مجلة جامعة فزان العلمية
Fezzan University scientific Journal
journal@fezzanu.edu.ly

تقدير محتوى الطاقة الكامنة من المخلفات الصلبة: دراسة تطبيقية على مدينة سوق الخميس امسيحل

*عبد الرحمن منصور سالم المخرم[1]، محمد فرج الطاهر [2]
[1]المعهد العالي لتقنيات السلامة والصحة المهنية اسبيعة،
[2] قسم علوم البيئة, جامعة الزيتونة, ترهونة, ليبيا,

الملخص

تعرف المخلفات الصلبة على أنها المواد الصلبة أو شبه الصلبة الناتجة من العمليات الصناعية والتجارية والزراعية وفضلات المجتمعات الإنسانية. وعرفتها وكالة حماية البيئة (EPA) بأنها النفايات الصلبة الناتجة عن الأنشطة البلدية والمجتمعية والتجارية والمؤسسية والترفيهية أو المرتبطة بها، وتشمل القمامة والنفايات و الشوارع والحيوانات النافقة والنفايات الطبية وجميع النفايات الصلبة غير الصناعية الأخرى؛ وأجريت هذه الدراسة لتقدير كمية الطاقة الكامنة في المخلفات الصلبة المنزلية بمنطقة سوق الخميس إمسيحل، وتتمثل عملية تقدير كمية الإنتاجية للمخلفات الصلبة بمواقع موضوع الدراسة في وزن مكونات المخلفات الصلبة المنزلية المفصولة الناتجة عن كل أسرة، وذلك لمدة أسبوع متواصل، واعتمدت على متوسط الناتج المتحصل عليه كعينات، ممثلة للواقع لغرض الحصول على نتائج دقيقة، وتم تقدير معدل الإنتاجية من المخلفات الصلبة للفرد في اليوم، وتحديد النسب المئوية لكل مكون من المخلفات الصلبة المنزلية المنتجة، وتحديد نسب توزيع العناصر الكيميائية على مكونات المخلفات الصلبة. كذلك تقدير محتوى الطاقة الكامنة في تلك المكونات باستخدام العلاقات الرياضية من خلال البيانات والمعلومات المتحصل عليها من عمليات الوزن، والقيم النموذجية لمحتوى الرطوبة من خلال الجداول وفق المعايير والمواصفات المعمول بها دولياً.

وخلصت إلى أن متوسط معدل الإنتاجية يبلغ 0.45 كيلوجرام للشخص في اليوم من المخلفات الصلبة المنزلية، ومعدل الإنتاجية الكلي للمخلفات الصلبة للعينات المدروسة (الأسر) 391 كيلوجرام خلال أسبوع. ووفقاً لبيانات التعداد السكاني فإن الكمية المنتجة من المخلفات الصلبة المنزلية بلغت 5994 طن/سنة تقريباً. وتمثل مخلفات الطعام ما نسبته حوالي 80 % من الوزن الكلي للمخلفات الصلبة المنزلية. وبلغ محتوى الطاقة في هذه الدراسة 7.6962 كيلوجول/كجم.

الكلمات المفتاحية: المخلفات الصلبة، استرجاع الطاقة، معدل الإنتاجية الجزء العضوي.

Estimation of the Potential Energy Content of Solid Waste (A case study on the city of Souk El Khemis Amsihel)

*Abdurrahman Mansour Salem Al-Mukhrram and Mohamed Farag Taher [2]

المؤلف الرئيسي: عناوين البريد الإلكتروني abdu4779@yahoo.ca تاريخ استلام البحث 18 يناير 2025 استلام رد المحكمين 28 أبريل 2025 تم قبوله 28 مايو 2025 تاريخ النشر 8 يوليو 2025

[1]Higher Institute of Occupational Saftey and Health Technologies ,Isbeya-Libya.
[2]Environmental Sciences Department, Azzaytuna University, Tarhuna,Libya

A B S T R A C T
Solid waste is defined as all the rejected residues of industrial, commercial, agricultural, and human community operations. The Environmental Protection Agency (EPA) defines it as solid waste generated by or associated with municipal, community, commercial, institutional, and recreational activities, and includes trash, refuse, ash, street sweeping, dead animals, medical waste, and all other non-industrial solid waste. The study aimed to estimate potential energy in solid household waste in Souk El Khamis Imsihel by weighing components and comparing average output from samples to obtain accurate results. The production rate was estimated from Solid waste per capita per day, determining the percentages of each component of the produced household solid waste, and determining the distribution ratios of chemical elements on the components of solid waste. Also, estimating the potential energy content of these components using mathematical relationships through data and information obtained from weighing operations, and typical values for moisture content through tables according to internationally applicable standards and specifications. It was concluded that the average productivity rate is 0.45 kg per person per day of household solid waste, and the total productivity rate of solid waste for the studied samples (households) is 391 kg per week. According to the population census data, the amount of household solid waste produced amounted to approximately 5994 tons/year. Food waste represents about 80% of the total weight of household solid waste. The energy content in this study amounted to be 7.6962 kJ/kg.

Keywords: Solid waste, Energy recovery, Productivity rate of organic fraction.

المقدمة

أصبحت إدارة المخلفات الصلبة من الأمور الحيوية في جميع دول العالم للمحافظة على الصحة والسلامة العامة. وخصوصا في هدا الوقت يتزايد فيه الاهتمام بالبيئة ومشاكلها وطرق حمايتها بعد أن أصبح الإنسان وتقدمه الصناعي والزراعي والعمراني يمثل خطراً على البيئة المحيطة به. شُكلت لذلك جمعيات حماية البيئة والوزارات المختصة في معظم بلدان العالم، حيث أصدرت في كثير من دول العالم قوانين وتشريعات بيئية للمحافظة على البيئة، ويعتبر التخلص غير الصحيح من المخلفات الصلبة سبباً في الإتلاف البيئي، حيث تقوم عدة بلدان منخفضة الدخل بجمع ما لا يقل عن 10% من القمامة المتولدة عن مناطق الضواحي، مما يساهم في المخاطر الصحية العامة والبيئية (Environmental Research and public Health)، وخلافاً لذلك فإن اتباع الطرق الحديثة في التخلص من المخلفات الصلبة وتطبيق أولويات الإستراتيجية الدولية لإدارتها يساهم بقدر كبير قي توفير مصادر الطاقة من المخلفات الصلبة، حيث يمكن عن طريق استغلال الجزء العضوي من المخلفات الصلبة المنزلية استرجاع الطاقة الكامنة منها، واستغلالها كمورد متجدد وتجنب مخاطرها الصحية والبيئية.

وتعرف المخلفات الصلبة بأنها كل المتبقيات المرفوضة من العمليات الصناعية والتجارية والزراعية وفضلات المجتمعات الإنسانية. وعرفتها وكالة حماية البيئة (EPA) بأنها النفايات الصلبة الناتجة عن الأنشطة البلدية والمجتمعية والتجارية والمؤسسية والترفيهية أو المرتبطة بها، وتشمل القمامة والنفايات والرماد وتنظيف الشوارع والحيوانات النافقة والنفايات الطبية وجميع النفايات الصلبة غير الصناعية الأخرى (https://www.epa.gov/creteria-definition- solid waste)، والمخلفات الصلبة المنزلية غالباً ما تكون غنية ببقايا الأطعمة، أما المخلفات التجارية فغالباً ما يسود فيها الورق والكرتون.

وأهم مكونات المخلفات الصلبة المنزلية هي المواد العضوية مثل الورق والزجاج والمعادن، والبلاستك وبقايا الطعام، إضافة إلى ما تحتويه من مواد أخرى مثل الحصى والرمل والجلود والمطاط (العودات، وآخرون،2007). ويتزايد انتاج المخلفات الصلبة المنزلية في جميع أنحاء العالم سنوياً مع زيادة عدد السكان، حيث يتم انتاج أكثر من 10 مليارات طن سنوياً في العالم (M.M.Hasan,M.G.Rasul-2021). وتقدر كمية المخلفات الصلبة في المجتمعات المتقدمة بأكثر من 2.3 كجم للفرد في اليوم، حيث ينتج الشخص الذي يزن 60 كغم ما يزيد عن وزنه من المخلفات الصلبة في الشهر الواحد (احمد عبد الجواد،1997). وفي تقرير (UNEP) أشار إلى أنه من المتوقع أن ينمو انتاج النفايات الصلبة البلدية في العالم من (2.1 إلى 3.8) مليار طن ما بين الأعوام (2023- 2050)(https//www.unep.org) .

وتقع منطقة الدراسة بمنطقة سوق الخميس امسيحل جنوب مدينة طرابلس على مسافة 55 كم تقريباً، وعلى مساحة قدرها 260 كيلومتر مربع تقريباً، ويبلغ عدد سكانها 37000 نسمة وبمعدل 5286 أسرة تقريباً (مكتب المساحة بالمجلس البلدي سوق الخميس امسيحل) تتمركز في مركز المدينة وضواحيها.

خصائص المخلفات الصلبة المنزلية:

إن من أهم خصائص المخلفات الصلبة، الكثافة، ومحتوى الرطوبة، والمكونات الفيزيائية، والمكونات الكيميائية، والقيمة الحرارية، وكذلك كمية المواد المتطايرة. وتساعد معرفة مثل هذه الخواص في تحديد الأسلوب الأمثل في التخزين وتحديد الجهد المطلوب لجمع وتحديد أسلوب التخلص من المخلفات، وقابلية الفرز وإعادة الاستعمال أو التدوير، والمواد العضوية القابلة للتحويل إلى أسمدة طبيعية، أو المكونات القابلة للاحتراق والتي يمكن الاستفادة منها في إنتاج الطاقة (ICSSD, 2019).

الكثافة: تختلف كثافة المخلفات الصلبة على نحو مرحلة من مراحل المناولة، وتكون في أقل قيمة لها عند مصادر تولدها، ويمكن تحقيق انخفاض في حجم النفايات بنسب 75%، مما يزيد من الكثافة الأولية من 100 كجم./م^3 إلى 400 كجم./م^3 (James L. Hanson, Nazli Yesiller,2019)، ويعد هذا عاملاً من أهم متطلبات التشغيل الفعال لمكبات النفايات الصلبة.

محتوي الرطوبة: هذه الخاصية مهمة في عمليات التقييم الاقتصادي وخاصةً عند استخدام المخلفات الصلبة كمصدر توليد للطاقة الحرارية. وهناك عوامل عديدة تؤثر على محتوى الرطوبة منها+ أنواع المكونات، درجة الحرارة، كمية الامطار المتساقطة، وطرق الجمع, وغيرها. وبما أن النفايات الورقية تمتص النفايات السائلة، فإن محتواها من الرطوبة يرتفع بشكل كبير. ويعد محتوى الرطوبة عاملاً مهماً جداً للتقنيات الحيوية والتسميد والحرق .(Abubakar, Maigida H. Bamabasm2018)

جدول 1: القيم النموذجية لمحتوى الرطوبة في مكونات المخلفات الصلبة المنزلية

المركبات	نسبة الرطوبة %	
	المدى	النموذجي
مخلفات الطعام	80-50	70
مخلفات الأوراق	10-4	6
مخلفات الورق المقوى	8-4	5
مخلفات البلاستيك	4-1	2
مخلفات المنسوجات	15-6	10
مخلفات المطاط	4-1	2
مخلفات الجلد	12-8	10
مخلفات قلامة الحدائق	80-30	60
مخلفات الخشب	40-15	20
مخلفات الزجاج	4-1	2
مخلفات المعادن اللاحديدية	4-2	2
المعادن الحديدية	6-2	3
مخلفات الأتربة، الرماد، الطوب	12-6	8

(George, Theisenk,1993 chapter4)

المكونات الفيزيائية: تختلف المكونات تبعاً لعادات المجتمع وفصول السنة ومستوى الظروف المعيشية، ففي المجتمعات النامية تشكل عادةً المواد العضوية الجزء الأكبر من الإنتاجية الكلية للمخلفات الصلبة المنزلية (Kedir, Abebe,2022)، وعادة ما يكون الجزء العضوي هو السائد في المخلفات الصلبة المنزلية، لذلك فإن إعادة تدويره يعد بديلاً ذا أهمية للتخلص منه في مواقع النفايات، (Aschalew, Rejila Manikandan,2022).

المكونات الكيميائية: يفيد التحليل الكيميائي في معرفة نسب العناصر الداخلة في تركيب المخلفات الصلبة مثل الكربون، الهيدروجين، النيتروجين، الأكسجين، الكبريت الفسفور، والبوتاسيوم، وكذلك نسبة الكربون إلى النيتروجين، وغيرها من العناصر الكيميائية الداخلة في تقييم اقتصاديات تحويل المخلفات إلى أسمدة عضوية أو كمصدر للطاقة، إضافةً إلى تقييم طرق المعالجة والصرف النهائي، وتقدير التأثيرات البيئية الناتجة عنها .(Abubakar& Bamabasm,2018)

جدول 2: التوزيع المثالي لنسب العناصر الكيميائية في مكونات المخلفات الصلبة المنزلية.

Percent by weight (dry basis)						
Component	carbon	hydrogen	oxygen	nitrogen	Sulfur	Ash
Food wastes	48.0	6.4	37.6	2.6	4.2	5.0
Paper	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Sardboard	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
Plastics	60.0	7.2	22.8	–	–	10.0
Textiles	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5

Percent by weight (dry basis)						
Component	carbon	hydrogen	oxygen	nitrogen	Sulfur	Ash
Rubber	78.0	10.0	–	2.0	–	10.0
Leather	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Yard wastes	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
Wood	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Glass	0.5	0.1	0.4	<0.1	–	98.9
Metal	4.5	0.6	4.3	<0.1	–	90.5
Dirt, ash.ats	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

(George, Theisenk,1993 chapter 4).

استعادة الطاقة الكامنة من المخلفات الصلبة المنزلية

ازداد الاهتمام العالمي بإدارة الموارد الطبيعية بعد ظهور بعض المؤشرات الدالة على تقلص تلك الموارد، ومساهمة الإدارة غير السليمة للنفايات في ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي، ونقص توليد الطاقة. حيث بدأ العمل على استغلال النفايات كمورد بشكل عام، ومفهوم تحويل النفايات إلى طاقة بشكل خاص باعتبارها تشكل مادة خام نموذجية لاستعادة الطاقة. ونشرت وكالة حماية البيئة(EPA) في تقرير لها أن الويلات المتحدة الأمريكية أحرقت في عام 2010 حوالي 29 مليون طن لاستعادة الطاقة (Glover & Mattingly, 2009)، وتتم استعادة الحرارة الناتجة عن حرق المخلفات الصلبة في المحرقة وتحويلها إلى ماء ساخن. وبهذه الطريقة يمكن تدوير المحتوى من الطاقة وضخها باستخدام مفيد للمخلفات الصلبة المنزلية المحتوية على الورق والخشب، والمواد الأخرى القابلة للاحتراق يمكنها أن تعطي من الطاقة ما يعادل ثلث طاقة الفحم تقريباً (محمد نجيب، 2005).وفي بعض نظم الحرق يمكن معالجة المخلفات الصلبة، ولكن التغير في خواص المخلفات يؤدي إلى التغير في معدل انتاج البخار، حيث أن استعادة الحرارة وإعادة استخدامها من حرق المخلفات الصلبة المنزلية يعتبر دليلاً جيداً لإدارة المخلفات الصلبة من وجهة النظر البيئية والإيكولوجية. إذ تبلغ نسبة المكونات القابلة للتحلل بما في ذلك نفايات الطعام والخضروات والفواكه 64.78% مقارنةً بجميع المكونات الأخرى، مما يشير إلى احتمالية عالية لتحويل النفايات إلى طاقة(Amen & Hameed, 2021).

عملياً فإن محتوى الطاقة للمكونات العضوية في المخلفات الصلبة المنزلية يتم تقديره بطرق مختلفة منها:

1. باستخدام غلاية كاملة الحجم كمقياس حراري،
2. باستخدام مسعر حراري قنبلة مختبرية،
3. حسابياً إذا كان التركيب العنصري معروفاً من خلال تطبيق علاقة (Delong) لتقدير محتوى الطاقة من المخلفات الصلبة، وهو ما تم استخدامه في هذه الدراسة اعتماداً على طريقة وزن المخلفات الصلبة وفرزها من المصدر وتحديد النسب المئوية والتوزيع النسبي للعناصر في المحتوى العضوي للمخلفات الصلبة المنزلية،(George, Theisenk,1993) .

$$Btu = 145C + 610(H2-1/8\ O2) + 40\ S + 10\ N$$

حيث أن: –

C = نسبة الكربون حسب الوزن.

H_2 = نسبة الهيدروجين حسب الوزن.

S = نسبة الكبريت حسب الوزن.

N = نسبة النيتروجين حسب الوزن.

Btu = الوحدة الحرارية البريطانية، وهي مقياس للمحتوى الحراري للوقود أو مصادر الطاقة (US.EIA.gov).

العملي وطرق أخذ العينات:

في هذه الدراسة ثم تحديد مواقع أخذ العينات العشوائية، وذلك بتقسيم منطقة الدراسة إلى قسمين يشمل كل قسم عدد عشرة أسر لكل من السكان بوسط المدينة وأعطي لها الرمز (أ)، وأسر ضواحي المدينة وأعطي لها الرمز (ب). تمثلت عملية تقدير كمية الإنتاجية للمخلفات الصلبة المنزلية بالمواقع موضوع الدراسة في وزن مكونات المخلفات الصلبة المفصولة الناتجة عن كل أسرة وذلك لمدة أسبوع متواصل. اعتمدت الدراسة متوسط الناتج المتحصل عليها من الموقعين (أ) و(ب) كعينات ممثلة للواقع لغرض الحصول على نتائج دقيقة. وتمحورت الدراسة على التالي:

- تقدير معدل الإنتاجية من المخلفات الصلبة للفرد في اليوم.
- تحديد النسب المئوية لكل مكون من المخلفات الصلبة المنزلية المنتجة.
- تحديد نسب توزيع العناصر الكيميائية على مكونات المخلفات الصلبة المنزلية.
- تقدير محتوى الطاقة الكامنة في تلك المكونات باستخدام العلاقات الرياضية من خلال البيانات والمعلومات المتحصل عليها من عمليات الوزن، وكذلك القيم النموذجية لمحتوى الرطوبة من خلال الجداول وفق المعايير والمواصفات المعمول بها دولياً. تم تقدير معدل الانتاجية باستخدام المعادلة (1) (George, Theisenk,1993).
- معدل الإنتاجية كجم/ للفرد.اليوم = الوزن الكلي (كجم)/ عدد أفراد الأسرة *أيام الأسبوع ... (1)

النتائج والمناقشة:

النتائج المتحصل عليها من خلال عملية وزن المخلفات الصلبة تتضمن المتوسط لكل الأوزان بالمواقع (أ) و(ب) كما يتم عرضها في الجداول (3 و4).

جدول 3: الوزن بالكيلو جرام ومعدل الإنتاجية لجميع العينات من الموقع (أ)

المكونات		مخلفات الطعام	مخلفات معدنية	مخلفات الورق	مخلفات بلاستك	مخلفات الزجاج	مخلفات أخرى	الوزن الكلى للمكونات	معدل الإنتاجية
رقم العينة	عدد افراد الأسرة								
1	7	25.31	1.77	0.03	0.50	0.50	2.49	30.6	0.36
2	4	5.51	0.2	0.29	0.26	–	0.22	6.48	0.23
3	3	2.03	0.54	8.07	0.08	0.45	0.5	11.67	0.55
4	11	21.69	2.7	0.23	0.67	0.15	0.7	26.14	0.33
5	8	18.35	3.9	0.38	2.2	0.9	1.9	27.63	0.49

المكونات		مخلفات الطعام	مخلفات معدنية	مخلفات الورق	مخلفات بلاستك	مخلفات الزجاج	مخلفات أخرى	الوزن الكلى للمكونات	معدل الإنتاجية
رقم العينة	عدد افراد الأسرة								
6	9	18.51	1.52	0.08	1.03	–	1.13	22.27	0.35
7	6	20.35	1.5	–	0.7	0.3	0.3	23.15	0.41
8	8	4.93	1.5	1.77	0.18	–	–	8.38	0.29
9	3	5.09	0.16	1.4	0.34	0.30	0.57	7.86	0.37
10	7	12.92	0.22	0.04	0.21	0.23	–	13.32	0.27
الوزن الكلي لكل مكون		134.39	14.1	12.29	6.17	2.83	7.81	177.5	
النسبة المئوية %		75.712	7.892	6.923	3.476	1.594	4.400		
متوسط معدل الإنتاجية									0.4

والجدول (3) يعرض متوسط نتائج الأوزان للعينات في الموقع (أ) والتي تتضمن الوزن الكلي لكل نوع من المكونات، وكذلك الوزن الكلي لجميع مكونات المخلفات الصلبة لمدة أسبوع لكل عينة. معدل الانتاجية من المخلفات الصلبة المنزلية المفصولة تم تقديره باستخدام العلاقة رقم(1)، وذلك بدلالة الوزن الكلي المتحصل عليه من خلال عمليات الوزن للمخلفات الصلبة لمدة أسبوع لكل عينة. وبدلالة الوزن الإجمالي لكل المخلفات الصلبة تم تحديد النسبة المئوية لكل مكون من المخلفات الصلبة المنزلية. النتائج تشير إلى أن معدل الإنتاجية للفرد يتراوح ما بين (0.23) إلى (0.55) كجم للفرد في اليوم كحد أدنى وأقصى على التوالي. كما أن مخلفات الطعام تمثل أعلى نسبة من إجمالي المكونات الأخرى حيث بلغت (76%) تقريباً، وهو مؤشر هام لإمكانية الاستفادة منها لإنتاج السماد العضوي اعتماداً على خصائصها البيولوجية المتمثلة في قابليتها للتحلل البيولوجي.

جدول 4: الوزن بالكيلو جرام ومعدل الإنتاجية لجميع العينات من الموقع (ب).

المكونات		مخلفات طعام	مخلفات معدنية	مخلفات ورق	مخلفات بلاستك	مخلفات زجاج	مخلفات آخرى	الوزن الكلي للمكونات	الإنتاجية
العينات	عدد افراد الأسرة								
1	5	19.2	3.79	0.09	0.35	0.78	1.8	26.01	0.74
2	7	20.76	0.9	0.12	0.17	0.18	0.897	23.027	0.46
3	3	11.71	0.45	0.126	0.19	0.18	1.56	14.216	0.67
4	4	14.22	0.87	0.16	0.19	0.2	0.97	16.61	0.59
5	5	17.52	0.84	0.21	0.127	0.29	2.9	21.887	0.52
6	7	16.86	0.67	0.2	0.11	0.68	1.1	19.62	0.40
7	6	17.8	1.79	0.15	0.08	0.62	2.36	22.8	0.54

المكونات		مخلفات طعام	مخلفات معدنية	مخلفات ورق	مخلفات بلاستك	مخلفات زجاج	مخلفات آخرى	الوزن الكلي للمكونات	الإنتاجية
العينات	عدد افراد الأسرة								
8	9	17.95	0.76	0.09	0.727	0.83	–	19.857	0.31
9	6	20.05	1.55	0.04	0.15	0.69	1.6	24.08	0.57
10	8	24.25	0.74	0.27	0.118	0.27	0.83	27.478	0.42
الوزن الكلي لكل مكون		180.32	12.36	1.456	1.712	4.72	15.017	215.585	
النسبة المئوية %		83.642	5.733	0.675	0.794	2.189	6.965		
متوسط معدل الإنتاجية									0.5

ففي الجدول (4) نتائج متوسط الأوزان للعينات بالموقع (ب) والتي تم تقديرها من خلال عمليات وزن المخلفات المنزلية بالموقع، وباستخدام العلاقة رقم (1) تم تقدير معدل الانتاجية لكل عينة، وكذلك تحديد النسبة المئوية لكل مكونات المخلفات الصلبة لتلك العينات. في هذا الموقع تتراوح معدلات الإنتاجية للفرد من (0.31 – 0.74) كجم للفرد في اليوم، وهو ما يعطى مؤشر لتباين عادات وتقاليد سكان تلك المواقع، وفي دراسة أجريت في مدينة هانوي –فيتنام بلغ متوسط معدل الإنتاجية 0.63 كجم./ شخص/ يوم.) (Ngo, Helmutm Tkeshi,2021، وتشكل مخلفات الطعام الكمية الأكبر إنتاجية حيث بلغت نسبتها (84%) تقريباً، وهو ما يشير لوجود إمكانية أكبر للاستفادة من مخلفات تلك المواقع بعمليات التحويل البيولوجي.

وفي الجدول (5) نتائج حساب الوزن الجاف بمعلومية نسبة الرطوبة، وهي نسب ثابتة ذات قيم نموذجية لكل نوع من المخلفات الصلبة يستدل بها من الجداول حسب معايير دولية. ويعبر عن الوزن الجاف بالكيلوجرام بعد تجفيف العينة عند درجة حرارة 105° درجة مئوية. ويمثل الوزن الرطب نتائج أوزان مكونات المخلفات الصلبة المتحصل عليها من عمليات وزن العينات قبل التجفيف بالموقعين، ويتم تقدير الوزن الجاف من خلال العلاقة (2) (George, Theisenk,1993,chapter4).

الوزن الجاف = الوزن الرطب × نسبة الرطوبة – (الوزن الرطب) (2) .

جدول 5: حساب الوزن الجاف بـ (كجم) بدلالة الوزن الرطب ونسبة الرطوبة.

المكونات	الوزن الرطب (كجم)	الرطوبة %	الجاف (كجم)
مخلفات الطعام	31.471	0.70	9.441
مخلفات المعدنية	2.637	0.03	2.557
مخلفات ورقية	1.374	0.06	1.291
مخلفات بلاستك	0.628	0.02	0.615
مخلفات زجاج	0.31	0.02	0.303
مخلفات آخري	0.964	0.08	0.886

وفي الجدول (6) تم تقدير نسب توزيع العناصر الكيميائية الموجودة في الماء في كل مكونات المخلفات الصلبة العضوية وغير العضوية، وذلك باستخدام القيم النموذجية بالجدول رقم (2) الخاص بتحديد نسب

العناصر الكيميائية في المخلفات الصلبة المنزلية، وتعتبر القيم النموذجية من المواصفات القياسية المعمول بها دولياً في إدارة المخلفات الصلبة المنزلية. وذلك باستخدام العلاقة (3)، (George&Theisenk,1993,chapter4). وتمثل القيم النموذجية.

القيمة النموذجية /100× الوزن الجاف (3)

على سبيل المثال تقدير عنصر الكربون في مخلفات الطعام، القيمة النموذجية له 48.0 (الجدول رقم 2)، والوزن الجاف 9.441 كجم. (الجدول رقم 5)، وباستخدام العلاقة السابقة فإن:

نسبة توزيع الكربون = 48.0/100×9.441 = 4.531.

جدول6: تقدير نسب محتويات العناصر النموذجية لمكونات المخلفات الصلبة.

المكونات	الوزن الرطب (كجم)	الوزن الجاف (كجم)	كربون C	هيدروجين H	أكسجين O	نتروجين N	كبريت S	رماد Ash
مخلفات الطعام	31.471	9.441	4.531	0.604	3.549	0.245	0.037	0.472
مخلفات معدنية	2.637	2.557	0.115	0.015	0.109	2.557	–	2.314
مخلفات الورق	1.374	1.291	0.561	0.077	0.568	3.873	2.582	0.077
مخلفات بلاستك	0.628	0.615	0.369	0.044	0.140	–	–	0.061
مخلفات زجاج	0.31	0.303	1.515	3.03	1.212	3.03	–	0.299
مخلفات آخرى	0.964	0.886	0.233	0.026	0.017	4.43	1.772	0.602
المجموع الكلي	37.384	15.093	7.324	3.796	5.595	15.135	4.391	3.825

من خلال النتائج التي تم التوصل إليها في الجدول (6) يمكن تحديد نسبة كل عنصر في جميع المكونات والتي تظهر نتائجها كما في الجدول (7).

جدول 7: نسبة محتويات العناصر النموذجية لمكونات المخلفات الصلبة (الهيدروجين– الأكسجين).

المكونات	%O	%H
الطعام	11.833	2.014
معدنية	0.113	0.015
ورق	0.604	0.082
بلاستك	0.143	0.045
زجاج	1.24	3.1
آخرى	0.019	0.028
المجموع الكلي	13.952	5.284

وفي الجدول (7) يتم حساب نسبة العناصر (H,O) بالوزن الرطب وذلك لاحتوائها على محتوي رطوبة مرتفع.وفي هذا الجدول يلاحظ أن أعلى نسبة يمثلها الأكسجين في مكونات الطعام (11.833%)، وكذلك الهيدروجين (2.14%) في مكونات مخلفات الطعام وهو مؤشر هام لتقدير محتوى الرطوبة في مكونات المخلفات الصلبة المنزلية.

جدول 8: القيم النموذجية للعناصر الكيميائية يتم تقديرها على الوزن الرطب والجاف.

Without H_2O	With H_2O	Component
7.324	7.324	كربون C
3.796	5.284	هيدروجين H
5.595	13.952	أكسجين O
15.135	15.135	نيتروجين N
4.391	4.391	كبريت S
3.825	3.825	رماد Ash

والجدول (9) يعرض قيم العناصر الكيميائية بدلالة الوزن الذري لكل عنصر في مكونات المخلفات الصلبة المنزلية مع إهمال الرماد وهو الجزء المتبقي غير القابل للاحتراق. ويتم حساب القيمة بدلالة البيانات في الجدول رقم (8) مثلاً: التركيب المولي للكربون في المكون بدون الماء (التركيب المولي = 12.01/7.324= 0.609 وهكذا لباقي العناصر. وهنا يلاحظ التغير الواضح في قيمة التركيب المولي للأكسجين والهيدروجين فقط، وذلك لمساهمة العنصرين في تكوين المحتوى الرطوبي في مكونات المخلفات الصلبة المنزلية.

جدول 9: تقدير عدد المولات للعناصر مع اهمال الرماد.

Comp	Ato We	Moles	
		Without H_2O	With H_2O
C	12.01	0.609	0.609
H	1.01	3.758	5.231
O	16.00	0.349	0.872
N	14.01	1.080	1.080
S	32.07	0.119	0.119

والجدول (10) نتائج الحسابات لمحتوى المكونات العضوية وغير العضوية للمخلفات الصلبة وبوجود محتوى الرطوبة وبدونه وذلك لكل من العناصر (S),(N). من خلال النتائج المدرجة بالجدول رقم (10) يتم تقدير الصيغ الكيميائية لمكونات المخلفات الصلبة بوجود الكبريت (بمحتوى الرطوبة وبدون محتوى الرطوبة) والتي تمثلها المعادلات التالية:

جدول 10: تقدير نسب العناصر الكيميائية الكلية في جميع المكونات العضوية وغير العضوية من المخلفات الصلبة المنزلية.

components	Mole ratio (N) =1		Moe ratio (S) =1	
	Without H_2O	With H_2O	Without H_2O	With H_2O
C	0.563	0.563	5.117	5.117
H	3.479	4.843	31.579	43.957
O	0.323	0.807	2.932	7.327
N	1	1	9.075	9.075
S	0.110	0.110	1	1

وفي الجدول رقم (10) يتم تقدير النسبة المولية الطبيعية للعناصر المنبعثة من المخلفات الصلبة المنزلية في مراحلها المختلفة. وتدل القيم (الكبريت =1) و(النيتروجين=1) على وجود عنصرى الكبريت والنيتروجين يمثل كل منهما عنصراً واحداً لكل وحدة من المركب، بينما العناصر الأخرى يعبر عن نسبتها بناءً على هذه النسبة (George, Theisenk,1993 chapter4).

– الصيغ الكيميائية التقريبية لمكونات المخلفات الصلبة الخالية من الكبريت بالماء وبدون الماء يتم تقديرها كالاتي:

1.Without water

(C) 0.563 – (H) 3.479 – (O) 0.323 (N)

2. With water

(C) 0.563– (H) 4.843 – (O) 0.807 – (N)

– الصيغ الكيميائية لمكونات المخلفات الصلبة مع وجود الكبريت ويتم تقديرها كالاتي:

1. Without water

(C)5.117–(H)31.579–(O)2.932–(N)9.075–(S1).

2. With water

9C) 5.117–(H)43.579–(O)7.327–(N)9.075–(S1)

يتم تقدير محتوى الطاقة بدلالة التوزيع النسبي للعناصر في مكونات المخلفات الصلبة المنزلية ومن خلال العدد الذري والوزن الذري لكل عنصر كما في الجدول (11)

جدول11: التوزيع الوزني لكل عنصر في مكونات المخلفات الصلبة.

Componer المكونات	Number of atoms per mole العدد الذري لكل مول	Atomic weight الوزن الذري	Weight contribution of each element التوزيع الوزني لكل عنصر	Percent % النسبة المئوية
C	5.117	12	61.404	16.08
H	43.957	1	43.957	11.51
O	7.327	16	117.232	30.71
N	9.075	14	127.05	33.29
S	1	32	32	8.38
Total			381.643	99.97

وباستخدام العلاقة (2:1) فإن محتوى الطاقة يمكن تقديره كالتالي:

$$Btu/Kg = 145\ C + 610\ (H_2 - 1/8\ O_2) + 40\ S + 10\ N$$

$$= 145\ (16.08) + 610\ (11.51 - 1/8 * 30.7) + 40\ (8.38) + 10\ (33.29)$$

$$= 2331.6 + 4679.92 + 335.2 + 332.9$$

$$BTU\ (KJ/KG) = 7.67962$$

الخلاصة:

من خلال ما تم التوصل إليه من نتائج في هذه الدراسة فإن كمية المخلفات الصلبة المنزلية للعينات المدروسة بلغت في مجملها 391 كجم. خلال أسبوع، وبلغ معدل الإنتاجية للفرد في اليوم 0.45 كمتوسط. وبتعميم النتائج على اعتبار أن عدد الأسر بالمنطقة هو 5286 أسرة (متوسط عدد أفراد الأسرة 6 أفراد

للعينات المدروسة)، فإن الكمية المنتجة من المخلفات الصلبة المنزلية خلال السنة ستكون 5994 طن تقريباً، تمثل مخلفات الطعام ما نسبته حوالي 80 % من الوزن الكلي للمخلفات الصلبة المنزلية. وبما أن استرجاع الطاقة الكامنة تعتمد على الجزء العضوي فقط، لذلك فإن تقدير محتوى الطاقة يتطلب فصل المكونات القابلة للتدوير أو للحرق وفقاً لخصائصها الكيماوية. كما أن عملية الوزن للعينات تمت في فصل الخريف وهو ما يعد من العوامل الهامة التي تؤثر في معدل الإنتاجية. حيث يكون معدل الانتاجية في أقصى حد له عند فصل الصيف، إن كمية الطاقة التي تم تقديرها في هذا البحث بلغت (7.67962) Kj/Kg اعتماداً على نتائج الحسابات وفق المعايير القياسية الدولية. والتي يمكن استخدامها كمورد للطاقة المستردة من المخلفات الصلبة المنزلية، مع استخدام المكونات المفصولة من المخلفات الصلبة لعمليات التدوير، وكذلك معاملتها في وحدات التخمير لإنتاج البيوجاز الطبيعي، بدلاً من التعرض لمشاكلها الصحية والبيئية عند تراكمها في المواقع المفتوحة ومكبات الرمي غير المراقبة.

قائمة المراجع

[1] أحمد عبد الوهاب عبد الجواد، 1997، أسس تدوير النفايات، الدار العربية للنشر. القاهرة.

[2]محمد عبدو العودات، عبد الله بن يحى باصهي 2007، التلوث وحماية البيئة، مركز النشر العلمي والمطابع، ط3، جامعة الملك سعود، الرياض.

[3]محمد نجيب إبراهيم أبوسعدة، المخلفات الصلبة وامكانية تدويرها، دار الفكر العربي، 2005، القاهرة.

[4] Hasan, M.M. a,c, M.G. Rasul a,c, M.M.K. Khan b,c, N. Ashwath c,d, M.I. Jahirul a,c2021, Energy recovery from municipal solid waste using paralysis technology: A review on current status and developments. Australia.

[5] George Techobanoglousek, hilary Theisenk, Samuel Vigil,1993 Integrated Solid Waste management Engineering Principles and Management Issues, California.

[6] Environmental and Energy Study Institute, Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States. (https://www.eesi.org /msw_2010).

[7] landfills/municipal-solid-waste-landfills, U.S. Environmental Protection Agency(gov)https://www.epa.gov .

[8] 3rd International Conference on Science and Sustainable Development (ICSSD 2019) IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1299 (2019) 012003 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1299/1/012003.

[9] Brian Glover and Justin Mattingly, Environmental and Energy Study Institute, Reconsidering Municipal Solid Waste as Renewable Energy feedstock,2009.

[10] Rabia Amen, Javaria Hameed, Modeling the higher heating value of municipal solid waste for assessment of waste - to- energy potential, Journal of cleaner Production, Volume 287,10 March 2021,125575.

[11] James L. Hanson, Nazli Yesiller, Engineering Properties of Municipal Solid Waste Global Waste Research Institute 2109.

[12] Alkasem Abubakar, Maigida H. Barnabas, The Physico-Chemical Composition and Energy Recovery Potentials of Municipal Solid Waste Generated in Numan Town, Energy and Power Engineering,vol.10 No.11,November2018 Nigeria.

[13] Kedir, Abebe Aschalew, Rejila Manikandan* Environment and Ecology 40 (2) : 418—424, April—June 2022 ISSN 0970-0420, Analysis of Generation Rate, Physicochemical and Physical Composition of Household Solid Waste in Jigjiga

Town, Somali Regional State, Ethiopia.
[14] Ngo Thi Lan phuong, Helmut Ybar and Tkeshi Mizunoya,Characterization and Analysis of Household Solid Waste Composition to Identify the Optimal Waste Management Method: A Case Study in Hanoi City, Vietnam, Journal: Earth, 2021, Volume: 2 Number:6.