحل استخدامها يهدف هذا النموذج الإقتصادي إلى فصل التنمية الإقتصادية العالمية عن إستهلاك الموارد المحدودة"**(**Ellen Macarthur, 2016, p. 2**)**

كما تعرف وكالة التحول البيئي (ADEME الوكالة الفرنسية لإدارة البيئة والطاقة سابقا) الإقتصاد الدائري على أنه:"نظام إقتصادي للتبادل والإنتاج في جميع مراحل دورة حياة المنتجات (السلع والخدمات)، يهدف إلى زيادة كفاءة استخدام الموارد وتقليل التأثير على البيئة مع تطوير رفاهية الأفراد" **(**Collard, 2020, p. 10**).**

يمكن من خلال التعريفين بلورة تعريف إجرائي للإقتصاد الدائري كونه" نموذج إقتصادي يهدف للقضاء على الهدر من خلال نظام حلقة الموارد المغلقة بالشكل الذي يضمن تحقيق التنمية المستدامة".

2.2. أصول الإقتصاد الدائري: تطورت فكرة الإقتصاد الدائري منذ عام 1966 مع نشر تقرير نادي روما الذي وضع الأسس لنقاش حول دمج البيئة في النموذج الخطي للنمو الاقتصادي، كان الإقتصادي STAHEL أول من اقترح مفهوم "إقتصاد الحلقة"، على أساس إعادة استخدام وإصلاح وإعادة تدوير النفايات من أجل توفير الموارد، في عام 1976، قدم مفهوم "إقتصاد الخدمات الجديد" ، ووضع الأسس للبحث في الإقتصاد الوظيفي وأهمية أنشطة الخدمات في عمليات الإنتاج والاستهلاك.

ساعدت أبحاث أخرى في تحديد الأصول التاريخية لمفهوم الإقتصاد الدائري، مثل آلية "**من المهد إلى المهد**" لتصنيع المنتجات الدائرية من خلال التصميم البيئي، و"البيئة الصناعية" هذه الأخيرة تنظر في إنشاء أوجه تآزر صناعية مثل النظم الإيكولوجية الطبيعية، بحيث يمكن استخدام النفايات من إحدى العمليات الصناعية كمورد في عملية أخرى، للحد من العوامل الخارجية السلبية للإنتاج الصناعي

على البيئة، أخيرا، تم استخدام مصطلح الإقتصاد الدائري لأول مرة من قبل الاقتصاديين PEARCE AND TURNER سنة **1990** للدعوة إلى نظام حلقة دائرية للإقتصاد ليحل محل النظام الخطي.**(**Niang, Bourdin, & Torre, 2020, pp. 2-3**)**

3.2. مبادئ الإقتصاد الدائري: جعلت مؤسسة إلين ماك آرثر في عام 2010، من الإقتصاد الدائري كقضية محورية في أبحاثها ومنشوراتها، ظهرت فكرة الاقتصاد الدائري كنموذج بديل يركز على تعزيز تدوير الموارد واستخدامها بشكل مستدام، بحيث يتم إعادة استخدام المنتجات وإعادة تدوير المواد الخام بدلاً من التخلص منها، تتطلب مبادئ الإقتصاد الدائري تعاونًا، حيث يجب أن يكون هناك التزام بتطبيق مبادئ الإقتصاد الدائري في جميع مراحل دورة الحياة الاقتصادية، بدءًا من التصميم والإنتاج وحتى التخلص من المنتجات بشكل مستدام، يمكن الإشارة إلى ثلاثة مبادئ أساسية للإقتصاد الدائري: **(** Foundation, 2016, p. 7**)**

1.3.2. المبدأ 1: الحد من استخدام الموارد الطبيعية واستعادتها قدر الإمكان إذا كان استخدامها لا مفر منه، واختيار التقنيات والعمليات ذات الأولوية التي تعمل مع الموارد المتجددة أو بطرق أكثر فعالية ممكنة.

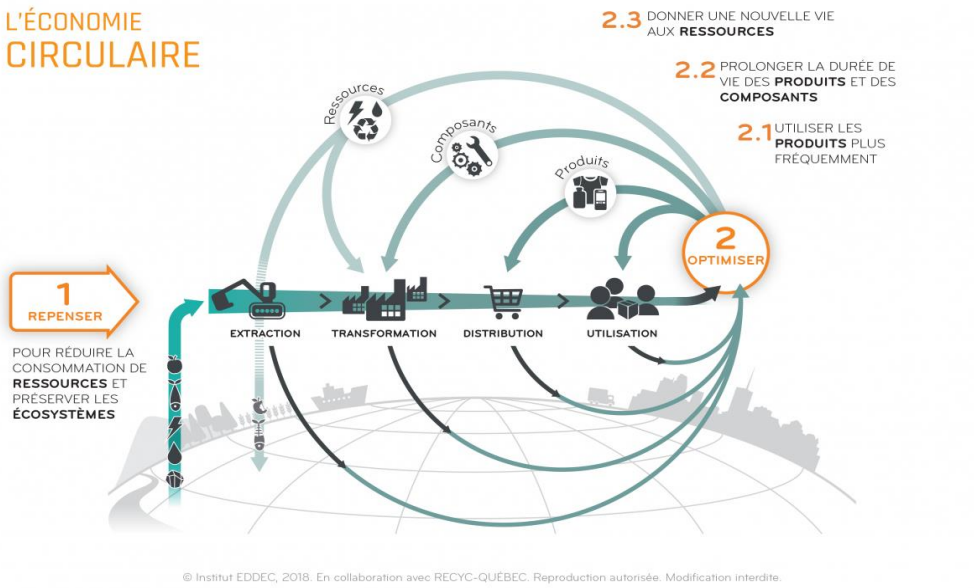
2.3.2. المبدأ 2: مفهوم الدورة أو الحلقة الذي يهدف إلى إطالة عمر المنتجات من خلال استخدام عدة إستراتيجيات وفق الحلقات التالية: إعادة الاستخدام، الإصلاح، التجديد، إعادة البيع التحديث التكنولوجي والعودة إلى المصنع، وكملاذ أخير إعادة تدوير المواد والمكونات، وبالتالي، يتم الإحتفاظ بالمنتج والمواد والمكونات في الدائرة لأطول فترة ممكنة بحيث يعتمد الإقتصاد الدائري على فكرة أنه كلما كانت الحلقة أقصر زادت كفاءة العملية المستخدمة.

نموذج الإقتصاد الدائري يتجلى في إنشاء حلقات قيمة إيجابية مع كل إستخدام أو إعادة استخدام للمادة أو المنتج قبل التدمير النهائي، يركز على وجه الخصوص على أنماط جديدة من التصميم والإنتاج والاستهلاك، وإطالة العمر الإنتاجي للمنتجات، واستخدام السلع بدلا من امتلاكها، وإعادة استخدام المكونات وإعادة تدويرها، **(**I. N. d. L. É. Circulaire, 2020**)**

3.3.2. المبدأ 3: زيادة كفاءة النظام الإقتصادي ككل في مجالات متنوعة مثل الغذاء والتنقل والإسكان والتعليم والصحة والترفيه، ومن ناحية أخرى، إدارة العوامل الخارجية السلبية مثل استخدام الأراضي، وتلوث الهواء والماء، وإطلاق المواد السامة في المحيط الحيوي.

مخطط الإقتصاد الدائري المبسط ينعكس هذا النموذج من خلال عدة مكونات أساسية، كما يوضحها الشكل رقم 1 الموضح أدناه:

الشكل رقم1: مخطط الإقتصاد الدائري المبسط



Source: Institut Eddec.2018.en collaboration avec Recyc-QUEBEC.

يقترح الشكل أعلاه هذا عدة إستراتيجيات يمكن للمؤسسات والهيئات اختيارها وتكييفها وفقا لسياقها ونوع الموارد التي تستخدمها، بشكل عام، ينصب التركيز الأول على الإستراتيجيات التي تهدف إلى الرقم (**1**) من خلال تقليل كمية الموارد البكر المستهلكة، يتبع ذلك إستراتيجيات "الحلقة القصيرة أو المغلقة" التي تهدف إلى (1.2) زيادة استخدام المنتج، وتلك التي تسعى إلى (**2.2**) إطالة عمر المنتج أخيرا الاستراتيجيات (**3.2**) التي تعطي حياة جديدة للموارد (Q. Circulaire, 2020).

يستشف من خلال ما سبق ذكره، أن الاقتصاد الدائري يعمل في تعاقب حيث في البداية يسعى لإطالة عمر المنتج من خلال الحفاظ عليه وإصلاحه إذا لزم الأمر، في الخطوة الثانية، يمكن إعادة استخدام هذا المنتج وإيجاد حياة ثانية، خاصة في سوق السلع المستعملة، كما يمكن أيضا إعادة تصنيعها كليا أو جزئيا، أما في الخطوة الثالثة والأخيرة، يتم إعادة تدوير المواد التي يتكون منها المنتج، على سبيل المثال يمكن

أولا ترقيع الملابس عندما يتطلب الأمر، ثم إعادة استخدامها كملابس مستعملة، وأخيرا تأخذ شكل ألياف أو صوف عازل وتجد حياة جديدة في صناعة الأثاث أو في قطاع البناء أو السيارات.

3. تحليل الجوانب السلبية للاقتصاد الخطي وفوائد الاقتصاد الدائري:

يعتبر التحول من الإقتصاد الخطي إلى الإقتصاد الدائري خطوة هامة نحو الاستدامة البيئية والاقتصادية، يتناول هذا التحليل الجوانب السلبية للنموذج الخطي المعتمد على الإستهلاك والهدر بالمقابل، يسلط الضوء على فوائد الاقتصاد الدائري.

1.3. أضرار الإقتصاد الخطي:

الإقتصاد الخطي ببساطة هو نظام يتم فيه استخراج الموارد لصنع منتجات ينتهي بها الأمر في النهاية كنفايات ويتم التخلص منها، لا يتم استخدام المنتجات والمواد بشكل عام بكامل إمكاناتها في الإقتصاد الخطي، وكما يوحي الاسم تتحرك دائما في اتجاه واحد أي من المواد الخام إلى النفايات، إنه نظام ملوث يؤدي إلى تدهور النظم الطبيعية وهو المسبب للأزمات العالمية، بما في ذلك تغير المناخ وفقدان التنوع البيولوجي، الآثار السلبية لهذا النهج تندرج في شكل أضرار بيئية وفقدان المواد القيمة، مدفوعة بسوء إدارة الموارد والأراضي، إن الطريقة التي يعمل بها اقتصادنا تدمر رأس المال الطبيعي، يظهر هذا في التربة التي تتدهور، والمحيطات التي يتم تلوثها، والتنوع البيولوجي الذي يتم فقده، والمياه العذبة التي تجف، والغابات التي يتم قطعها، الإنتقال إلى الإقتصاد الدائري سيكون حاسما للسماح لنا بالازدهار في المستقبل.(Foundation, 2021)

2.3. فوائد الإنتقال إلى الإقتصاد الدائري:

تتعدد الفوائد الملموسة للإقتصاد الدائري على مختلف الأصعدة نذكر ما يلي:(européen, 2023)

1.2.3. حماية البيئة: من شأن إعادة استخدام المنتجات أو إعادة تدويرها أن يبطئ استخدام الموارد الطبيعية، ويقلل من اضطراب الطبيعية، ويساعد على الحد من فقدان التنوع البيولوجي، والحد من إنبعاثات غازات الدفيئة السنوية، وفقا لوكالة البيئة الأوروبية فإن العمليات الصناعية واستخدام المنتجات مسؤولة عن 9.10٪ من انبعاثات غازات الدفيئة في الاتحاد الأوروبي، بينما تمثل إدارة النفايات 3.32٪، سيساعد إنشاء منتجات أكثر كفاءة واستدامة منذ البداية على تقليل إستهلاك الطاقة والموارد، حيث تشير التقديرات إلى أن أكثر من 80٪ من التأثير البيئي للمنتج يتم تحديده

خلال مرحلة تصميمه، إن التحول إلى منتجات أكثر موثوقية يمكن إعادة استخدامها وتحسينها وإصلاحها من شأنه أن يقلل من كمية النفايات.

2.2.3. تقليل الاعتماد على المواد الخام: يتزايد عدد سكان العالم ومعه الطلب على المواد الخام ومع ذلك، فإن المعروض من هذا الأخير محدود، تخفف إعادة تدوير المواد الخام من المخاطر المرتبطة بالعرض، مثل تقلب الأسعار والتوافر والاعتماد على الواردات.

3.2.3. خلق فرص عمل وتوفير أموال المستهلكين: يمكن أن يؤدي التحرك نحو إقتصاد أكثر دائرية إلى زيادة القدرة التنافسية وتعزيز الابتكار والنمو الاقتصادي وخلق فرص العمل ،كما أن إعادة تصميم المواد والمنتجات الدائرية من شأنه أن يحفز الابتكار في مختلف قطاعات الاقتصاد، سيستفيد المستهلكون من منتجات أكثر استدامة وإبتكارا من شأنها تحسين نوعية حياتهم وتلبية احتياجاتهم.

4. دور الذكاء الاصطناعي في تطوير الإقتصاد الدائري:

تعد تقنية الذكاء الإصطناعي من أبرز الإبتكارات التكنولوجية في عصرنا الحالي، وتلعب دورًا حاسمًا في تحقيق الإقتصاد الدائري، في هذا السياق، سنتناول في هذا المحور الدور الفعال الذي يلعبه الذكاء الإصطناعي في تطوير الإقتصاد الدائري، مع إستكشاف فرص الإستفادة من الذكاء الاصطناعي، بالتعريج على منظومة "تسريع الاقتصاد الدائري 360" التي بادرت بها دولة الإمارات، في هذا الصدد يعد هذا المحور فرصة لإستكشاف كيفية تحويل الذكاء الإصطناعي الى حل مبتكر يسهم في بناء إقتصاد مستدام يعزز التنمية المستدامة للأجيال الحالية والمستقبلية.

1.4. مساهمة الذكاء الإصطناعي في الوصول إلى تطوير الإقتصاد الدائري: يمكن للذكاء الإصطناعي تقديم حلول للمشاكل التي تستغرق بالنسبة للعقول البشرية وقتا طويلا لحلها أو يمكنه التوصل إلى أفضل الحلول للمشاكل المعقدة دون أي مدخلات بشرية بخلاف البرمجة الأولية للمشكلة المراد حلها، باستطاعته المساعدة في الوصول إلى إقتصاد دائري بثلاث طرق رئيسية:**(Stephen, 2023)**

1.1.4. التصميم: من خلال تصميم المنتجات والمواد والمكونات باستخدام مبادئ الاقتصاد الدائري، يمكن الإستفادة من التعلم الآلي التكراري، يتم ذلك عند تطوير برامج الكمبيوتر التي تستخدم البيانات والأنماط المرصودة لاستخراج المعلومات وتحليلها، يستطيع الذكاء الاصطناعي تعلم الأنماط المتكررة

والتوجهات المرتبطة بالاستهلاك والإنتاج والنفايات، مما يتيح معرفة أفضل الأنماط الإقتصادية وتحليلها بأكثر دقة.

2.1.4. تحليل البيانات: يمكن أيضا استخدام الذكاء الاصطناعي لتسليط الضوء على نماذج الأعمال الدائرية التنافسية، الذكاء الاصطناعي قادر على زيادة استخدام الأصول وتداول المنتجات من خلال التنبؤ بالطلب واستخدام إدارة المخزون الذكية.

3.1.4. إستراتيجيات إعادة التدوير: يمكن أن يساعد الذكاء الاصطناعي في تحديد أفضل الطرق لفرز المنتجات والمواد وتفكيكها وإعادة تصنيعها وإعادة تدويرها، هذا يساعد على إغلاق الحلقة في الإقتصاد الدائري، على سبيل المثال، في صناعة الإلكترونيات، يلعب الذكاء الاصطناعي دورًا حيويًا في تطوير الاقتصاد الدائري، يستخدم الذكاء الاصطناعي في تصميم واختيار المواد المتخصصة التي تناسب المتطلبات المحددة، مما يؤدي إلى تحسين جودة المنتجات وتقليل استخدام الموارد الطبيعية والنفايات، بالإضافة إلى ذلك، يعمل الذكاء الاصطناعي على زيادة عمر الإلكترونيات من خلال تقييم متطلبات الصيانة التنبؤية يقوم النظام الذكي بتحليل بيانات الأداء وتوقع الأعطال المحتملة، مما يسمح باتخاذ إجراءات صيانة إستباقية تقلل من حدوث أعطال كبيرة وتطيل عمر المنتج، أيضًا، يساعد الذكاء الاصطناعي في أتمتة عمليات إعادة تدوير النفايات الإلكترونية، باستخدام تقنيات التعرف على الصور والروبوتات لتحديد وفرز المكونات والمواد المعاد تدويرها بكفاءة ودقة، مما يعزز نسبة إعادة التدوير ويقلل من تراكم النفايات الإلكترونية.

بوجود الذكاء الاصطناعي في صناعة الإلكترونيات، يمكننا الإستفادة من فوائد الإقتصاد الدائري مثل تقليل إستهلاك الموارد وتحسين كفاءة المنتجات، مما يساهم في تحقيق التنمية المستدامة والحفاظ على استدامة البيئة.

2.4. فرص الإستفادة من الذكاء الاصطناعي: تستخدم إدارة النفايات بالفعل الذكاء الاصطناعي بنجاح، باستخدام أنظمة قائمة على أجهزة الإستشعار الروبوتية يمكن لها التعرف على منتجات النفايات المختلفة وفرزها لإعادة التدوير، وإمكانية توليد بيانات تحليلية أفضل بالنسبة للأنظمة، يمثل إدراك فرص الجمع بين الذكاء الاصطناعي ورؤية الاقتصاد الدائري فرصة ضخمة وغير مستغلة إلى حد كبير، باستخدام أحد أعظم التطورات التكنولوجية في العصر الحالي، يمكن إعادة تشكيل الإقتصاد بشكل يجعله أكثر إستدامة للأجيال القادمة.(Stephen, 2023)

يمكن للذكاء الاصطناعي أن يلعب دورا مهما في تمكين هذا التحول المنهجي، من خلال مجموعة فرعية من التقنيات التي تمكّن عصر "الثورة الصناعية الرابعة"، التعامل مع النماذج والأنظمة التي تؤدي وظائف مرتبطة عموما بالذكاء البشري، مثل التفكير والتعلم، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يكمل مهارات الأشخاص ويوسع قدراتهم، بشكل أكثر فاعلية، وفهم البيانات الضخمة بشكل أفضل مما يخلق فرص جديدة لمواجهة أهم تحديات العالم.(E Macarthur, 2019, p. 4)

سنتطرق بالشرح إلى ثلاث شركات تساهم في بيع حلول ذي صلة بتقنيات الذكاء الاصطناعي (Stephen, 2023):

1.2.4. Tomra.com: هي شركة تبتكر حلولا لإنتاجية الموارد المثلى، أحد ابتكاراتها هو خوارزمية يمكنها تحليل الصور لتحديد المنتجات غير الموحدة التي لا تباع في محلات البقالة، يمكنه فرز المنتجات إلى درجات بحيث يمكن استخدامها على أفضل وجه، وبالتالي تقليل النفايات.

2.2.4. Optoro.com: إنشاء منصات لتحسين المرتجعات لمساعدة تجار التجزئة على إدارة المخزون ومعالجته، ما يقرب من 25٪ من عوائد العملاء ينتهي بها المطاف في مدافن النفايات لأنه ليس من المجدي إقتصاديا فرز البضائع القابلة لإعادة البيع يدويا، تستخدم Optoro الذكاء الإصطناعي لمعالجة المرتجعات تلقائيا مما يقلل من الهدر ويحسن تجربة العملاء من خلال تسهيل عمليات الإرجاع، الجانب الإيجابي الآخر هو أنه يمنح العملاء تجربة إيجابية ويزيد من رضاه، مما يعزز الولاء للعلامة التجارية ويقلل من تكاليف التشغيل.

3.2.4. تم إنشاء Stuffstr.com حول فكرة أنه لا ينبغي أن يكون هناك أشياء غير مستخدمة، يسمح Stuffstr للمستهلكين ببيع ملابسهم غير المرغوب فيها إلى تجار التجزئة بغض النظر عن الحالة، تستخدم Stuffstr الذكاء الاصطناعي لتسعير المنتجات التي تشتريها من المستهلكين وتبيعها في الأسواق الثانوية باستخدام توقعات الطلب.

نظرا لأن المزيد من الصناعات تدرك أهمية التغيير من الاقتصاد الخطي إلى الاقتصاد الدائري ، فمن المأمول أن يقنع المزيد من التطوير في هذا المجال هذه الصناعات بأنه ليس فقط منطقيا من الناحية الأخلاقية ولكن أيضا من المنطقي أن تتزايد الإيرادات الاقتصادية لاحتضان التغيير. هنا نأمل أن يكون الذكاء الاصطناعي هو الحل لبناء عالم جديد أنظف وأقل إهدارا ونجاحا.(Stephen, 2023)

3.4. تبني دولة الإمارات لمنظومة "تسريع الاقتصاد الدائري 360" بالاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي: كدولة عربية وقعت الإمارات بالتعاون مع منتدى الإقتصاد العالمي للشرق الأوسط وشمال أفريقيا على مبادرة تسريع الاقتصاد الدائري 360، لتكون أولى الدول الداعمة للمبادرة على المستوى العالمي ويقدم مفهوم الإقتصاد الدائري رؤية متكاملة لاقتصاد مستدام يحافظ على الموارد من خلال تعزيز إعادة تدويرها بالاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي و"البلوك تشين" على نطاق واسع، ويهدف المفهوم الإقتصادي المبتكر إلى الحد من النفايات من خلال تصميم سلع قابلة لإعادة التدوير والتجديد بما يضمن الإستفادة منها حتى بعد إنتهاء عمرها الافتراضي وبما يحقق كفاءة في استخدام الموارد الطبيعية.

تسعى المبادرة إلى توظيف تقنيات الثورة الصناعية الرابعة لتحقيق إقتصاد دائري بكفاءة وفعالية حيث تُرفَق جميع المواد المصنَّعة ببيانات رقمية كجواز سفر أو بصمة رقمية تسمى "إنترنت المواد"، حيث توفر هذه التقنيات إمكانات هائلة يمكن أن تؤدي إلى الحد من هدر الموارد مع تتبع استخدامها وإعادة تدويرها، وتشير دراسات المنتدى الإقتصادي العالمي إلى أن مبادرة تسريع الاقتصاد الدائري360 ستحدث ثورة في مجال استغلال الموارد الضخمة من النفايات، وسيجعل منها واحدة من أهم القطاعات ذات القيمة المضافة للكثير من الاقتصادات الوطنية مع ضمان الحفاظ على الموارد الإقتصادية. (**الوزراء, 2019**)

5. دراسة حالة شركة ZenRobotics:

هي شركة تكنولوجية فنلندية متخصصة في تطوير وتصنيع أنظمة الروبوتات الذكية لفرز وإعادة تدوير النفايات، تسعى الشركة إلى تحويل صناعة إدارة النفايات من خلال تقديم حلول مبتكرة وذكية تجمع بين التكنولوجيا المتقدمة والذكاء الاصطناعي.

تأسست الشركة في عام 2007، وكانت أول مؤسسة تطبق الذكاء الإصطناعي والروبوتات في معالجة النفايات، تجمع بين الذكاء الإصطناعي والروبوتات لاستعادة المواد القابلة لإعادة التدوير من النفايات، تتيح تقنياتها قدرًا أكبر من المرونة في فرز النفايات، مما يتيح للمشغلين الاستجابة بسرعة للتغيرات في مجرى النفايات وزيادة معدل استرداد المواد الثانوية ونقاوتها، عملية المراقبة تتم بواسطة الكاميرات وأجهزة الإستشعار لإتخاذ قرارات في حينها وتحقيق فرصًا لتحسين الأداء وكفاءة فرز النفايات هذا يزيد من القيمة التي يمكن أن تتولد من تدفقات المواد من خلال تحسين معدلات الإسترداد والجودة الشاملة للنواتج. **(**E Macarthur, 2019, p. 16**)**

تمتلك شركة ZenRobotics روبوتات مناسبة لمختلف عمليات فرز النفايات، مشغلة في أكثر من 15 دولة حول العالم، تحل الروبوتات التي تعمل بالذكاء الإصطناعي محل العمليات اليدوية غير الفعالة والمكلفة، مع التأكد من عدم إهدار المواد القابلة لإعادة التدوير القيمة، التي تساهم في تحقيق قيمة مضافة تكمن في: (Zenrobotics, 2019)

- ✓ **توليد الإيرادات عن طريق إيجاد وإستخراج قيمة جديدة من النفايات:** لا تقوم روبوتات فرز النفايات الذكية بفرز النفايات فحسب، بل تقوم أيضا بدراستها حتى 7/24، مما يؤدي إلى معرفة وفهم جديدين للنفايات، علاوة على إستعادة المزيد من المواد القابلة لإعادة التدوير عالية القيمة بكفاءة متزايدة، يمكن إكتشاف وإضافة مواد جديدة غير متوقعة.
- ✓ **خفض التكاليف بنسبة تجعل المنشآة أكثر كفاءة:** روبوتات فرز النفايات الذكية هي الطريقة الأكثر فعالية لإختيار المواد المطلوبة من النفايات، فإنها تتطلب الحد الأدنى من المشاركة البشرية إذ تعني الأتمتة العالية إنخفاض التكاليف والمخاطر المتعلقة بإستخدام الفرز اليدوي، فضلا عن تقليل وقت تعطل المنشأة.
- ✓ **قيادة الطريق من خلال تحقيق أهداف إعادة التدوير وتجاوزها:** تدعم روبوتات فرز النفايات الذكية مشغلي النفايات المتطلعين في عملهم نحو الإقتصاد الدائري، للرفع من معدلات إعادة التدوير وبناء ميزة تنافسية في صناعة النفايات المتطورة.

نجحت ZenRobotics في جلب الروبوتات للعمل في بيئة إدارة النفايات الصعبة وهي بيئة معقدة للغاية، إن قدرتها على أتمتة معالجة النفايات باستخدام الروبوتات الذكية يتيح لمستخدميها الكثير من الفوائد التي نذكرها كالآتي:

1.5. القوة والمتانة والعمل على مدار الساعة: الأنظمة الروبوتية متينة للغاية وتتطلب الحد الأدنى من التوقف عن العمل أو الصيانة، يمكنها العمل بقوة على مدار الساعة، مما يمكنها من فرز مواد التي لم تكن قابلة للفرز من قبل الإنسان من قبل؛

2.5. إنخفاض تكلفة العمالة: تعمل الروبوتات الصناعية بلا كلل ولا تطلب أبدا إستراحة، بمجرد التثبيت توفر الروبوتات الكثير من ساعات العمل، وتزيد من سلامة العمال عن طريق تقليل إصابات الأفراد أثناء الفرز اليدوي؛

3.5. توفر الإلتزام بالحياد البيئي للشركات: يمكن لها تحقيق ميزة تنافسية للمؤسسة عن طريق معالجة داخلية وآلية لنفاياتها.**(**Sustenta, 2020**)**

من خلال ما سبق ذكره، يستشف أن شركة ZenRobotics تقدم منتجات وحلول تساعد على تحسين عمليات إعادة التدوير وفرز النفايات، تتميز بالقدرة على التعامل مع تشكيلة واسعة من النفايات تساهم ZenRobotics في تعزيز الإقتصاد الدائري من خلال زيادة معدلات إعادة التدوير وتقليل النفايات المرسلة إلى المطامر، مع تحسين كفاءة العمليات مما يقلل من تكلفة المعالجة، باختصار، تساهم الشركة بشكل فعال ومستدام في تطوير الإقتصاد الدائري من خلال تطبيق الإبتكار والذكاء الإصطناعي في إدارة وإعادة تدوير النفايات.

6. تحليل النتائج:

مما سبق ذكره، يمكننا الإجابة على فرضيتي الدراسة والتأكيد في الفرضية الأولى بأن الذكاء الإصطناعي يلعب دورا مهما في تطوير الإقتصاد الدائري، باستخدام تقنياته يمكن لها إستغلال الموارد بشكل أفضل مما يقلل من النفايات ويقدم آفاقا إقتصادية، في حين الفرضية الثانية يتم نفيها لأنه يمكن تبني الإقتصاد الدائري والذكاء الإصطناعي معًا، بالرغم من العوائق التقنية والإقتصادية والقانونية التي تعيق تبني الاثنين في آن واحد، بالإضافة إلى ذلك، قد تحتاج المؤسسات إلى تحديث عملياتها وتدريب موظفيها للتكيف مع هذين النموذجين المتقدمين هذا ما يتجلى بدراسة الحالة لشركة **ZenRobotics**.

7. خاتمة:

ختاما، يمكن الإستنتاج أن الاقتصاد الدائري والذكاء الاصطناعي يشكلان تكاملاً قويًا يسهم في تحقيق التنمية الإقتصادية المستدامة، يمكن للذكاء الإصطناعي تحسين إدارة الموارد وعمليات إعادة التدوير والتصميم المستدام، في حين يعمل الإقتصاد الدائري على تحويل النفايات إلى موارد وتحقيق استخدام أفضل للمواد الأولية.

من الناحية الأخرى، يعد الذكاء الإصطناعي دافعًا قويًا لتحقيق الإقتصاد الدائري، حيث يتمتع بقدرة تحليل البيانات الضخمة والتعامل مع أنماط معقدة، مما يمكنه من إتخاذ قرارات أفضل في مجال إدارة الموارد وتحسين عمليات إعادة التدوير والاستدامة، ومن خلال دراسة تجربة شركة **ZenRobotics** في مجال إعادة التدوير، تم التنويه إلى النجاح والتطور الذي يمكن تحقيقه بواسطة استخدام تكنولوجيا الذكاء الإصطناعي، وبالتحديد استخدام الروبوتات لزيادة كفاءة عمليات إعادة التدوير.

بالنظر لما سبق ذكره يمكن اقتراح مايلي :

- ✓ ضمان تشجيع الابتكار وريادة الأعمال للشركات الناشئة التي تستخدم التكنولوجيا والذكاء الإصطناعي في تطوير حلول في إطار الإقتصاد الدائري؛
- ✓ لا بد من تعزيز التعاون العلمي والصناعي لتبادل المعرفة والخبرات في مجال الذكاء الإصطناعي وتطبيقه في تعزيز الإقتصاد الدائري؛
- ✓ العمل على دعم البحث والتطوير في مجال الذكاء الإصطناعي؛
- ✓ ضمان تعزيز التعاون الدولي في مجال الذكاء الإصطناعي بين الدول؛
- ✓ ضرورة مواكبة السياسات والتشريعات للتطورات التكنولوجية الحديثة.

8. قائمة المراجع:

Circulaire, I. N. d. L. É. (2020). L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE Une économie créatrice de valeur sociale,

économique et environnementale. Retrieved from https://institut-economie-circulaire.fr/economie-circulaire/

Circulaire, Q. (2020). Stratégies de circularité .Retrieved from https://www.quebeccirculaire.org/static/strategies-de-circularite.html

Collard, F. (2020). L'économie circulaire. *Courrier hebdomadaire du CRISP, 24552456*(10), 5-72 .

européen, A. P. (2023). Économie circulaire : définition, importance et bénéfices. Retrieved from https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/economy/20151201STO05603/economie-circulaire-definition-importance-et-benefices

Foundation, E. M. (2016). *ers une économie circulaire : arguments économiques pour une transition accélérée*. Retrieved from

Foundation, E. M. (2021). What is the linear economy? Retrieved from https://ellenmacarthurfoundation.org/what-is-the-linear-economy

Macarthur, E. (2016). Vers une économie circulaire: arguments économiques pour une transition accéléré. *Ellen Macarthur* .

Macarthur, E. (2019). Artificial intelligence and the circular economy AI as A tool to accelerate the transition. In: Ellen McArthur Foundation.

Niang, A., Bourdin, S., & Torre, A. (2020). L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, 11*(1 .(

Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *Ambio-Journal of Human Environment Research and Management, 36*(8), 614-621 .

Stephen, J. (2023). How AI Technologies Can Benefit a Circular Economy to be Real, Relevant and Revenue Generator. Retrieved from https://www.circulareconomyclub.com/listings/how-ai-technologies-can-benefit-a-circular-economy-to-be-real-relevant-and-revenue-generator/

Sustenta. (2020). ZenRobotics Recycler – world's first robotic sorting system. Retrieved from http://www.sustenta.es/english/zenrobotics.html

Zenrobotics. (20 .(19Why does it pay off to robotize your waste operations? Retrieved from https://www.terex.com/zenrobotics/robots/why-robotize

الوزراء, ا. ا. ا. م. (2019). دولة الإمارات الأولى عالمياً في تبني منظومة "تسريع الاقتصاد الدائري "360. Retrieved from https://uaecabinet.ae/ar/details/news/the-uae-is-the-first-globally-to-sign-on-the-world-economic-forums-scale-360