

تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية في مواقع الدفن على كمية ونوعية العصارة الناتجة

سنان كمال الدين الأحمدى
م.ر. مهندسين / بلدية الموصل / وزارة البلديات والأشغال

د. أنس فخري قاصد
مدرس / قسم هندسة البيئة / كلية الهندسة / جامعة الموصل

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية وزمن تحللها على كمية ونوعية العصارة الناتجة منها، وكذلك تأثير هذا العمق على سرعة تحللها (انتقالها من طور إلى آخر) وعلى عامل التخفيف والغسل، وإلى تصميم موديل إحصائي لاستنباط معادلات تربط عمق النفايات وزمن تحللها مع كمية ونوعية العصارة. أظهرت نتائج دراسة (48) عينة للعصارة أثناء (12) مستويًا من زمن التحلل و(4) مستويات من عمق النفايات أن حجم العصارة يقل مع زيادة عمقها أو زمن تحللها، وأن قوة العصارة تتناسب طرديًا مع عمق النفايات وعكسيًا مع زمن تحللها، حيث ازدادت تراكيز (COD, NH₄-N, TSS, EC) مع العمق، كما أظهرت أن سرعة تحلل النفايات وعامل التخفيف يتناسبان عكسيًا مع عمق النفايات وأن هذا العامل يتناسب طرديًا مع زمن تحللها أثناء موسم الأمطار. كذلك أظهرت نتائج الموديل الإحصائي أن عمق النفايات وزمن تحللها يؤثران معنويًا ضمن مستوى ثقة (5%) وأن تأثير عمق النفايات أعلى من على نوعية العصارة.

: النفايات الصلبة البلدية ، العصارة ، عمق النفايات ، سرعة التحلل

Effect of Municipal Solid Waste (MSW) depth on leachate quantity and quality

Abstract

The research aimed at studying the effect of (Municipal Solid waste) depth (MSW-D) and their degradation time (MSW-T) on the quality and quantity of leachate produced (L-Q&Q), and the effect of (MSW-D) on rapid degradation (phase converting rate) and dilution factor (D.F) (wash out during rainy seasons). It also aimed at design a statistical-model and equations to link (MSW-D) and (MSW-T) with (L-Q&Q). A study of (48) leachate samples for 12th (time-levels), 4th (depth-levels) showed that the leachate volume reduced with (MSW-D) or (DT) increasing, and the leachate strength changed positively with (MSW-D) and inversely with (DT) so the (COD, NH₄-N, TSS, EC) concentrations were increased with (MSW-D). It also showed that the rapidity degradation and (D.F) changed inversely with (MSW-D), and that (D.F) increased with increasing of (MSW-T) during rainy seasons. The statistical-model results showed that the (MSWD) and (MSW-T) were significantly affected (within-5% confidence-level) on (L-Q&Q), and that (MSW-D) was more effective than (MSW-T).

استخدم الإنسان قديما مصادر الأرض للعيش والتخلص من الفضلات حيث لم تكن عملية التخلص منها آنذاك من المشاكل الجدية لقلّة التجمعات السكانية ووفرة مساحات الأراضي التي يمكن استخدامها للتخلص من هذه النفايات، وشهدت مختلف الدول خلال الفترة الماضية العديد من التغيرات والتطورات التي نتج عنها الكثير من المخلفات السائلة والصلبة والغازية ومن تلك المخلفات النفايات الصلبة البلدية، فهي مواد غير مرغوب بها ومطلوب التخلص منها وقد تنتج من عائلة واحدة أو مجموعة عوائل (تعيش في مجتمع سكني) ويضاف إليها نفايات الفنادق والساحات والأرصفت والمحلات التجارية ونفايات الهدم والبناء والنفايات الخاصة مثل سكراب السيارات والبطاريات التالفة والأثاث القديم حسب [1]، وأضاف إليها [2] نفايات المؤسسات الحكومية ومحطات المعالجة ونفايات الحدائق. عملت اغلب الدول على تطوير إدارة فعالة للنفايات الصلبة للسيطرة على التلوث كنتيجة لتحللها. يمكن اعتبار أن معدل تحلل النفايات دالة لخواصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية حسب [3] وتتحكم إدارة النفايات في بعض من خواصها الفيزيائية مثل عمقها في مواقع الدفن [3]، وتلعب خواصها البيولوجية دورا مهما في تحللها وتكون حسب [2] المسيطرة على تحولاتها الكيميائية والفيزيائية. يُعد الطمر في الأرض (موقع الدفن) من أوسع الطرق انتشارا للتخلص من اغلب أنواع النفايات الصلبة وتم الاهتمام بتطوير مواقع الدفن وتحويلها من إلى مواقع طمر صحية لاحتواء الملوثات كما في الدول المتقدمة وبعض الدول النامية [4]، إذ يُعتبر موقع دفن النفايات مفاعلا بيولوجيا تتحلل فيه هذه النفايات في ظروف هوائية وغير هوائية وتكون النواتج عبارة عن غاز وعصارة [5]، وتتغير هذه العصارة حسب نوع النفايات ومكوناتها وحجمها وعمرها بموجب [6] وأيضاً هيدرولوجية وطوبوغرافية الموقع وشدة الأمطار والظروف الجوية الأخرى. يعتمد إنتاج العصارة بشكل عام على التوازن بين المياه الداخلة إلى النفايات والمغادرة منها وسعتها الحقلية، ويتأخر إنتاج العصارة في المراحل الأولية للدفن حتى تصل النفايات إلى السعة الحقلية فتصبح النفايات مشبعة وغير قادرة على الامتصاص [4] [2] أنها مقدار المحتوى الرطوبي الذي تصل فيه النفايات الصلبة إلى حد الإشباع وما زاد عن هذا المحتوى سيخرج من النفايات بتأثير الجاذبية الأرضية على هيئة عصارة حاملا معه مكونات النفايات الذائبة والعالقة. يرتفع معدل تحلل النفايات (سرعة التحلل) عند زيادة رطوبتها أو محتواها المائي حسب ، ويُمكن القول أن النفايات في الأجواء الممطرة تصل مبكرا إلى طور الميثان حسب [7] بينما يستمر طور تحللها الحامضي بطيئا في الأجواء الجافة وتصل إلى المراحل الأولى من طور الميثان بعد فترة طويلة حسب [3]. تُعد المواد العضوية من مكونات النفايات الأكثر تأثيرا على العصارة وان تحللها بيولوجيا هو العامل الرئيسي في ارتفاع تركيز الملوثات في العصارة والمسبب للتغيرات الفيزيائية أو الكيميائية لمكونات النفايات ونواتج التحلل [8] ، [2]. يتكون الجزء الأكبر للنفايات الصلبة البلدية في الدول النامية من مواد عضوية والمتبقي يتكون من مواد غير عضوية ومواد غير قابلة للتحلل البيولوجي أو بطيئة التحلل جدا وينسب تختلف من دولة إلى أخرى [9]، ويمكن تخمين قوة العصارة حسب [10] بفحص موادها العضوية وتركيز الأمونيوم والمواد الصلبة الكلية العالقة والتوصيلية الكهربائية والرقم الهيدروجيني. يؤثر عمق النفايات بشكل واضح على سرعة تحللها حيث تحتاج النفايات الأكثر عمقا إلى كمية أكثر من المياه للوصول إلى درجة التشبع أي أنها تحتاج إلى وقت أطول للتحلل ووقت أطول لانتقال عصارتها خلال النفايات حسب [4]، وترتبط معظم الدراسات نوعية العصارة مع عمر النفايات إذ ترتبط خواصها بقابلية ودرجة تحلل هذه النفايات والتي تعني أيضا الوقت الذي تستغرقه النفايات في كل طور، وتسجل كثيرا من الملوثات حسب [4] ، [8] ، [7] تراكيز عالية في فترة (2 إلى 3) سنة من عمر التحلل ثم تبدأ بالانخفاض بشكل تدريجي في السنوات التي تليها، ورغم أن جميع الملوثات تصل خلال مرحلة ما إلى أعلى تركيز لها في العصارة ثم تتراجع إلا أن الوقت اللازم للوصول إلى تلك المرحلة مختلف حيث تصل المواد العضوية إلى أعلى تركيز أسرع من المواد غير العضوية بسبب طبيعتها القابلة للتحلل البيولوجي [4].

أهداف البحث

- 1) دراسة تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية على كمية ونوعية العصارة الناتجة.
- 2) دراسة تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية على سرعة تحللها.
- 3) مقارنة إحصائية لتأثير العوامل المدروسة (عمق النفايات، زمن التحلل) على كمية ونوعية العصارة مع إيجاد علاقات إحصائية رياضية.

درس [8] تأثير محتوى النفايات المائي وعامل التخفيف على نوعية وكمية العصارة الناتجة وسرعة تحلل النفايات. أظهرت النتائج أن زيادة معدل دخول المياه إلى النفايات يساهم في رفع كمية العصارة الناتجة إلا أن تراكيز ملوثاتها تكون منخفضة بسبب ارتفاع عامل التخفيف، وتخفض تراكيز موادها العضوية مع الزمن بسبب التحلل البيولوجي السريع للنفايات الحديثة الدفن.

: تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية في مواقع الدفن على كمية ونوعية العصاره

و درس [7] تأثير عامل التخفيف وزمن تحلل النفايات على خواص العصاره الناتجة ومقارنتها ببرامج إحصائية. أظهرت النتائج أن تراكيز المواد العضوية تسجل ارتفاعا عاليا ثم تتراجع بسبب انتقال التحلل إلى طور الميثان، بينما يسلك الرقم الهيدروجيني (pH) عكس هذا السلوك إذ ينخفض في الطور الحامضي ثم يبدأ بالارتفاع كلما اتجه التحلل نحو طور الميثان، ولم يتغير تركيز الأمونيوم أثناء انتقال التحلل وأن تراكيز ملوثات العصاره تنخفض في المناخ العالي الأمطار بسبب عامل التخفيف والغسل.

وقام [11] بدراسة تأثير زمن تحلل النفايات على تركيز المواد العضوية في العصاره. أظهرت النتائج أن تراكيز المواد العضوية لعصاره النماذج المختبرية تصل إلى اقصى قيمة بعد (2 إلى 5) أسابيع كنتيجة لتحلل النفايات في الطور الحامضي ثم تبدأ بالانخفاض تدريجيا بسبب انخفاض تراكيز الأحماض العضوية كنتيجة لانتقال التحلل نحو مرحلة الميثان لتصل إلى مرحلة الاستقرار في الأسبوع السابع عشر كنتيجة لاستنزاف المواد العضوية أثناء تحلل النفايات.

و درس [12] نوعية وكمية عصاره النفايات الصلبة في الأجواء الجافة (معدلات منخفضة من تساقط الأمطار) وتأثير عمر النفايات على هذه العصاره. أظهرت النتائج أن توليد العصاره من النفايات يكون بالحد الأدنى في غياب الأمطار وجفاف المناخ لأن تولدها سيكون معتمدا على المحتوى الرطوبي للنفايات، وأنها تحتوي على تراكيز عالية جدا من الملوثات بسبب غياب عامل التخفيف. كما أظهرت النتائج أن تراكيز الملوثات في عصاره النفايات الحديثة اعلى من تراكيزها في عصاره النفايات القديمة بسبب الحمل العضوي المرتفع في مكونات النفايات الحديثة بينما في النفايات القديمة تكون المواد العضوية مستنزفة كنتيجة لعمليات التحلل.

وقام [13] بدراسة تأثير عامل التخفيف وزمن التحلل على خصائص عصاره النفايات الصلبة على المدى البعيد. أظهرت النتائج انخفاضاً واضحاً في تراكيز المواد العضوية مع الزمن بسبب تحللها واستنزافها وارتفاعاً في سرعة تحللها أثناء موسم الأمطار بسبب ارتفاع عامل التخفيف، وأظهرت ارتفاعاً في الرقم الهيدروجيني مع الزمن بسبب الاستنزاف البيولوجي للأحماض المتحررة من التحلل وارتفاع عامل التخفيف. كم أظهرت النتائج أن تراكيز الأمونيوم في العصاره تستمر بالزيادة عند انتقال التحلل من الطور الحامضي إلى طور الميثان.

[14] تأثير عمق النفايات وعامل التخفيف على خصائص العصاره الناتجة منها. أظهرت النتائج زيادة في قوة العصاره مع زيادة العمق حيث ازداد المحتوى العضوي وازدادت الأجسام الصلبة العالقة بسبب زيادة طول مسار التماس بين الماء ومكونات النفايات أثناء مروره من خلالها، وازدادت التوصيلية الكهربائية بسبب زيادة الأملاح الذائبة في العصاره، وانخفض الرقم الهيدروجيني لزيادة تركيز الأحماض المتحررة من التحلل. كما أظهرت النتائج انخفاضاً في تركيز ملوثات العصاره بسبب ارتفاع عامل التخفيف وانخفاضاً في تركيز المواد الصلبة العالقة بسبب غسل النفايات المستمر أثناء مرور الماء من خلالها.

و درس [15] تأثير عمق النفايات وعامل التخفيف على نوعية العصاره وسرعة تحلل النفايات. أظهرت نتائج الدراسة انخفاض قوة العصاره خلال موسم الأمطار وزيادتها في موسم الجفاف بسبب عامل التخفيف، وزيادة في سرعة تحلل النفايات أثناء موسم الأمطار بسبب ارتفاع محتواها المائي. كما أظهرت النتائج زيادة في قوة العصاره عند زيادة عمق النفايات وارتفاع تراكيز الملوثات في المواقع الأعمق مقارنة بالمواقع الأقل عمقا بسبب زيادة كمية النفايات عند زيادة عمقها من جهة وكذلك زيادة طول مسار الماء المار من خلالها من جهة أخرى.

و درس [16] تأثير عمر النفايات على نوعية العصاره الناتجة. أظهرت النتائج ارتفاع المحتوى الرطوبي للنفايات الصلبة الأكبر عمرا بسبب ارتفاع قابلية امتصاصها للماء كنتيجة لزيادة فراغاتها أثناء التحلل، وزيادة في تراكيز الملوثات العضوية للنفايات الأقل عمرا بسبب استنزاف المواد العضوية في النفايات القديمة أثناء التحلل، وأيضا زيادة في المواد الصلبة العالقة بسبب ارتفاع الأجسام المتكسرة من النفايات الحديثة أثناء التحلل مقارنة بالنفايات القديمة، وكذلك انخفاض الرقم الهيدروجيني لعصاره النفايات الأقل عمرا بسبب ارتفاع نسبة الأحماض العضوية وغير العضوية المتحررة من تحلل المواد العضوية بيولوجيا في يات.

و درست [17] تأثير عمق النفايات وعامل التخفيف على نوعية العصاره. أظهرت النتائج ارتفاعاً في تركيز المواد الذائبة والعالقة عند زيادة العمق وزيادة الأمطار بسبب قابلية الماء على إذابة مكونات النفايات فكلما زاد طول مسار التلامس مع النفايات كنتيجة لزيادة عمقها زادت نسبة المواد الذائبة ونسبة تكسر مكونات النفايات أثناء العمليات البيولوجية والكيميائية والفيزيائية، وارتفاعاً في التوصيلية الكهربائية عند زيادة العمق بسبب زيادة تركيز الأيونات السالبة والموجبة المتحررة من التحلل، بينما تزداد عند زيادة الأمطار إلى حد معين ثم تبدأ بعد ذلك بالانخفاض بسبب عامل التخفيف. كما وأظهرت النتائج زيادة في تراكيز الأمونيوم والمحتوى العضوي عند زيادة عمق النفايات وانخفاضاً سريعاً للمواد العضوية

بالأمونيوم عند زيادة الأمطار بسبب زيادة سرعة تحلل المكونات العضوية كنتيجة لارتفاع محتواها المائي من جهة وكذلك من جهة أخرى بقاء الأمونيوم في العصاراة فترة طويلة لعدم تحللها بيولوجيا أثناء الطور اللاهوائي.

اعتمدت الكثير من الدراسات تمثيل مواقع دفن النفايات مختبريا لغرض دراسة تأثير معامل أو أكثر على النفايات أو على خواص العصاراة، وغالبا يتم استخدام الأنابيب البلاستيكية (PVC) لقابليتها على مقاومة التآكل حسب [3]، وفي هذه الدراسة استخدمت أنابيب بلاستيكية بأطوال مختلفة وحسب الأعماق المطلوبة للنفايات [14].

(1) - تهيئة النفايات الصلبة البلدية

تم استخدام نفايات صلبة بلدية من موقع الدفن في الساحل الأيسر لمدينة الموصل، نُقلت النفايات إلى اليوم للمحافظة على رطوبتها، ثم مُرّجت مع بعضها لغرض التجانس. خذ نماذج عشوائية بأوزان ثابتة وفُصلت مكوناتها زنت لتثبيت نسبها الوزنية واستخدم معدلها للتعبير عن مكونات النفايات المستخدمة في الدراسة كما يُوضحها الجدول (1) وهي مقارنة للنسب المئوية لمكونات النفايات البلدية في [18]. حُسبت رطوبة النفايات بطريقة التجفيف حسب [2] واتضح أن رطوبتها (40.7 %). تم تحديد كثافة النفايات الحقلية في موقع الدفن بموجب (ASTM D 1557) وتبين أن كثافة النفايات المدفونة حوالي (650) كغم/م³، وللحصول على كثافة متجانسة في الأنابيب كُست هذه النفايات على شكل (25) سم بواسطة مكبس حديدي تم تصنيعه خصيصا لهذا الغرض.

(2) - الظروف المناخية وكمية المياه الداخلة إلى النفايات

أجري البحث في (120) يوما لتمثيل موسم الأمطار في مدينة الموصل، ولغرض تمثيل مقارب لكمياتها استخدمت معدلات الأمطار والتبخر لمدينة الموصل خلال خمسين سنة حسب ما ورد في [18] ثم استخدمت المعادلة رقم (1) لمعرفة كمية المياه الداخلة إلى النفايات خلال هذه المواسم [14]، ويوضح الجدول (2) تطبيق هذه المعادلة على جميع الأشهر حيث يمثل الرقم الموجب كمية المياه النافذة ويمثل الرقم السالب كمية المياه المتبخرة.

(1) مكونات النفايات الصلبة البلدية

No	Components	Weight %	No	Components	Weight %
	Organic			Inorganic	
1	Food Wastes	66.8	10	Glass	2.40
2	Cardboards	5.9	11	Tin Cans	2.30
3	Paper	4.15	12	Aluminum	0.40
4	Plastics	5.70	13	Other metal	0.90
5	Textiles	6.10	14	Hazardous Waste	0.70
6	Rubbers	1.10	15	Dirt, Ashes, etc.	0.90
7	Leather	0.20			
8	Trimmings	2.10			
9	Woods	0.40			

(2) محصلة المياه النافذة خلال فصول السنة

Months	Rain (mm)	Evaporation (mm)	H=P(1-C)-E (mm)	Months	Evaporation (mm)	Rain (mm)	H=P(1-C)-E (mm)
January	62	5.8	46.9	July	-	233.9	-233.9
February	70	10.8	48.7	August	-	223.0	-223.0
March	75.9	24.1	40.4	September	0.3	153.0	-152.7
April	54.6	50.1	-3.7	October	11	69.9	-60.6
May	23	111.6	-92.1	November	43.7	25.5	11.6
June	0.23	187.5	-187.3	December	68.4	10.5	47.6

تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية في مواقع الدفن على كمية ونوعية العصارة

$$H = P(1 - C) - E \quad [14] \quad \dots (1)$$

Where:

(H) depth of percolation water, (P) rain water, (C) runoff coefficient, (E) evaporation
C = 0.15 [20][21] (18) Silty clay (حيث أن تربة الموقع)

يُحسب ارتفاع عمود الماء الذي يدخل إلى نفايات كل أنبوب من الأمطار النافذة، وحيث أن التجربة ستستمر في المختبر حتى نهاية الشهر الخامس (في الشهر الرابع والخامس يكون معدل التبخر أعلى من معدل الأمطار) لذا يجب حساب التبخر فيهما وإضافة هذه الكميات للتعويض عن فقدان الماء بسبب التبخر أثناء التجربة [14] فيكون الحجم الكلي للمياه النافذة إلى النفايات كما في أدناه، ثم قُسمت مدة العمل إلى (12) فترة مطرية وكل منها مقدارها عشرة أيام، ثم تم تقسيم الكمية الكلية للمياه النافذة على هذه الفترات ليتم إضافتها ببطء حسب [14] إلى كل أنبوب خلال الأيام العشرة، وعليه أُضيف (430) مل (10) أيام إلى كل أنبوب.

$$H(\text{Percolation}) = (46.9 + 48.7 + 40.415 + 11.645 + 47.64) \Rightarrow 195.3 \text{ mm}$$

$$H(\text{April}) = - 3.69 \text{ mm} \quad \& \quad H(\text{May}) = - 92.05 \text{ mm}$$

$$\text{Then } H(\text{Total}) = 195.3 + 3.69 + 92.05 \Rightarrow 291.04 \text{ mm}$$

$$Q(\text{Total}) = 291.04 \times 0.0177 \Rightarrow 5.15 \text{ Litter} \quad (\text{where section area} = 0.0177 \text{ m}^2)$$

(3) - تفاصيل النموذج المختبري

يتكون النموذج من أربع أنابيب بلاستيكية (PVC) تبدأ برقم (1) وتنتهي برقم (4) بقطر (15) سم وارتفاعات مختلفة كما يوضحها الشكل (4)، وتوجد بداخل كل أنبوب من الجهة السفلية طبقة من الحصى بسمك (10) سم لمنع محتويات الأنابيب الصلبة من الخروج مع العصارة [14]. تستقر العصارة الخارجة في حاويات بلاستيكية سعة (3) لتر تتصل بالأنبوب البلاستيكي عن طريق قمع مثبت بإحكام لمنع دخول الهواء إلى داخل الحاوية. يحتوي كل أنبوب على نفايات بكثافة (650) كغم/م³ وبأوزان تم حسابها كما في أدناه ويوضح الجدول (3) تفاصيل هذا النموذج. تُثبت حاويات تقطير أعلى كل أنبوب من أنابيب ومزودة كل حاوية من حاويات التقطير بصمام للتحكم في سرعة نزول الماء إلى نفايات لغرض تحقيق انسياب بطيء. تم إضافة (430) مل من المياه إلى كل أنبوب من الأنابيب السبعة في المنظومة الأولى والثانية خلال كل فترة مطرية (عشرة أيام) وعلى خمسة مراحل لتمثل كل مرحلة زخة مطرية وبواقع (80) مل للزخات الأربعة الأولى و(90) مل للزخة الأخيرة من الأيام العشرة ثم أعيدت نفس الخطوات في بقية الفترات المطرية الأحد عشر حتى نهاية مدة الدراسة، ثم تم تجميع العصارة الخارجة من الأنابيب كل (10) أيام (بعد كل فترة مطرية) وتثبيت حجمها (كمية العصارة) وخصائصها (نوعية العصارة).

$$\text{Weight of MSW} = \text{Section area of pipe} \times \text{Height of MSW} \times \text{Density of MSW}$$

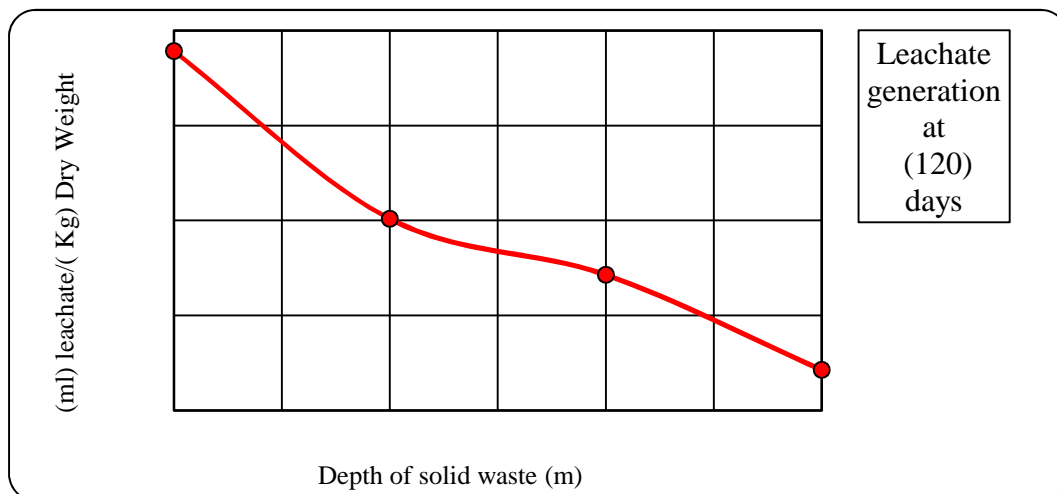
(3) أنابيب المنظومة الأولى

Column No.	Diameter (m)	Surface Area (m ²)	Depth (m)	Volume (m ³)	Density (Kg/m ³)	Weight (Kg)
1	0.15	0.0177	0.5	0.0088	650	5.74
2	0.15	0.0177	1.0	0.0177	650	11.49
3	0.15	0.0177	1.5	0.0265	650	17.23
4	0.15	0.0177	2.0	0.0353	650	22.97

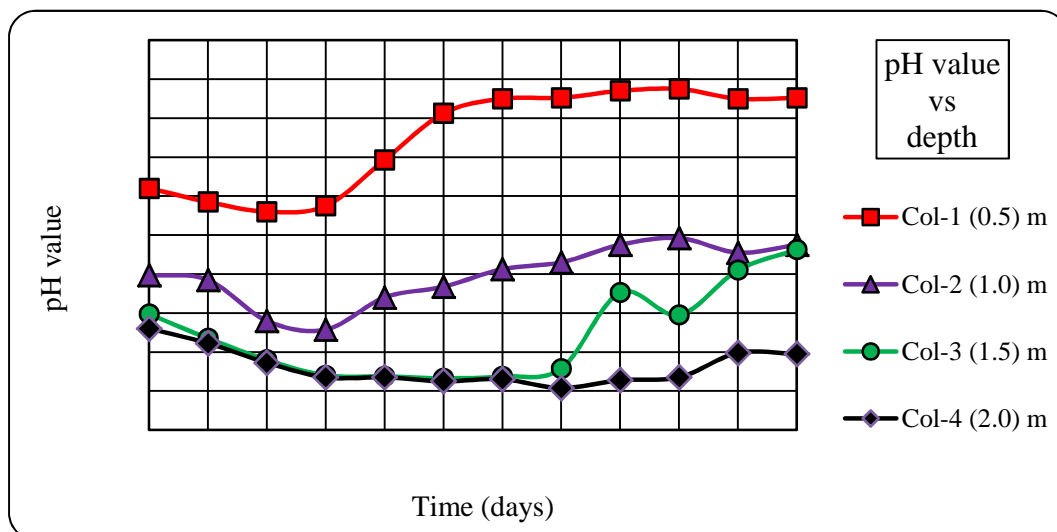
(1) - تأثير عمق النفايات على كمية العصارة

يوضح الشكل (4) اختلاف كمية العصارة عند تغير عمق النفايات في الأنابيب الأول والثاني والثالث والرابع، والتي تحتوي على نفايات بأعماق (0.5، 1.0، 1.5، 2.0) متر على الترتيب، حيث يُسجل الأنبوب الأول (الذي يحتوي على أقل النفايات عمقا) أكبر كمية من العصارة مقارنة بوزن نفاياته الجاف، والعكس صحيح إذ يُسجل الأنبوب الرابع

(الذي يحتوي على أكثر النفايات عمقا) أقل كمية، ويُعزى السبب إلى انخفاض نفاذية النفايات عند زيادة عمقها كنتيجة لطول المسار الذي يقطعه الماء خلال هذه النفايات من دخوله من الأعلى وحتى خروجه كعصارة من الأسفل حسب [22]، اتفقت هذه النتائج مع ما أورده [4]. تنخفض كمية العصارة الناتجة من الأنبوب الثاني عن الأول بمقدار (5 %)، والثالث عن الثاني بحوالي (2 %) والرابع عن الثالث بحوالي (3 %). يبدو أن نقصان كمية العصارة للأنابيب الثلاثة الأخيرة متناسقا بينما يكون النقصان مرتفعا بين الأنبوبين الأول والثاني وقد يُعزى سبب هذا إلى ارتفاع المحتوى المائي داخل الأنبوب الأول، مما أدى إلى زيادة حجم فراغاته واتساع المسارات التي يسلكها الماء .



(4) تغير كمية العصارة مع تغير عمق النفايات



(5) تغير قيمة (pH) مع عمق النفايات

(2) - تأثير عمق النفايات على خواص العصارة

تُسجل نتائج عصارة الأنابيب الأول والثاني والثالث والرابع أن قوة العصارة تزداد عند زيادة عمق النفايات في الأنبوب والعكس صحيح، إذ يُسجل الأنبوب الأول والذي يحتوي على أقل النفايات عمقا (0.5) متر أقل التراكيز مقارنة ببقية أنابيب المجموعة، ويُعزى السبب إلى المسار القصير الذي تلامس فيه المياه النافذة مكونات النفايات، لذا يمكن القول أن قوة العصارة تتناسب طرديا مع عمق النفايات. يؤدي عمق النفايات القليل إلى انخفاض في وزن (كمية) النفايات مما سيرفع من نسبة التخفيف والغسل، لذا يمكن القول أن سرعة تحلل النفايات تتناسب عكسيا مع عمق النفايات. يتفق هذا التحليل مع ما أورده في هذا المجال كل من [17]، [14]، [4] وفيما يلي نتائج تأثير العمق على نوعية :

تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية في مواقع الدفن على كمية ونوعية العصاره :

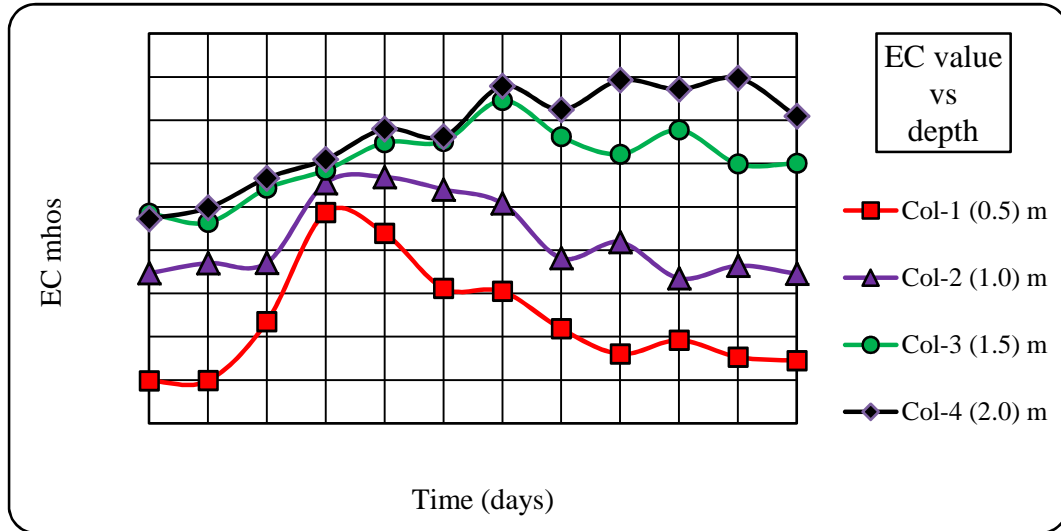
■ الرقم الهيدروجيني (pH)

يُشير (5) أن حامضية العصاره بلغت في الأنبوب الأول اعلى قيمة لها (6.24) (5.3) (4.53) (4.43) (30 40 70 80) يوما على الترتيب. يتضح أن قيمة (pH)

يقبل عمق النفايات، ويُعزى هذا إلى انخفاض تركيز الأحماض المتحررة من التحلل بسبب قصر مسار تلامس النفايات مع الماء. كما يختلف زمن بلوغ اعلى حامضية لكل أنبوب بسبب انخفاض سرعة تحلل النفايات عند ارتفاع كميتها، وتنخفض بأوقات مختلفة بسبب انخفاض تأثير عامل التخفيف عند زيادة عمق النفايات فيتأثر الأنبوب الأول أكثر من البقية. ترتفع حامضية أعلى قيمة للثاني عن نظيرتها في الأول بحوالي (24 %) ويُعزى السبب إلى دخول الأول في طور الميثان بوقت مبكر، وكذلك بين الثالث والثاني بحوالي (11 %) ويُعزى السبب إلى تداخل أطوار التحلل بينما تبلغ بين الرابع والثالث (2 %) وسبب هذه الزيادة القليلة هو ارتفاع الحامضية في كلا الأنبوبين. اتفقت هذه النتائج مع [14].

■ التوصيلية الكهربائية (EC)

تُسجل قيمة (EC) في عصاره الأنبوب الأول من الشكل (6) أقل قيم لها مقارنة ببقية الأنابيب أثناء فترة الدراسة، فتبلغ أعلى قيمة لها (24340) مايكروموز/سم بعد (40) يوما، وتبلغ (39870، 37280، 28440) مايكروموز/سم بعد (50، 70، 110) يوم، في عصاره الأنابيب الثاني والثالث والرابع على الترتيب. يتضح من هذه النتائج أن التوصيلية الكهربائية تزداد بزيادة العمق ويُعزى السبب إلى زيادة تركيز الأيونات المتحررة من تلامس الماء في المسار الأطول مع النفايات لذا تُسجل أقل قيم لها في عصاره الأنبوب الأول. يظهر كذلك عدم انتظام في زمن الوصول إلى أعلى قيمة في كل أنبوب ويُعزى السبب إلى انخفاض سرعة تحلل عند زيادة عمق النفايات. تزيد أعلى قيمة للثاني عن نظيرتها في الأول بحوالي (14 %) ويُعزى السبب إلى ارتفاع عامل التخفيف في الأول، وبين الثالث والثاني بحوالي (23 %) وسبب هذه الزيادة المرتفعة هو تداخل أطوار التحلل لهذا ارتفعت النسبة حيث يزداد تركيز الأيونات الموصلة للكهربائية عند انخفاض وارتفاع الحامضية، وبين الرابع والثالث بحوالي (7 %) ويعود السبب إلى استمرار حامضية كلا الأنبوبين. اتفقت هذه النتائج مع أوردته في هذا المجال [17].

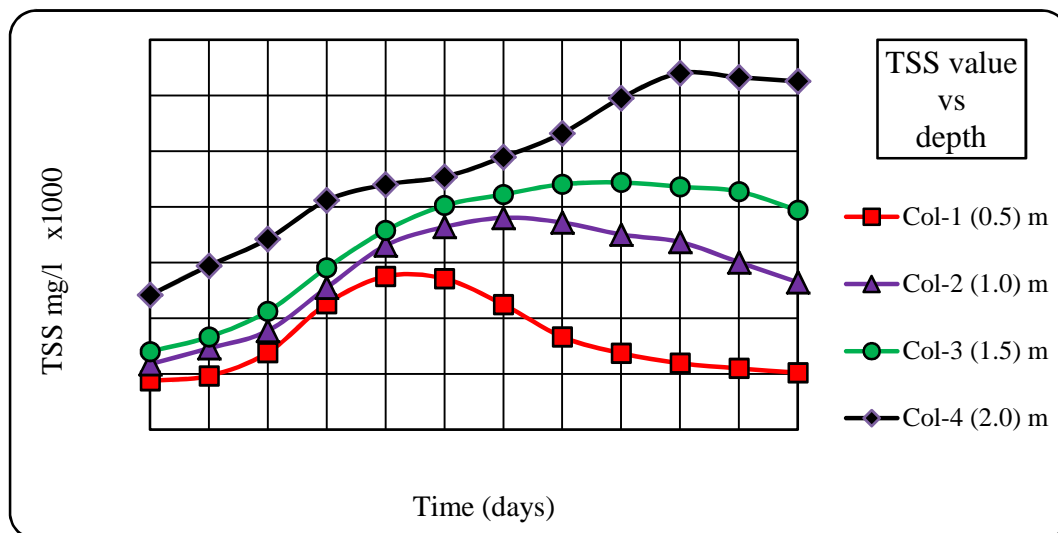


(6) تغير التوصيلية الكهربائية مع عمق النفايات

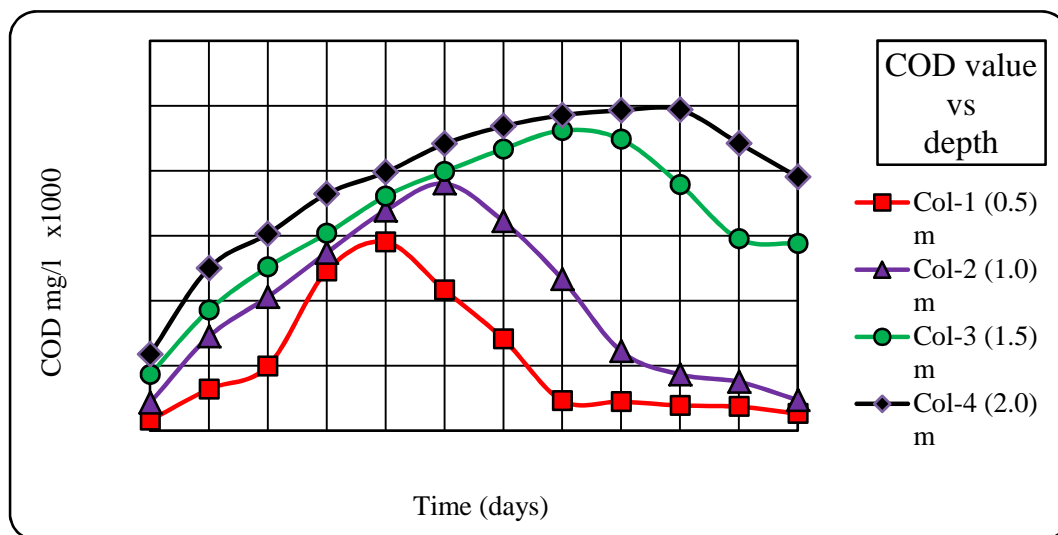
■ (TSS)

يُشير (7) أن تراكيز الأجسام الصلبة الكلية العالقة بلغت أعلى قيمة ومقدارها (1109.9 951.3 687.8 1600.7) ملغم/لتر في عصاره الأنابيب الأول والثاني والثالث والرابع بعد (50، 70، 90، 100) يوم على الترتيب. يظهر من هذه النتائج أن المواد العالقة تزداد عند زيادة عمق النفايات، ويُعزى السبب إلى زيادة تراكيز الدقائق المتكسرة والمفتتة (بتأثير التحلل أو الغسل) أثناء ملامسة الماء لمكونات النفايات في المسار الأطول. كما يختلف الزمن المستغرق للوصول إلى اعلى تركيز في كل أنبوب بسبب انخفاض سرعة تحلل النفايات. كذلك يتناقص تركيز المواد العالقة في كل أنبوب أثناء مدة الدراسة فينخفض مبكرا في الأنبوب الأول بسبب تأثير عامل التخفيف الواضح على هذا الأنبوب. تزيد أعلى قيمة في الثاني عن نظيرتها في الأول بحوالي (27 %) ويُعزى السبب إلى ارتفاع تأثير عامل الغسل في الأول، وبين الثالث والثاني

(14%) ويُعزى السبب إلى انخفاض حامضية الثاني، وبين الرابع والثالث بحوالي (30%) ويعود سبب هذه الزيادة العالية إلى ارتفاع حامضية الرابع والتي أدت إلى تآكل مستمر لمكوناته. اتفقت هذه النتائج مع [14].



(7) تغير تركيز الأجسام الصلبة الذائبة مع كثافة النفايات



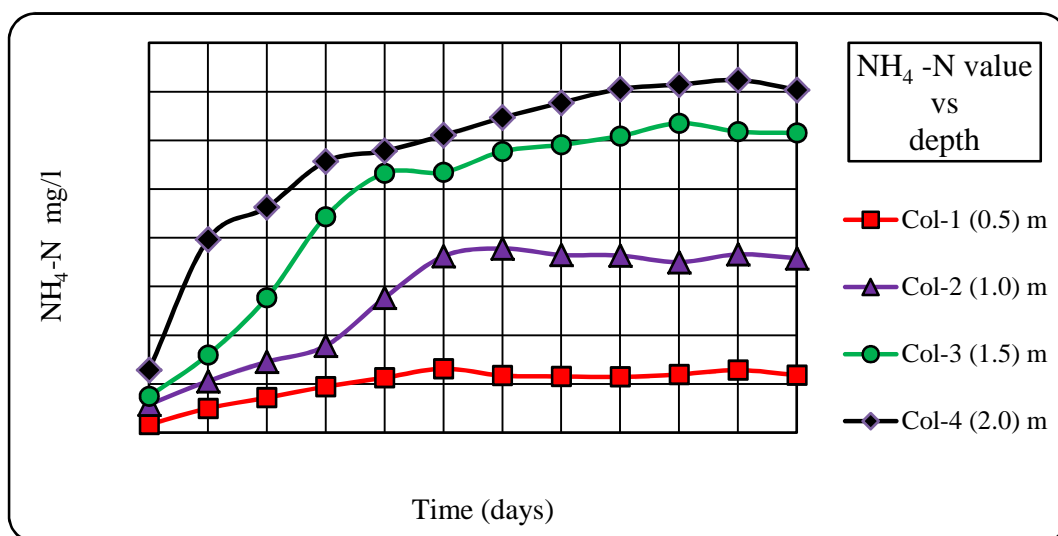
(8) تغير قيمة (COD) مع عمق النفايات

المتطلب الكيميائي للأوكسجين (COD)

تنخفض تراكيز المواد العضوية بمعدل أسرع من بقية المواد لقابليتها على التحلل ويبين (8) أنها تبلغ أعلى قيمة بمقدار (49190 46220 38050 29030) ملغم/لتر في عصارة الأنابيب الأول والثاني والثالث والرابع بعد (50، 60، 80، 100) يوم على الترتيب. يتضح أن تراكيز COD تنخفض في العصارة عند زيادة عمق النفايات، ويُعزى السبب إلى طول مسار الماء النافذ خلال النفايات. كما يتضح أنها تبلغ أعلى قيمة في أوقات مختلفة ويُعزى السبب إلى زيادة سرعة التحلل عند انخفاض حجم النفايات في الأنبوب، ثم تنخفض بمعدلات متغيرة ويعود سبب هذا إلى تأثير عامل التخفيف من جهة وإلى استنزافها أثناء التحلل من جهة أخرى حيث اعتبر [6] أنهما عاملان رئيسيان في تقليل تركيز المواد العضوية في العصارة فيزداد في الأنبوب الأول الذي يحتوي على أقل كمية. ترتفع أعلى قيمة للثاني عن نظيرتها في الأول بحوالي (23%) ويُعزى السبب إلى ارتفاع المحتوى المائي للأول ودخوله المبكر في طور الميثان، وبين الثالث والثاني حوالي

تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية في مواقع الدفن على كمية ونوعية العصارة

(17%) ويُعزى السبب إلى تداخل أطوار التحلل، وبين الرابع والثالث حوالي (6 %) سبب الزيادة القليلة يعود إلى ارتفاع حامضية الأنبوبين. اتفقت هذه النتائج مع [14].



(9) تغير الأمونيوم مع عمق النفايات

■ **الأمونيوم (NH₄ - N)**
يُسجل الأنبوب الأول في الشكل (9) أقل التراكيز للأمونيا في عصارة جميع نماذج مقارنة بالنماذج التي تقابله في بقية الأنبوب، وتبلغ أعلى قيمة لها ومقدارها (131.3، 378، 635.2، 713) ملغم/لتر في الأنبوب الأول والثاني (60 70 100 110) يوم على الترتيب. يتضح من الشكل أن تراكيز الأمونيوم عند زيادة عمق النفايات ويُعزى السبب إلى ارتفاع تركيز أيون الأمونيوم المتحرر من تحلل النفايات عند زيادة تماسها مع الماء. كما يتضح استقرار تركيز الأمونيوم مبكراً في الأول في إشارة إلى سرعة تحلل نفاياته وارتفاع تأثير عامل التخفيف. يتضح أيضاً أن تراكيزها تنخفض ببطء في كل أنبوب ويُعزى السبب إلى عدم تحللها بيولوجياً في الأطوار اللاهوائية حسب [23]، وأن انخفاضها البطيء ناتج عن تأثير عامل التخفيف والغسل الذي يظهر بشكل واضح كلما قل عمق النفايات. تزيد أعلى قيمة للثاني عن نظيرتها في الأول بحوالي (65 %) ويُعزى سبب هذه الزيادة المرتفعة إلى التأثير العالي لعامل التخفيف في الأول، ثم تبين الزيادة بين الثالث والثاني حوالي (40 %) والرابع والثالث حوالي (11 %) إلى انخفاض تأثير التخفيف عند ارتفاع عمق النفايات من جهة وإلى عدم انخفاض تركيز الأمونيوم عند انخفاض الحامضية من جهة أخرى لذا تعتبر من الملوثات الطويلة الأمد. تتفق هذه النتائج مع ما ورد في [15]، [17].

(3) - الموديل الإحصائي لتأثير المتغيرات على كمية وقوة العصارة

تم استخدام الموديل الإحصائي (Multiple Regression) حيث يتوافق مع الدراسة البحثية للمتغيرات (العمق، زمن التحلل) [14] باستخدام البرنامج (NCSS 2007, Version 07.1.16) لاستنباط معادلات عامة تربط بين نوعية وكمية العصارة والمتغيرين المذكورين، ولغرض تحديد معنوية كل متغير استخدمت طريقة جدول تحليل التباين (ANOVA) ضمن درجة ثقة مقدارها (5 %) وكما يلي :

■ كمية العصارة

يظهر تأثير زمن التحلل وكما موضح في الجدول (4) أكثر من عمق النفايات على كمية العصارة، حيث تسبب زيادة زمن التحلل وحدة واحدة ارتفاعاً بحوالي (0.65) وحدة بينما تزيد كميتها بحوالي (0.35) وحدة عندما يزداد عمق النفايات وحدة واحدة. ترتبط هذه المتغيرات مع كمية العصارة بعلاقة رياضية توضحها المعادلة (2)، ويوضح الجدول (5) أن كل من زمن التحلل وعمق النفايات يؤثران معنوياً على كمية العصارة الناتجة.

(4) تأثير العمق وزمن التحلل على كمية

Ln (Leachate)	Independent variable	Standardized Coefficient ()
	Intercept	0
	Ln(depth)	0.351
	1/time	0.651

$$\ln(\text{Leachate}) = 5.58 + 0.16 \times \ln(\text{depth}) + 0.214 \times \ln(\text{time}) \dots (2)$$

(5) تحليل التباين للمتغيرات ومعنوية تأثيرها على كمية العصارة

Model Term	DF	R ²	F Calculate	Prob Level	
Model Ln (leachate)	2	0.5473	27.207	% Less than 1	
Ln (depth)	1	0.1232	12.247	% Less than 1	Significant
Ln (time)	1	0.4236	42.108	% Less than 1	Significant
Error	45	0.4527			
Total(Adjusted)	47	1.0000			

تراكيز الأمونيوم (NH₄ - N)

يظهر تأثير العمق كما موضح في الجدول (6) أكثر من زمن التحلل على تركيز الأمونيوم في العصارة، حيث تسبب زيادة العمق وحدة واحدة ارتفاعاً في تركيز الأمونيوم بحوالي (0.82) وحدة بينما يزداد التركيز بحوالي (0.42) وحدة عند زيادة الزمن وحدة واحدة. (3) النموذج الرياضي للعلاقة. كما تم إدخال البيانات في تحليل التباين ليوضح أن المتغيرات معنوية التأثير (7).

(6) تأثير العمق وزمن التحلل على تركيز (NH₄-N)

NH ₄ -N	Independent variable	Standardized Coefficient ()
	Intercept	0
	depth	0.8196
	time	0.4196

$$NH_4-N = -241.99 + 335.97 \times \text{depth} + 2.86 \times \text{time} \dots (3)$$

(7) تحليل التباين للمتغيرات ومعنوية تأثيرها على تركيز (NH₄-N)

Model Term	DF	R ²	F Calculate	Prob Level	
Model (NH ₄ -N)	2	0.8903	182.553	% Less than 1	
Depth	1	0.6692	274.431	% Less than 1	Significant
Time	1	0.1754	71.947	% Less than 1	Significant
Error	45	0.1097			
Total(Adjusted)	47	1.0000			

تراكيز المتطلب الكيماوي للأوكسجين (COD)

يؤثر عمق النفايات وزمن تحللها بشكل فعال على تركيز (COD) في عصارة النفايات الصلبة، ويتضح أن التأثير الأكبر يكون لعمق النفايات حيث يرتفع تركيزه بحوالي (0.75) وحدة عندما يزداد عمق النفايات وحدة واحدة، ويرتفع تركيزه بحوالي (0.31) وحدة عندما يزداد زمن التحلل وحدة واحدة وكما في الجدول (8) وتوضح المعادلة (4) العلاقة الرياضية بين هذه المتغيرات كما يتضح أيضاً في الجدول (9) أن المتغيرات معنوية في تأثيرها.

تأثير عمق النفايات الصلبة البلدية في مواقع الدفن على كمية ونوعية العصارة :

(8) الموديل الرياضي لتركيز (COD)

COD	Independent variable	Standardized Coefficient ()
	Intercept	0
	Depth	0.7501
	Time	0.1312

$$COD = -3902.65 + 20502.16 \times depth + 58.75 \times time \dots (4)$$

(9) تحليل التباين للمتغيرات ومعنوية تأثيرها على تركيز (COD)

Model Term	DF	R ²	F Calculate	Prob Level	
Model (COD)	2	0.5846	31.666	% Less than 1	
Depth	1	0.5624	60.922	% Less than 1	Significant
Time	1	0.0172	1.865	% Less than 1	Significant
Error	45	0.4154			
Total(Adjusted)	47	1.0000			

الرقم الهيدروجيني (pH)

يوضح الجدول (10) أن تأثير عمق النفايات هو الأقوى على قيمة (pH) حيث يقل الرقم الهيدروجيني بمقدار (0.89) وحدة عندما يزداد عمق النفايات وحدة واحدة وهو تقريبا اربع أضعاف تأثير زمن التحلل حيث يزداد الرقم الهيدروجيني بحوالي (0.23) وحدة عند زيادة وتبين المعادلة (5) الصيغة الرياضية لارتباط هذه المتغيرات مع قيمة (pH). يبين الجدول (11) أن تأثير عمق النفايات وزمن تحللها معنويا على الرقم الهيدروجيني.

(10) الموديل الرياضي لقيمة (pH)

pH	Independent variable	Standardized Coefficient ()
	Intercept	0
	Depth	0.8866-
	Time	0.2301

$$pH = 7.07 - 1.56 \times depth + 0.007 \times time \dots (5)$$

(11) تحليل التباين للمتغيرات ومعنوية تأثيرها على قيمة (pH)

Model Term	DF	R ²	F Calculate	Prob Level	
Model (pH)	2	0.8293	109.276	% Less than 1	
Depth	1	0.7857	207.066	% Less than 1	Significant
Time	1	0.0529	13.950	% Less than 1	Significant
Error	45	0.1707			
Total(Adjusted)	47	1.0000			

(TSS)

يؤثر عمق النفايات بشكل أعلى من زمن التحلل كما في الجدول (12) فيرتفع تركيز المواد العالقة بحوالي (0.71) وحدة عند زيادة عمق النفايات وحدة واحدة وكذلك يزداد بحوالي (0.48) وحدة عند زيادة زمن التحلل وحدة وترتبط هذه المتغيرات بعلاقة ممثلة في المعادلة (6). كما يوضح الجدول (13) معنوية تأثير كل متغير إذ يتبين أن تأثيرهما معنويا على تركيز المواد الصلبة.

(12) الموديل الرياضي لتركيز (TSS)

TSS	Independent variable	Standardized Coefficient ()
	Intercept	0.0000
	depth	0.7102
	time	0.4812

$$TSS = -146.48 + 481.76 x \text{ depth} + 5.31 x \text{ time} \dots (6)$$

(13) تحليل التباين للمتغيرات ومعنوية تأثيرها على تركيز (TSS)

Model Term	DF	R ²	F Calculate	Prob Level	
Model (TSS)	2	0.7701	75.367	Less than 1 %	
depth	1	0.5031	98.469	Less than 1 %	Significant
time	1	0.2310	45.215	Less than 1 %	Significant
Error	45	0.2299			
Total(Adjusted)	47	1.0000			

- (1) يرتبط تركيز الملوثات في عصارة النفايات الصلبة بعلاقة طردية مباشرة مع عمق هذه النفايات كما يرتبط أيضا بعلاقة طردية على المدى القريب وعكسية على المدى البعيد مع زمن تحلل هذه النفايات.
- (2) ترتبط قابلية امتصاص النفايات للماء وسعة النفايات الحقلية (اقصى محتوى مائي مخزون) بعلاقة عكسية مع هذه النفايات وطردية مع زمن تحللها.
- (3) ترتبط كمية العصارة الناتجة من كمية ثابتة من النفايات صلبة بعلاقة عكسية مع عمق هذه النفايات وترتبط أيضا بعلاقة طردية على المدى القريب وعكسية على المدى البعيد مع زمن تحلل هذه النفايات.
- (4) يؤثر عمق النفايات اكثر من زمن تحللها عية العصارة الناتجة ويؤثر زمن هذه النفايات اكثر عمقا على كمية العصارة الناتجة.
- (5) يرتبط تأثير عامل التخفيف والغسل بعلاقة عكسية مباشرة مع عمق النفايات وعلاقة طردية مباشرة مع زمن تحلل هذه النفايات، كما ترتبط سرعة التحلل أيضا بعلاقة عكسية مباشرة مع عمق هذه النفايات.

- [1]. Bishop, P. (2000) "Pollution prevention", fundamentals and practice, McGraw-Hill press, New York, United States Of America.
- [2]. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. (1993) "Integrated solid waste management", engineering principles and management issues, 1st Ed, McGraw-Hill press, New York, United States Of America.
- [3]. Mudau, A., (2012), "A Laboratory investigation of the effects of water content and waste composition on leachate and gas generation from simulated MSW", Master Thesis, Witwatersrand University.
- [4]. AL- Touqi, S. (2012) "Modeling Leachate BOD and COD Using Lab Scale Reactor Landfills and Multiple Linear Regression Analysis", PhD Thesis, Texas University, Arlington.
- [5]. Imhoff, P.T., Reinhart, D.R., Englund, M., Gue´ Rin, R., Gawande, N., Han, B., Jonnalagadda, S., Townsend, T.G. and Yazdani, R. (2007) "Review of state of the art methods for measuring water in landfills", Waste Manage, 27, 729-745.
- [6]. Kjeldsen, P.; Barlaz, M.A.; Rooker, A.P.; Baun, A.; Ledin, A.; and Christensen T.H. (2002) "Present and long-term composition of MSW landfill leachate, a review" Critical reviews in environmental science and technology, 32(4):297-336.
- [7]. Reinhart, D. R. and Caroline J. G. (1998) "Analysis of Florida MSW landfill leachate quality data", University of central Florida civil and environmental engineering department.
- [8]. Chen, P. H. (1996) "Assessment of leachates from sanitary landfills, impact of age, rainfall and treatment" Environment International, 225-22(2),
- [9]. Brady, N.C. and Weil, R.R. (1999), "The nature and properties of soils", 12th Edition, Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

- [10].Kirkeby JT, Birgisdóttir H, Bhandar GS, Hauschild MZ, Christensen TH. (2007) "Modeling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program ease waste", *Waste Manag.* 27(7):961-70.
- [11].Warith, M. (2001) "Bioreactor landfills: experimental and field results", Amsterdam, Elsevier Science Ltd.
- [12].Al-Yaqout AF., Hamoda MF. (2003) "Evaluation of landfill leachate in arid climate" ,Case Study, Department of Civil Engineering, Kuwait University, *Environ Int.* aug,29(5):593-600.
- [13].Statom, R.A., Thyne, G.D. and Mccray, J.E. (2004) "Temporal changes in leachate chemistry of a municipal solid waste landfill cell in Florida", USA, *Environmental Geology* volume 45, number 7 982-991, DOI: 10.1007/s00254-003-09570 .
- [14].Tuffaha, B. R. (2006) "Impacts of solid waste leachate on soil and its simulation to ground water at Nablus area", (Master Thesis) Al-Najah National University, Nablus, Palestine.
- [15].Esakku, S., Karthikeyan, O. P., Joseph, K., Nagendran, R., Palanivelu, K., Pathirana, K.P.M.N., Karunarathna, A.K., and Basnayake, B.F.A. (2007) "Seasonal variations in leachate characteristics from municipal solid waste dumpsites in India and Srilanka", proceedings of the international conference on sustainable solid waste management, 5 - 7 September, Chennai, India. pp.341-347341
- [16].kasam , sarto, syamsiah, s., prasetyo, a., (2012), "effect of age of municipal solid waste on quantity and quality of leachate generation by column-landfill experiment", *international journal of pure and applied research in engineering and technology*, issn: 2319-507x, ijpret, 2012; volume 1(2): 11-21
- [17].Fatima, S., Rafiq, S. K., Hai, A. (2012) "Effect of depth and age on leachate characteristics of Achan landfill, Srinagar, Jammu and Kashmir, India", *Iosr journal of environmental science, toxicology and food technology (iosr-jestft)* ISSN: 2319-2402, isbn: 2319-2399. volume 2, issue 2, pp 04-11
- [18].Al- Rawi, S.M. (2007) "Selection, design, and management of solid waste sanitary landfill site(s) for Mosul City", *Arab science and technology foundation (ASTF)*, project en 20 contract no. 27-06.
- [19].Pheleps H., Heinke G., Jonkers J., Ouana E., and Vandecastel C. (1996) "Management of solid waste", Unesco-Col publication, Paris.
- [20].Vesilind, Aarne P., Worrell, W. and Reinhart D. (2002) "Solid waste engineering", United States of America, Brooks/Cole.
- [21].McGhee, T.J.; Steel, E.W. "Water Supply and Sewerage", McGraw hill International Book Company, Inc., New York. (1991)
- [22].Landva, A. O. and Clark, J. I. (1990) "Geotechnics of waste fill - theory and practice", ASTM, Stp 1070. ASTM. Philadelphia, pa., pp. 86-106.
- [23].Berge N.D., Reinhart D.R., Townsend T.G. (2005) "Fate of nitrogen in bioreactor landfills", *Crit. Rev. Env. Sci. technol.* 35, 365-399.