

اختيار أفضل طريقة لإدارة المخلفات الصلبة

محمد علي ابوتركية
الأكاديمية الليبية - مصراتة

علي قاسم شتوان
كلية الهندسة- جامعة مصراتة
قسم الهندسة الصناعية والتصنيع

المخلص— نظراً لتراكم وتزايد كميات المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة، الأمر الذي يستدعي إدارتها بطرق علمية وفق المعمول به في دول العالم المتقدم. إن عملية اختيار أفضل طريقة من بين عدة بدائل بالأساليب التقليدية تعتبر عملية معقدة وصعبة، وذلك بسبب تعدد المعايير التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند عملية التقييم. من أهم الطرق المستخدمة والتي تتعامل مع عدة معايير عند عملية التقييم طريقة التحليل الهرمي. تهدف الدراسة إلى اختيار أفضل طريقة لإدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة من بين عدة بدائل متوفرة من خلال تطبيق أسلوب التحليل الهرمي. حُدثت المعايير الرئيسية والفرعية اعتماداً على الدراسات السابقة، وبمساعدة الخبراء والمختصين. شملت المعايير الرئيسية المعايير التالية: البيئية، الاقتصادية، الاجتماعية، والفنية. أما المعايير الفرعية شملت 21 معياراً فرعياً. كذلك تم الاستعانة بمجموعة من الخبراء لغرض وضع الأوزان المناسبة لكل معيار من المعايير الرئيسية والفرعية والبدائل. تمت مقارنة هذه المعايير على البدائل الخمسة وهي إعادة التدوير، الحرق، الهضم اللاهوائي، التسميد، والطمر الصحي. أُستخدم برنامج اكسل لبناء النماذج الرياضية من خلال مصفوفات المقارنات الزوجية. كذلك تم إجراء عدد 6 سيناريوهات لتحليل الحساسية على المعايير الفرعية لمعرفة مدى ثباتها واستقرارها. أظهرت نتائج الدراسة أن طريقة إعادة التدوير هي الطريقة الأفضل من بين البدائل المتاحة. كذلك أظهرت نتائج تحليل الحساسية التي أُجريت على المعايير الفرعية أنها لم تتأثر كثيراً مما يدل على ثبات واستقرار المعايير.

الكلمات الدالة— مخلفات، اختيار، الصلبة، معايير، التحليل الهرمي

2. الدراسات السابقة

هناك العديد من الدراسات السابقة التي تناولت مشكلة المخلفات الصلبة، وصنفت بأنها من ضمن النفايات المسببة للتلوث البيئي، ومن هذه الدراسات:

دراسة الجالي (2010) تناولت التحليل المكاني للنفايات الصلبة المنزلية في مدينة الجغبوب بهدف تحديد العوامل التي أدت إلى تراكم المخلفات الصلبة، وتقييم دور كل من المواطن والجهات المسؤولة المترتب عن التعامل مع المخلفات المنزلية الصلبة، ومعرفة أهم الطرق المستخدمة في التخلص منها. أكد الباحث أن التطور الحضاري أدى إلى تغليف المواد الغذائية في أوعية معدنية أو بلاستيكية أو كرتونية أو غيرها من الحواظ التي بدورها تعد مخلفات صلبة بعد استهلاك ما بداخلها. استعرضت الدراسة نوعية الأساليب المستخدمة في التخلص من المخلفات الصلبة، وقسمت إلى أساليب مستخدمة للتعامل مع المخلفات الصلبة داخل المنزل، وأخرى داخل المدينة. خلصت الدراسة إلى توضيح أسباب تفاقم مشكلة المخلفات الصلبة في منطقة الدراسة، منها سوء التخطيط العمراني واختلاف الكثافة السكانية من منطقة إلى أخرى وعدم متابعة التطور والازدياد السكاني من قبل أجهزة النظافة والأجهزة المعنية، نقص المعدات والآليات الخاصة بجمع المخلفات، وعدم كفاية العمالة المختصة بالنظافة في المدينة، وقلة الوعي البيئي لدى المواطن وعدم استخدام وسائل جيدة لجمع المخلفات المنزلية. كذلك أظهرت نتائج الدراسة بأن طريقة الرمي في مقالب مكشوفة، والحرق للمخلفات الصلبة في مكب مفتوح، هي الطريقة المتبعة في مدينة الجغبوب للتخلص من المخلفات، وأفاد الباحث بأن هذه الطريقة من أقدم وأسوأ وسائل التخلص من المخلفات الصلبة، زيادة على أنها طريقة تقليدية قديمة وغير آمنة بيئياً وصحياً [5]. دراسة جبريل وآخرون (2010) تناولت المشاكل الرئيسية المتعلقة بالممارسة الحالية لإدارة المخلفات الصلبة في مدينة بنغازي. أوضحت الدراسة بأن التخلص من المخلفات الصلبة يتأثر بالنظام الموجود المتداول في إدارة المخلفات الصلبة ومن بينها مثلاً اقتصاد البلد، والنظم واللوائح والتشريعات المعمول بها. بينت الدراسة بأن هناك قيود فنية وتشغيلية تتمثل في تجهيز العاملين وصلح خبراتهم، ونوعية الآليات ومدى مواكبتها للتطور التقني بتعدد وظائفها. عللت الدراسة تعثر إدارة المخلفات إلى عدم وجود أي معالجة للمخلفات الصلبة واعتبرتها طاقة مهدورة، بالإضافة إلى الإدارة العشوائية التي تنفق على التخطيط المتكامل للتعامل مع المخلفات الصلبة الأمر الذي أدى إلى تراكم المخلفات الصلبة.

1. المقدمة

منذ ظهور الإنسان على سطح الأرض كان كل همه حماية نفسه من مخاطر العوامل البيئية وإشباع حاجاته المتعددة وزيادة رفاهيته. مع مرور الزمن أصبحت المخلفات الصلبة عبئاً ثقیلاً على العديد من المجتمعات النامية من النواحي الصحية والبيئية والاقتصادية، وذلك نتيجة الأساليب البدائية التي لا تزال سائدة حالياً في التعامل مع هذه المخلفات في هذه المجتمعات. في المقابل فقد طورت العديد من الدول المتقدمة طرقاً حديثة لمعالجة هذه المخلفات التي يمكن بواسطتها تحويلها من مصدر للتلوث إلى سلعة اقتصادية. بالتالي فإن الاهتمام بقضايا المخلفات الصلبة التي تعتبر مسبباً رئيسياً للتلوث البيئي، أصبح مطلباً مهماً ورئيسياً يتعلق ببقاء الإنسان وصحته وإنتاج موارده. تم تعريف المخلفات wastes في القانون الإنجليزي بأنها مواد تحتوي على فضلات مواد أو مواد ليست في حاجة إليها، بالإضافة إلى المواد الناتجة من العملية الإنتاجية [1]. حُصرت أغلب المخلفات الصلبة في مجموع ما يُرمى من المنازل والمؤسسات، كنفائات يومية من مخلفات الأطعمة والأكياس والعلب وأدوات التنظيف والقناني والورق والثياب القديمة والأدوات المنزلية وغيرها، ولا تتضمن هذه المخلفات تلك التي تخلف من المستشفيات الصحية والمصانع بمختلف أنواعها، والمواد الكيميائية الخطرة الناتجة من العمليات الصناعية، حيث ينبغي التخلص منها بشكل علمي وسليم كل بحسب خصائصه [2]. حسب ما أفادت إحدى الدراسات الليبية بأنه يوجد حوالي 59% من المخلفات الصلبة هي عضوية، وحوالي 12% ورق، 8% بلاستيك، 4% زجاج، 4% منسوجات، 2% معادن، 8% خشب ونسب مئوية أخرى ضئيلة من مخلفات صلبة مختلطة [3]. هذا المزيج من المواد هو ما يُقصد به بالمخلفات الصلبة في الدراسة.

على الرغم من أن استراتيجية إدارة المخلفات الصلبة أثبتت جدواها عالمياً إلا أن تطبيقاتها العملية بالأقطار النامية مازالت محدودة، علماً بأن هذه الأقطار تمتلك القدرة على إدارة مخلفاتها إذا ما توافرت لها أساليب التنفيذ المناسبة. تهدف هذه الدراسة إلى اختيار أفضل طريقة لإدارة المخلفات الصلبة باستخدام طريقة التحليل الهرمي، والمعروفة بمصطلح (AHP) Analytical Hierarchy Process والتي طورها الباحث AHP. Thomas Satty هو أسلوب من الأساليب الكمية الذي يُدرس في إدارة العمليات، يعتمد فيه متخذ القرار على الأساليب والنماذج الرياضية، حيث يعتبر مدخل من مداخل صناعة القرارات التنظيمية ويساعد المدراء على اتخاذ القرار الأنسب والسليم في حالة وجود أكثر من خيار [4].

استلمت الورقة بتاريخ 28 يونيو 2020، وروجعت بتاريخ 12 يوليو 2020، وقيلت بتاريخ 13 يوليو 2020، ومتاحة على الانترنت بتاريخ 15 يوليو 2020

دعت دراسة Agnieszka وآخرون (2011) إلى استخدام الأساليب الكمية لإدارة المخلفات الصلبة واستدلّت بأنه عند استخدام أفضل التقنيات المتاحة للتخلص من المخلفات الصلبة، فإنه يوفر الكثير من الوقت والجهد. أظهرت الدراسة كيفية التعامل بترتيب نظام التخلص من المخلفات الصلبة حسب الأهداف التقنية والبيئية والاقتصادية والاجتماعية وغيرها، مع الانتباه لتفاصيل المنطقة المعنية من حيث الميزات والسلبات. أجريت الدراسة على ثلاثة محطات حرق مختلفة، اثنين منها في بولندا وهما محطة وارسو، ومحطة تارنوبرزيغ، والثالثة محطة فيينا في النمسا. لتحليل وتقييم معايير التخلص من المخلفات الصلبة، واختيار القرار المناسب، افترض الباحث ثمانية خيارات للتخلص من المخلفات الصلبة وهي، التخلص من المخلفات الصلبة مع انبعاث غازات حيوية كاملة، التخلص من المخلفات الصلبة باستخدام الغاز الحيوي كطاقة، التخلص من المخلفات الصلبة بدون تضمين العمليات الميكانيكية البيولوجية، وانبعاث الغازات الحيوية، التخلص من المخلفات الصلبة بتضمين العمليات الميكانيكية البيولوجية وانبعاث الغازات الحيوية، إنشاء مصنع لحرق المخلفات في الصلبة في منطقة فيينا، إنشاء مصنع لحرق المخلفات في مدينة تارنوبرزيغ في بولندا، إنشاء مصنع لحرق المخلفات الصلبة في وارسو في بولندا، التخلص من المخلفات الصلبة باستخدام البنية التحتية المتاحة. أعطيت رموز لهذه الخيارات الثمانية، ودرس الباحث هذه القرارات تحت معايير معينة من خلال تطبيق تحليل متعدد المعايير. أظهرت نتائج البحث أن استخدام المخلفات الصلبة لتوليد الطاقة هي أكثر فائدة من بين القرارات المتاحة في التخلص من المخلفات الصلبة. كانت النتائج متوافقة تماماً مع التسلسل لإدارة المخلفات الصلبة المحدد في مؤتمر الاتحاد الأوروبي 2008/98 الذي يحافظ على البيئة والسلامة وإمكانية الاستفادة من المخلفات الصلبة [9].

أهتم تقرير بعنوان إدارة المخلفات الصلبة (2012) بموضوع صفر نفايات، وعرفه بأنه تحويل حوالي 95% أو أكثر من المخلفات إلى استخدام آخر نافع، وهي استراتيجية ليس من شأنها دعم البيئة العمرانية فحسب، بل دعم الاقتصاد المحلي أيضاً، وتساعد أنشطة إعادة التدوير وتحويل المخلفات إلى سماد وإعادة الاستخدام إلى خلق فرص عمل كثيرة في القطاع البيئي. أشار التقرير إلى الإحصائيات المتعلقة بالولايات المتحدة الأمريكية والتي تظهر أن مقابل كل 10,000 طن من المخلفات الصلبة، يمكن خلق فرصة عمل واحدة إذا تم إتباع نظام حرق المخلفات، مقارنة بست فرص عمل في حالة إتباع نظام الردم، 36 فرصة عمل في حالة إتباع نظام التدوير، وقراءة 296 فرصة عمل في حالة إتباع نظام إعادة الاستخدام [10].

أهتمت دراسة ثابت إبراهيم (2012) بالجوانب السلبية التي تنتج عن الحرق العشوائي للمخلفات الصلبة وما يترتب عليها من آثار بيئية. بينت الدراسة بأنه لاتزال عملية حرق المخلفات الصلبة مستمرة في بعض دول العالم الثالث. اعتبرت الدراسة أن هذه الطريقة من الطرق القديمة والتقليدية التي يلجأ إليها البعض لسهولتها. في دول العالم المتقدم تتم عملية حرق المخلفات الصلبة القابلة للاشتعال في موائد ويستفاد من الحرارة المتولدة من الاحتراق في تسخين المياه الذي يولد البخار ويعمل على تدوير المحركات لإنتاج الطاقة الكهربائية. بينت الدراسة أن ما يسببه الحرق من آثار جانبية سيئة على البيئة منها تلوث الهواء والذي يتمثل في الغازات الضارة وانتشار الجسيمات والضباب الدخاني والأمطار الحمضية. من الحقائق العلمية التي أوضحتها الدراسة أيضاً أن حرق المخلفات الصلبة وخاصة البلاستيكية منها تسبب الأمراض السرطنة. دعت الدراسة إلى الامتناع عن حرق أي نوع من المخلفات الصلبة بالطرق التقليدية العشوائية، أو إلقائها على جنبات الطريق أو الحقول أو الوديان أو المجاري المائية والأماكن المفتوحة في خطوة للحفاظ على البيئة [11].

دارسة Hanan وآخرون (2013) تناولت اتخاذ القرار الأفضل لإدارة المخلفات الورقية. تعامل الباحث مع عدة مصادر للحصول على نقاط تقييم المعايير المطروحة. تكونت لجنة تقييم المعايير من المجتمع السكني المقيم في جزيرة وايت الإنجليزية، وأصحاب المصلحة والذين لهم علاقة بالمخلفات الورقية ومنتجاتها.

قدّمت الدراسة حلاً لهذه المشكلة وذلك بتحسين فعالية إدارة المخلفات الصلبة، وبأنه هناك حاجة لمزيد من الجهود الفعالة من خلال اشراك الجمهور وعدم تجاهل المستقبل ووضع مخطط لذلك [6]. دراسة خليل (2010) تناولت التخطيط البيئي للتخلص من المخلفات والنفايات العمرانية وأساليب تطبيقاتها بالأقطار النامية. أهتمت الدراسة بالإجراءات العملية لتفعيل استراتيجية التخطيط البيئي للمخلفات السكنية، وآليات تنفيذها بالأقطار النامية، وذلك في إطار يحافظ على سلامة البيئة العمرانية وحمايتها من التلوث أو الإهدار أو الاستنزاف. أستخدم في الدراسة أسلوب التحليل الهرمي من خلال اختيار البديل المناسب من بين البدائل الخمسة، ومن نتائج الدراسة هي تطبيق التسلسل الهرمي لإدارة المخلفات الصلبة، وكيفية التخلص منها بخمس طرق المعروفة دولياً والتي أختصرها الباحث بمصطلح 5RS وهي تعني (Reduce-Reuse-Recycle-Renew-Refuse)، بمعنى التقيض، إعادة الاستخدام، إعادة التدوير، الاسترجاع، وتنتهي بالتخلص من النفايات بالدفن الصحي. خلّصت الدراسة إلى التنويه بأن المخلفات والنفايات السكنية هي طاقة قادرة على إحداث مخاطر بصحة الإنسان. كذلك أظهرت الورقة البحثية مقارنة بين الفكر التقليدي لإدارة المخلفات الصلبة، والفكر المستقبلي المرغوب لإدارة المخلفات الصلبة في الأقطار النامية. كذلك أظهرت الدراسة أن أفضل طريقة هي طريقة إعادة التدوير، ولم توضح الدراسة كيفية اختيار هذه الطريقة، واقتصرت على التوصية باستخدام هذه الطريقة دون تقديم الدليل أو السبب العلمي المقنع الذي يدعو إلى تفضيل هذه الطريقة عن غيرها من الطرق المتاحة [1].

اعتبرت دراسة ندى عبدالظاهر (2011) النظافة العامة من أهم الأسس للحفاظ على البيئة وصحة الإنسان، ولها مردود إيجابي على الحالة النفسية للسكان وتصرفاتهم الإيجابية والإدارية. عدت الدراسة مصادر المخلفات الصلبة وجزأتها إلى ثلاث أجزاء رئيسية وهي الزراعية والحيوانية الطبيعية، والبلدية، والصناعية. قدمت الدراسة أيضاً مقترحاً لاستراتيجية التخلص من المخلفات الصلبة، وهي مجموعة من السياسات والإجراءات التي تضع الإطار الأمثل لنظام إدارة المخلفات الصلبة على الحالة الدراسية بجمهورية مصر. أهتمت الباحثة بالتركيز على أساليب جمع المخلفات الصلبة لتحقيق أقصى تغطية لجمع المخلفات الصلبة من مصادر تولدها، والتأكيد على خفض المخلفات، والفصل بين أنواعها من المنبع. توصلت الدراسة إلى أن إعادة التدوير هو البديل الأفضل لإدارة المخلفات الصلبة بشرط وجود جدوى اقتصادية لهذه العملية وطلب على المنتج. فضّلت الدراسة طريقة إعادة التدوير بناءً على النسب العالية المتكونة منها المخلفات الصلبة للمواد التي يمكن إعادة تدويرها [7].

دراسة الأنباري وآخرون (2011) قدمت دراسة تحليلية لمصوفاة صنع القرار في إدارة المخلفات الصلبة بمعايير مختلفة. تمثلت المعايير في الأبعاد الاجتماعية، والاقتصادية، والتكنولوجية، والسياسية، والإدارية. تم تطبيق هذا التحليل في الدراسة للوصول إلى القرار المناسب على ثلاث مدن عراقية وهي الحلة، كربلاء، لتتنوع المخلفات الصلبة المتولدة من التجمعات السكنية، والزبادة في كمياتها، ولتعدد الخيارات والقرارات للتخلص منها، أوجب ذلك على السلطات المحلية تحديد القرار المناسب من بين عدة قرارات متاحة للتخلص من المخلفات الصلبة بوجود أبعاد مختلفة وهي المذكورة سابقاً. تم بناء مصوفاة صنع القرار لإدارة المخلفات الصلبة، حيث عدد صفوفها يمثل أبعاد صنع القرار، وعدد أعمدتها يمثل مستويات صنع القرار. عدّد الباحث عدة إشكاليات متعلقة بشكل مباشر وأخرى غير مباشرة تؤثر على المخلفات الصلبة من حيث الكم والنوع والشكل والتي تتمثل في إشكالية أنماط حياة المجتمع السكني، وأنماط الاستهلاك، وإشكالية مستويات الدخل للفرد، وإشكالية الثقافة الاجتماعية للمجتمع السكني، والحالة الاقتصادية للبلد. افترضت الدراسة بأن إدارة المخلفات الصلبة تنجز على مستوى المدينة وباستخدام الأسلوب العلاجي وهو أسلوب يختص بإيجاد الحلول للمشكلة في مراحل دورتها النهائية. خلّصت الدراسة بأن المنهج الحالي المتبع يفقد للشمولية والتدرج في وضع حلول لمشاكل التخلص من المخلفات الصلبة، ويجب وضع نهج شمولي بعيد المدى. يلاحظ على الدراسة أن إدارة المخلفات الصلبة فيها اقتصر على عملية تصريف المخلفات دون إعادة تدويرها أو تقليل تولد المخلفات الصلبة من مصادر تولدها [8].

اهتمت دراسة Mofteh (2016) بإدارة المخلفات الصلبة في مدينة طرابلس، ليبيا التي يبلغ عدد سكانها 2.2 مليون نسمة. هدفت الدراسة إلى تقييم المخلفات الصلبة من خلال جمع المعلومات الواقعية عن كثافة ونوعية وكمية المخلفات المتولدة من الأسر الليبية في مدينة طرابلس. تم إجراء البحث خلال أسبوع واحد من كل فصل من فصول الصيف والخريف والشتاء من سنتي 2012/2011، وأختيرت 150 عائلة ليبية من ثلاث مناطق رئيسية بالمدينة تُمثّل عائلات الدخل المحدود والمتوسط والعالي بشكل عشوائي لتحليل مخلفاتهم الصلبة اليومية. أظهرت نتائج الدراسة متوسط الكميات المتولدة ونسبها فكانت 1415 كجم بمعدل 0.64 كجم/شخص يومياً، بكثافة 19.3م³ بمعدل 74.4 كجم/م³، وبعد فرز المكونات كانت نسبة المواد العضوية 36.3%، 32.5% من المخلفات الصلبة القابلة لإعادة التدوير مثل (الزجاج، الورق، البلاستيك، المعادن)، وهذه النسب متقاربة مع دراسات أخرى في بلدان أفريقية وعربية. عللت الدراسة بأن أساس المشكلة هي عدم قدرة ودراسة الجهات المختصة بكيفية إدارة المخلفات الصلبة وعدم وجود مطامر صحية لدفن المخلفات. أما ضمن نتائج البحث كانت 50% من العائلات تفرز من 7 إلى 10 أكياس قمامة أسبوعياً، 30% تفرز من 4 إلى 6 أكياس قمامة أسبوعياً، و20% تفرز من 0 إلى 3 أكياس أسبوعياً. كما بينت النتائج أن متوسط كميات المخلفات الصلبة المتكونة خلال أسبوع في فصول الصيف والخريف والشتاء في المناطق الثلاث المختارة على التوالي، الأولى بمتوسط 178.5 كجم، 180.7 كجم، 176.1 كجم، والثانية بمتوسط 168.3 كجم، 180.1 كجم، 169.4 كجم، والثالثة بمتوسط 173.5 كجم، 183.7 كجم، 179.1 كجم. يلاحظ على الدراسة أنها ركزت على تصنيف وتحليل المخلفات الصلبة ولم تتطرق لدراسة اختيار طريقة التخلص من المخلفات [16].

من الدراسات القليلة التي تناولت اختيار الطريقة المثلى في إدارة المخلفات الصلبة دراسة بادي وآخرون (2017). قدمت الدراسة ملخصاً عن المخلفات الصلبة وأنها تُشكل ثقلًا على الكثير من المجتمعات من الجوانب الصحية والبيئية والاقتصادية. ذكر البحث بأن ليبيا هي إحدى الدول التي تعاني تقادم المخلفات الصلبة وذلك نتيجة لعدم كفاءة إدارة المخلفات التي تتمثل في التجميع والنقل والمعالجة. كذلك بينت الدراسة قلة الدراسات والبحوث في هذا المجال، مما جعل هناك عجزاً وافتقاراً في كمية البيانات والإحصائيات المتعلقة بهذا الموضوع. حللت الدراسة طبيعة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة وكيفية معالجتها وطرق إدارتها وماهية المشاكل البيئية التي تعيق إدارة المخلفات الصلبة. كذلك قدمت مقترحاً لاختيار الطريقة المناسبة لمعالجة المخلفات الصلبة في مدينة مصراتة، من خلال نموذج يتمثل في طريقة الوزن المتأرجح، وذلك بتشكيل مصفوفات تمثل نموذجاً رياضياً لاختيار البديل الأفضل من بين البدائل المتاحة، في ظل وجود قيود دراسية قام البحث بتغطيتها والتي تتمثل في المعايير البيئية والاجتماعية والتقنية والاقتصادية. خلصت الدراسة بأن طريقة الهضم اللاهوائي هي الأنسب من بين البدائل. يلاحظ على الدراسة بأنها أكتفت بعرض جدولي للمعايير الرئيسية ومعاييرها الفرعية، وعدم التعمق بتحليل المعايير الفرعية ووضع الأوزان عليها، وترتيبها حسب أهميتها [2].

باستعراض الدراسات السابقة يُلاحظ أن جميعها اتفقت مع القانون الليبي رقم 15 لسنة 1371 و.ر في شأن حماية وتحسين البيئة، حيث تناول الفصل السادس من القانون الليبي إصاح البيئة، وله عدة بنود مفادها الحفاظ على البيئة وتوفير الأساليب والطرق اللازمة للتخلص من المخلفات وتطبيق التشريعات الصحية المنظمة لعمليات جمع القمامة ونقلها والتخلص منها [17]. تناولت بعض من الدراسات السابقة وصف البيئة والأثر السلبي للمخلفات عليها في حال انتشارها. بينما تناول جزء آخر من الدراسات أنواع المخلفات وتصنيفها كلاً حسب طريقة البحث وبيئته، وهدّدت طرق التخلص من المخلفات الصلبة وآلياتها، والتركيز على الطريقة المثلى لجمع أكبر قدر من كمية المخلفات الصلبة. أتجه نوع آخر من الدراسات إلى إجراء عمليات إحصائية للمخلفات البلاستيكية، والتي عادة ما تكون من ضمن المخلفات الصلبة الناتجة من الاستهلاك البشري اليومي.

عُرِضت على اللجنة عدة خيارات للتخلص من المخلفات الورقية تمثّلت في إعادة تدوير الصحف والمجلات في الجزيرة، دفن المخلفات الورقية في الجزيرة، استخدام المخلفات الورقية في توليد الطاقة بإنشاء مصنع على الجزيرة، نقل المخلفات الورقية إلى مكان آخر لإعادة تدويرها، وحرق المخلفات الورقية في الجزيرة دون الاستفادة منها. طرحت هذه الخيارات على اللجنة المختارة، وحدّدت لهم معايير مختلفة ومتنوعة بين البيئة والاقتصاد والمجتمع، واعطيت لكل معيار 100 نقطة تعطيه للجنة لكل معيار حسب أهمية المعيار من وجهة نظر اللجنة، ومن بين هذه المعايير معيار الأثر على البيئة، الأثر على صحة الإنسان، توفير الوظيفة على الجزيرة، التكلفة، القبول الاجتماعي، السياحة، التشريعات والأهداف الوطنية. خلصت اللجنة إلى اختيار إعادة التدوير [12]. دراسة العود وآخرون (2015) تناولت النفايات البلاستيكية وأثارها على البيئة والإنسان والطرق الحديثة للاستفادة والتخلص منها. أوضحت الورقة بأنه يتم التخلص من المخلفات البلاستيكية في ليبيا بالطرق التقليدية والمتماثلة في الحرق والطمر وإلقائها في البحار والمحيطات مما يؤثر سلباً على الحياة البحرية، وبالتالي انتقالها إلى الإنسان. في حين أنه توجد طرق حديثة وتقنيات متطورة للتخلص منها مثل إعادة التدوير، وإنتاج الطاقة، واستحداث البديل لبعض المنتجات البلاستيكية لها مواصفات خاصة تكون صديقة للبيئة. أهتمت الدراسة بتصنيف مخلفات البلاستيك حسب تأثير الحرارة عليها إلى نوع أول وهو اللدائن المطاوعة للحرارة ويعتبر هذا النوع قابل لإعادة التدوير. النوع الثاني هو اللدائن المتصلدة بالحرارة ولا يمكن إعادة تدويرها. خلصت الدراسة بسرد الطرق الحديثة للتخلص والاستفادة من المخلفات البلاستيكية ولخصتها في نوعين: تقنية إعادة التدوير وتقنية إنتاج الطاقة. اعتبرت الدراسة تقنية التقليل من حجم المخلفات البلاستيكية وتجميعها في مخازن بغرض استخدامها كمادة خام في مصانع إعادة التدوير من أهم طرق التخلص منها بشرط أن لا تكون ملوثة أو استعملت من قبل لتعبئة السموم والكيماويات، وينصح بعدم استعمال نواتج عملية إعادة التدوير في تعبئة المواد الغذائية والمشروبات [13].

من الدراسات المتعلقة بالمخلفات البلاستيكية أيضاً دراسة Najjar Abdulmajid وآخرون (2015)، حيث تطرقت الدراسة إلى تقدير نسبة PVC في مخلفات البلاستيك المتواجدة ضمن المخلفات الصلبة الناتجة من الاستهلاك اليومي للأسرة في طرابلس. حرصت الدراسة على إظهار مدى خطورة هذا النوع من المخلفات المضرة بصحة الإنسان والبيئة، والتي تتراد مع تزايد النمو السكاني وتوقعت الدراسة زيادة وارتفاع نسبة المخلفات من مادة PVC بسبب زيادة الطلب على المواد الغذائية المعالجة في حوافز بلاستيكية من قبل المستهلكين. توصلت الدراسة إلى إحصائية قدرت فيها نسبة المخلفات البلاستيكية على وجه الخصوص المتواجدة ضمن المخلفات الصلبة فكانت كمية المخلفات الصلبة المجمعة من موقعين مختلفين في طرابلس حوالي 550 طن/يوم احتوت على 57.8 طن/يوم من المخلفات البلاستيكية، والتي كانت نسبة مادة PVC فيها 7.4 طن. خلصت الدراسة بأن المخلفات هي نتيجة طبيعية لا مفر منها لجميع الأنشطة الطبيعية اليومية، وبأن جذور مشكلة المخلفات هي الثقافة السائدة في المجتمع، وأوصت الدراسة إلى ضرورة إنشاء قاعدة بيانات لتوفير معلومات وافية عن المخلفات البلاستيكية المتواجدة ضمن المخلفات الصلبة للاستفادة منها في إعادة تدويرها [14]. دراسة أبو زيد (2016) تناولت إدارة النفايات المنزلية وكيفية التخلص منها في مدينة عطبرة بالسودان. تطرقت الدراسة إلى نوعية الوسائل والآليات المستخدمة من جهات النظافة للتعامل مع المخلفات الصلبة. فسّر الباحث زيادة كمية المخلفات الصلبة إلى التطور الاقتصادي وارتفاع المستوى المعيشي لدى الأفراد وتسارع عجلة التطور العمراني. من المقارنة الإحصائية في المخلفات الصلبة لأحياء المدينة وضواحيها تبين بأن المخلفات الصلبة تزداد طردياً مع ازدياد السكان والتقدم العمراني. الدراسة لم تدرس أهمية اختيار الطريقة المثلى للتخلص من المخلفات الصلبة، واقتصرت على سرد الطرق وشرحها [15].

جدول 1. المخلفات ومصادرها [18]

نوع المخلفات	مصادر التولد	أمثلة
المخلفات المنزلية الصلبة	المدارس، المنازل، الجامعات، الفنادق، المطاعم	المخلفات الصلبة الغير خطرة: مثل بقايا الطعام، الورق، البلاستيك الحديد، الزجاج مخلفات خطرة: البطاريات، مواد التنظيف الفاضلة، الدهانات، المفروشات والمنسوجات
المخلفات التجارية	المباني التجارية	مخلفات غير خطرة مثل الورق، الخشب، النسيج، والبلاستيك
مخلفات صناعية	المصانع والمعامل	مخلفات غير خطرة: مواد الخردة، الورق مخلفات خطرة أو خاصة: الزيوت، الدهانات
مخلفات المسالخ	المذابح والمسالخ	عظام، دماء، جيف حيوانات نافقة، جلود
مخلفات الهدم والتفتيب	تنظيف مواقع المباني، أعمال الهدم والترميم	الحجارة، الاسمنت، الخشب، الزجاج
المخلفات الزراعية	المزارع، البساتين، الحدائق، البيوت الزجاجية	مخلفات غير خطرة: المحاصيل التالفة والمرضية، مخلفات الحيوانات مخلفات خطرة: المواد الكيماوية، المبيدات الزراعية السامة، المعليات الكيماوية الفارغة
المخلفات الطبية	المستشفيات، العيادات الطبية، البيطرية، وعيادات طب الأسنان	اغلبها مخلفات خطرة مثل الأدوية، الأشعة بمختلف أنواعها، المواد الكيماوية

ج. زمن تحلل مواد المخلفات الصلبة

من المعروف بأنه لكل مادة من مواد المخلفات الصلبة عمراً معيناً للتحلل والتفتت، ويعتقد البعض بأن المخلفات الصلبة تتحلل وتخفي بمرور بعض الوقت. في الحقيقة وحسب ما أشار إليه دليل إدارة النفايات المنزلية الصلبة الصادر عن مركز حماية الطبيعة في الجامعة الأمريكية في بيروت سنة 2016 وفي جزئية معينة تحت عنوان يمر الوقت وتبقى النفايات "على الرغم من اعتماد المطامر الصحية على نطاق واسع، لا تزال تتطلب هذه المواد وقتاً حتى تتحلل داخل المطمر. ينطبق الأمر نفسه على رمي النفايات في البحر، حيث من المرجح أن تتراكم هذه النفايات أسرع مما تتحلل" [18]. جدول (2) يصنف المواد وخاصة تلك المواد القابلة لإعادة التدوير

جدول 2. زمن تحلل مواد المخلفات الصلبة في التربة [18]

المادة	الزمن اللازم للتحلل في التربة
إطارات	1000 سنة على الأقل
بلاستيك	100-1000 سنة
الومنيوم	10-100 سنة
زجاج	400-4000 سنة
نايلون	400 سنة
مواد ورقية مجلات وغيرها	6 أشهر - 10 سنوات

د. طرق إدارة المخلفات الصلبة

توجد عدة طرق متاحة للتعامل مع المخلفات الصلبة تطبقها دول العالم المتقدم والدول النامية كلا على حد سواء، وحسب الامكانيات المتوفرة لها، وهذه الطرق يمكن شرحها وتصنيفها كالتالي:

- طريقة إعادة التدوير Recycling Method

تساهم عملية إعادة تدوير المخلفات الصلبة واستخدامها من جديد في استعادة جزء من القيمة الاقتصادية للمواد الصلبة المطروحة ضمن المخلفات، كما أن هذه الطريقة توفر فرص عمل للمجتمع وعائدات مالية، بالإضافة إلى المساهمة الفعالة في المحافظة على البيئة [19].

أما دراسة بادي وآخرون أشارت إلى أنه لكل مجتمع خصائصه البيئية، والاقتصادية، والاجتماعية، والتقنية واكتفت بذلك ولم تقم الدراسة بتحليل المعايير الفرعية لهذه الخصائص، بالإضافة إلى أنها درست فقط ثلاث بدائل للتخلص من المخلفات الصلبة وتمت المفاضلة فيما بينها بطريقة الوزن المتأرجح، وأغفلت طريقتي التسميد، وإعادة التدوير. تميزت الدراسة الحالية باهتمامها بما غفلت عنها الدراسات السابقة من حصر أهم الطرق الشائعة في إدارة المخلفات الصلبة ووضعها كبديل لاختيار الطريقة الأفضل من خلال تحليل المعايير الرئيسية والفرعية باستخدام طريقة التحليل الهرمي.

3. المخلفات الصلبة

بدأت بوادر إدارة المخلفات الصلبة وممارستها في عهد الرومان قبل الميلاد، وكانت بدائية جداً تمثلت بتخصيص مكان خارج المدينة لنقل وجمع المخلفات بها، ويعتبر أول مكب في التاريخ للمخلفات الصلبة. أنشأ الرومان أول فرقة نظافة تتكون من شخصين يجولان المدينة وعملهما هو القيام بجمع المخلفات من الشوارع ونقلها بعربات تجرها الخيول إلى المقالب المخصصة للمخلفات خارج المدينة [7]. كما كان لمرض الطاعون الذي ضرب أوروبا بين القرون 14 و16 بسبب انتشار الحشرات التي وجدت بيئتها على المخلفات الصلبة، الأثر الكبير الذي جعل البرلمان البريطاني يصدر قراراً بمنع إلقاء المخلفات الصلبة في المسطحات المائية، وبدأت البلديات في تولي مسؤولية جمع المخلفات ونقلها إلى المقالب التي بدأت تشكل خطراً آخر يهدد الحياة بازدياد حجمها وكميتها، فظهرت فكرة الحفر في باطن الأرض واستخدامها كمداخن للمخلفات، فكانت بداية لما يعرف الآن بالمداخن الصحية. في القرن الثامن عشر وخلال الثورة الصناعية في أوروبا وأمريكا ظهرت الكثير من المخلفات الصلبة الأمر الذي جعل هذه الدول تعاني مشكلة التكدس الكبير والعظيم في المخلفات الصلبة نتيجة للنهضة الصناعية وازدياد عدد السكان، فأصبحت مصدر قلق للجميع. في أواخر القرن التاسع عشر والقرن العشرين ومع التطور التكنولوجي ظهرت فكرة استخدام العلب المعدنية الكبيرة لوضع المخلفات بها، وإنشاء المحارق الصحية، وتخصيص أماكن لمقالب المخلفات، حيث تدفن في أماكن مكشوفة، وأصبح أمراً شائعاً في دول العالم المتقدم. أخذت أنظمة المخلفات نهج أكثر تنظيماً وركب التطور التكنولوجي والنهضة الصناعية وظهور السياسات واللوائح المفروضة على المخلفات، وولادة علم إدارة المخلفات الصلبة. زاد الاهتمام في السنوات الأخيرة بعلم إدارة المخلفات، ووجدت طرق حديثة متنوعة ومبتكرة للتعامل مع المخلفات الصلبة وإدارتها الإدارة الصحيحة لغرض خلق أكبر قدر من الانتفاع منها في شتى أنواع الحياة، مثل إعادة التدوير، والتحويل إلى سماد، وفي مجالات توليد الطاقة الكهربائية. أثرت عملية إدارة المخلفات الصلبة الحديثة بشكل كبير على تحسين تاريخ الحياة البشرية بشكل واضح، ولا يزال التحسين مستمر من قبل جميع دول العالم المتقدم في هذا المجال للوصول إلى صفر نفايات.

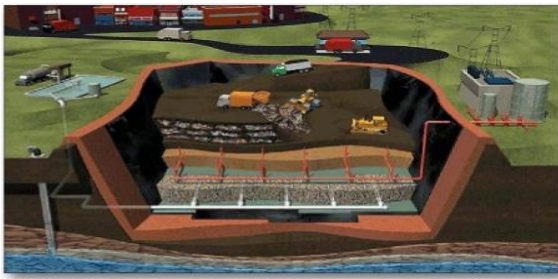
1. الآثار البيئية المترتبة على تراكم المخلفات الصلبة

ينتج عن تراكم المخلفات الصلبة وانتشارها العشوائي وتركها معرضة للهواء دون إدارتها الكثير من المضار والأمراض من خلال تكاثر البكتيريا والحشرات ونموها بشكل كبير نتيجة لتعفن المواد العضوية. هذا بالإضافة إلى ما ينتج عنها من انتشار الروائح الكريهة والتي تسبب الضيق للسكان وخاصة في فصل الصيف المعروف عنه سرعة تحلل المخلفات العضوية وتكون طعاماً لكثير من الكائنات الغير مرغوب فيها مثل القوارض والذباب والحشرات. من أهم الآثار البيئية المترتبة على تراكم المخلفات الصلبة تكمن في تلوث الهواء والمياه الجوفية والتربة وبالأخص التربة الزراعية.

ب مصادر المخلفات الصلبة حسب المنشأ

جدول (1) يلخص نوع المخلفات الصلبة ومصادر تولدها.

- طريقة الهضم اللاهوائي **Anaerobic Digestion Method** هي طريقة أخرى للحصول على الطاقة من المواد العضوية المتواجدة ضمن محتويات المخلفات الصلبة. تعتمد هذه الطريقة على تخمير المواد العضوية بفعل البكتيريا اللاهوائية وهي كائنات دقيقة تحول المخلفات العضوية إلى غاز حيوي (الميثان)، هذه الطريقة تعتبر مناسبة للمخلفات العضوية الرطبة وفضلات الطعام [2]. تعتبر هذه الطريقة تقنية اقتصادية حيث يوفر المتر المكعب من هذا الغاز المنتج حوالي 1.25 كيلووات/ساعة من الكهرباء، وهي طاقة كافية لتشغيل محرك قدرته 1 حصان لمدة ساعتين. بالإضافة إلى السماد العضوي المتبقي من عملية التحليل، وإيادة الكثير من الطفيليات والميكروبات الغير صحية أثناء عملية التخمير اللاهوائي [7]. شكل (3) يوضح آلية توليد الطاقة الكهربائية بطريقة الهضم اللاهوائي، حيث تُفرغ الشاحنات المحملة بالمواد العضوية حمولاتها في مكان مخصص لذلك كما هو موضح في الشكل، وتُردم المخلفات بالتراب حتى يحدث الكمر ويتولد غاز الميثان ويمر عبر الأنابيب إلى محطة توليد الكهرباء.



شكل 3. نموذج مبسط لمصنع من مصانع إعادة تدوير المخلفات [7]

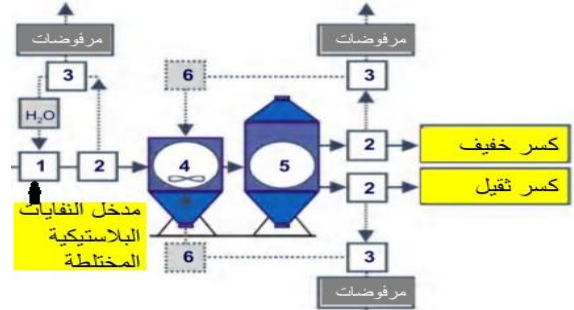
- طريقة التسميد **Compost Method** تعتمد هذه الطريقة على عوامل كثيرة منها الرطوبة، ونسبة الكربون إلى النيتروجين، وتكسير المخلفات العضوية. توجد عدة أساليب لهذه الطريقة منها الكمر بتيار هواء طبيعي، الكمر بالهواء القسري، الكمر باستخدام الديدان التي تعمل فيها تحت ظروف ملائمة من الرطوبة والحرارة والتهوية كمصانع للأسمدة، وتعتبر هذه الطريقة غير ملوثة للبيئة واقتصادية وغير مستهلكة للطاقة وذات فائدة كبيرة، وتُسمى أيضاً بطريقة الكمر [7].

- طريقة الطمر الصحي **Healthy Burial Method** تستخدم هذه الطريقة لدفن المخلفات الصلبة لكونها من اخصص عمليات التخلص باستثناء قيمة الأرض، واستمرت على هذا المنوال لفترات طويلة وتم تفضيلها على طريقة حرق المخلفات، لأنها لا تسبب تلوث الهواء الجوي الذي يسببه حرق المخلفات. كان الطمر أو دفن المخلفات المتبع في ذلك الوقت غير صحيحاً، ولم يتم الأخذ بالطرق الصحية لدفن المخلفات إلا في العقدين الأخيرين. من مواصفات المدافن الصحية هو اختيار الموقع الملائم للدفن، وذات جدار له مواصفات خاصة لمنع تسرب السوائل الموجودة داخل المخلفات حتى لا تلوث المياه الجوفية. تقوم هذه الطريقة على تجميع المخلفات الصلبة في أماكن بعيدة خارج نطاق المدن، حيث يتم ضغطها بواسطة مكابس ضخمة وتوضع في حفر ثم تدفن فيها وتغطي بالتراب.

4. الحالة الدراسية

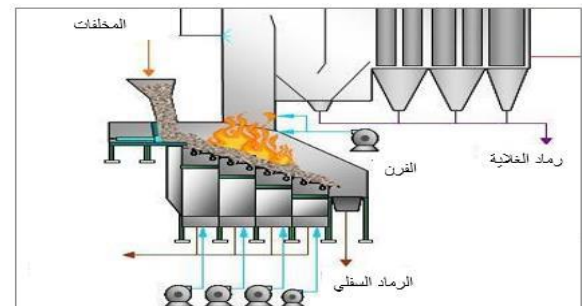
تشهدت مدينة مصراتة تزايداً سكانياً ملحوظاً نتيجة لتوافد الكثير من عائلات المدن الأخرى، بالإضافة إلى التطورات السريعة في الصناعة والتجارة والإسكان والصحة، فهي تعتبر من العوامل التي تساهم مباشرة في زيادة معدلات تولد المخلفات الصلبة ومن أهم مصادر تولدها. من خلال زيارة أرشيف شركة الخدمات العامة للنظافة بمصراتة للبحث عن الكميات المتولدة من المخلفات الصلبة بالمدينة، سجلت الشركة خلال سنة 2007 متوسط التولد الشهري حوالي 9076.53 طن، والكمية السنوية قُدرت بحوالي 110,431.115 طن، بتعداد سكاني قُدر بحوالي 302,551 نسمة.

شكل (1) يمثل نموذج لمصنع من مصانع إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية المتواجدة في عموم المخلفات الصلبة. يتم إدخال المخلفات البلاستيكية المختلطة من المدخل رقم 1 وتمر عبر البوابة 2 التي تتكرر في الشكل وهي تعبر عن الغرلة والفرز للتخلص من المرفوضات، بعد هذه المرحلة تدخل المخلفات البلاستيكية إلى الصهاريج 4 و5 للمزج الجيد وتنقى مجدداً. تأتي المرحلة النهائية للكسر الخفيف والكسر الثقيل على شكل حبيبات لتجهيزها كمادة خام حسب الطلب وتباع إلى المصانع البلاستيكية.



شكل 1. إعادة تدوير المخلفات البلاستيكية [20]

- طريقة الحرق **Burning Method** من أبسط عمليات حرق المخلفات الصلبة لتوليد الطاقة هي حرق المخلفات القابلة للحرق في محارق صحية أعدت لذلك، لأجل توليد الحرارة التي تعمل على تسخين أنابيب المياه إلى درجة الغليان للحصول على البخار الذي يعمل على تحريك ودوران ريش المحركات التي تولد الطاقة. هذه الطريقة تعتبر مناسبة للمخلفات الصلبة الجافة. من أشهر أنواع تقنيات حرق المخلفات الصلبة لتوليد الطاقة المستخدمة في بعض الدول هما طريقة الفرن الدوار وطريقة السير المتحرك. شكل (2) يوضح حرق المخلفات الصلبة لتوليد الطاقة بتقنية السير المتحرك، يتم إسقاط المخلفات الصلبة بواسطة الرافعة في القمع الخاص الموجود أعلى غرفة الاحتراق، فتسقط المخلفات الصلبة على السير المتحرك الذي ينقل المخلفات إلى حجرة الاحتراق، وبوجود العوامل المساعدة مثل الهواء الذي يعمل على جعل احتراق المخلفات الصلبة، فتتولد كمية الحرارة اللازمة لجعل المياه تغلي في الغلايات، كما هو موضح في الرسم، وهذه الغلايات متصلة مباشرة بريش المحركات التي تعمل بفعل ضغط البخار المتولد من غليان المياه، وهكذا يمكن الحصول على الطاقة من حرق المخلفات الصلبة [2].



شكل 2. محرقة السير المتحرك [2]

مع كل هذه الاحتياطات في عملية حرق المخلفات الصلبة، إلا أن هذه الطريقة لازالت هناك معارضة عليها من قبل خبراء البيئة، لأنها تسبب تلوثاً في البيئة نتيجة إطلاق كميات كبيرة من الغازات في الهواء تشبه كثيراً غازي أول وثاني أكسيد الكربون المتصاعدة عند احتراق الفحم والبتروكوكس وغازات أخرى، وبالتالي تكون مصدراً مستمراً في تلوث الهواء في المدن والتجمعات السكنية التي تتواجد فيها هذه الطريقة.

تم تطبيق الحالة الدراسية باستخدام أسلوب التحليل الهرمي بواسطة برنامج اكسل من خلال المعايير الرئيسية والفرعية. شملت المعايير الرئيسية أربعة معايير وهي البيئية، الاقتصادية، الاجتماعية، والفنية، بالإضافة إلى المعايير الفرعية والتي شملت على عدد 21 معياراً فرعياً. تمت مقارنة هذه المعايير على البدائل الخمسة المتعارف عليها في إدارة المخلفات الصلبة وهي إعادة التدوير، الحرق، الهضم اللاهوائي، التسميد، الطمر الصحي.

أ. **المعايير الرئيسية والفرعية لإدارة المخلفات الصلبة بالمدينة**
 حُددت المعايير الرئيسية بعد مراجعة العديد من الدراسات السابقة المتعلقة بإدارة المخلفات الصلبة، ومن ثم عرضها على مجموعة من الخبراء لمراجعتها وإبداء الملاحظات حولها. تم الأخذ برأي الخبراء وثبتت المعايير الرئيسية واستقرت على أربعة معايير رئيسية مهمة تنفرح منها معايير فرعية وهي كما موضحة بالجدول (4). يشير الاختصار Max في الجدول بأن المعيار ينبغي أن يكون أعلى ما يمكن، ويُؤشر أمامه بالعلامة √، والاختصار Min يعني أن المعيار ينبغي أن يكون أقل ما يمكن، ويُؤشر أمامه بالعلامة √. يتبين أن عدد المعايير الرئيسية أربعة تنفرح منها عدة معايير فرعية كالتالي:

المعيار الرئيسي البيئي: عدد معايير الفرعية ستة معايير.
 المعيار الرئيسي الاقتصادي: عدد معايير الفرعية ستة معايير.
 المعيار الرئيسي الاجتماعي: عدد معايير الفرعية أربعة معايير.
 المعيار الرئيسي الفني: عدد معايير الفرعية خمسة معايير.

يؤخذ في الاعتبار عند تطبيق أسلوب التحليل الهرمي وضع الأوزان بشكل دقيق، من قبل خبراء ومختصين، فلكل معيار أهميته ووزنه.

ب. التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Method

يعتبر أسلوب التحليل الهرمي إحدى الأساليب المتبعة في انتقاء القرارات المتعددة المعايير، وهي إحدى الأساليب الكمية المستخدمة في بحوث العمليات. هذا الأسلوب له مقدره كبيرة في معالجة المشاكل التي لها أكثر من حل، وتتحكم بها العديد من عوامل تُسمى بالمعايير. مثل هذه المعضلات تحتاج إلى نوع معين من التطبيقات العملية المنظمة التي تمتاز بمرونة التعامل مع البدائل في وجود المعايير. تسمى هذه التطبيقات بعمليات دعم القرار متعدد المعايير - Multi Criteria Decision Making، وهي إحدى التطبيقات العملية التي تستخدم في مثل هذه المشاكل. يعد أسلوب التحليل الهرمي أحد هذه التطبيقات، ومن الأدوات المفضلة في إيجاد الحل المناسب من بين عدة بدائل متاحة. في هذا الأسلوب اتخاذ القرار يعتمد على حسب ترتيب أهمية المعايير الفرعية والتي تؤثر عليه [25]. يعتبر العالم الأمريكي العراقي الأصل البروفسور Saaty أول من استخدم أسلوب التحليل الهرمي عام 1980. هذا النموذج يمتاز بصيغ رياضية مناسبة، وسهولة الحصول على البيانات المطلوبة لاستخدامه، كما أنه يتناسب وطريقة التفكير المنطقي للعقل البشري وذكاؤه [26]. لكل المميزات التي ذُكرت جعلت الكثير من صنّاع القرار يُقبلوا على هذه العملية ويفضلونها. تعتمد هذه العملية على رأي الخبراء ومتخذي القرار لوضع الأوزان على المعايير في حدود مقياس معروف ومحدد بالمقارنات الزوجية للمعايير لغرض بناء المصفوفات كأحد الخطوات المطلوبة لتنفيذ العملية [25]. تساعد عملية التحليل الهرمي صنّاع القرار في ترتيب وتحديد أولويات القرارات وذلك بترتيبها حسب الأفضلية لتحقيق الهدف المنشود بأقل الخسائر وجني أكبر قدر من الأرباح عن طريق إنشاء قاعدة تشبه الهرم في بناؤه مقسمة على عدة مستويات، يبدأ بالهدف الأساسي كمستوى أول، وينتهي بالبدائل كمستوى أخير.

أما في سنة 2015 كان متوسط التولد الشهري من المخلفات حوالي 10,493 طن، والكمية السنوية قُدرت بحوالي 127,672.62 طن، بتعداد سكاني قُدر بحوالي 349,788 نسمة. من الإحصائيات يُلاحظ الزيادة في الكثافة السكانية، والتي بطبيعة الحال تتناسب طردياً مع الكميات المتولدة من المخلفات الصلبة [21]. بالتالي يجب دراسة الإدارة المتكاملة للمخلفات الصلبة التي تتناسب مع الجوانب البيئية، والفنية، والاقتصادية، والاجتماعية، في مدينة مصراتة، والتعرف على الطريقة التي تتناسب الوضع الراهن للمدينة لإدارة المخلفات الصلبة. بالاطلاع على أرشيف شركة الخدمات العامة للنظافة، وكذلك الاطلاع على بعض من الدراسات والإحصائيات السابقة، وخاصة في مجال طبيعة وتكوين المخلفات الصلبة بالمدينة تم الوصول إلى الجدول (3) الذي يوضح النسبة المئوية لمكونات المخلفات الصلبة لمدينة مصراتة، حيث أخذت حمولتين مختلفتين من المخلفات الصلبة في دراسة سابقة خلال سنة 2015، وتم العمل على فرزهما ووزنهما للوصول إلى نسب المواد المختلفة المكونة للمخلفات الصلبة للمدينة وسُجّلت النتائج موضحة بالجدول (3).

جدول 3. نسبة مكونات المخلفات الصلبة إلى الوزن لمدينة مصراتة [22, 23]

المكونات	النسبة المئوية سنة 1969	النسبة المئوية سنة 2015
مواد عضوية	75.20%	38.5%
النفايات	/	23.3%
الكروتون	8.7%	13.5%
البلاستيك	3.8%	7%
المعادن	5.1%	8.7%
الزجاج	1.9%	2.2%
الجلود	/	0.2%
مُستبعد	/	6.6%
اجمالي الوزن (كجم)	/	100%

تستخدم شركة الخدمات العامة للنظافة وهي الشركة الوحيدة المكلفة من قبل الدولة للقيام بأعمال نظافة المدينة من المخلفات الصلبة طريقة الطمر أو التسميد للتخلص من المخلفات. يتم استخدام هاتين الطريقتين وفقاً لإمكاناتها المتاحة، ونظراً لعدم وجود منشآت أو مصانع تسوق لها المواد القابلة لإعادة التدوير، وعدم وجود منشآت أو محارق صحية لتوليد الطاقة فإن الشركة تضطر مرغمة للتصرف بالمخلفات الصلبة والتخلص منها بطريقة الطمر، ويستقطع منها نسبة بسيطة وغير ثابتة 10% من المخلفات الصلبة لترحيلها إلى مصنع السماد العضوي الوحيد بالمدينة وتزويده بالكمية المطلوبة حسب إمكانيات والظروف التشغيلية لمصنع السماد العضوي. أسس هذا المصنع سنة 1984م بمنطقة السكت بطاقة إنتاجية 120 طن/يوم. يقوم المصنع بتسميد المواد العضوية المتواجدة ضمن المخلفات الصلبة عبر سلسلة من المراحل. صُمم المصنع ليستقبل كافة المخلفات الصلبة بالمدينة، ولكن نتيجة زيادة كميات المخلفات الصلبة التي تُقدر بحوالي 450 طن/يوم للمدينة، لم تعد هناك القدرة للمصنع لاستيعاب هذه الكميات، وذلك لعدم تحديث المصنع، واحتياجه للصيانة [24].

تستخدم شركة الخدمات العامة للنظافة عدد من السيارات ذات حمولة مختلفة لنقل المخلفات الصلبة من مختلف أنحاء المدينة بواسطة عدد من السيارات الضاغطة الصغيرة والتي متوسط حمولتها تبلغ 3 طن لجمع المخلفات من مراكز التجميع وهي نمتاز بسهولة حركتها ونقلها بين شوارع المدينة، وتفرغ حمولتها في المكب المرحلي بالغيران. يوجد بالمكب شاحنات ذات حمولة أكبر والتي يبلغ سعتها 6 طن وأخرى 8 طن، وعن طريق الجرّافات يتم تعبئة هذه الشاحنات بالمخلفات الصلبة ليتم نقلها وترحيلها من موقع المكب المرحلي بالغيران إلى المكب النهائي الذي يقع شرق المدينة والمعروف بمكب الستين للدفن.

جدول 4. المعايير الرئيسية والفرعية في إدارة المخلفات الصلبة

Min	Max	الشرح	المعايير الفرعية	المعايير الرئيسية
√		تأثر الهواء بالغبار والأكاسيد والغازات	تلوث الهواء	المعيار البيئي بهذا المعيار يمكن قياس نقاء الطبيعة وطهارة البيئة من الغازات والأكاسيد وسموم المخلفات المتفشية في باطن الأرض وفوقها. عند الحفاظ على البيئة من مخاطر المخلفات نجعل الأراضي صالحة للزراعة وشواطئها صالحة للسباحة فيظهر الجمال البيئي
√		اختراق سموم المخلفات باطن الأرض، فتعمل على فقدان الأرض لصلاحيتها الزراعية، والإنشائية	تلوث التربة	
√		تلوث المياه الجوفية بسموم المخلفات عند دفنها بدون شروط الطمر الصحي	تلوث المياه	
√		تكسد المخلفات الصلبة والرمي العشوائي يخفي جمال الطبيعة ويسئ للنظر	التلوث البصري	
√		بعض طرق إدارة المخلفات مثل محطات الحرق لتوليد الطاقة تصدر ضجيجاً	التلوث السمعي	
	√	الإدارة الصحيحة للمخلفات الصلبة تعمل على حفظ الطبيعة، حيث استخدام الورق في إعادة التدوير تحفظ العديد من الأشجار من القطع	الحفاظ على الطبيعية	المعيار الاقتصادي وهو ذلك المعيار الذي يعمل على تعزيز النمو الاقتصادي والمساهمة في الناتج المحلي الإجمالي، وينطبق طرق إدارة المخلفات نحصل على أكبر قدر من المردود الاقتصادي على البلد، وبأقل التكاليف الممكنة
	√	إقناع أصحاب رؤوس الأموال لتعريفهم بفوائد إنشاء مصانع مثل إعادة التدوير والتسميد والحرق لتوليد الطاقة، الأمر الذي يساهم كثيراً في الرقي باقتصاد البلاد	تقبل أصحاب المصلحة	
	√	يتم الدعم بتوفير المواد الأولية من المخلفات الصلبة لغرض تسويقها للمصانع التي لها منتجات تشابه في خواصها مع المواد المفروزة من المخلفات الصلبة	دعم الصناعات المحلية	
	√	مصروفات تشغيل وصيانة المصانع القائمة على إدارة المخلفات من مرتبات وقطع غيار وما إلى ذلك	تكاليف التشغيل والصيانة	
	√	تعمل الإدارة الصحيحة للمخلفات الصلبة على خلق الوظائف وإيجاد فرص عمل جديدة من خلال المصانع ومحطات التوليد والتسميد المقامة على المخلفات الصلبة	خلق فرص عمل	
	√	خلق مورد اقتصادي بالاستفادة من المخلفات الصلبة التي تعتبر مهدورة حتى الآن	المردود الاقتصادي على البلد	
	√	وهي تلك القيمة المالية التي تُستقطع لإنشاء المشاريع على المخلفات الصلبة	قيمة الاستثمار	
	√	ثقافة المجتمع بقبولهم إنشاء مشاريع للاستفادة من المخلفات في محيط اقامتهم السكنية، والترحيب بها ومدى قبول المجتمع في فرز المواد عن بعضها البعض في نقاط تولد المخلفات الصلبة، كفرز البلاستيك عن الورق وعن الزجاج وهكذا	ثقافة المجتمع	
	√	استحداث لوائح وقوانين لتشجيع الصناعات المحلية المقامة على المخلفات الصلبة ووضع تسهيلات لذلك مثل ربط شركات النظافة مع أصحاب المشاريع	التشريعات المحلية	
	√	باقامة الصناعات المختلفة على المخلفات الصلبة في المجتمع المحيط بهذه الصناعات وإعطاء الأولوية لهم من حيث التوظيف وما شابه ذلك من أمور التشجيع	استفادة المجتمع	
	√	نظافة البيئة من تكسد المخلفات الصلبة يقضى على انتشار الأمراض، بالتالي يكون المجتمع صحياً	صحة المجتمع	
	√	قدرة الموظفين والعمال والطاقم الفني وخبرتهم التي من المفروض أن تكون ملائمة لنوعية المشروع القائم على المخلفات الصلبة	خبرة العمال	المعيار الفني يؤخذ في الاعتبار هذا المعيار عند إقامة أي من المشاريع الصناعية المقامة على إدارة المخلفات الصلبة ومدى تعقيد المعدات وخبرة العمال على تشغيل وتطوير المشروع
	√	سهولة الوصول إلى قطع الغيار ومعدات المصنع وتوفرها وسرعة وصولها	توفر المعدات	
	√	مدى قدرة معدات وأجهزة المشروع أو المصنع المنشأ وقابليته للتطوير والتحديث مع مرور الزمن	القدرة على التطوير	
	√	قدرة المشروع على استيعاب المخلفات بقدر أكبر من الكميات المتولدة من المخلفات الحالية	القدرة على استيعاب المخلفات	
	√	إقامة مثل هذه المشاريع من المصانع وفكرة فرز المخلفات الصلبة عند المصدر والاستفادة الاقتصادية من المخلفات الصلبة بدعمها للصناعات المحلية، وإدارتها الإدارة الصحيحة، كل ذلك يوفر كمية من المعلومات والبيانات للجامعات ومراكز البحوث وخلق مجال للبحث العلمي	خلق مجال بحث علمي	

جدول 5. متوسط المقارنات الزوجية للمعايير الرئيسية الأربعة

المعيار	البيئي	الاقتصادي	الاجتماعي	الفني
البيئي	1.0	4.0	5.0	8.0
الاقتصادي	1/4	1.0	3.0	3.0
الاجتماعي	1/5	1/3	1.0	3.0
الفني	1/8	1/3	1/3	1.0
المجموع	1.58	5.67	9.33	15

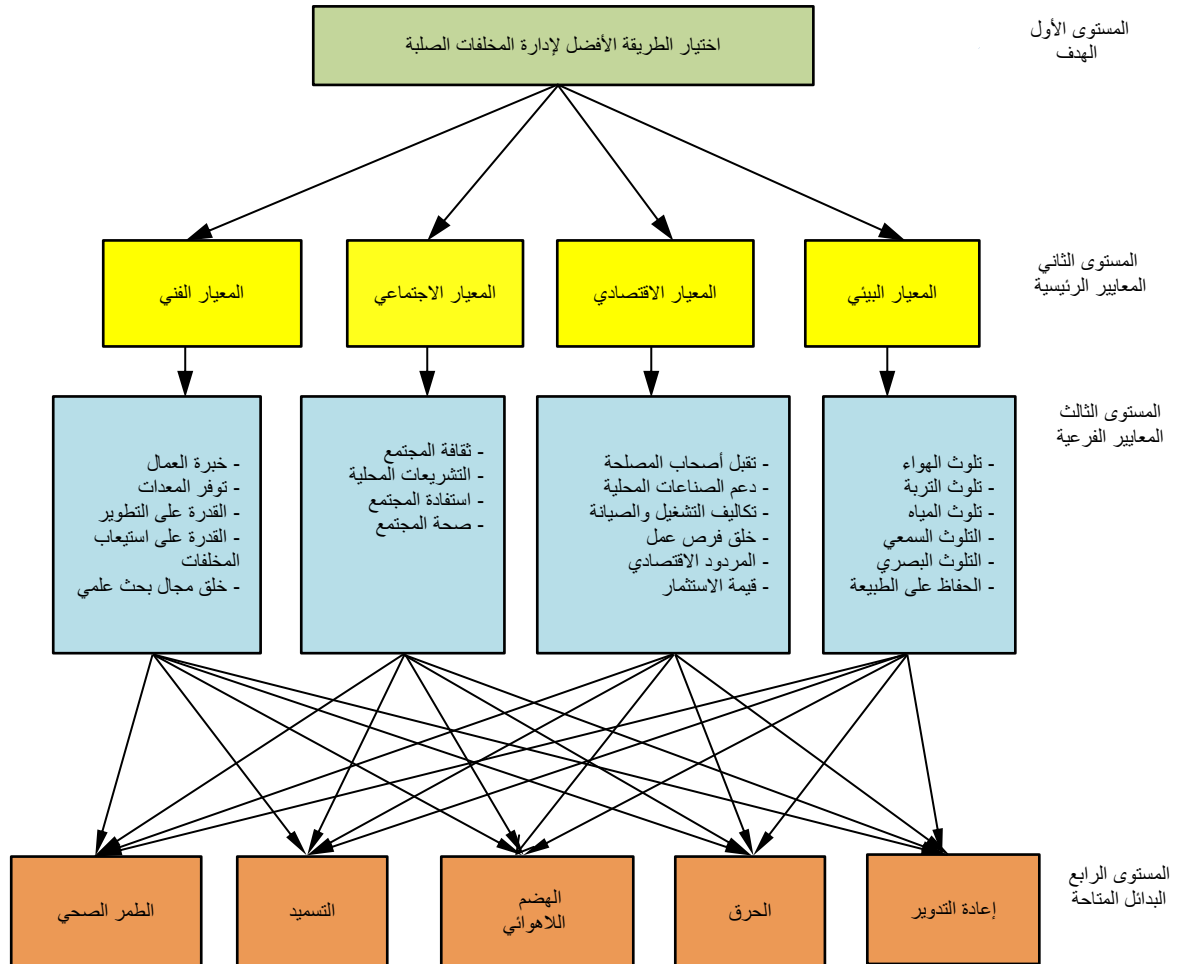
تم حساب متوسط تقديرات الأوزان فيما يخص المعايير الرئيسية ووضعها لتمثل عناصر مصفوفة المقارنات الزوجية للمعايير الرئيسية كما هو موضح في الجدول (5). مع ملاحظة أن عناصر قطر المصفوفة كلها مساوية للواحد الصحيح، وذلك كون هذه الأوزان تمثل المقارنات الزوجية لنفس العناصر. توضع الأوزان المناسبة التي تبين أهمية كل عنصر بالنسبة للآخر، ويُراعى في وضع الأوزان أخذ رأي الخبراء والأكاديميين وأصحاب القرار للوصول إلى نتائج أحكام متجانسة ومنطقية [7].

ج. بناء الشكل الهرمي

يبنى شكل هرمي رأسه يمثل هدف الدراسة وهو اختبار الطريقة الأفضل لإدارة المخلفات الصلبة كمستوى أول، ومن بعده يأتي المستوى الثاني الذي يمثل المعايير الرئيسية الأربعة، وعلى الترتيب يأتي المستوى الثالث الذي يمثل المعايير الفرعية وعددها في الحالة الدراسية إحدى وعشرين. وأخيراً المستوى الرابع الذي يمثل البدائل المتاحة. تلعب كل من المعايير الرئيسية والفرعية دوراً كبيراً في الاتجاه إلى أي قرار أو بديل سيختار. بالتالي يجب الحرص على تثبيت هذه المعايير من المختصين في ذلك والتدقيق عند وضع الأوزان. يأتي في المستوى الرابع والأخير البدائل الخمسة المطروحة والمتوفرة لإدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة. يوضح الشكل (1) مخطط توضيحي للتحليل الهرمي الذي يأخذ الشكل الهرمي في شكله [25]. بعد بناء الشكل الهرمي في الخطوة السابقة وتحديد المعايير الرئيسية والفرعية وحصر البدائل، يتم العمل في هذه الخطوة على إنشاء المصفوفات الخاصة بأسلوب التحليل الهرمي كالتالي:

- مصفوفة المقارنات الزوجية للمعايير الرئيسية

وهي مصفوفة من الرتبة الرابعة وتمثل عدد المعايير الرئيسية للحالة الدراسية كما هو موضح في الجدول (5). بمساعدة خبراء متخصصين وأكاديميين من الجامعة تم تقدير الأهمية النسبية للمعايير الرئيسية، والفرعية، والبدائل وذلك من خلال المقارنات الزوجية، وتفرغ ذلك في جداول حسب ما هو متعارف عليه في الدراسات السابقة.



شكل 1. التحليل الهرمي للحالة الدراسية

من المصفوفة السابقة توجد أربعة قيم مختلفة ومتقاربة من قيم λ_{Max} ، يمكن حساب متوسط القيمة الأعظمية الذاتية كما هو مبين أدناه:

$$\lambda_{Max} = (4.245+4.232+4.008+4.133)/4 = 4.154$$

من المهم جداً في مشاكل صنع القرار معرفة مقدار الثبات للأحكام. ينبغي على صانعي القرارات التأكد من قوة القرارات، حيث يُحسب عليهم ضعف القرارات نتيجة لعدم التحقق من معدل ثبات الأحكام والمقارنات العشوائية، فعندما تكون قيم المصفوفة تمتاز بالثبات، فإن ذلك يعطي نتائج ممتازة عند حساب مؤشر الثبات ومعدل التجانس، والذي بدوره يعطي النتيجة الصحيحة في حسابات عملية التحليل الهرمي والوصول إلى القرار الصائب [8]. لضمان ذلك اقترح ساعتين مؤشرين مهمين يجب حسابهما وهما:

مؤشر الثبات (Consistency Index- CI): يمكن حساب مؤشر الثبات من المعادلة (1):

$$CI = (\lambda_{Max} - N)/(N-1) \quad (1)$$

حيث λ_{Max} تمثل متوسط القيم الذاتية، N تمثل رتبة المصفوفة والتي هي عبارة عن عدد المعايير الرئيسية.

$$CI = (4.154 - 4)/(4-1) = 0.154/3 = 0.051$$

معدل التجانس (Consistency Ratio- CR): يمكن حساب معدل التجانس من المعادلة (2):

$$CR = CI/RI \quad (2)$$

حيث RI مؤشر الثبات العشوائي Random Consistency Index، وقيمته تعتمد على رتبة المصفوفة، وفي حالة مصفوفة المعايير الرئيسية فإن قيمة $RI=0.89$.

لضمان النتائج وسير عملية التحليل الهرمي بنجاح، وللوصول إلى نتيجة القرار الصائب، يجب أن تكون نسبة معدل التجانس CR لا تتجاوز 10% أي أقل من 0.1 [3]. بتطبيق المعادلة (2) يتم الحصول على معدل التجانس كالتالي:

$$CR = 0.051/0.89 = 0.057 < 0.100$$

من نتائج قيمة CR والتي هي أقل من 0.1 فإن الأحكام المعطاة من قبل المحكمين تعتبر متجانسة وغير شاذة، ولا تتعارض مع بعضها البعض، ويمكن الاعتماد عليها واستكمال الدراسة بناءً على هذه الأوزان.

- المقارنات الزوجية للمعايير الفرعية وفقاً للمعايير الرئيسية

من خلال متوسط المقارنات الزوجية للمعايير الفرعية للمعيار الرئيسي البيئي يتم إيجاد المصفوفة الطبيعية للمعايير الفرعية للمعيار الرئيسي البيئي الموضح في الجدول (7) والذي يحتوي على متجه الأولوية. يُساعد متجه الأولوية في ترتيب أهمية المعايير الفرعية. وبالمثل يتم إيجاد المصفوفات الطبيعية لباقي المعايير.

- المقارنات الزوجية للمعايير الفرعية للمعيار الرئيسي البيئي وفقاً للبدائل

في هذه الخطوة من عملية التحليل الهرمي سيتم دراسة البدائل الخمسة المعروفة والشائعة في التخلص من المخلفات الصلبة وهي على التوالي إعادة التدوير، الحرق، الهضم اللاهوائي، التسميد، الطمر الصحي، وفقاً للمعايير الفرعية الإحدى والعشرين. جدول (8) يوضح مثال المصفوفة الطبيعية للمعيار الفرعي تلوث الهواء. وبالمثل يتم المقارنة الزوجية لباقي المعايير الفرعية.

- المصفوفة الطبيعية للمقارنات الزوجية للمعايير الرئيسية

يتم الحصول على المصفوفة الطبيعية من مصفوفة المقارنات الزوجية للمعايير الرئيسية من الجدول (5)، وذلك بقسمة كل عنصر من عناصر عمود مصفوفة المقارنات الزوجية على مجموع عموده، وبذلك تتكون المصفوفة الطبيعية كما هو موضح في الجدول (6). مع ملاحظة بأن مجموع كل عمود في المصفوفة الطبيعية يجب أن يساوي واحد صحيح.

- متجه الأولويات

من الخطوات المهمة في أسلوب التحليل الهرمي حساب متجه الأولويات، ويتم الحصول عليه من بعض العمليات الحسابية على المصفوفة الطبيعية، وذلك عن طريق جمع أوزان كل صف وقسمته على عددها، أي بمعنى أن متجه الأولوية هو متوسط كل صف في المصفوفة الطبيعية كما هو موضح في الجدول (6). كذلك يُسهل متجه الأولوية في ترتيب المعايير الرئيسية. حيث يتضح بأن المعيار الرئيسي البيئي هو الأكثر أهمية بنسبة 60.3% ويتحصل على الترتيب الأول، والمعيار الاقتصادي 21.5%، والمعيار الاجتماعي 12.3%، وأخيراً المعيار الفني 6%.

جدول 6. المصفوفة الطبيعية ومتجه الأولوية للمعايير الرئيسية

الترتيب	المعيار	البيئي	الاقتصادي	الاجتماعي	الفني
1	البيئي	0.635	0.706	0.536	0.533
2	الاقتصادي	0.159	0.176	0.321	0.200
3	الاجتماعي	0.127	0.059	0.107	0.200
4	الفني	0.079	0.059	0.036	0.067
	المجموع	1.00	1.00	1.00	1.00

مصفوفة متجه الأولويات W : يتم الحصول عليها عن طريق ضرب عناصر عمود متجه الأولوية من الجدول (5)، في عناصر أعمدة مصفوفة المقارنات الزوجية من الجدول (6)، فننتج مصفوفة متجه الأولويات كالتالي:

$$W = 0.603 \times \begin{bmatrix} 1.000 \\ 1/4 \\ 1/5 \\ 1/8 \end{bmatrix} + 0.215 \times \begin{bmatrix} 4.000 \\ 1.000 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{bmatrix} + 0.123 \times \begin{bmatrix} 5.000 \\ 3.000 \\ 1.000 \\ 1/3 \end{bmatrix} + 0.060 \times \begin{bmatrix} 8.000 \\ 3.000 \\ 3.000 \\ 1.000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.560 \\ 0.910 \\ 0.493 \\ 0.248 \end{bmatrix}$$

- أعظم قيمة ذاتية Largest Eigenvalue (λ_{Max})

بقسمة مصفوفة متجه الأولويات W على عناصر عمود متجه الأولوية المدرج في الجدول (6).

$$\lambda_{Max} = \begin{bmatrix} 2.560 \\ 0.910 \\ 0.493 \\ 0.248 \end{bmatrix} \div \begin{bmatrix} 0.603 \\ 0.215 \\ 0.123 \\ 0.060 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.245 \\ 4.232 \\ 4.008 \\ 4.133 \end{bmatrix}$$

جدول 7. المصفوفة الطبيعية للمعايير الفرعية للمعيار الرئيسي البيئي

الترتيب	متجه الأولوية	الحفاظ على الطبيعة	التلوث السمعي	التلوث البصري	تلوث المياه	تلوث التربة	تلوث الهواء	المعايير الفرعية
1	0.439	0.405	0.409	0.357	0.507	0.493	0.459	تلوث الهواء
3	0.174	0.162	0.182	0.214	0.169	0.164	0.153	تلوث التربة
2	0.188	0.243	0.182	0.214	0.169	0.164	0.153	تلوث المياه
5	0.067	0.081	0.045	0.071	0.056	0.055	0.092	التلوث البصري
6	0.046	0.027	0.045	0.071	0.042	0.041	0.051	التلوث السمعي
4	0.087	0.081	0.136	0.071	0.056	0.082	0.092	الحفاظ على الطبيعة
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	المجموع
		$\lambda_{Max} = 6.126$		CI = 0.0252		CR = 0.02016		

جدول 8. المصفوفة الطبيعية للمعيار الفرعي تلوث الهواء

الترتيب	متجه الأولوية	الطمر الصحي	التسميد	الهضم اللاهوائي	الحرق	إعادة التدوير	
1	0.452	0.493	0.500	0.456	0.333	0.476	إعادة التدوير
5	0.039	0.014	0.042	0.038	0.042	0.059	الحرق
3	0.163	0.211	0.125	0.152	0.167	0.159	الهضم اللاهوائي
2	0.251	0.211	0.250	0.304	0.250	0.238	التسميد
4	0.096	0.070	0.083	0.051	0.208	0.068	الطمر الصحي
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	المجموع
		$\lambda_{Max} = 5.253$		CI = 0.063		CR = 0.057	

بأخذ متوسط أهمية كل بديل في المعايير الرئيسية الأربعة يتم الحصول على الترتيب النهائي لبدائل إدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة. الجدول (11) يُمثل مصفوفة الترجيح النهائية لبدائل إدارة المخلفات الصلبة، وهو ناتج من ضرب متجه الأولوية في جدول (9) مع متجه الأولوية في جدول (10). الخطوات التالية توضح طريقة حسابات مصفوفة الترجيح النهائية كما هو موضح بالجدول (10):

- من جدول (9) متجه الأولوية للمعيار الفرعي تلوث الهواء في بديل إعادة التدوير = 0.452
- من جدول (10) متجه الأولوية للمعيار الفرعي تلوث الهواء وفقاً للمعيار الرئيسي البيئي = 0.439
إذاً $0.198 = 0.439 \times 0.452$

بذلك نتحصل على القيمة الأولى لمصفوفة الترجيح النهائية للبدائل الأولى وهو إعادة التدوير والموضحة في جدول (11)، وهكذا يتم حساب باقي قيم مصفوفة الترجيح النهائية الموضحة في الجدول بنفس الخطوات السابقة.

- مصفوفة الترجيح النهائية لبدائل إدارة المخلفات الصلبة

للحصول على مصفوفة الترجيح النهائية لبدائل إدارة المخلفات الصلبة، يتم ذلك عن طريق استخدام بيانات الجدول (9) الذي يُمثل المصفوفات الطبيعية لكل المعايير الفرعية وفقاً للبدائل، وبيانات الجدول (10) الذي يُمثل المصفوفات الطبيعية لكل المعايير الفرعية وفقاً للمعايير الرئيسية. تم ضرب عناصر متجه الأولويات للمصفوفة الطبيعية للجدول (9) في عناصر متجه الأولويات للمصفوفات الطبيعية للمعايير الفرعية للجدول (10). الجدول (9) هو عبارة عن تجميع للمصفوفات الطبيعية للمعايير الفرعية وفقاً للبدائل، حيث أخذت بيانات أول صف والذي هو عبارة عن متجه الأولوية لمعيار تلوث الهواء وفقاً للبدائل، والصف الثاني هو متجه الأولوية لمعيار تلوث التربة، وهكذا، إلى الوصول إلى المعيار الواحد والعشرين وهو متجه الأولوية لمعيار خلق مجال بحث علمي وفقاً للبدائل. أما الجدول (10) يُمثل المصفوفات الطبيعية للمعايير الفرعية وفقاً للمعايير الرئيسية الأربعة. الجدول (11) يوضح ترتيب البدائل في المعايير الرئيسية الأربعة الذي أخذت بياناته من الجدول (10)، يُلاحظ بأن البديل المُفضل في المعايير الرئيسية الأربعة هو إعادة التدوير.

جدول 11. مصفوفة الترجيح النهائية لبدائل إدارة المخلفات الصلبة

المعيار	المعايير الفرعية	إعادة التدوير	الحرق	الهضم اللاهوائي	التسميد	الظمر الصحي	المجموع
المعيار الرئيسي البيئي	تلوث الهواء	0.198	0.017	0.072	0.110	0.042	1.00
	تلوث التربة	0.070	0.013	0.029	0.051	0.010	1.00
	تلوث المياه	0.079	0.016	0.030	0.052	0.013	1.00
	التلوث البصري	0.021	0.009	0.012	0.020	0.006	1.00
	التلوث السمعي	0.005	0.003	0.010	0.013	0.015	1.00
	الحفاظ على الطبيعة	0.038	0.005	0.013	0.021	0.010	1.00
	المجموع	0.412	0.063	0.166	0.266	0.095	1.00
ترتيب البدائل							
		1	5	3	2	4	
المعيار الرئيسي الاقتصادي	تقبل أصحاب المصلحة	0.143	0.036	0.036	0.078	0.042	1.00
	دعم الصناعات المحلية	0.083	0.044	0.016	0.037	0.018	1.00
	تكاليف التشغيل والصيانة	0.026	0.016	0.029	0.050	0.023	1.00
	خلق فرص عمل	0.046	0.017	0.008	0.017	0.008	1.00
	المردود الاقتصادي	0.033	0.062	0.010	0.020	0.008	1.00
	قيمة الاستثمار	0.018	0.043	0.010	0.012	0.011	1.00
	المجموع	0.349	0.218	0.108	0.215	0.110	1.00
ترتيب البدائل							
		1	2	5	3	4	
المعيار الرئيسي الاجتماعي	ثقافة المجتمع	0.109	0.092	0.034	0.075	0.058	1.00
	التشريعات المحلية	0.071	0.036	0.036	0.063	0.042	1.00
	استفادة المجتمع	0.070	0.064	0.016	0.057	0.016	1.00
	صحة المجتمع	0.056	0.014	0.022	0.048	0.020	1.00
	المجموع	0.307	0.206	0.109	0.244	0.136	1.00
ترتيب البدائل							
		1	3	5	2	4	
المعيار الرئيسي الفني	خبرة العمال	0.083	0.022	0.044	0.096	0.045	1.00
	توفر قطع الغيار	0.053	0.017	0.047	0.050	0.053	1.00
	القدرة على التطوير	0.073	0.069	0.022	0.064	0.025	1.00
	استيعاب المخلفات	0.043	0.079	0.015	0.039	0.017	1.00
	خلق مجال بحث علمي	0.049	0.015	0.004	0.010	0.004	1.00
	المجموع	0.302	0.201	0.132	0.259	0.145	1.00
ترتيب البدائل							
		1	3	5	2	4	

الفرعية بقيم مختلفة، حيث استخدمت القيم $0.1 \pm$, $0.13 \pm$, $0.14 \pm$ لمعرفة تأثير أوزان المعايير الفرعية بالزيادة أو النقصان. تم إجراء عدد 21 سيناريو للمعايير الفرعية تحت القيم المذكورة أعلاه. بطريقة التجريب توصلت الدراسة بأنه عند زيادة قيم أوزان المعايير الفرعية بمقدار 0.13 يبدأ التساوي في الأهمية بين البديل الأول وإعادة التدوير والبديل الثاني التسميد، وعند زيادة القيمة في وزن المعايير الفرعية بمقدار 0.14 يتراجع البديل الأول إلى الترتيب الثاني، ويحل محله بديل التسميد ليكون في الترتيب الأول، الجدول (13) يعرض مثال لأحد سيناريوهات تحليل الحساسية لأوزان المعايير الفرعية عند زيادتها بالقيم المذكورة سابقاً.

الجدول (12) يوضح ترتيب البدائل في المعايير الرئيسية الأربعة الذي أخذت بياناته من الجدول (11)، يُلاحظ بأن البديل المُفضل في المعايير الرئيسية الأربعة هو إعادة التدوير. بأخذ متوسط أهمية كل بديل في المعايير الرئيسية الأربعة يتم الحصول على الترتيب النهائي لبدائل إدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة.

- تحليل الحساسية

يُقصد بتحليل الحساسية اختبار ترتيب البدائل عند تغيير أوزان المعايير الرئيسية أو الفرعية. بمعنى آخر هل يتأثر ترتيب البدائل الخمسة لإدارة المخلفات الصلبة عند تغيير الأوزان فيتغير القرار؟ للإجابة على هذا السؤال تم استخدام برنامج اكسل وتم تغيير قيم المقارنات الزوجية للمعايير

جدول 12. ترتيب البدائل في المعايير الرئيسية الأربعة للحالة الدراسية

المعيار الرئيسي	إعادة التدوير	الحرق	الهضم اللاهوائي	التسميد	الظمر الصحي	المجموع
البيئي	0.412	0.063	0.166	0.266	0.095	1.00
الاقتصادي	0.349	0.218	0.108	0.215	0.110	1.00
الاجتماعي	0.307	0.206	0.109	0.244	0.136	1.00
الفني	0.302	0.201	0.132	0.259	0.145	1.00
متوسط أهمية البدائل	0.342	0.172	0.128	0.246	0.121	1.00
الترجيح النهائي للبدائل	34.2%	17.2%	12.8%	24.6%	12.1%	1.00

جدول 13. تحليل حساسية أوزان المعايير الفرعية عند زيادة القيم بنسب مختلفة

المقارنات الزوجية في الحالة الدراسية زيادة بمقدار 0.14		المقارنات الزوجية في الحالة الدراسية زيادة بمقدار 0.13		المقارنات الزوجية في الحالة الدراسية زيادة بمقدار 0.10		المقارنات الزوجية في الحالة الدراسية الوزن الأصلي		البدائل	المعايير الفرعية	المعيار الرئيسي
الترتيب	متجه الأولويات	الترتيب	متجه الأولوية	الترتيب	متجه الأولويات	الترتيب	متجه الأولويات			
2	0.316	1	0.314	1	0.308	2	0.287	إعادة التدوير	خبرة العمال	المعيار الفني
5	0.080	4	0.079	5	0.079	5	0.076	الحرق		
3	0.151	2	0.151	3	0.151	4	0.151	الهضم اللاهوائي		
1	0.313	1	0.314	2	0.317	1	0.33	التسميد		
4	0.141	3	0.142	4	0.145	3	0.156	الطمر		
1	0.270	1	0.268	1	0.262	1	0.242	إعادة التدوير	توفر قطع الغيار	
5	0.081	5	0.080	5	0.079	4	0.075	الحرق		
4	0.215	4	0.215	4	0.215	3	0.213	الهضم اللاهوائي		
3	0.217	3	0.217	3	0.220	2	0.228	التسميد		
2	0.218	2	0.220	2	0.225	1	0.242	الطمر		
1	0.314	1	0.312	1	0.307	1	0.289	إعادة التدوير	امكانية التطوير	
2	0.280	2	0.280	2	0.278	2	0.273	الحرق		
5	0.084	5	0.085	5	0.085	5	0.086	الهضم اللاهوائي		
3	0.234	3	0.235	3	0.239	3	0.253	التسميد		
4	0.087	4	0.088	4	0.091	4	0.1	الطمر		
2	0.239	2	0.238	2	0.234	2	0.222	إعادة التدوير	القدرة على استيعاب المخلفات	
1	0.421	1	0.420	1	0.418	1	0.41	الحرق		
5	0.076	5	0.076	5	0.076	5	0.078	الهضم اللاهوائي		
3	0.187	3	0.188	3	0.191	3	0.203	التسميد		
4	0.077	4	0.078	4	0.080	4	0.088	الطمر		
2	0.275	2	0.273	2	0.269	2	0.253	إعادة التدوير	خلق مجال بحث علمي	
1	0.343	1	0.342	1	0.340	1	0.333	الحرق		
4	0.097	4	0.097	4	0.097	4	0.1	الهضم اللاهوائي		
3	0.205	3	0.206	3	0.210	3	0.222	التسميد		
5	0.081	5	0.082	5	0.084	5	0.092	الطمر		

5. مناقشة وتحليل النتائج

بإليه المعيار الاجتماعي بنسبة 12.3%، ويأتي في المرتبة الأخيرة المعيار الفني بنسبة 6%. ترجّح الدراسة حصول المعيار الرئيسي البيئي على أعلى الدرجات بسبب الأهمية الكبيرة التي أولاها المحكمين للبيئة ولما لها من أثر على صحة الإنسان وجميع الكائنات الحية، والتنبيه إلى أهمية الحفاظ على الموارد الطبيعية والحيلولة دون تلوث المياه الجوفية والتربة والهواء للوصول إلى بيئة نظيفة خالية من الأمراض والأوبئة.

جدول (14) يوضح نتائج المقارنات الزوجية للمعايير الفرعية الإحدى والعشرين وفقاً للمعايير الرئيسية الأربعة. من الجدول يمكن تحديد أو معرفة أهمية المعايير الفرعية لكل معيار رئيسي. على سبيل المثال في المعيار الرئيسي البيئي نجد أن المعيار الفرعي تلوث الهواء تحصل على أعلى نسبة وهي 43.8%، يليه على التوالي المعيار الفرعي تلوث المياه بنسبة 18.8%، ويليه مباشرة تلوث التربة والباقي كما هو موضح في الجدول وبالنسب الموضحة أمام كل معيار فرعي. يرجع صدور المعيار الفرعي تلوث الهواء إلى كونه العامل المشترك لجميع الكائنات الحية وحاجتهم للهواء النظيف والخالي من السموم. أيضاً ينطبق ذلك على تلوث المياه الذي كانت أهميته في المرتبة الثانية.

في المعيار الرئيسي الثاني وهو المعيار الاقتصادي يتصدر فيه المعيار الفرعي تقبل أصحاب المصلحة الترتيب الأول في الأهمية بحصوله على نسبة 33.5%، حيث من الضروري لتطبيق أي بديل من بدائل إدارة المخلفات الصلبة اقتناع أصحاب المصلحة والتمثلة في الدولة أو الشركات العامة للتمويل والإشراف على التنفيذ. في المعيار الرئيسي الثالث الاجتماعي يأتي في الترتيب الأول ثقافة المجتمع الذي له أهمية كبيرة بنسبة 36.9%، فمن الضروري جداً ثقافة المجتمع المحيط بمخاطر المخلفات الصلبة وتعاونهم في فرز المخلفات الصلبة وترحيبهم بما سيطبق في محيطهم من قرارات لإدارة المخلفات الصلبة مثل إعادة التدوير أو الحرق أو الهضم اللاهوائي أو التسميد أو الطمر الصحي. يأتي المعيار الرئيسي الأخير وهو المعيار الفني والذي يتحصل فيه المعيار الفرعي خبرة العمال على الترتيب الأول بنسبة 29%، وهو أمر طبيعي ويطابق المنطق لما لخبرة العمال أهمية كبيرة في تنفيذ أي بديل من بدائل إدارة المخلفات الصلبة. عند إجراء تحليل الحساسية للمعايير الفرعية يلاحظ أن البديل الأفضل لإعادة التدوير يبقى في الترتيب الأول عند زيادة الأوزان الفرعية بمقدار 0.13، 0.1، ويتراجع إلى الترتيب الثاني ويحل محله بديل التسميد في حالة زيادة قيم أوزان المعايير الفرعية بمقدار 0.14، أو في حالة تخفيضها بمقدار 0.08، وهذا يدل على ثبات واستقرار أوزان المعايير.

من خلال الحالة الدراسية التي تناولت اختيار الطريقة الأفضل من بين الطرق الخمسة المتاحة لإدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة يتضح من جدول (12) الذي يمثل الترتيب النهائي للبدائل إدارة المخلفات الصلبة بأسلوب التحليل الهرمي بأن البديل إعادة التدوير هو الأفضل، حيث حاز على أعلى أهمية من بين البدائل الأخرى، بحصوله على نسبة 34.2%، والبديل الذي يليه مباشرة هو البديل التسميد بنسبة 24.6%، ويأتي في الترتيب الثالث بديل الحرق بنسبة 17.2%، والترتيب الرابع بنسبة 12.8% بديل الهضم اللاهوائي، في الترتيب الأخير يأتي البديل الطمر الصحي الذي أعطاه المحكمين أقل الدرجات فتحصل على نسبة 12.1%. يرجع حصول البديل إعادة التدوير على الترتيب الأول في الأفضلية من بين البدائل إلى الاهتمام الكبير الذي أبداه المحكمين لهذه الطريقة مقارنة مع باقي البدائل، وبالتالي تحصلت هذه الطريقة على أعلى وزن مقارنة مع البدائل الأربعة الأخرى. إن استغلال طريقة إعادة تدوير المخلفات الصلبة كمادة خام لتعيد دورتها الصناعية من جديد في المصانع له عدة ميزات بيئية منها الحفاظ على الموارد الطبيعية من أشجار وغابات، وكذلك التخفيض في نسبة المياه. أيضاً لهذه الطريقة جوانب إيجابية كثيرة رآها الخبراء والمختصين وتفضيلها على غيرها من بدائل إدارة المخلفات الصلبة، فهي عند استخدامها لا ينتج عنها الأكاسيد المضرة، ولا ضوضاء، وبالتالي فهي صديقة للبيئة. كما لهذا البديل جوانب اقتصادية تجعلها مفضلة، فهي غير مكلفة عند استخدامها، ولا تحتاج إلى تقنية متقدمة، وتوفر فرص عمل للمجتمع، ولها مردود اقتصادي كبير على المجتمع والدولة. البديل إعادة التدوير عند استخدامه يعمل على التقليل من حجم وكميات المخلفات الصلبة، وتحافظ على نظافة وجمال البيئة. في المقابل نجد أن طريقة الطمر الصحي هي الأقل تفضيل من قبل المحكمين لأنه بديل يهدر الثروة الاقتصادية الموجودة في المخلفات الصلبة، ولا ينصح الخبراء باستخدامه إلا بعد فرز المواد التي يمكن الاستفادة منها الموجودة في المخلفات الصلبة لاستعمالها في البدائل المذكورة، وتُدفن فقط المخلفات الصلبة التي لا يمكن الاستفادة منها بطريقة صحية.

من خلال (6) والذي يبين المصفوفة الطبيعية ومتجه الأولويات للمعايير الرئيسية الأربعة للحالة الدراسية، يتضح بأن المعيار الرئيسي الذي حاز على أعلى أهمية من بين المعايير الأخرى هو المعيار البيئي، وذلك بحصوله على نسبة 60.3% من إجمالي الأوزان الموزعة من قبل لجنة التحكيم، وتحصل على الترتيب الثاني المعيار الاقتصادي بنسبة 21.5%،

جدول 14. نتائج المقارنات الزوجية للمعايير الفرعية وفقاً للمعايير الرئيسية

المعايير الرئيسية	وزن المعيار (1)	المعايير الفرعية	الوزن المبدئي للمعيار الفرعي (2)	الترتيب في الأهمية	الوزن النهائي للمعيار الفرعي (1)×(2)
المعيار البيئي	0.602	تلوث الهواء	0.438	1	0.264
		تلوث التربة	0.174	3	0.105
		تلوث المياه	0.188	2	0.113
		التلوث البصري	0.067	5	0.04
		التلوث السمعي	0.046	6	0.027
		الحفاظ على البيئة	0.087	4	0.052
المعيار الاقتصادي	0.215	المجموع	1.0		0.6
		تقبل أصحاب المصلحة	0.335	1	0.0737
		دعم الصناعات المحلية	0.198	2	0.04356
		تكاليف التشغيل والصيانة	0.144	3	0.03168
		خلق فرص عمل	0.096	5	0.02112
		المردود الاقتصادي	0.133	4	0.02926
المعيار الاجتماعي	0.123	قيمة الاستثمار	0.094	6	0.02068
		المجموع	1.0		0.22
		ثقافة المجتمع	0.369	1	0.04428
		التشريعات المحلية	0.248	2	0.02976
		استفادة المجتمع	0.224	3	0.02688
		صحة المجتمع	0.16	4	0.0192
المعيار الفني	0.06	المجموع	1.0		0.12
		خبرة العمال	0.29	1	0.0174
		توفر قطع الغيار	0.221	3	0.01356
		القدرة على التطوير	0.253	2	0.01518
		استيعاب المخلفات	0.193	4	0.01158
		خلق مجال بحث علمي	0.044	5	0.00264
		المجموع	1.0		0.06

المراجع

- [13] محمد العود، صالح قشوط وفتحي مسعود. (2015). النفايات البلاستيكية وآثارها على البيئة والإنسان والطرق الحديثة للاستفادة والتخلص منها. مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية، المجلد 1، العدد 2.
- [14] Abdelmajid Najjar, Mohamed Elmelah and Fawzia Ghania. (2015). Estimation of Polyvinylchloride (PVC) Solid Waste at Tripoli-libya: a case study, Scientific Reviews & Chemical Communications. Vol 5. No 2. pp.51-56.
- [15] ماهر بوزيد. (2016). إدارة كفاءة النفايات المنزلية وكيفية التخلص منها في مدينة عطبرة. رسالة ماجستير، جامعة السودان المفتوحة.
- [16] Walid Moftah, Dragan Markovic and Layth Nesseeif. (2016). Characterization of Household Solid Waste and Management in Tripoli City—Libya, Open Journal of Ecology. Vol 6. pp. 435-442.
- [17] القانون الليبي رقم 15 لسنة 1371 و.ر. في شأن حماية وتحسين البيئة.
- [18] دليل الإرشاد لإدارة متكاملة. (2010). منظمة علمية. Sustainable Environmental Solution. بيروت، لبنان.
- [19] عمر عثمان. (1992). النفايات وسبل التخلص منها. دار النشر بالمركز العربي للدراسات الأمنية والتدريب، المملكة السعودية، الرياض.
- [20] أمير البخاري. (2015). معالجة النفايات وتصميم مطامر النفايات الصلبة. العزل القاعدي والسطحي لحماية المياه الجوفية من التلوث. جامعة دمشق.
- [21] <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/oct/21/worms-kitchen-food-waste-composting-organic-planting-soi>
- [22] المؤتمر العربي الثالث للإدارة البيئية. (2004). الاتجاهات الحديثة في إدارة المخلفات الملوثة للبيئة. ورشة عمل التنمية المستدامة. شرم الشيخ جمهورية مصر العربية.
- [23] أرشيف شركة الخدمات العامة للنظافة مصراتة، ومقابلات شخصية. (2019).
- [24] أرشيف مصنع السماد العضوي مصراتة، ومقابلات شخصية (2019).
- [25] حسام ابوظفة. (2014). استخدام عملية التحليل الهرمي في تحديد أولويات القطاع الصناعي في فلسطين من أجل تحقيق التنمية المستدامة. الجامعة الإسلامية غزة. كلية التجارة. قسم اقتصاديات التنمية.
- [26] أسماء أبوالحاج، حاتم فتحي، عبدالمطلب علي. (2016). نظام دعم قرار متعدد المعايير لتقييم التوزيع المستدام للخدمات الصحية بصعيد مصر باستخدام نموذج التحليل الهرمي. Journal of Engineering Sciences. Assiut University. Faculty of Engineering, Vol.44, No.2, pp.226-243.
- [1] أسامة خليل. (2010). التخطيط البيئي للتخلص من المخلفات والنفايات العمرانية وأطر تطبيقاتها بالأقطار النامية. كلية الهندسة شبرا، جامعة الزقازيق، جمهورية مصر العربية.
- [2] إبراهيم بادي، علي شتوان وعبدالله العجيل. (2017). اختيار التقنية المثلى لإدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة المجلة الدولية المحكمة للعلوم الهندسية مجلد 4، العدد 1.
- [3] Tarek Hamad, Abdulhakim Agll and Yousif M. (2014). Solid waste as renewable source of energy: Current and future possibility in Libya. Case Studies in Thermal Engineering. Reference: CSITE49.
- [4] بومعزة عبدالقادر. (2019). نماذج صناعة القرار بالمؤسسة الاقتصادية مع دراسة حالة تطبيق أسلوب التحليل الهرمي للمفاضلة بين الموردين في مجال الشراء الصناعي بالمؤسسة الوطنية SACAHEH. أطروحة دكتوراه في علوم التسيير. الجزائر. كلية العلوم الاقتصادية والعلوم التجارية وعلوم التسيير.
- [5] جمعه الجالي. (2010). دراسة ميدانية عن التحليل المكاني للنفايات المنزلية الصلبة في مدينة الجيوب، ليبيا.
- [6] Abdelsalam Gebriil, Abdelnaser Omran and Abdul Hamid Pakir. (2010). Municipal Solid Waste Management in Benghazi (Libya) current practices and challenges. Environmental engineering and management journal. gheorghe asachi technical university of Iasi, Romania. Vol. 9, No 9, pp.1289-1296.
- [7] ندى عبد الظاهر. (2011). المخلفات الصلبة بين البيئة والاقتصاد مجلة أسبوط للدراسات البيئية، العدد 35.
- [8] حمد الأنباري، عبدالصاحب البغدادى ونجوان القريشي. (2011). تطوير مصفوفة صنع القرار في إدارة المخلفات الصلبة. مجلة البحوث الجغرافية، المجلد 1، العدد 2.
- [9] Agnieszka Generowicz, J., oanna Kulczycka and Marcin Banach. (2011). Assessment of Waste Management Technology using BATNEEC options, Technology Quality Method and Multi-criteria Analysis. Journal of Environmental Management. Vol. 92, pp.1314-1320.
- [10] تقرير عن إدارة المخلفات الصلبة للوصول إلى صفر نفايات. (2012). تقارير موجزة حول القطاعات الاقتصادية الواعدة، أبوظبي.
- [11] ثابت إبراهيم. (2012). الآثار البيئية لمشكلة التخلص من النفايات بالحرق. مجلة أسبوط للدراسات البيئية - العدد 36.
- [12] Deirdre Hanan, Stephen Burnley, and David Cooke. (2013) A multi-criteria Decision Analysis Assessment of Waste Paper Management Options. Waste Management. Vol. 33. pp.566-573.