مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (2) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (2) 2017

تطوير عملية إدارة النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية باستخدام نظام System Dynamics

الدكتور هيثم شاهين*
الدكتورة سامية شيبان**
سماح عباس***

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2016. قُبِل للنشر في 19/ 3 / 2017)

□ ملخّص □

تواجه اللاذقية الآن الحاجة إلى تحديث نظام إدارة النفايات الصلبة البلدية وذلك وفقاً للزيادة الهائلة في إنتاج النفايات مع تزايد عدد سكان المدينة المفاجئ نتيجة حالة الإيواء بسبب الأزمة.

في هذه الدراسة استخدم النموذج الديناميكي الحاسوبي System Dynamics (SD) كمنهجية لتحليل نظام إدارة النفايات الصلبة البلدية الحالي، ولتطوير الاستراتيجية المستقبلية الأمثل. تم بناء النموذج بعد المقارنة بين سيناريو يأخذ بعين الاعتبار العاملين الأكثر تأثيراً بتوليد النفايات وه ما عدد السكان، والعامل الاقتصادي الذي يعبر عنه بالناتج الإجمالي المحلي كمؤشر لمستوى المعيشة وسيناريو أخر لا يأخذ العامل الاقتصادي المتراجع في ظل الأزمة (تنبأ بكمية نفايات 400 ألف طن/سنة للعام 2025) وتم اعتماد هذا السيناريو الأخير في النموذج بوصفه الأخطر. بناءً على نتائج النموذج الديناميكي من المتوقع انخفاض معدل إنتاج الفرد من النفايات من 1.1 قبل الأزمة إلى 0.8 كغ/للشخص .اليوم خلالها وزيادة في عدد السكان ليصبح 1452000 نسمة عام 2025. أظهر النموذج عجزاً في ميزانية إدارة النفايات الصلبة في الوقت الحالي يبلغ 50%. افترضنا زيادة تدريجية في كفاءة عملية تسميد النفايات من إنتاجية 10 طن يومياً في 2014 إلى 200 طن يومياً عام 2025، وزيادة فعالية التدوير من 15% إلى 45% في العام 2025 مما يغطي العجز في ميزانية الإدارة 100%، بالإضافة إلى عائد بسيط من عمليتي بيع المفروزات وإنتاج السماد.

الكلمات المفتاحية : System Dynamics– إدارة النفايات البلدية الصلبة– تقدير كمية النفايات الصلبة– النمذجة الديناميكية – الفرز– إنتاج السماد – الأزمة السورية – اللاذقية.

* استاذ– قسم الهندسة البيئية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
** مدرسة– قسم هندسة النظم البيئية– المعهد العالي لبحوث البيئة– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
*** طالبة دراسات عليا(ماجستير)– قسم هندسة النظم البيئية– المعهد العالي لبحوث البيئة–جامعة تشرين–اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (2) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (2) 2017

Developing the Process of Municipal Solid Waste Management in Lattakia City Using System Dynamics Model

Dr. Haytham shahin[*]
Dr. Samia Chiban[**]
Samah Abbas[***]

(Received 4 / 7 / 2016. Accepted 19 / 3 / 2017)

□ ABSTRACT □

Lattakia is now facing the need to renovate its Municipal Solid Waste Management system (MSWM), in accordance with the big increase in waste production, which is linked directly with the increasing number of city residents as a result of the crisis.

In this study a System Dynamics (SD) computer model has been used to analyze the current municipal solid waste management system (MSWMS), and to develop a future optimized management strategy. Model is built after comparison between one scenario that takes into account the most influencing factors in waste generation, Population P and economic factor as indicator of standard of living, expressed by the Gross State Domestic Product GSDP and another scenario that does not take the retreating economic factor because of the crisis (predicted waste quantity of 400 k.ton/ year for 2025). This last scenario has been adopted as the most critical scenario. According to the results of Dynamic model, it is expected that the per capita generation rate of waste is reduced from 1.1 to 0.8 kg / per. day in 2025 with an increase in population to become 1.452 million people. The model reveals a deficit in the budget of MSWM at present about 50%. Assuming a gradual increase in the efficiency of compost production from 10 tons daily in 2014 to 200 tons per day in 2025, and increasing sorting efficiency from 15% to 45% in 2025, the model predicts a 100% cover of solid waste budget deficit in addition to a revenue from sorting and compost production

Key words: System Dynamics- Municipal Solid Waste Management MSWM-Solid waste generation- Dynamic Modeling- Prediction- Sorting – Compost production- Syrian crisis- Lattakia.

[*]**Professor - environmental eng-Department- Tishreen university-Lattakia- Syria.**
[**] **Assistant Professor- Higher Institute of Environmental research-Tishreen. University- Lattakia-Syria.**
[***]**Postgraduate student - Higher Institute of Environmental research- Tishreen university-Lattakia-Syria.**

مقدمة:

تفاقمت مشكلة النفايات في مدينة اللاذقية بسبب سوء الإدارة، وعدم إتباع نظام متكامل لإدارتها على مستوى الجمع والنقل والترحيل والمعالجة، وعدم استيعاب الكميات المتزايدة من النفايات في السنوات الأخيرة، بسبب تزايد عدد سكان المدينة المفاجئ الناتج عن نزوح أعداد كبيرة من الوافدين إليها نتيجة الظروف التي تسيطر على البلاد؛ مما ترتب عليه زيادة في كمية النفايات الصلبة المتولدة، وترافق ذلك مع افتقار الطرق المتبعة في معالجة النفايات والتخلص منها للدراسة الشاملة والكافية والمتناسبة مع الواقع، كل ذلك أدى إلى تراكم النفايات لتصبح مشكلة النفايات الصلبة البلدية حادة حيث أن الوسائل المتاحة حالياً غير قادرة على استيعاب أو معالجة كمية النفايات المتولدة [1].

تتمثل المشكلة الرئيسية التي تواجه صانعي القرار في إدارة النفايات الصلبة البلدية في كيفية التنبؤ بكميات النفايات الصلبة البلدية Municipal Solid Waste (MSW) المحتمل تولدها في المستقبل القريب وذلك بهدف وضع الاستراتيجية الأكثر ملائمة لإدارة النفايات الصلبة البلدية. Municipal Solid Waste Management (MSWM)، وهذا يمكن التوصل إليه من خلال النمذجة التنبؤية (Predictive models) [2].

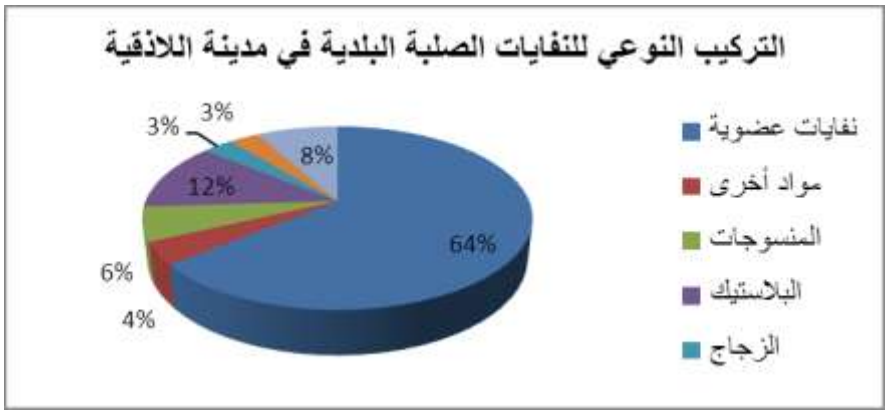
في الحقيقة إن إدارة النفايات في مدينة اللاذقية تقتصر على عمليات الجمع والترحيل ليتم التخلص منها في أماكن غير نظامية وبدون أخذ بالاحتياطات الفنية التي تكفل حماية عناصر البيئة، كما أن الواقع البيئي الحالي لمكب البصة والذي يعاني من تراكم النفايات بشكل كبير منذ أكثر من عامين والذي وصل إلى الحد الأقصى حسب المعطيات والدراسات الرسمية، فهو يستقبل يومياً أكثر من 800 طن من النفايات لتتحول المنطقة إلى جبال منها، بالإضافة إلى انتشار الأكياس والنفايات البلاستيكية المتناثرة بفعل الرياح وأعمال النبش والتي أدت إلى توسيع رقعة التلوث واندلاع الحرائق بشكل مستمر في المكب وخصوصاً في فصل الجفاف مما يؤدي إلى انتشار الغازات السامة والضارة بالبيئة [3] .

كما حددت درجة الخطورة البيئية لمكب البصة من أصل مجموع درجات الحد الأقصى للخطورة وفق السلم بـ28 درجة من أصل 30، [4]. لذلك كان لابد من النهوض بواقع إدارة النفايات من خلال الوقوف على المعوقات واقتراح الحلول المناسبة لها.

تقع مسؤولية إدارة النفايات الصلبة في مدينة اللاذقية رسمياً على عاتق مديرية النفايات الصلبة، بالإضافة إلى مجلس مدينة اللاذقية (دائرة النظافة).

إن أهم مصادر (MSW) في مدينة اللاذقية من المنازل، وأي نوع آخر من النفايات المشابهة في تركيبها للنفايات المنزلية والناتجة عن الأسواق، والمحلات التجارية والورش الصغيرة والمرافق العامة، و المؤسسات التجارية، الصناعية، الإدارية، التعليمية وتشمل أيضاً نفايات كنس الشوارع، والساحات والحدائق العامة [4].

تتميز النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية بارتفاع محتواها من المواد العضوية (الشكل 1).



الشكل (1) التركيب النوعي للنفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية [4].

ترتبط كمية النفايات الصلبة المتولدة عادة بعلاقة طردية مع عدد السكان Population(P)، (الجدول 1) [5] ومع مستوى المعيشة الذي يعبر عنه بقيمة الناتج المحلي الإجمالي Gross State Domestic Product (GSDP) وهي تحدد قابلية استهلاك السكان للبضائع والمنتجات.

جدول (1) يبين عدد السكان وكمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة الفعلية في مدينة اللاذقية [5].

العام	P (نسمة)	(MSW)g (t/y)
2010	418452	146000
2011	432417	177000
2012	439834	180000
2013	447252	190000
2014	1200001	306600
2015	1209375	365000

استخدام وتطبيقات النموذج الحاسوبي System Dynamics (SD):

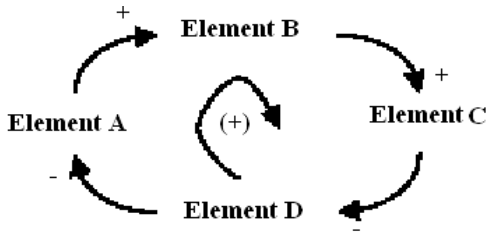
System Dynamics (SD) هو منهجية لفهم وتحليل الأنظمة المعقدة التي تتغير مع الوقت. وتركز هذه المنهجية على مبدأ أن كمية واحدة يمكن أن تؤثر على كميات أخرى من خلال تدفق المعلومات والقيم [6].

قدِم SD في الستينيات من قبل المهندس جي فورستر Jay Forrester في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا(Massachusetts Institute of technology)[7]. حيث يعد كمنهجية للنمذجة والمحاكاة بهدف صنع القرارات على المدى الطويل في مشاكل الإدارة الصناعية [8]. وهو يتطلب بناء فريد من نوعه يعتمد على حلقات التغذية الراجعة، التي تعرف بأنها انتقال ودوران المعلومات ضمن النظام الواحد بهدف تصحيح الأخطاء. فهي تساهم في تعديل سلوك النظام من خلال تقويم نتائجه لرفع جودة وتحسين الأداء [9].

تم تحويل مخطط التغذية الراجعة أو مايسمى مخطط الحلقات السببية إلى مخطط التراكم والتدفقات الذي يشرح فيزيائية النظام وذلك لتطوير النموذج الكمي [10]. تظهر هذه المخططات العلاقات المتبادلة بين العناصر المكونة للنظام، وتسهل فهم التأثيرات السببية بينها بشكل أوضح من الوصف اللفظي.

يستخدم SD في مجالات متعددة (الاجتماعية – الاقتصادية– الزراعية– السياسية .....) [11]، وذلك من أجل مساعدة صانعي القرار في فهم الأنظمة المعقدة مثل صنع القرار السياسي [12] ، وأنظمة التأثيرات البيئية [13]، وفي مجال الانبعاثات الغازية والانحباس الحراري [14]، وتخطيط موارد المياه [15]، والتخطيط والإدارة البيئية [16]، وفي مجالات النمذجة البيئية [17]، وفي الدراسات الخاصة بقيمة المحافظة على المياه [18]، وتأثير القضايا البيئية على المدى الطويل وفي مجالات التنمية المستدامة الزراعية البيئية[19]،[20]، وأيضاً في إدارة النفايات الصلبة [21].
يتم بناء النموذج وفق الخطوات التالية:

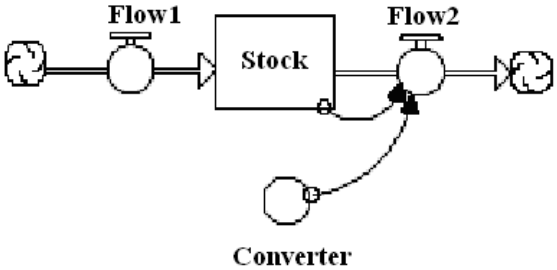
1. تحديد المشكلة والتعريف بأهم العناصر المكونة للنظام.
2. رسم مخطط الحلقات السببية، والذي يعتمد على العناصر المكونة للنظام والأسهم والتي تدعى (Causal Links) أي الروابط السببية، فكل سهم أو قوس يشير إلى تأثير أحد العناصر على الآخر وهذا التأثير يعتبر إيجابي اذا كان الزيادة في أحد العناصر تسبب زيادة في العنصر الآخر، ويعتبر سلبياً إذا كانت زيادة أحد العناصر سبباً في نقصان الآخر(الشكل2).



الشكل(2) مخطط الحلقات السببية

3. رسم مخطط التراكم والتدفقات، وهو يمثل الشكل الكمي للنموذج ويتألف من العناصر الرّئيسيّة الأربعة في SD software، (الشكل3).

التراكم (Stock): تمثل المكوّن الحسابي للنّظام مثل كميّة النّفايات المتولّدة وعدد السّكان.
التّدفقات (Flow): تمثل المجال الّذي يتغيّر فيه المكوّن مثل معدل إعادة التّدوير.
المتحولات (Converter): ممكن أن تكون قيمة واحدة أو على شكل معادلة متغيّرة مع الزّمن.
الرّوابط (Links) :تظهر العلاقة بين العناصر المكوّنة للنّظام.



الشكل(3) مخطط التراكم والتدفقات

4. كتابة المعادلات التي تصف العلاقة بين المكونات.
5. تخمين القيم الابتدائية للتراكمات والمتحولات باستخدام الطرق الإحصائية أو رأي الخبراء أو من المصادر الرسمية المختصة.
6. محاكاة النموذج وتحليل النتائج.

هذا وقد ركزت العديد من الدراسات والأبحاث على أهمية استخدام نظام System Dynamics لتوقع كميات النفايات الصلبة في المناطق الحضرية ذات إمكانية النمو الاقتصادية [11].

وفي دراسات أخرى استخدم نظام System Dynamics لتوقع العلاقة بين نمو السكان ومعدل تولد النفايات الصلبة البلدية وكذلك معدل توليد الكهرباء من طرق معالجة MSW، ولتحديد العائد المالي الممكن تحصيله والميزانية المطلوبة لمعالجة هذه النفايات [1].

بينت عدة دراسات أن التخطيط لإدارة مستدامة للنفايات الصلبة البلدية يجب أن يحقق عدة قضايا مترابطة مثل سعة المطمر (المكب النهائي)، التأثيرات البيئية، والإنفاق المالي، وأن نظام SD صمم لمعالجة مثل هذه القضايا [22].

إن التنبؤ بكمية النفايات الصلبة البلدية هي المحرك الأساسي في نظام إدارة النفايات الصلبة البلدية Municipal Solid Waste Management System (MSWMS) حيث يستخدم التنبؤ بعدد السكان كمؤشر لتوقع كمية MSW. كما تستخدم العلاقة بين إجمالي الناتج القومي Gross National Product (GNP) وحجم MSW كمؤشر قوي للتنبؤ بكمية MSW، حيث تبين أنه وبزيادة GNP تزداد كمية MSW باعتبار أن GNP هو دليل على التطور الاقتصادي للبلاد وعلى ازدياد نسبة المواد الأولية المستهلكة والمصنعة [23].

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من الحاجة الضرورية لنظام إدارة متكاملة للنفايات الصلبة في مدينة اللاذقية، وحتى الآن لا يوجد في سوريا نظام حاسوبي لتقدير كمية النفايات الصلبة المتولدة والتي بناءً عليها يتم وضع خطة متكاملة لإدارة النفايات الصلبة التي لها انعكاس ايجابي على النواحي البيئية والاقتصادية والاجتماعية، أي التأكد من أن إدارة النفايات البلدية الصلبة آمنة بيئياً «التخلص الآمن والمستدام».

تتمثل أهداف البحث في النقاط التالية:

1. تشخيص الوضع الراهن لمشكلة (MSW) في مدينة اللاذقية من خلال دراسة وتحليل كمية ونوعية النفايات المتولدة والعوامل المؤثرة فيها.

2. معالجة المعطيات المتعلقة بمشكلة النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية بين عامي 2010 و 2015 باستخدام (Microsoft Excel).

3. تطوير نموذج للتنبؤ بكمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة، وعلاقتها بالعوامل الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، وللتنبؤ بالميزانية المطلوبة لـ(MSWM) بين عامي 2015 و 2025 بهدف وضع استراتيجية ملائمة لـ(MSWM) في مدينة اللاذقية.

طرائق البحث ومواده:

الخطوة الرئيسية من(SD) هو التعريف بالمشكلة المدروسة والإحاطة بكافة جوانبها، وجمع المعلومات والبيانات المتعلقة بها حيث يتم ربطها مع بعضها ضمن نظام ديناميكي يعتمد بشكل أساسي على مبدأ التغذية الراجعة (Feedback) حيث يتم تحويل النظام الديناميكي المدروس إلى مخطط الحلقات السببية ويرمز له بـ (Causal Loop Diagram) (CLD)، ومخطط التراكم والتدفقات ويرمز له بـ (Stock– Flow Diagram) (SFD)، توضح هذه

المخططات العلاقات بين المتحولات في النظام بهدف فهم أفضل لبنائه. كل ذلك يتم بعد الاطلاع على الدراسات السابقة المتعلقة بمشكلة البحث وبعد جمع المعطيات والبيانات التي تشكل المتحولات الرئيسية المكونة للنظام.

في هذه الدراسة تم استخدام برنامج Powersimstudio 2005 لتحليل (MSWMS) في مدينة اللاذقية، الذي تم تحميله من صفحة Powersim software: http://powersim.com، وقد استخدم في هذه الدراسة المنهج التاريخي والوصفي التحليلي الذي يتيح إمكانية الدراسة التحليلية لمختلف جوانب الظاهرة في وصف المشكلة وتحليلها والتوصل إلى النتائج المطلوبة وتفسيرها وتقديم المقترحات.

المعالجة الإحصائية لمعطيات إدارة النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية:

بهدف تقدير كميّة النّفايات المتولّدة تم وضع نماذج تحاكي الواقع بهدف دراستها وتحليلها واعتماد السّيناريو الأخطر.

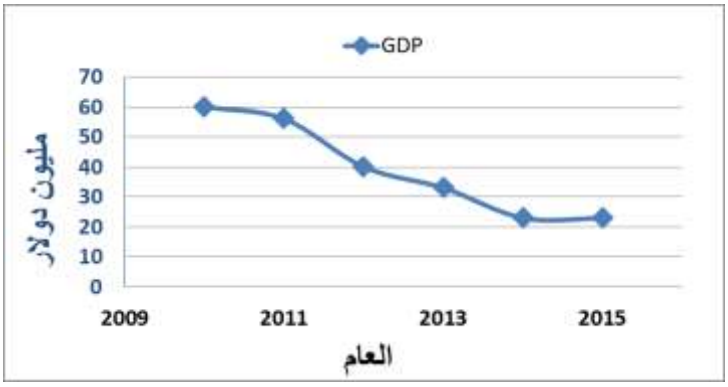
1. السيناريو الأول: تشخيص واقع MSW لمدينة اللاذقية بين عامي 2010- 2015 في ظل الأزمة:

تم الاخذ بعين الاعتبار عدة عوامل مؤثرة في توليد النفايات مثل عدد السكان P والعامل الاقتصادي GSDP.

يبين الشكل (4) العلاقة بين عدد السكان وكمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة في مدينة اللاذقية بين عامي 2010-2015.

الشكل(4) يبين العلاقة بين عدد السكان وكمية النفايات المتولدة في مدينة اللاذقية

تبين كل الدراسات أن كمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة تتعلق بالازدهار الاقتصادي للبلد والذي يعبر عنه بقيمة الناتج الإجمالي المحلي (GSDP)، ونظراً للأزمة التي تتعرض لها سورية في الوقت الحالي فإنه كان من الصعوبة تحديد قيمة (GSDP) بشكل دقيق بعد عام 2010، لذلك تم الاستعانة بتقرير اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغرب آسيا (الإسكوا) الذي افترض انخفاض واضح لقيمة الناتج المحلي الإجمالي منذ بداية الأزمة في سوريا، (الشكل5) [24].



الشكل(5) يبين قيم الناتج المحلي الإجمالي في سوريا [24].

تم التنبؤ بعدد السكان من العام 2015 حتى عام 2025 اعتماداً على القيم الواردة في الشكل(4) وبالاستعانة ببرنامج الإكسل، وذلك بإضافة خط انحدار أسي وهو الأكثر مناسبةً لأنه لا يعطي قيم سالبة في هذا النوع من التنبؤ. فحصلنا على المعادلة التالية:

$$P = 0.1875 \cdot e^{0.0078Y} \qquad (1)$$

حيث يمثل P عدد السكان، Y العام. كما تمكنا من التنبؤ بقيمة GSDP من العام 2015 حتى عام 2025 بإضافة خط اتجاه (خطي) للشكل(5) ليعبر عن القيم في الجدول (2) فحصلنا على المعادلة التالية:

$$GSDP = -8.3143 \cdot Y + 16772 \qquad (2)$$

بتطبيق المعادلتين (1) و(2) نحصل على قيم P و GSDP كما في جدول(2). من الجدير بالملاحظة أن الاستقراء الرياضي لقيمة الناتج المحلي الإجمالي وفق المعطيات الحالية وحسب المعادلة (2) يعطي قيماً سالبة بدءاً من العام 2017 وهي نتيجة غير منطقية ولا يمكن الاعتماد عليها كعامل مؤثر في كمية النفايات. تأتي صعوبة التنبؤ بالناتج المحلي الإجمالي في السنوات القادمة من عدم الاستقرار الذي تشهده كافة القطاعات بسبب الأزمة. من الجدير ذكره بكل الأحوال أن التغير المفاجئ للناتج المحلي الإجمالي لن يتبعه تغير سريع في كمية النفايات المتولدة وذلك لأن عادات الاستهلاك للسكان تتغير بوتيرة اكثر بطأً ويبقى عدد السكان هو العامل الحاسم في حساب كمية النفايات.

بكل الأحوال، لحساب قيمة النفايات الصلبة البلدية المتولدة Municipal Solid Waste Generation ((MSW)g)، اعتماداً على P و GSDP نطبق معادلة ارتباط متعدد من الشكل:

$$(MSW)g = a_1 \cdot P + a_2 \cdot GSDP + a_3$$

وباستخدام طريقة المربعات الصغرى في برنامج الإكسل نجد أن معادلة الارتباط المتعدد تأخذ الشكل:

$$(MSW)g = 0.179P - 1030.94GSDP + 144010.8 \qquad (3)$$

كانت قيمة معامل الارتباط (R^2= 0.95).

ولحساب معدل تولد النفايات كل خمسة أعوام، كما هو الحال بين عامي 2010 و 2015 نطبق المعادلة التالية:

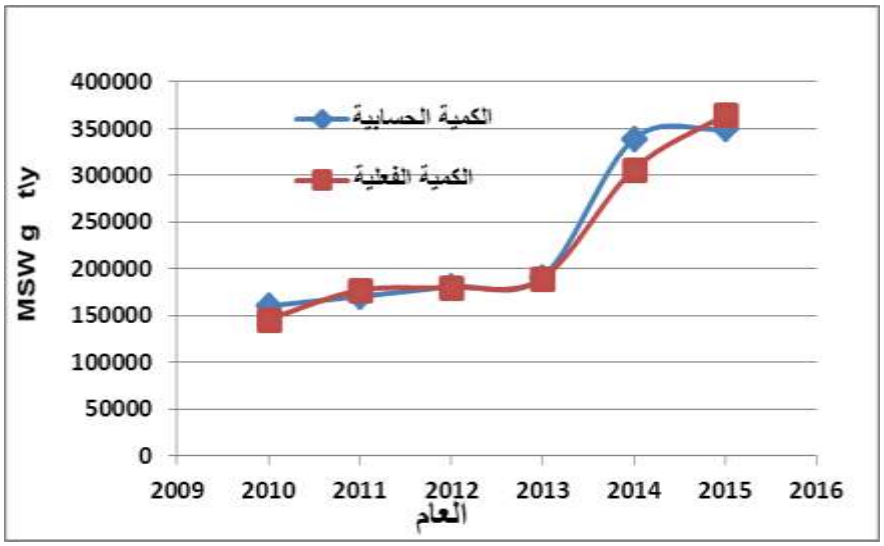
$$\frac{100}{5} * \frac{(MSW)g_{2015} - (MSW)g_{2010}}{(MSW)g_{2010}} \qquad (4)$$

وبالتالي يمكننا حساب معدل انتاج الفرد الواحد من النفايات بقسمة قيمة النفايات المتولدة في العام الواحد على عدد السكان في العام نفسه.

تم تمثيل قيم العامين 2010 و 2015 في الجدول (2) ورسم المخطط الذي يبين التقارب بين قيم النموذج الحسابي والقيم الفعلية لكمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة في مدينة اللاذقية (الشكل6).

جدول(2) يبين الكميات المحتملة للنفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية حسب السيناريو الأول.

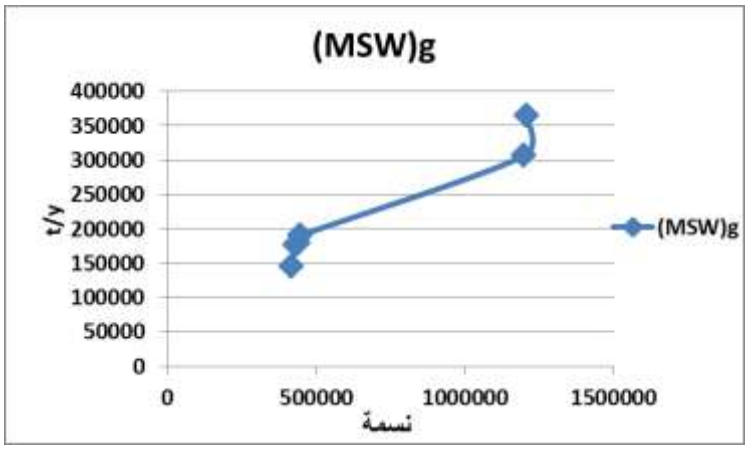
العام	P نسمة العلاقة(1)	GSDP مليار دولار العلاقة(2)	(MSW)g (t/year) العلاقة(3)	(MSW)g (t/day)	معدل تولد النفايات % العلاقة(4)	معدل تولد النفايات للشخص الواحد Kg/p*day
2010	438000	60.25	160000	438	-	1
2015	1255000	18.6	349000	956	23.6	0.8



الشكل(6) مقارنة بين كميات النفايات الصلبة الحقيقية ونتائج نموذج الارتباط المتعدد (معادلة 3) بين عامي 2010 و 2015

2. السيناريو الثاني: تشخيص واقع MSW لمدينة اللاذقية بين عامي 2010-2015 في ظل الأزمة ولكن دون إدخالGSDP.

يعتمد هذا السيناريو على إغفال العامل الاقتصادي المتمثل بـ GSDP نظراً لصعوبة تقديره بشكل دقيق في ظل الأزمة الحالية، حيث لا يمكن بناء نموذج للتنبؤ بأي عنصر استناداً إلى قيمة غير دقيقة في الوقت الحالي. تم حساب قيم العناصر الداخلة في (MSWM) حتى عام 2025، حيث تم حساب P من العلاقة(1) في السيناريو الأول، أما (MSW)g فقد حسب بعد رسم خط انحداري أسي فحصلنا على المعادلة (5) الشكل(7).



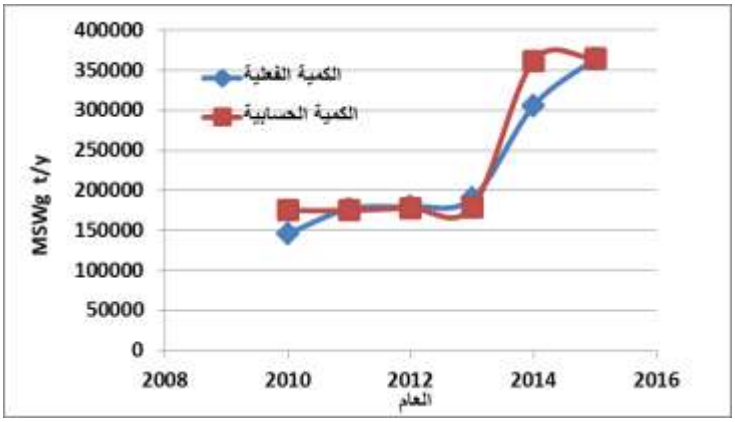
الشكل(7) العلاقة بين عدد السكان وكمية النفايات المتولدة

$$(MSW)g = 118171 \cdot e^{9 \cdot P \cdot 10^{-7}} \qquad (5)$$

جدول(3) يبين قيم العناصر الداخلة في MSWM في مدينة اللاذقية حتى عام 2025 حسب السيناريو الثاني.

العام	P نسمة العلاقة(1)	(MSW)g (t/year) العلاقة(5)	(MSW)g (t/day)	معدل تولد النفايات % العلاقة(4)	معدل تولد النفايات للشخص الواحد Kg/p*day
2010	438000	175000	479	–	1
2015	1255000	365000	1000	21.7	0.8
2020	1305000	382000	1046	0.92	0.8
2025	1357000	400000	1095	0.93	0.8

تم رسم المخطط الذي يبين التقارب بين قيم النموذج الحسابي والقيم الفعلية لكمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة في مدينة اللاذقية حسب السيناريو الثاني(الشكل8).



الشكل(8) مقارنة بين كميات النفايات الصلبة الحقيقية ونتائج النموذج حسب السيناريو الثاني بين عامي 2010 و 2015

تم حساب العناصر الأخرى في النظام المدروس بالعلاقات التالية:

- كمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة MSW Generated ، g(MSW): وتقدر بـ طن/اليوم

$$(MSW)g = P*(MSW)gpc \qquad (6)$$

حيث أن P هو عدد السكان ويقدر بـ نسمة، و gpc(MSW) هو معدل انتاج الفرد الواحد من النفايات ويقدر بـ كغ/الشخص* اليوم.

- كمية النفايات الصلبة البلدية المجمعة MSW Collected ، $(MSW)c$: وتقدر بـ طن/اليوم

وهو يعبر عن كمية النفايات المتبقية التي تجمع للإزالة النهائية، وهي تتعلق بكفاءة الجمع Collection Efficiency ($Ceff$) وبكمية النفايات القابلة لإعادة التدوير MSW Recycled والتي يتم جمعها حالياً من قبل النباشين وبصفة غير رسمية ويرمز لها بـ r(MSW)، فكلما ازدادت كمية r(MSW) كلما نقصت كمية c(MSW)، تتعلق كمية النفايات المعاد تدويرها بنسبة إعادة التدوير Recyclables Fraction (Rfr)، وكفاءة إعادة التدوير Recycling Efficiency (Reff) ومتأثرة بمعدل النمو السنوي لـ(Rfr).

un(MSW) وهي النفايات المتبقية من دون جمع Municipal Solid Waste Uncollected لأنها غير قابلة للتدوير فلا تُؤخذ من قبل النباشين ولم تُجمع من قبل السيارات الضاغطة فتبقى متناثرة في كل ركن و زاوية أو حول الحاويات. تحدد العلاقات التالية c(MSW)، r(MSW)، un(MSW):

$$\begin{aligned}(MSW)c &= Ceff*\left((MSW)g-(MSW)r\right)\\ (MSW)r &= Rfr*Reff*(MSW)g\end{aligned} \qquad (7)$$

$$(MSW)un = (MSW)g-\left((MSW)C+(MSW)r\right)$$

- كمية النفايات القابلة للتسميد Municipal Solid Waste Composted, $(MSW)comp$: وتقدر بـ طن/اليوم وهي تعتمد بالدرجة الأولى على تركيب النفايات المتولدة وعلى نسبة النفايات العضوية فيها.
- كمية النفايات المطمورة Municipal Solid Waste Disposal, $(MSW)dis$: وتقدر بـ طن/اليوم

$$(MSW)dis = \left((MSW)c-(MSW)comp\right) \qquad (8)$$

النتائج والمناقشة:

تطوير نموذج System Dynamics لإدارة النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية:

مخطط الحلقات السببية

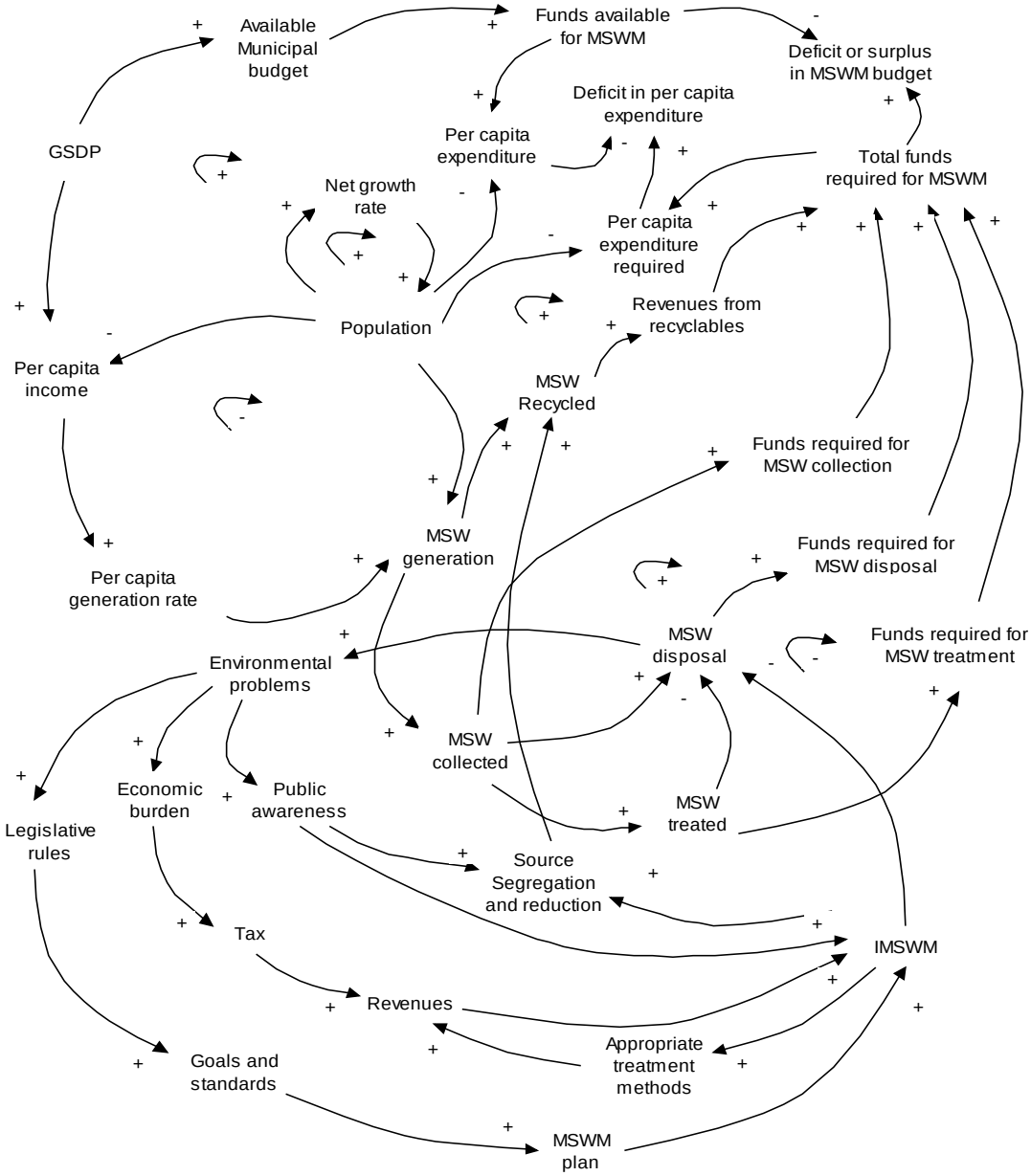
يظهر مخطط الحلقات السببية الشكل(9) العلاقات بين العناصر الأساسية المكونة لـ MSWM في مدينة اللاذقية والعوامل المؤثرة فيه، حيث يتبين أن كمية MSW المتولدة تزداد بازدياد P و(GSDP للشخص الواحد). إن عدد السكان يتأثر بعدة عوامل منها المعدل السنوي للنمو السكاني، كلما زاد عدد السكان زادت كمية النفايات الصلبة المتولدة من جهة و نقص دخل الفرد السنوي من جهة أخرى، حيث أن دخل الفرد السنوي يزداد بدوره بزيادة قيمة

GSDP، إن كمية النفايات المتولدة التي كانت نتيجةً لزيادة P و GSDP أصبحت سبباً في زيادة كمية النفايات القابلة لإعادة التدوير r(*MSW*) والتي تتأثر بدورها بكفاءة إعادة التدوير وبنسبة الفرز، وزيادة كمية النفايات المتولدة تسبب زيادة في كمية النفايات التي يتم جمعها c(*MSW*)؛ النفايات المجمعة تنقص بزيادة نسبة وكفاءة عمليات الفرز وتزداد بزيادة كفاءة عمليات الجمع، أما النفايات القابلة للمعالجة كتحويلها إلى سماد تُنقص بدورها النفايات المطمورة dis(*MSW*)التي يتم التخلص منها في المكبات النهائية، لكل من هذه العمليات دورها في ميزانية الإدارة.

يُظهر (الشكل9) أيضاً أن الإدارة غير المناسبة لـMSW المتولدة لها تأثير سلبي على البيئة (Environmental problems) كما وتسبب زيادة في قيمة الكلفة المطلوبة لهذه الإدارة، وعجز في ميزانية البلديات،

لذلك كان لابد من تطبيق إدارة متكاملة للنفايات الصلبة البلدية Integrated Municipal Solid Waste Management (IMSWM)، تهدف إلى وضع استراتيجية تشمل الجوانب القانونية والاقتصادية والاجتماعية، فالقوانين تضع الأهداف والمعايير لتنظيم وتحديد طرق المعالجة، وتساهم في وضع خطة إدارية متكاملة، كما وأن المشكلات التي تسببها الإدارة غير المناسبة للنفايات تشكل عبئاً اقتصادياً، بينما تنظيمها يحقق عائداً يغطي النفقات ويسد العجز في الميزانية، ويتحقق ذلك باختيار الطريقة الأمثل للمعالجة والتي تعود بمردود مادي يغطي كلف إدارة النفايات.

إن زيادة الوعي البيئي هو جزء هام في نظام إدارة النفايات فهو يساعد على تقليص كمية النفايات المتولدة عن طريق الفرز من المصدر وبالتالي توفير في كلفة عملية التخلص منها.



الشكل(9) يبين مخطط الحلقات السببية لـ MSWMS

استخدام System Dynamics لنمذجة MSWM في مدينة اللاذقية حتى عام 2025:

تم اختيار السيناريو الثاني لأنه السيناريو الأخطر من حيث كمية النفايات المتولدة وبالتالي لوضع الخطة الأكثر شمولية والتي تناسب كل المتغيرات الممكنة في النظام، وهو يأخذ بعين الاعتبار الظروف الحالية لـ MSWM في مدينة اللاذقية ابتداءً من عام 2014 باعتبارها القيم الابتدائية للنموذج. يظهر الشكل(10) مخطط التراكم والتدفقات، وهو الشكل الكمي للمخططات المستخدمة في SD حيث يحدد الكميات الأساسية للعناصر الداخلة في النظام بدءاً من العام 2014 والتي بناءً عليها تُحسب الكميات المحتملة حتى عام 2025 بأخذ خطوات زمنية محددة.

بلغ عدد السكان في مدينة اللاذقية عام 2014 (1200001 نسمة)، وسيبلغ عام 2025(1452000 نسمة) مع الأخذ بعين الاعتبار عدد الوافدين من خارج المحافظة. معدل تولد *MSW* للشخص الواحد في مدينة اللاذقية (0.8

كغ/اليوم) في عام2014 جدول(3). إن ناتج ضرب *P* مع معدل انتاج الفرد من *MSW* تعطي كمية *MSW* المتولدة في الفترة المدروسة، كما تم تخمين نسبة النفايات القابلة لإعادة التدوير كنسبة مئوية من كمية النفايات المتولدة بـ (20-25)% [25].

اعتبرت القيمة الأساسية لـ r(*MSW*) 25% من كمية g(*MSW*) في عام 2014، مع افتراض كفاءة التدوير=15% [25]، والتي افترضنا زيادتها التدريجية لتبلغ 45% عام 2025 حيث أن نظام إعادة التدوير الحالي لا يندرج تحت سلطة رسمية بل يعتمد على ما يتم جمعه من قبل النباشين وعمال النظافة. بالاعتماد على المعلومات السابقة حول كمية r(*MSW*) تم تقدير كمية النفايات التي يتم جمعها باعتبار كفاءة الجمع 65% عام 2014 [25]، ومن ثم حساب كمية النفايات التي تبقى خارج الجمع والسيطرة.

لفهم هذا المخطط نأخذ كمثال زيادة نسبة إعادة التدوير Recyclables Fraction وهو يمثل الجزء التراكمي في المخطط (يمين الشكل 10) اعتماداً على قيمة ثابتة لمعدل النمو السنوي لتدوير النفايات Annual Recyclable Fraction Growth Rate وهي بدورها تؤثر على معدل الزيادة في التدوير Recyclable Growth Rate الذي يمثل التدفق في المخطط، ثم إن نسبة إعادة التدوير تؤثر بدورها على كمية النفايات المدوَرة MSW Recycled بالإضافة إلى أنها تتأثر بعناصر أخرى مثل كفاءة التدوير Recycling Efficiency. لإيجاد العلاقة بين العناصر في هذا النظام الديناميكي حتى عام 2025،يُطبق البرنامج طريقة الفروق المنتهية (طريقة أولر المباشرة) لحل المعادلات التي تربط عناصر مخطط التراكم والتدفقات حيث اخترنا خطوة زمنية مقدارها سنة للحصول على ديناميكية العناصر الداخلة في هذا النظام.

تفتقر مدينة اللاذقية حتى الآن إلى وجود المطامر المجهزة بصورة تضمن حماية الصحة العامة والبيئة والمياه الجوفية، فضلاً عن الإفتقار إلى مرافق الفرز والمعالجة التي من شأنها الخفض الجذري لحجم النفايات الواجب طمرها.

تعتمد الميزانية المطلوبة لـ MSWM على ما يكلفه الجمع والترحيل بصورة رئيسة وعلى كلف عمليات الصيانة للسيارات الضاغطة وهذا يستهلك 80% تقريباً من الميزانية المخصصة [25].

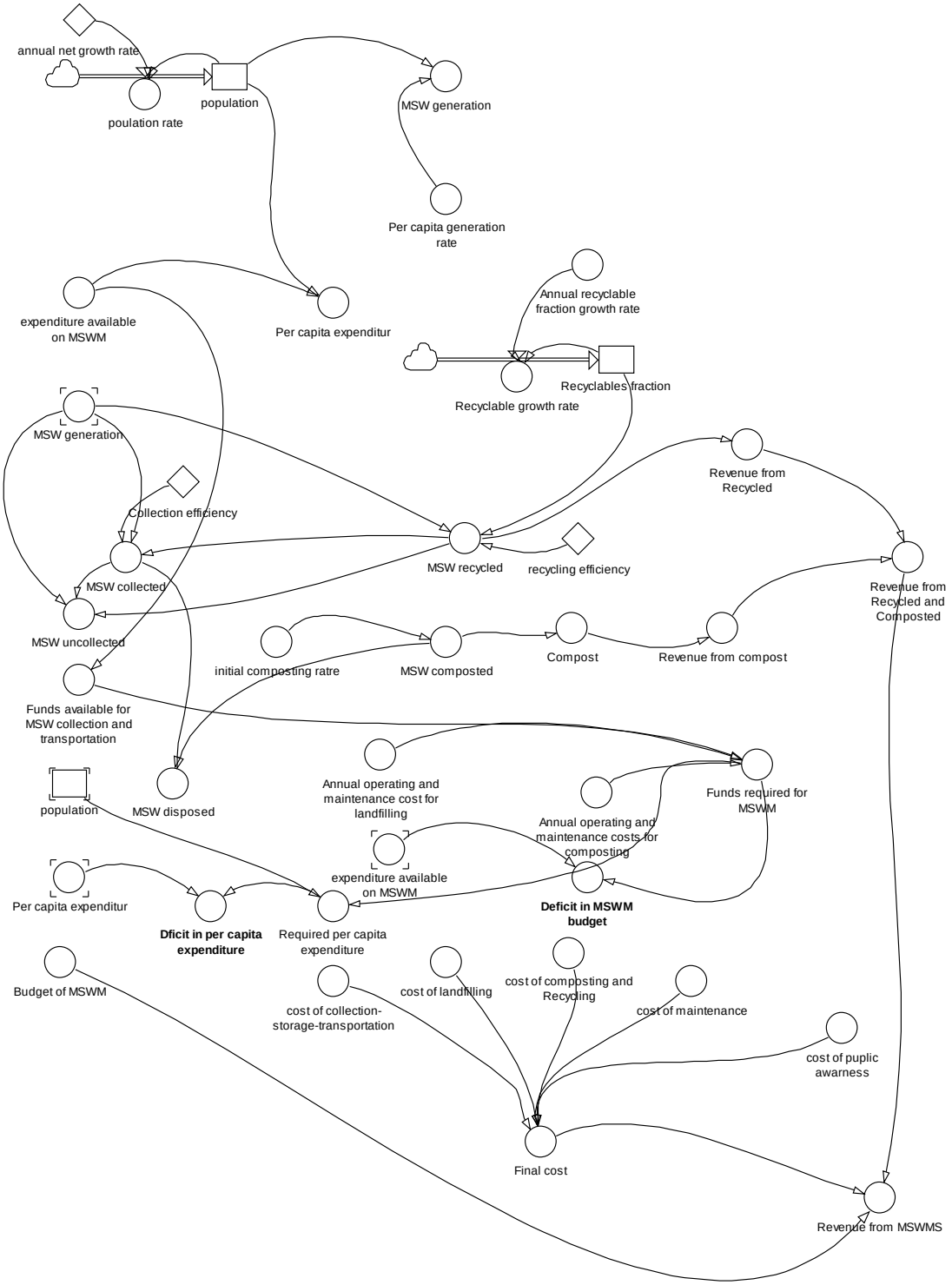
كما تعتمد الميزانية الخاصة لـ MSWM على ظروف الرخاء الاقتصادي في البلاد الذي له تأثير حقيقي على ميزانية البلاد وبالتالي فإن الإنفاق والذي بدوره يعرف بأنه مبلغ نقدي يصدر عن القطاع العام بهدف تحقيق النفع العام [26]، والإنفاق العام يؤدي دوراً مهماً في تحقيق النمو والازدهار الاقتصادي للدولة من خلال اسهاماته الكبيرة، وتأثيره القوي والمعنوي في الناتج المحلي الإجمالي، والانفاق لكل شخص يعتمد على عدد السكان وعلى الميزانية المتاحة لـ MSWM. أظهر المخطط وجود عجز في الميزانية المخصصة للإدارة بما يقارب 50% حيث بلغت الميزانية المخصصة 215 مليون ل.س عام 2014 [27]. تستهلك عمليات الجمع والترحيل قرابة 80% من الميزانية أي مايعادل172 مليون ل.س أما باقي الكلف التي تحتاجها عمليات الصيانة للآليات والمكب النهائي وغيرها فقد بلغت حوالي 104 مليون ل.س[27] لذلك فإن الميزانية المخصصة لا تغطي تكاليف الإدارة المطلوبة.

أظهر الشكل(10) قيم كل من c(MSW)، r(MSW)،c(MSW)،un(MSW)، comp(MSW) وذلك باستخدام المخطط للمعادلات (6,7,8)، بالإضافة إلى تحديد الميزانية المطلوبة لإدارة النفايات حتى عام 2025 وذلك حسب معطيات مديرية التخطيط الإقليمي في مدينة اللاذقية [27]، الجدول(4).

افترضنا زيادة تدريجية في عملية التسميد بحيث تصل إلى 200طن يومياً حيث يباع الطن الواحد بـ 3000 ل.س[27].

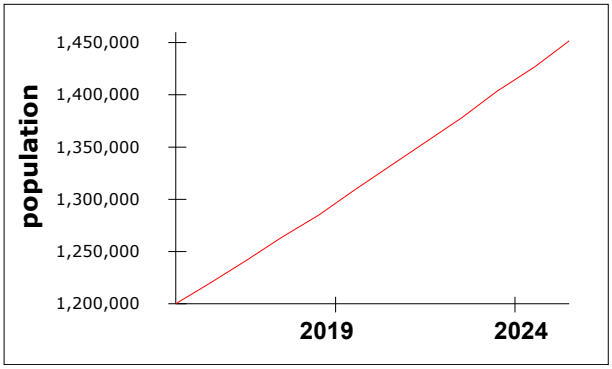
جدول(4) قيم عناصر IMSWMS النّاتجة عن استخدام مخطط التراكم والتّدفقات في مدينة اللاذقية عام 2025.

P نسمة	1,452,000				
MSW t/day	(MSW)g	(MSW)c	(MSW)r	(MSW)comp	(MSW)un
	1161	706	74	201	380
الكلفة الكلية مليون ل.س	الجمع والنقل	الطمر	الصيانة	الفرز والتسميد	الوعي البيئي
	240	175	125	460	100
المجموع	1,100 مليون ل.س				
الميزانيّة	1,100 مليون ل.س				
العائد ل.س	بيع السماد		بيع المفروزات		
	603,000		76,000,000		
المجموع	76,603 مليون ل.س				



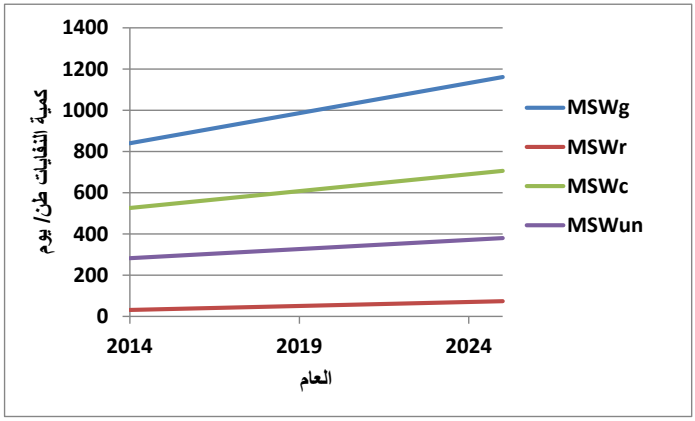
الشكل(10) يبين مخطط التراكم والتدفقات لـ MSWMS في مدينة اللاذقية حتى عام 2025

توضّح الأشكال التّالية كيفيّة تغّير قيم العناصر الدّاخلة في نظام إدارة النّفايات حسب مخطط التراكم والتّدفقات السّابق. يبيّن الشّكل(11) تغيّر قيم P في مدينة اللاذقية بين عامي 2014-2025.نلاحظ زيادة خطيّة في عدد السّكان في الفترة المدروسة.



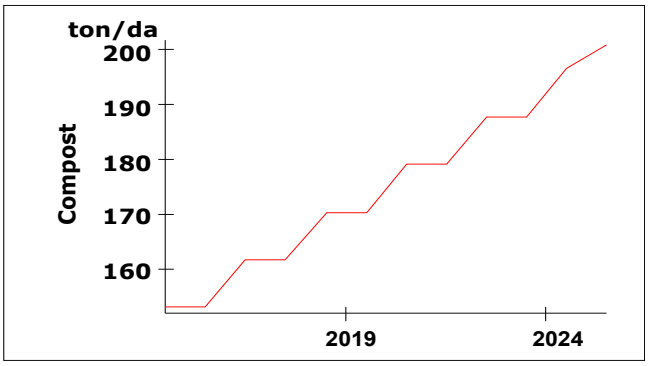
الشّكل(11) تغيّر قيم P بين عامي 2014-2025

يبيّن الشّكل(12) تغيّر قيم كميّة النّفايات(المتولّدة- المجمّعة- المعاد تدويرها - الغير مجمّعة) بين عامي 2014-2025، حيث يظهر ارتفاع في كميّة النّفايات المتولّدة مترافقاً مع ارتفاع في كميّة النّفايات المجمعة بسبب ارتفاع كفاءة الجّمع وارتفاع كميّة النّفايات المفروزة بسبب ارتفاع كفاءة إعادة التّدوير.



الشّكل(12) تغيّر قيم-MSWg-MSWr-MSWun-MSWc من عام 2014 حتى عام 2025 حسب النموذج الديناميكي

يُبيّن الشّكل(13) قيم كميّة النّفايات النّاتجة عن عملية التّسميد بين عامي 2014-2025 حيث تم افتراض خطوة زمنيّة ثابتة لزيادة معدّل عملية التّسميد سنويّاً بما يحقّق الطّاقة التّصميميّة المرجوّة لمعمل السّماد حتى تصل إلى 200طن يوميّا[27].



الشّكل(13) تغيّر قيم MSWcomp بين عامي 2014-2025 حسب نتائج النموذج الديناميكي

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. عملت الدراسة على إيجاد نظام ديناميكي يربط بين العوامل المختلفة الداخلة في إدارة النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية.

2. بينت الدراسة أنه وبعد معالجة المعطيات المتعلقة بمشكلة النفايات الصلبة البلدية في مدينة اللاذقية بين عامي 2010 و2015 باستخدام (Microsoft Excel) ارتفاع واضح في قيمة عدد السكان من (418452) نسمة عام 2010 حتى (1200001) نسمة عام 2014، مما سبب ارتفاع كبير في كمية النفايات الصلبة البلدية المتولدة من القيمة(146000) طن عام 2010 لتصبح(306600) طن عام 2014. سمحت لنا هذه المعطيات بإنشاء معادلات ارتباط للتنبؤ بكمية النفايات الصلبة حتى العام 2025 ووجدنا أن معادلة الارتباط التي تعتمد على عدد السكان فقط هي الأنسب مقارنة مع معادلة الارتباط المتعدد التي يدخل فيها أيضاً العامل الاقتصادي المتراجع في ظل الأزمة مما شأنه تقليل كمية النفايات المتنبأ بها.

3. توصلت الدراسة إلى أنه بالرغم من محدودية توافر قاعدة البيانات المرجعية الخاصة بالنفايات البلدية الصلبة في مدينة اللاذقية إلى أن معدل انتاج الفرد الواحد من النفايات الصلبة انخفض من 1.1كغ يومياً عام 2010 إلى0.8 كغ يومياً عام 2014 بسبب انخفاض الناتج المحلي الإجمالي في ظل الأزمة. تشكل النفايات العضوية النسبة الأكبر من كمية النفايات الكلية المنتجة والتي تقدر حوالي (64)% وهذا يعد مؤشر واضح لإمكانية الاستفادة من الجزء العضوي وتحويله إلى سماد والذي بدوره يعتبر أحد أهم العوامل الإيجابية المؤثرة في ميزانية إدارة النفايات.

4. تم تطوير نموذج SD الذي يحلل الواقع الحالي لـ MSWM في مدينة اللاذقية، ويوضح السيناريو المتوقع لهذه الإدارة حتى عام2025. حيث بدأت المحاكاة من عام 2014 اعتماداً على القيم الحقيقية المتوفرة للعوامل الداخلة في النموذج ووضع المعادلات التي تربط بينها ضمن النموذج ثم حلها بطريقة الفروق المنتهية واعتماد خطوة زمنية سنة واحدة وصولاً لعام 2025. بينت النتائج أن الزيادة التدريجية لكفاءة الجمع والتدوير والتسميد من شانه أن يغطي العجز في ميزانية الإدارة الذي كان 50% عام 2014 ليصبح 0% عام 2025 مع العائد المتوقع من عمليتي التسميد وبيع المفروزات سيصل إلى 76.603 مليون ل.س.

التوصيات:

1. زيادة الأبحاث العلمية التي تؤدي إلى تطبيق استراتيجية التخطيط البيئي للنفايات الصلبة البلدية لما لهذه الاستراتيجية من مردود إيجابي على النواحي البيئية والصحية والاجتماعية والاقتصادية، ولدعم الخطط المستقبلية لمواجهة ازدياد عدد السكان والأنشطة المرتبطة بهم.

2. ضرورة توجيه الأبحاث العلمية للعمل على تقليص النفايات من المصدر لتجنب المشكلة من البداية بدلاً من بذل جهد وتكاليف لا ضرورة لها لتسوية المشاكل بعد ظهورها، لأنه وبمقارنة إدارة النفايات مع تقليص النفايات نجد أن إدارتها تهتم بالعمليات بعد إنتاج النفاية (إعادة استعمال– إعادة تدوير– تسميد.....الخ)، أما تقليص النفايات من المصدر يكون هو الأهم وذلك بتشجيع الفرز من المصدر بمشاركة المواطنين بهدف فرز النفايات إلى رطبة وجافة.

3. ضرورة زيادة الأبحاث العلمية التي تهتم بالاستفادة من النفايات العضوية (منزلية +زراعية) باعتبارها تشكل النسبة الأكبر من النفايات المتولدة في مدينة اللاذقية تصل إلى (64)% وذلك لإنتاج مادة الكومبوست كمساهم إيجابي في ميزانية البلديات.

4. تطوير نموذج رياضي لوضع خطط إدارية مستقبلية تأخذ بعين الاعتبار التغيرات والمستجدات التي تؤثر على نظام الإدارة واعتماد المراجعة الدورية للنظام بهدف تقييم الأداء وتحسين جودة العمل.

5. تطوير الأبحاث التي تعتمد على نظام SD في دراسة كيفية الاستفادة من النفايات الصلبة لانتاج الطاقة الكهربائية.

6. استخدام نظامSD في دراسة العديد من الظواهر البيئية المتغيرة مع الزمن كما هو الحال في تطوير عمل محطات المعالجة أو دراسة تأثير إدارة النفايات على تسرب الرشاحة إلى المياه الجوفية، وكذلك في مجال تحديد تأثير الإدارة على سعة وموقع المكب النهائي.

المراجع:

1. SHARHOLY, M; AHMAD, K؛VAISHYA، R. C. and GUPTA, R. D.. ***Municipal Solid Waste Characteristics and Management in Allahabad, India***. International Journal of Waste Management, vol. 27, 2007, 490-496.

2. DASKALOPOULOS, E; BADR, O. and PROBERT, S. D. ***An Integrated Approach to Municipal Solid Waste Management***. Journal of Resource Conservation and Recycling, 1998, 33-50.

3. متوج، هاديا. *دراسة تأثير مكب البصة على جودة مصادر المياه السطحية والجوفية في محيطه* . مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية–سلسلة العلوم الهندسية المجلد35، العدد8، 2013، 301–302.

4. مشروع قانون الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة (2012).

5. مديرية النفايات الصلبة في مدينة اللاذقية (2015).

6. ORIOLA, A. *System Dynamics Modelling of Waste Management System.* Agricultural and Mechanical Engineering Department,Colleg of Engineering and Environmental Studies Olabisi Ona Banjo University,Ago-Iwoye,Nigeria, 2014.

7. OJOWA, S; AGBEDE, O; SANGODOYIN, A. *A system Dynamics Modeling Approach for Dumpsite Waste Generation and its Attendant Challenges in Ogo Oluwa Local Government Area,Nigria*. Journal of Environmental Science and Water Resources, Vol.1(4), 2012, 80-84.

8. FORRESTER, JW. Industrial Dynamics. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA., 1961.

9. RICHARDSON, G. P. and PUGH, A.L. *Introduction to System Dynamics Modeling*. Waltham, MA. Pegasus Communications Inc,1989.

10. AHMAD, K. *A system dynamics modeling of municipal solid waste management systems in Delhi* . international journal of research in engineering and technology , 2012, 628-641.

11. DYSON, B. and CHANG, N. B.*Forecasting municipal solid waste generation in a Fast-growing urban region with system dynamics modeling*. Journal of Waste Management, vol. 25, 2005, 669-679.

12. NAIL, R. F; GELANGER, S; KLINGER, A; PETERSON, E. *An Analysis of Cost Effectiveness of US Energy Policies to Mitigate Global Warming*. System Dynamics Review, vol. 8, 1992, 111-118.

13. VIZAYAKUMAR, K. and MOHAPATRA, P. K. J. *Modeling and Simulation of Environmental Impacts of Coalfield: System Dynamics Approach.* Journal of Environmental Management, vol. 42, 1993,59–73.

14. STERMAN,D؛ JOHN SWEENEY, L. B. *Assessing Public Understanding of Global Warming*. System Dynamics Review, vol. 18(2), 2002, 207–240.

15. FORD, A. *Testing Snake River Explorer*. System Dynamics Review, vol. 12, 1996, 305–329.

16. VEZJAK, M; SAVSEK, T; STULHER, E. A. *System Dynamics of Euthrophication Process in Lakes*. European Journal of Operational Research, vol. 109, 1998, 442–451.

17. WU, J; BARLAS, Y; WANKAT, J. L. *Effect of Patch Connectivity and Arrangement on Animal Metapopulation Dynamics*. A Simulation Study. Ecological Modeling, vol. 65, 1993, 221–25.

18. STAVE, K. A. *A System Dynamics Model to Facilitate Public Understanding of Water Management Options in Las Vegas, Nevada*. Journal of Environmental Management, vol. 67, 2003, 303–313.

19. GEORGIADIS, P; Vlachos D. *The Effect of Environmental Parameters on Product Recovery.* European Journal of Operational Research, vol. 157, 2004, 449–464.

20. SHI, T. and GILL, R. *Developing Effective Policies for the Sustainable Development of Ecological Agriculture in China*. The Case Study of Jinshan County with a Systems Dynamics Model. Ecological Economics, vol. 53, 2005, 223–246.

21. KARAVEZYRIS, V; TIMPE, K; MARZI, R. *Application of System Dynamics and Fuzzy Logic to Forecasting of Municipal Solid Waste. Mathematics and Computers in Simulation.*vol. 60, 2002, 149–158.

22. KOLLIKKATHARA, N; FENG, H; YU,D. *A system dynamic modeling approach for evaluting municipal solid waste generation, Landfill capacity and related cost management issues*. Journal ho mc page: waste management 30, 2010, 2194 – 2203.

23. PATEL, V; MEKA, S. *Forecasting of Municipal Solid Waste Generation for Medium Scale Towns Located in state of Gujarat, India*. Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, Vol.2, 2013, 4707-4715.

24. الأمم المتحدة–(2012).المجموعة الإحصائية لمنظمة الإسكوا. العدد الواحد والثلاثون–مطبوعات الأمم المتحدة.

25. شاهين ،هيثم . معالجة المخلفات الصلبة ،(1995–1996) – منشورات جامعة تشرين ص240.

26. المزروعي، علي(2009). *"أثر الانفاق في الناتج المحلي الإجمالي "* ص 616.

27. مديرية التخطيط الإقليمي في اللاذقية عام 2015.