

الحدائق البيئية الصناعية: دراسة حول إمكانية تطبيق تجربة منتزه كالونديبورغ في المدينة الصناعيّة بحسّاء

نُهي أحمد القاموح* هيثم شاهين**

(الإيداع: 15 نيسان 2025، القبول: 16 تموز 2025)

الملخص

تُعتبر المنتزهات الإيكولوجية الصناعية من النماذج الرائدة في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية، حيث تُسهم في تعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، تقليل النفايات، وخفض الانبعاثات الضارة، مما يجعلها أداة حيوية لمواجهة التحديات البيئية العالمية مثل التغير المناخي واستنزاف الموارد. وتكمن أهميتها في قدرتها على ربط الصناعات المختلفة بشبكة تعاونية تُحقق فوائد مشتركة، كما تُظهر التجارب الناجحة مثل كالونديبورغ في الدنمارك. هدفت هذه الدراسة إلى تحليل جدوى تطبيق نموذج "المنتزهات الإيكولوجية الصناعية" المستوحى من تجربة كالونديبورغ في مدينة حسّاء الصناعية بسوريا، بهدف استكشاف إمكانية تحسين الأداء البيئي والاقتصادي في هذا السياق. اعتمدت المنهجية على تحليل البيانات الثانوية المستمدة من الدراسات السابقة والتقارير الدولية، مع التركيز على دراسة حالة كالونديبورغ كنموذج مرجعي. كشفت النتائج عن إمكانية تحقيق تخفيضات كبيرة في انبعاثات الكربون بمقدار 50 ألف طن سنوياً، وتوفير حوالي مليون متر مكعب من المياه، مما يعزز الاستدامة المائية. ومع ذلك، أبرزت الدراسة تحديات رئيسية تتمثل في الحاجة إلى استثمارات أولية تُقدر بـ 15 مليون دولار، إلى جانب نقص الخبرة التقنية المحلية اللازمة لتطبيق النموذج بنجاح. وعليه، توصي الدراسة بضرورة إنشاء شبكة فعّالة لتبادل الموارد بين الصناعات، وتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتذليل العقبات التنفيذية وضمان استدامة المشروع.

الكلمات المفتاحية: المنتزهات الإيكولوجية، كالونديبورغ، حسّاء الصناعية، الاستدامة البيئية، التحديات الاقتصادية.

*طالبة دكتوراه – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية

**أستاذ – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية

Industrial Ecological Parks: A Study on the Possibility of Applying the Kalundborg Park Experience in the Industrial City of Hassia.

Nouha Alkamoua* Haytham Shahin**

(Received: 15 April 2025, Accepted: 16 July 2025)

Abstract

Industrial ecological parks are considered one of the pioneering models in achieving environmental and economic sustainability. They contribute to enhancing the efficiency of natural resource use, reducing waste, and lowering harmful emissions, making them a vital tool in addressing global environmental challenges such as climate change and resource depletion. Their significance lies in their ability to connect various industries within a collaborative network that yields mutual benefits, as demonstrated by successful examples like Kalundborg in Denmark. This study aimed to analyze the feasibility of applying the "industrial ecological parks" model, inspired by the Kalundborg experience, in the Hassia Industrial City in Syria, with the goal of exploring opportunities to improve environmental and economic performance in this context. The methodology relied on analyzing secondary data derived from previous studies and international reports, with a focus on the Kalundborg case study as a reference model. The results revealed the potential for significant reductions in carbon emissions by 50,000 tons annually and savings of approximately one million cubic meters of water, thereby enhancing water sustainability. However, the study highlighted key challenges, including the need for an initial investment estimated at 15 million USD and a lack of local technical expertise necessary for successful implementation. Accordingly, the study recommends establishing an effective resource-sharing network among industries and strengthening public-private partnerships to overcome implementation obstacles and ensure the project's sustainability.

Keywords: Industrial ecological parks, Kalundborg, Hassia Industrial City, environmental sustainability, economic challenges.

* PhD Student – Department of Environmental Engineering – Faculty of Civil Engineering – University of Latakia

** Professor – Department of Environmental Engineering – Faculty of Civil Engineering – University of Latakia

1. مقدمة

تواجه المدن الصناعية تحديات بيئية واقتصادية متزايدة نتيجة لأنشطة الصناعة التي تستنزف الموارد الطبيعية وتلوث البيئة. في هذا السياق، ظهرت "المنتزهات الإيكولوجية الصناعية" (Eco-Industrial Parks – EIPs) كنموذج مستدام يهدف إلى تحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية والحفاظ على البيئة من خلال تبادل الموارد والنفايات بين الشركات داخل المجمع الصناعي¹.

تركز هذه الدراسة على إمكانية تطبيق تجربة منتزه كالونديبورغ (Kalundborg Symbiosis) الدنماركي، الذي يعتبر أحد أبرز الأمثلة العالمية للتعايش الصناعي، في المدينة الصناعية بحسباء في سوريا. تم اختيار حسياء كموقع دراسة نظراً لتنوع الأنشطة الصناعية فيها، مما يجعلها مرشحة محتملة لتطبيق مفهوم التكافل الصناعي.

تُعتبر المدينة الصناعية بحسباء، الواقعة في محافظة حمص بسوريا، واحدة من أكبر المدن الصناعية في البلاد، حيث تضم أكثر من مئتي شركة تعمل في مجالات متنوعة مثل الصناعات الغذائية، الكيميائية، الهندسية، والنسيجية. بالنظر إلى تنوع الأنشطة الصناعية فيها، يمكن أن تكون هذه المدينة مرشحة ممتازة لتطبيق نموذج المنتزهات الإيكولوجية الصناعية المستوحى من تجربة كالونديبورغ. ومع ذلك، فإن تطبيق هذا النموذج يتطلب دراسة شاملة للوضع الحالي للمدينة الصناعية، بما في ذلك البنية التحتية، التنوع الصناعي، والتحديات البيئية والاقتصادية.

2. مشكلة البحث

تعاني مدينة حسياء الصناعية السورية من تحديات بيئية خطيرة، مثل ارتفاع انبعاثات الكربون وغياب أنظمة إدارة النفايات، وضعف البنية التحتية الخضراء.

3. أهداف البحث

- تحليل آليات نجاح نموذج كالونديبورغ في تحقيق الاستدامة.
- تقييم إمكانية تكيف هذا النموذج في السياق السوري.

4 أسئلة البحث

- ما مدى فعالية نموذج كالونديبورغ في معالجة التحديات البيئية بحسباء؟
- ما المتطلبات الأساسية لتنفيذ هذا النموذج في بيئة صناعية نامية؟

5- أهمية البحث

- تقديم حلول قابلة للتطبيق لتحسين الأداء البيئي لمدينة الشرق الأوسط الصناعية ودعم صانعي القرار في تبني سياسات مستدامة.

6 – الإطار النظري:

6.1 مفهوم الاستدامة البيئية:

تُعتبر الاستدامة البيئية أحد المفاهيم الأساسية التي تهدف إلى تحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية، والحفاظ على الموارد الطبيعية²، وتحسين جودة الحياة للأجيال الحالية والمستقبلية. تتضمن الاستدامة ثلاثة أبعاد رئيسية:

- البعد الاقتصادي: يركز على تحقيق التنمية الاقتصادية من خلال استخدام الموارد بكفاءة وتقليل الهدر.
- البعد البيئي: يهدف إلى حماية البيئة من خلال تقليل التلوث واستعادة الموارد الطبيعية.
- البعد الاجتماعي: يسعى إلى تحسين جودة الحياة وتعزيز العدالة الاجتماعية.

¹ Ernest A. Lowe, *Eco-Industrial Parks: A Foundation for Sustainable Communities* (Oakland: Indigo Development, 2001).

² Brundtland Commission, *Our Common Future* (Oxford: Oxford University Press, 1987), 43.

في سياق الصناعة، تعني الاستدامة البيئية تبني نماذج إنتاجية تقلل من استهلاك الموارد الطبيعية وتقليل الانبعاثات الضارة. المنتزهات الإيكولوجية الصناعية تعتبر واحدة من الأدوات الرئيسية لتحقيق هذه الأهداف.

6.2 مفهوم المنتزهات الإيكولوجية الصناعية (Eco-Industrial Parks – EIPs):

تعمل البيئة الصناعية على ثلاثة مستويات مختلفة، تتراوح من المستوى العالمي إلى مستوى العلاقات بين الشركات وصولاً إلى مستوى المنشأة الفردية ومستوى العلاقات بين الشركات والمصانع قد تم النظر إليه من خلال نماذج ومصطلحات متنوعة، تتراوح من الحدائق الصناعية البيئية، والتناسق الصناعي، والنظم البيئية الصناعية، إلى جزر الاستدامة، وشبكات إعادة التدوير الصناعية، والتآزر في المنتجات الثانوية. ضمن إطار علاقات الشركات هذا، ويمكن تصنيف التكافل الصناعي (IS) كمفهوم لتحسين الموارد الجماعي يعتمد على تبادل المنتجات الثانوية ومشاركة المرافق بين المنشآت المختلفة المتواجدة في مكان واحد. يُعطى التعريف الصريح للتناسق الصناعي بواسطة تشيرتو (2004): "يشرك التناسق الصناعي الصناعات المنفصلة تقليدياً في نهج جماعي لتحقيق ميزة تنافسية تتضمن تبادلات فيزيائية للمواد، والطاقة، والمياه، و/أو المنتجات الثانوية. وإن مفاتيح التناسق الصناعي هي التعاون والإمكانات التآزرية التي يوفرها القرب الجغرافي"

6.2.1 تعريف المنتزهات الإيكولوجية الصناعية:

المنتزهات الإيكولوجية الصناعية هي مجتمعات صناعية تم تصميمها بحيث تعمل الشركات داخلها بشكل تكاملي لتحقيق أقصى استفادة من الموارد المتاحة. يتم ذلك من خلال تبادل المواد والنفايات حيث تصبح نفايات شركة ما مدخلات لشركة أخرى. واستخدام الطاقة بكفاءة عن طريق إعادة استخدام الحرارة المهدرة أو الطاقة المتجددة. وأيضاً إدارة المياه المستدامة من خلال إعادة تدوير المياه ومعالجتها.

6.2.2 تاريخ تطور المفهوم

بدأ مفهوم المنتزهات الإيكولوجية الصناعية في الظهور في السبعينيات من القرن الماضي كجزء من الجهود العالمية لتحقيق التنمية المستدامة. ومع تزايد التحديات البيئية، أصبح هذا المفهوم أكثر شيوعاً في العديد من الدول المتقدمة والنامية. من أبرز الأمثلة على تطبيق هذا المفهوم هو منتزه كالونديبورغ في الدنمارك، الذي يعتبر أول وأشهر نموذج للتعاظم الصناعي.

6.2.3 الفروق بين المنتزهات التقليدية والمنتزهات الإيكولوجية:

–المنتزهات التقليدية تعمل الشركات بشكل مستقل دون تبادل الموارد. وتعتمد على مصادر طاقة تقليدية وغير متجددة. وتنتج كميات كبيرة من النفايات غير المعالجة.

– المنتزهات الإيكولوجية: تعمل الشركات بشكل تكاملي مع تبادل الموارد والنفايات تعتمد على مصادر طاقة متجددة وكفاءة الطاقة. وتعالج النفايات وإعادة استخدامها.

6.3 مبادئ التكافل الصناعي (Industrial Symbiosis):

6.3.1 تعريف التكافل الصناعي: التكافل الصناعي هو مفهوم يعتمد على التعاون بين الشركات المختلفة داخل المجمع الصناعي لتحقيق فوائد مشتركة. يتم ذلك من خلال تبادل الموارد والنفايات، مما يؤدي إلى تقليل الهدر وتحسين الكفاءة.

6.3.2 آلية عمل التكافل الصناعي:

– تبادل المواد: يتم تحويل النفايات الصناعية إلى مدخلات لشركات أخرى. على سبيل المثال، يمكن أن تُستخدم النفايات العضوية لإنتاج الأسمدة.

– تبادل الطاقة: يتم إعادة استخدام الحرارة المهدرة من المصانع لتوليد الكهرباء أو تسخين المياه.

– تبادل المياه: يتم معالجة المياه المستخدمة وإعادة توزيعها على الشركات الأخرى.

¹ Marian R. Chertow, "Industrial Symbiosis," in *Encyclopedia of Energy* (Elsevier, 2004), 407–415.

6.3.3 أمثلة على التكافل الصناعي:

- منتزه كالونديبورغ (Kalundborg Symbiosis):
- محطة الطاقة الحرارية توفر البخار لمصانع الأغذية.
- مصنع الأسمدة يستخدم ثاني أكسيد الكبريت الناتج من محطة الطاقة لإنتاج حمض الكبريتيك.
- مدينة سنغافورة تعتمد على نظام دوري لإعادة استخدام المياه المعالجة.

6.4 الدراسات السابقة حول المنتزهات الإيكولوجية الصناعية:

تتناول الدراسات المذكورة مفاهيم التكافل الصناعي والمنتزهات الإيكولوجية الصناعية، مع التركيز على تحسين الكفاءة البيئية والاقتصادية والتنمية المستدامة.

6.4.1 دراسات عالمية:

- دراسة (Chertow (2000): قدمت مراجعة شاملة لمفهوم التكافل الصناعي¹ وأثره على تحسين الكفاءة البيئية والاقتصادية.

• **الهدف:** هدفت الدراسة إلى تقديم مراجعة شاملة لأدبيات التكافل الصناعي وأصولها، بالإضافة إلى الجهود المبذولة لتطوير المنتزهات الإيكولوجية الصناعية كتحقيق ملموس لمفهوم التكافل الصناعي. سعت الدراسة إلى فحص التبادلات الجماعية من منظور الإيكولوجيا الصناعية بهدف تحسين دورة المواد الكلية (من المواد الخام البكر إلى التخلص النهائي) وتحسين استخدام الموارد والطاقة ورأس المال.

• **المنهجية:** تم تنظيم مراجعة المشاريع حول تصنيف خمسة أنواع مختلفة من تبادل المواد. ناقشت الدراسة أدوات مثل مطابقة المدخلات-المخرجات، وعمليات أصحاب المصلحة، وموازنة المواد كأدوات مفيدة في دفع تطوير المنتزهات الإيكولوجية الصناعية. كما ركزت على الأساليب التطورية للتكافل الصناعي لإنشاء مستوى التعاون المطلوب للتبادلات متعددة الأطراف.

- دراسة (Lowe (2001): ركزت على أهمية المنتزهات الإيكولوجية الصناعية في تحقيق التنمية المستدامة².

• **الهدف:** كان الهدف الأساسي للمنتزهات الإيكولوجية الصناعية (EIP) هو تحسين الأداء الاقتصادي للشركات المشاركة مع تقليل تأثيراتها البيئية. هدفت الدراسة إلى تحقيق عائد استثماري مريح مع إظهار شكل سليم بيئياً واجتماعياً لتطوير العقارات الصناعية، ليكون مركزاً رئيسياً للتنمية الإقليمية المستدامة. سعت المنتزهات الإيكولوجية الصناعية أيضاً إلى تحقيق فوائد للمجتمعات المجاورة.

• **المنهجية:** شمل النهج تصميم أخضر للبنية التحتية والمصانع في المنتزه الجديدة والإنتاج الأنظف، ومنع التلوث، وكفاءة الطاقة، والشراكة بين الشركات. وقد اعتمدت الدراسة منهجية نظامية لجعل المنتزهات الصناعية مستدامة على الأصدى المالية والاقتصادية والطبيعية والاجتماعية.

- دراسة (Geng et al. (2012): قياس الاقتصاد الدائري في الصين

أظهرت أن المنتزهات الإيكولوجية الصناعية يمكن أن تقلل من انبعاثات الكربون بنسبة تصل إلى 30%³.

¹ Chertow, "Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy," 315

² Lowe, *Eco-Industrial Parks*, 89.

³ Yong Geng et al., "Measuring China's Circular Economy," *Science* 339, no. 6127 (2012): 1526–1527.

- الهدف: هدفت هذه الدراسة إلى اقتراح طريقة لتقييم الاقتصاد الدائري في الصين، وهو أمر بالغ الأهمية لقبوله ونجاحه على المدى الطويل، خاصةً بالنظر إلى التنمية السريعة والتدهور البيئي في الصين. وكان السياق الأوسع هو فصل العبء البيئي عن التنمية الاقتصادية من خلال سياسة الاقتصاد الدائري.
- المنهجية: اقترحت الدراسة تحليل الطاقة الكامنة (Emergy Analysis) كمكمل لأساليب التقييم الحالية مثل تحليل تدفق المواد وتحليل دورة الحياة. ناقشت المزايا والقيود لهذا النهج. وذكرت أيضاً أن المؤشرات المصممة جيداً ذات قيمة لإدارة التنمية البيئية وتقديم إرشادات لتحسين سياسات الاقتصاد الدائري، وأن مؤشرات الأداء للمناطق والمنزعات الصناعية قد تم تطويرها بناءً على طرق التقييم مثل تحليل الطاقة وتحليل تدفق المواد (MFA).

6.4.2 دراسات محلية:

دراسة حول المدن الصناعية السورية: أشارت إلى أن المدن الصناعية مثل حسياء تواجه تحديات بيئية كبيرة بسبب عدم تطبيق نظم إدارة النفايات وإعادة استخدام الموارد.

6.5 مؤشرات تقييم أداء المنتزهات الإيكولوجية الصناعية:

6.5.1 المؤشرات البيئية:

- تخفيض انبعاثات الكربون: قياس الانخفاض في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.
- توفير المياه: قياس كمية المياه المحفوظ عليها من خلال إعادة التدوير.
- إدارة النفايات: نسبة النفايات المعاد تدويرها أو المعالجة.

6.5.2 المؤشرات الاقتصادية:

- تقليل التكاليف التشغيلية: قياس التوفير في التكاليف نتيجة لإعادة استخدام الموارد.
- زيادة الإيرادات: قياس زيادة الإيرادات نتيجة لتحسين الكفاءة الإنتاجية.

6.5.3 المؤشرات الاجتماعية:

- خلق فرص عمل: قياس عدد الوظائف الجديدة الناتجة عن تطبيق النموذج.
- تحسين جودة الحياة: تقييم تأثير النموذج على المجتمع المحلي.

6.6 العلاقة بين المنتزهات الإيكولوجية الصناعية وأهداف التنمية المستدامة (SDGs):

تعتبر المنتزهات الإيكولوجية الصناعية أداة رئيسية لتحقيق أهداف التنمية المستدامة التي وضعتها الأمم المتحدة لعام 2030¹. من أبرز الأهداف المرتبطة بهذا المفهوم ضمان الحصول على طاقة نظيفة وبأسعار معقولة وبناء بنية تحتية مستدامة وتشجيع التصنيع المستدام وضمان أنماط استهلاك وإنتاج مستدامة. واتخاذ إجراءات عاجلة لمكافحة تغير المناخ.

7. منهجية البحث:

7.1 تصميم البحث:

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي والتحليلي لفهم مفهوم المنتزهات الإيكولوجية الصناعية وتطبيق تجربة منتزه كالونديبورغ في المدينة الصناعية بحسياء. يهدف هذا التصميم إلى تحقيق الأهداف الرئيسية للبحث، والتي تشمل: - دراسة مفهوم المنتزهات الإيكولوجية الصناعية وأهميتها وتحليل تجربة منتزه كالونديبورغ ونتائجها البيئية والاقتصادية. وتقييم إمكانية تطبيق هذا النموذج في المدينة الصناعية بحسياء.

7.2 نوع البيانات ومصادرها:

United Nations, "Sustainable Development Goals Report 2023," accessed June 1 2023, <https://unstats.un.org/sdgs/>.

تم الاعتماد بشكل أساسي على البيانات الثانوية المستخلصة من:

- الدراسات السابقة: تم مراجعة الأدبيات المتعلقة بالمنتزهات الإيكولوجية الصناعية والتكافل الصناعي.
- التقارير الدولية: مثل تقارير الأمم المتحدة، البنك الدولي¹، ومنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD).
- المواقع الإلكترونية: مثل موقع منتزه كالونديبورغ الرسمي² والمواقع الحكومية السورية.
- إحصائيات الرسمية: مثل بيانات وزارة الصناعة السورية³ والإحصاءات المتعلقة بالمدينة الصناعية بحسباء.

7.3 أدوات جمع البيانات:

7.3.1 المراجعة العلمية:

تم استخدام المراجعة لتحليل الدراسات السابقة والمراجع العلمية ذات الصلة. ساعدت هذه الخطوة في فهم النظريات الأساسية والتجارب العالمية المتعلقة بالمنتزهات الإيكولوجية الصناعية⁴.

7.3.2 التحليل الكمي والنوعي:

- التحليل الكمي: تم استخدام الجداول والرسوم البيانية⁵ لتحليل البيانات الكمية، مثل كمية المياه المحفوظ عليها، انبعاثات الكربون المخفضة، وتوفير الطاقة.

- التحليل النوعي: تم تحليل البيانات النوعية من خلال دراسة التجارب العالمية مثل كالونديبورغ واستخلاص الدروس المستفادة.

7.4 خطوات تنفيذ البحث:

7.4.1 تحديد المشكلة والأهداف: قد تم تحديد المشكلة الرئيسية التي تواجه المدن الصناعية وتم وضع أهداف واضحة للبحث.

7.4.2 جمع البيانات: حيث تم جمع البيانات من المصادر الثانوية باستخدام تقنيات البحث العلمي. وتم تنظيم البيانات في جداول ورسوم بيانية لتسهيل التحليل.

7.4.3 تحليل البيانات: تم تحليل البيانات باستخدام أدوات إحصائية بسيطة وتم تفسير النتائج بناءً على السياق المحلي للمدينة الصناعية بحسباء.

7.4.4 تقديم المقترحات: بناءً على نتائج التحليل، تم تقديم مقترحات عملية لتطبيق نموذج المنتزهات الإيكولوجية الصناعية في حسباء.

7.5 حدود الدراسة:

7.5.1 القيود الزمنية: قد تكون بعض البيانات المتعلقة بالمدينة الصناعية بحسباء قديمة أو غير محدثة بسبب الظروف الاقتصادية والسياسية في سوريا.

7.5.2 القيود المكانية: ركزت الدراسة على المدينة الصناعية بحسباء فقط، مما يعني أن النتائج قد لا تكون قابلة للتعميم على مدن صناعية أخرى.

7.5.3 القيود المنهجية: الاعتماد على البيانات الثانوية بشكل أساسي قد يؤدي إلى نقص في المعلومات الدقيقة حول الوضع الحالي للمدينة الصناعية.

8. تحليل تجربة منتزه كالونديبورغ (Kalundborg Symbiosis):

¹ تقارير منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) حول الاستدامة الصناعية، "٢٠٢١، <https://www.oecd.org/industry>.

² وزارة الصناعة السورية، "الإحصاءات السنوية للمدن الصناعية"، "٢٠٢٠ (غير منشورة).

³ "accessed June 2023, <https://www.symbiosis.dk/>، "Kalundborg Symbiosis: Official Website"

⁴ Marian R. Chertow, "Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy," *Annual Review of Energy and the Environment* 25, no. 1 (2000): 313-337.

⁵ Yong Geng et al., "Measuring Regional Circular Economy Performance: A Case Study of China," *Journal of Cleaner Production* 142 (2017): 246-256.

8.1 مقدمة عن منتزه كالونديبورغ:

منتزه كالونديبورغ، الواقعة في الدنمارك، يُعتبر أول وأشهر نموذج عالمي للتعاظم الصناعي (Industrial Symbiosis). بدأت التجربة في أوائل السبعينيات كمشروع تعاوني بين شركات صناعية مختلفة في المنطقة، حيث تم تصميم شبكة معقدة لتبادل الموارد والنفايات بين الشركات. تعتمد هذه التجربة على مبدأ "الاقتصاد الدائري"، الذي يهدف إلى تقليل الهدر وتحقيق أقصى استفادة من الموارد المتاحة.

يتم تقدير ومناقشة الجوانب الاقتصادية لنفس علاقات التبادل كمزيج من الاستثمارات في وقت البدء، والمدخرات الاقتصادية المباشرة وغير المباشرة¹ المتعلقة بقضايا الإنتاج المتعلقة بالتدفقات العلوية أو السفلية. عادةً ما تنتج المدخرات الاقتصادية المباشرة عن تجنب رسوم التفريغ أو تكاليف التخلص أو عن الأسعار المنخفضة التي يتم تحقيقها من خلال الاستبدال. تتعلق الفوائد الاقتصادية غير المباشرة بتجنب الاستثمارات، وزيادة المرونة، أو أمن الإمداد. وبالتالي، يتم تقدير ومناقشة الجوانب الاقتصادية لمشاريع التناغم الصناعي كمزيج من تخفيضات التكاليف المباشرة، والاستثمارات الحقيقية مقارنة بسيناريوهات الاستثمار البديلة المتجنبة، وأوقات الاسترداد المقدر لمشاريع التبادل المختلفة في وقت بدء المشروع.

8.2 تاريخ تأسيس المشروع:

– بداية التجربة: بدأت التجربة في عام 1972² عندما قررت محطة الطاقة الحرارية في كالونديبورغ التعاون مع شركة نفطية محلية لاستخدام المياه الساخنة المهترئة من المحطة لتوفير التدفئة للمجتمع المحلي.

– تطور التجربة: مع مرور الوقت، انضمت المزيد من الشركات إلى الشبكة، مما أدى إلى توسع نطاق التعاون ليشمل تبادل المواد، والطاقة، والمياه.

8.3 آلية عمل منتزه كالونديبورغ:

قبل الشروع بالتحدث لا بد من استعراض الجدول (1) الذي يوضح المنشآت وتوضيح عملها³

الجدول رقم (1): المنشآت الصناعية في شبكة التآزر الصناعي بكالونديبورغ.

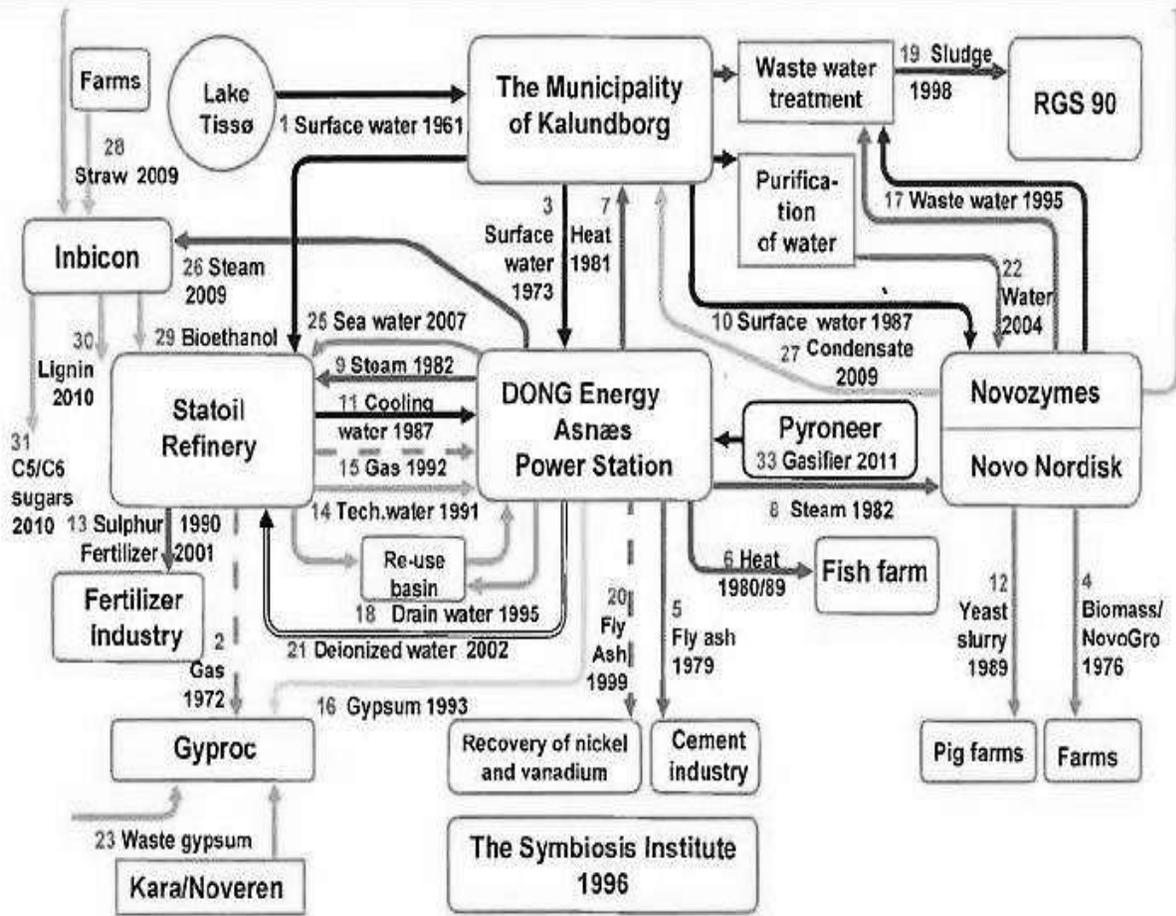
المنشأة	النشاط	التفاعل/الموارد المتبادلة
Ørsted	توليد الطاقة (الكتلة الحيوية)	تزويد البخار والحرارة، واستقبال المياه المبردة من المصانع الأخرى.
Novo Nordisk	إنتاج الأدوية والأنسولين	استخدام البخار من Ørsted ، وإعادة المياه المستخدمة إلى الشبكة.
Novozymes	تصنيع الإنزيمات للصناعات الكيماوية	الاستفادة من البخار والطاقة، والمشاركة في إعادة تدوير المخلفات العضوية.
Gyproc	إنتاج ألواح الجبس	استخدام الجبس الناتج كمخلفات من محطة Ørsted لتصنيع الألواح.
Kalundborg Forsyning	إدارة المياه والطاقة البلدية	توفير المياه المعالجة للمنشآت، واستقبال الحرارة الزائدة من المصانع.
BioGasol	إنتاج الوقود الحيوي من المخلفات الزراعية	استخدام المخلفات العضوية من المصانع الأخرى لإنتاج الطاقة.
بلدية كالونديبورغ	إدارة النفايات الصلبة	إعادة تدوير النفايات وتحويلها إلى موارد للمصانع.
Argo	معالجة مياه الصرف الصحي	توفير المياه المعالجة للزراعة والصناعة.

¹ John R. Ehrenfeld and Nicholas Gertler, "Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg," *Journal of Industrial Ecology* 1, no. 1 (1997): 67–79.

² "التقرير الاقتصادي السنوي لمنتزه كالونديبورغ [Kalundborg Annual Economic Report] ، ، <https://www.symbiosis.dk/reports> ، ٢٠٢٢.

³ Kalundborg Symbiosis: Interactive Resource Map," Kalundborg Symbiosis, accessed June 2023, <https://www.symbiosis.dk/map>.

عمليات التبادل: تعتمد تدفقات المواد المختلفة بين الشركات إما على تبادلات المياه، أو النفايات الصلبة، أو الطاقة. في هذا النظام، يتم إعادة استخدام مياه الصرف ومياه التبريد من المصفاة في محطة الطاقة: مياه الصرف لأغراض ثانوية، ومياه التبريد كميّاه تغذية للغلايات التي تنتج البخار والكهرباء، وكذلك كميّاه مدخلة لعملية إزالة الكبريت. بدورها، تنتج عملية إزالة الكبريت جيّسا صناعيّا يُستخدم في إنتاج ألواح الجبس في مصنع جيبروك المتجاور¹، مما يحل جزئيّا محل استخدام الجبس الطبيعي. كما تنتج محطة الطاقة المُولدة المشتركة حرارة لمدينة كالونديبورغ وبخارًا لمنشأة نوفو ومصفاة ستاتويل. يتم تزويد منشأة نوفو بالبخار من محطة الطاقة فقط، بينما تمتلك المصفاة قدرة إنتاج بخار داخلية متعلقة بالإنتاج، يتم تزويدها جزئيّا بمياه غلايات مسخنة مسبقًا من محطة الطاقة في نظام أمن إمداد كلي. بالإضافة إلى ذلك، يتم نقل مياه التبريد المدفأة من عملية التثيف في محطة الطاقة إلى مزرعة أسماك قريبة²، مما يزيد من كفاءة المزرعة، حيث تضمن مياه التبريد المدفأة إنتاجًا كاملاً للأسماك على مدار العام. في المخطط أدناه سأقوم بشرح شامل يوضح ما ذكر أعلاه.



المخطّط رقم(1): يشمل عدة شركات ومؤسسات تعمل في كالونديبورغ.

8.3.1 تبادل المياه:

Marian R. Chertow, *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy* (Stanford: Stanford University Press, 2000),¹ 89–94.

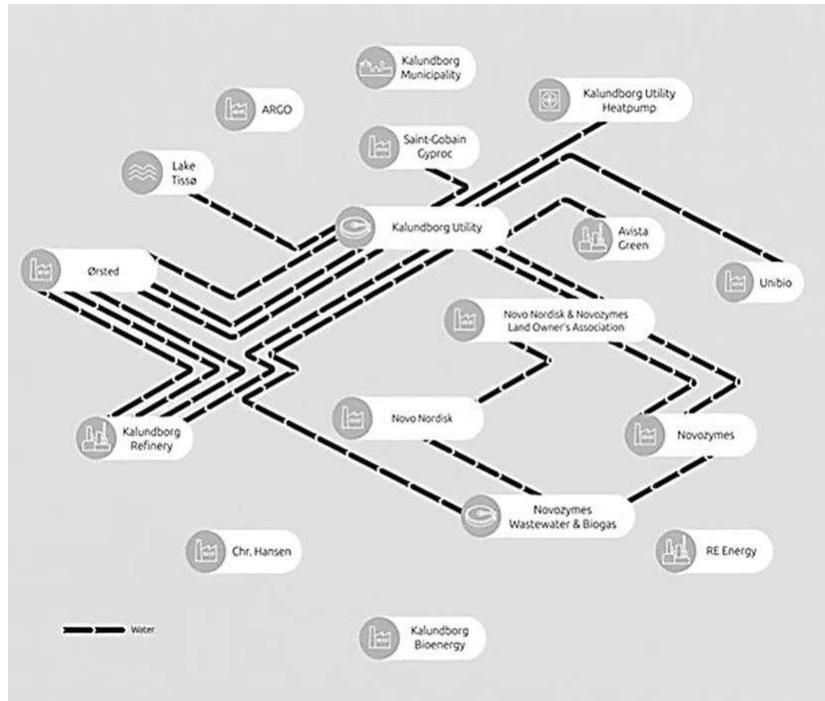
John R. Ehrenfeld and Nicholas Gertler, *Industrial Ecology in Practice: The Kalundborg Case* (Cambridge: MIT Press, 1997), 45–52.²

تتوقع مبادئ البيئة الصناعية والتناسق الصناعي أن تحويل النفايات الناتجة من منشأة إلى مواد خام لمنشأة أخرى سيؤدي إلى فوائد بيئية ناتجة عن تقليل استهلاك المواد الأولية و/أو تقليل الانبعاثات لذلك، يتم تحليل التأثيرات البيئية لتبادلات التناسق الصناعي المتعلقة بالمياه المختارة من حيث قدرتها على تقليل استهلاك المياه عالية الجودة من خلال استبدال المياه وتسلسلها. يُستخدم هنا في نسخة مخططة مبسطة حيث يتضمن التسلسل البدء بجودة موارد عالية، وزيادة العمر الافتراضي لكل تطبيق، والعمر الافتراضي الإجمالي، وتقليل فقدان الجودة لكل تطبيق. بناءً على هذه المبادئ، يتم وصف تبادلات التناسق الصناعي المتعلقة بالمياه المختارة بشكل عام كعدد من تسلسلات المياه الهابطة، ويتم تقدير ومناقشة كمية المياه الموفرة الناتجة

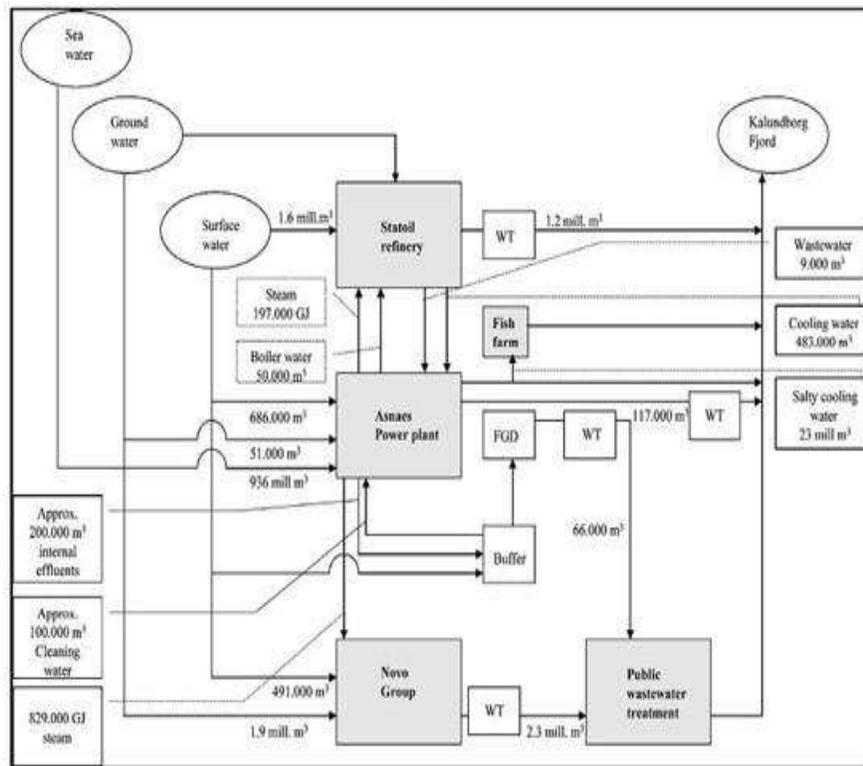
– يتم معالجة المياه المستخدمة وإعادة توزيعها على الشركات الأخرى.

– يتم استخدام المياه الساخنة المهذرة من محطة الطاقة لتوفير التدفئة للمنازل والمصانع.

ويُقدم المخطط رقم (2) والمخطط رقم (3) قسماً من هذا النظام المتنوع حيث تتعلق تدفقات المياه المحلية بالصناعات التكافلية المستهلكة للمياه



المخطط رقم (2) التوضيحي لتدفقات المياه بشكل عام.



المخطط (3) يوضح قسماً من هذا النظام المتنوع حيث تتعلق تدفقات المياه المحلية بالصناعات التكاليفية المستهلكة للمياه.

ومن هذا المخطط في عام 2002، يمكن ملاحظة إجمالي مدخل يبلغ 1.9 مليون متر مكعب (م³)¹ من المياه الجوفية⁷ و2.7 مليون م³ من المياه السطحية، وإجمالي تصريف صناعي يبلغ 3.6 مليون م³ من المياه، باستثناء تصريفات مياه البحر المالحة.

الجدول رقم (2) يوضح استهلاك المياه في بعض محطات كالدينبورغ.

جدول يوضح استهلاك المياه في بعض محطات كالدينبورغ حيث كل 1م ³ = 1,000 لتر ≈ 264.2 غالون													
السنة	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
محطة طاقة أناس													
-المياه الجوفية	335	412	356	313	119	73	61	51	39	36	52	37	51
-المياه السطحية	105	87	167	407	791	733	522	433	926	827	623	578	686
-مياه التبريد/الصرف	715	705	802	847	849	73	634	530	518	515	617	647	492
مجموعة نوفو													
-إجمالي الاستهلاك	1,400	1,600	1,900	1,900	1,900	2,200	2,500	2,500	2,300	2,300	2,300	2,600	2,700
منشأة ستاتويل													
-إجمالي الاستهلاك	○	○	○	1,200	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,600	1,600

لقد جعلت هذه الترتيبات التكافلية من الممكن استبدال وتوزيع مدخل المياه إلى محطة الطاقة وتحسين كفاءة الطاقة في المنشأة. من خلال هذه العلاقات التكافلية، تمكنت محطة الطاقة من استبدال المياه الجوفية بالمياه السطحية، والمياه السطحية بمياه التبريد، ومياه التبريد بمياه الصرف. بالتوازي مع هذا الاستبدال/التسلسل التدريجي، يتم استخدام محتوى الطاقة في المياه على مستويات مختلفة تتراوح من تبادلات البخار عالية الطاقة إلى تبادلات منخفضة الطاقة لمياه التبريد المالحة. بالتزامن مع هذه الترتيبات، يُعد مشاركة المرافق العامل الثالث المستخدم لتحسين الأداء الاقتصادي والبيئي.

8.3.2 تبادل الطاقة:

يُعتبر منتزه كالويندبورغ الصناعي في الدنمارك نموذجاً رائداً للتناغم الصناعي، حيث يتم تبادل الموارد، بما في ذلك الطاقة، بين الشركات المختلفة لتحقيق كفاءة أعلى وتقليل الهدر. سأقوم بتحليل كيفية عمل نظام تبادل الطاقة في منتزه كالويندبورغ، مع التركيز على فوائده البيئية والاقتصادية، ودوره في تعزيز الاستدامة.

8.3.2.1 تحليل تبادل الطاقة في منتزه كالويندبورغ:

يُعد نظام تبادل الطاقة في منتزه كالويندبورغ الصناعي مثلاً متكاملاً للتكافل الصناعي، حيث يشمل تعاوناً بين منشآت رئيسية مثل محطة توليد الطاقة Asnæs، ومصفاة النفط Equinor، وشركة نوفوزايمس (Novozymes)، وشركة نوفو نوريك

¹ دارة الموارد المائية في المناطق الصناعية " [Water Resource Management in Industrial Zones] البنك الدولي [World Bank], 2019, <https://www.worldbank.org/water>.

(Novo Nordisk)، وشركة جبس Gyproc، بالإضافة إلى البنية التحتية المحلية للتدفئة المركزية في مدينة كالونديبورغ. تعتمد هذه الآلية على استغلال الفائض من الطاقة الناتجة عن عمليات الإنتاج في منشأة ما لتلبية احتياجات منشأة أخرى، مما يحقق كفاءة عالية ويقلل من الهدر. وفيما يلي شرح تفصيلي لتدفقات الطاقة بين هذه المنشآت:

1. محطة توليد الطاقة Asnæs

تُعتبر محطة Asnæs العمود الفقري لنظام تبادل الطاقة في المنتزه. تعمل المحطة تقليدياً على حرق الفحم (مع تحول تدريجي نحو الكتلة الحيوية والوقود المستدام)، وتنتج الكهرباء والبخار والحرارة كمنتجات ثانوية. يتم توجيه البخار عالي الضغط الناتج عن التوربينات إلى شبكة أنابيب تربطها بالمنشآت الأخرى. على سبيل المثال، يتم إرسال حوالي 200,000 طن من البخار سنوياً إلى مصفاة Equinor وشركتي نوفوزايمس ونوونورد يسك لاستخدامه في عمليات التسخين والإنتاج الصناعي¹ بالإضافة إلى ذلك، تُستخدم الحرارة الزائدة لتزويد نظام التدفئة المركزية في المدينة، حيث يتم توفير التدفئة لحوالي 3500 منزل محلي، مما يلغي الحاجة إلى مدافئ فردية تعتمد على الوقود الأحفوري.

2. مصفاة النفط Equinor

تتلقى مصفاة Equinor البخار من محطة Asnæs لاستخدامه في تسخين العمليات الداخلية، مثل فصل المكونات النفطية أثناء عملية التكرير. في المقابل، تنتج المصفاة غازات احتراق ثانوية يتم إرسالها مرة أخرى إلى محطة Asnæs لاستخدامها كوقود إضافي، مما يخلق حلقة مغلقة من تدفق الطاقة. هذا التكامل يقلل من استهلاك الوقود الخام في كلا المنشأتين ويحسن الكفاءة الحرارية للنظام ككل²

3. شركتا نوفوزايمس ونوو نورديسك

تعتمد شركتا نوفوزايمس (المتخصصة في إنتاج الإنزيمات) ونوو نورديسك (المتخصصة في الأدوية مثل الأنسولين) على البخار المُنتج من محطة Asnæs كمصدر رئيسي للطاقة الحرارية في عمليات الإنتاج الحيوي. يتم نقل البخار عبر أنابيب مخصصة إلى هذه الشركات، حيث يُستخدم في تعقيم المعدات وتسخين المفاعلات الحيوية. يُقدر أن هذا التدفق يوفر حوالي 30% من احتياجات الطاقة الحرارية لهاتين الشركتين، مما يقلل من تكاليف التشغيل ويحد من البصمة الكربونية لعملياتهما³.

4. شركة جبس Gyproc

تُستخدم الحرارة الزائدة من محطة Asnæs أيضاً في شركة Gyproc، التي تُنتج ألواح الجبس. تتطلب عملية تجفيف الجبس كميات كبيرة من الطاقة الحرارية، ويتم تلبية هذه الاحتياجات من خلال استغلال البخار والحرارة الفائضة من المحطة. هذا الارتباط يُظهر كيف يمكن لصناعة ثقيلة مثل إنتاج الجبس أن تتكامل مع نظام الطاقة المشترك، مما يقلل من استهلاك الطاقة التقليدية.

5. نظام التدفئة المركزية في المدينة:

يتم توجيه الحرارة الزائدة من محطة Asnæs إلى شبكة التدفئة المركزية في مدينة كالونديبورغ عبر مبادلات حرارية. يتم توزيع هذه الحرارة على المنازل والمباني العامة، مما يوفر حوالي 80% من احتياجات التدفئة في المنطقة خلال فصل الشتاء.

¹ Ehrenfeld, J., & Gertler, N. (1997). "Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg." *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 67-79

² Chertow, M. R. (2000). "Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy." *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313-337

³ Jacobsen, N. B. (2006). "Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects." *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 239-255

هذا التدفق لا يقتصر على الشركات الصناعية فقط، بل يمتد ليشمل المجتمع المحلي، مما يعزز الاستدامة على نطاق أوسع.¹

تدفقات الطاقة: يمكن تلخيص تدفقات الطاقة في منتزه كالونديبورغ على النحو التالي: تبدأ العملية في محطة Asnæs التي تولد الكهرباء والبخار والحرارة، ثم يتم توزيع البخار على مصفاة Equinor وشركتي نوفوزايمس ونوو نورديسك و Gyproc لتلبية احتياجات الإنتاج، بينما تُستخدم الحرارة الفائضة في تدفئة المدينة. في الوقت نفسه، تعيد مصفاة Equinor غازاتها إلى المحطة لإعادة استخدامها، مما يخلق نظامًا دائريًا فعالًا. يتم تنسيق هذه التدفقات عبر شبكة أنابيب متقدمة واتفاقيات تعاون بين الشركات، مما يضمن استغلال كل وحدة طاقة بشكل مثالي²

8.3.2.2 الفوائد الاقتصادية:

من الناحية الاقتصادية، يوفر تبادل الطاقة تكاليف الإنتاج للشركات المشاركة. على سبيل المثال، تقلل شركة نوفوزايمس من تكاليف الطاقة اللازمة لعملياتها من خلال الاعتماد على البخار المُعاد تدويره من محطة Asnæs بدلاً من توليده داخليًا. هذا التعاون يعزز القدرة التنافسية للشركات ويدعم الاقتصاد المحلي من خلال خلق فرص عمل مرتبطة بالصيانة والتطوير³

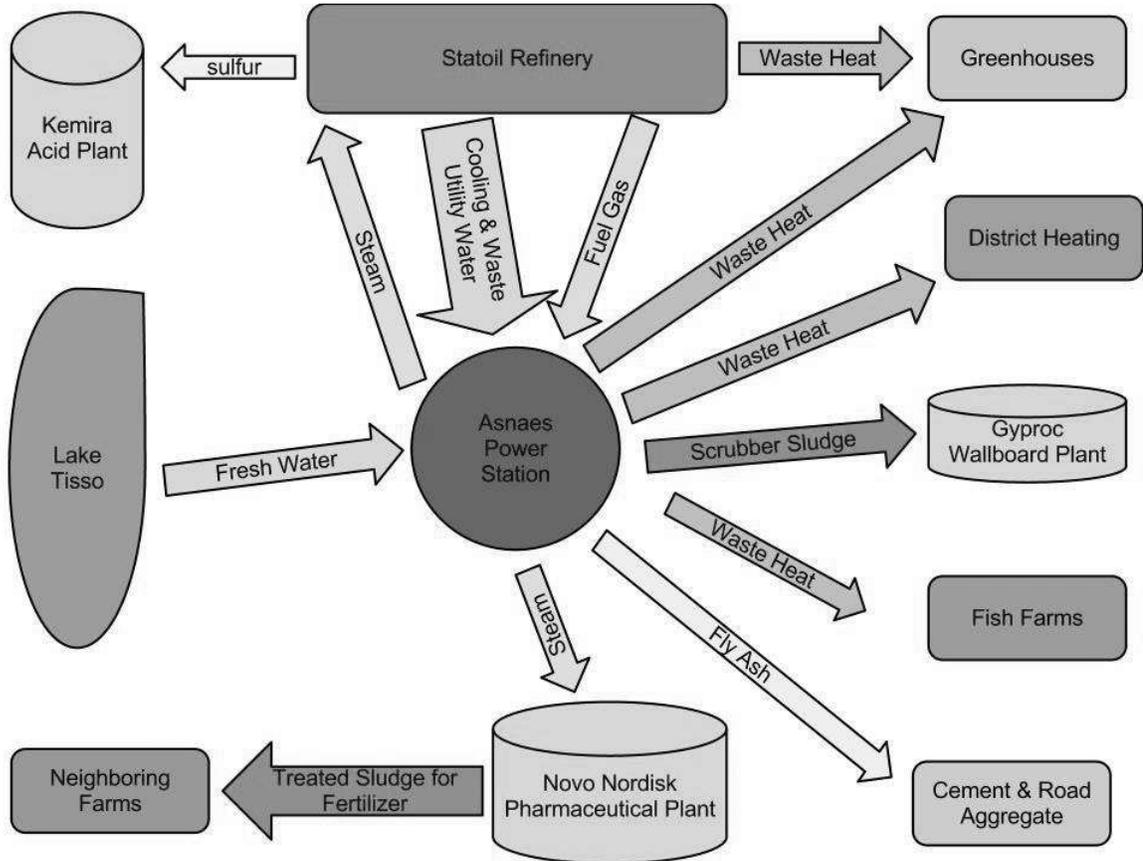
يعمل المنتزه حاليًا على استكشاف مصادر مثل الطاقة الحيوية والطاقة الشمسية لتعزيز استدامته⁴ فيما يلي المخطط (1) الذي يُبرز المخطط كيفية تحويل النفايات (مثل الحرارة الزائدة والبخار والمخلفات الصلبة) إلى موارد قيمة بين المنشآت.

¹ www.kalundborg-symbiosis.dk. "Environmental Impact Report". متاح على: Kalundborg Symbiosis. (2023).

² Domenech, T., & Davies, M. (2011). "The Role of Embeddedness in Industrial Symbiosis Networks: Phases in the Evolution of Kalundborg." *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 281-296.

³ Jacobsen, N. B. (2006). "Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects." *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 239-255.

⁴ Domenech, T., & Davies, M. (2011). "The Role of Embeddedness in Industrial Symbiosis Networks: Phases in the Evolution of Kalundborg." *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 281-296.



المخطط (4): يُبرز كيفية تحويل النفايات إلى موارد قيمة بين المنشآت.

8.3.3 تبادل المواد والنفايات:

تقوم الشركات داخل الشبكة بتبادل النفايات والمواد بشكل تكاملي، حيث تصبح نفايات شركة ما مدخلات لشركة أخرى. على سبيل المثال:

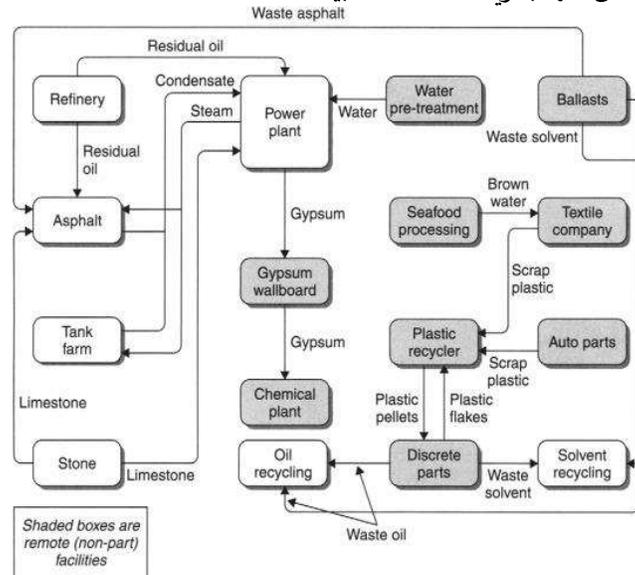
- محطة الطاقة: **Asnaes Power Plant** توليد الكهرباء والطاقة الحرارية.
- مجموعة نونفا: **(Novo Group)** تشمل شركات مثل نوزيمز (**Novozymes**) ونوو نورديسك (**Novo Nordisk**) في الصناعات البيولوجية والأدوية.
- مصنع النفط: **Statoil** الآن: **Equinor** معالجة النفط والغاز.
- مصنع السكر: **Gyproc** إنتاج الجبس والمنتجات ذات الصلة.
- محطة معالجة مياه الصرف: **(Wastewater Treatment Plant)** معالجة مياه الصرف الصناعي والمنزلي.
- الشركات هذه تتشارك في المواد، والطاقة، والنفايات لتقليل الهدر وتحسين الاستدامة.

أمثلة على تبادل المواد والنفايات:

تبادل النفايات كمواد خام:

- غازات المداخن (**Flue Gas Desulfurization - FGD**): نفايات الكبريت من محطة الطاقة تُستخدم في إنتاج الجبس في مصنع **Gyproc**، مما يُحول النفايات إلى مورد قيم.

- مخلفات الإنتاج البيولوجي: نووا (مثل نووزيمز) تُنتج نفايات عضوية يمكن أن تُستخدم كسماد أو في عمليات أخرى، بينما تتشارك مع شركاء آخرين في إعادة تدوير المواد العضوية.
- حرارة الفاقد (Waste Heat): الحرارة الناتجة عن عمليات محطة الطاقة تُستخدم لتدفئة المناطق المحلية أو لدعم عمليات الإنتاج في الشركات الأخرى¹.
- الكربون الديوكسيد (CO2): قد يتم التقاط CO2 من محطة الطاقة أو مصانع الإنتاج واستخدامه في الصناعات البيولوجية (مثل نووا) لتطوير المنتجات الحيوية².
- النفايات الصلبة: النفايات الصلبة من إنتاج السكر أو النفط يمكن أن تُستخدم كوقود أو في عمليات إنتاج أخرى. على مدار العام. أخيرًا، يتم إعادة تدوير المنتجات الثانوية الصلبة مثل الرماد المتطاير من احتراق الفحم، والحماة من معالجة مياه الصرف العامة، والكتلة الحيوية من التخمر الحيوي في منشأة نوفو بطرق مختلفة، سواء محليًا أو خارجيًا. في المجموع، يشمل التناسق الصناعي في كالونديبورغ - حسب التعريف - حوالي 20 تبادلًا مختلفًا للمنتجات الثانوية قيد التشغيل، بالإضافة إلى عدد من المشاريع المحتملة، وعدد من المشاريع التي تم إغلاقها مع تطور الأسواق والابتكارات التكنولوجية. يوضح المخطط رقم (5) أدناه مجموعة من العمليات الصناعية (مثل مصفاة نفط، محطة توليد طاقة، ومصانع إعادة تدوير) وكيفية التعامل مع المواد الخام، المنتجات الثانوية، والنفايات. الهدف الأساسي هو إظهار كيف يتم استخدام الموارد وإعادة تدويرها أو التخلص منها بطريقة منظمة. كما بيّنا أعلاه



المخطط رقم (5): يوضح مجموعة من العمليات الصناعية وكيفية التعامل مع المواد الخام، المنتجات الثانوية.

8.4 نتائج التجربة

8.4.1 الفوائد البيئية:

- تخفيض انبعاثات الكربون: تم تخفيض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بمقدار 586,000 طن سنويًا. وهذا يعادل إزالة حوالي 43,000 سيارة من الطرق سنويًا.
- توفير المياه: تم توفير حوالي 4 مليون متر مكعب من المياه سنويًا .

¹ Ernest A. Lowe, *Eco-Industrial Parks: A Handbook for Sustainable Development* (London: Routledge, 2001), 112-118.

² John R. Ehrenfeld and Nicholas Gertler, *Industrial Ecology in Practice: The Kalundborg Case* (Cambridge: MIT Press, 1997), 54.

- هذا يعادل استهلاك 12,000 منزل سنويًا .
- إدارة النفايات: تم إعادة استخدام أكثر من 80% من النفايات الصناعية وتم تحويل النفايات العضوية إلى سماد يستخدم في الزراعة.¹ يوضح الجدول رقم (3): بعض المؤشرات البيئية لفوائد التجربة.

المؤشرات البيئية	القيمة
توفير ثاني أكسيد الكربون	586,000 طن/سنة
توفير المياه الجوفية	4 ملايين م ³ /سنة
إعادة تدوير المواد المتبقية	62,000 طن/سنة
انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون منذ 2015	80%
الطاقة المحلية	محايدة للكربون

8.4.2 الفوائد الاقتصادية:

- تقليل تكاليف الإنتاج: من خلال إعادة استخدام النفايات (مثل البخار والمياه)، تقلص الشركات في Kalundborg تكاليف المواد الخام والطاقة. على سبيل المثال، توفر محطة الطاقة بخارها لمصنع الأسمت، مما يقلل الحاجة إلى توليد طاقة إضافية.² وفيما يلي الجدول (4) الذي يوضح تقليل تكاليف الإنتاج السنوية بالمليون دولار الأمريكي.

السنة	تكلفة الإنتاج التقليدية	تكلفة بعد التناسق	التوفير
2020	150	120	30
2021	155	122	33
2022	160	125	35
2023	165	128	37
2024	170	130	40

كما نلاحظ ان الجدول يوضح زيادة التوفير السنوي، مما يعكس تحسين الكفاءة مع الوقت. زيادة الإيرادات: بيع المنتجات الثانوية (مثل الجبس لصناعة البناء والمياه المعالجة) يولد مصادر دخل إضافية للشركات المشاركة في Kalundborg Symbiosis. على سبيل المثال، تحول محطة الطاقة النفايات إلى جبس يُباع لشركات البناء، بينما تُعاد توظيف المياه المستخدمة لتقليل تكاليف الشراء. وفقًا للبيانات المتوفرة، زادت الإيرادات السنوية من بيع هذه المنتجات من 20 مليون دولار في عام 2020 إلى 50 مليون دولار في عام 2024، مما يعكس نموًا اقتصاديًا ملحوظًا نتيجة التناسق الصناعي .

يوضح الجدول رقم (5): الذي يوضح زيادة الإيرادات السنوية من المنتجات الثانوية بالمليون دولار الأمريكي.

السنة	(الإيرادات السنوية (مليون دولار))
2020	20
2021	28
2022	36
2023	43
2024	50

¹ www.kalundborg-symbiosis.dk. "Environmental Impact Report 2023". Kalundborg Symbiosis. (2023). متاح على: www.kalundborg-symbiosis.dk

² www.kalundborg-symbiosis.dk

توفير الطاقة: تبادل الطاقة بين الشركات يقلل الاعتماد على الوقود الأحفوري، مما يوفر تكاليف الطاقة ويقلل الانبعاثات. فعلى سبيل المثال، توفر محطة الطاقة حوالي 30% من احتياجات الطاقة لشركات أخرى، وفي الجدول الاتي رقم (6) تظهر قيم توفير الطاقة السنوي بالميغا واط الساعي.

الجدول رقم (6): قيم توفير الطاقة السنوي بالميغا واط الساعي.

التوفير	استهلاك بعد التناسق	استهلاك الطاقة التقليدي	السنة
150	350	500	2020
155	355	510	2021
160	360	520	2022
165	365	530	2023
170	370	540	2024

التحليل الاقتصادي:

- التأثير على التكاليف: التوفير السنوي في تكاليف الإنتاج يتراوح بين 30-40 مليون دولار، مما يعزز التنافسية للشركات المشاركة.
- النمو الإيرادي: زيادة الإيرادات بنسبة تزيد عن 150% خلال الفترة من 2020 إلى 2024، مما يشير إلى نموذج اقتصادي مستدام.
- الكفاءة الطاقية: توفير 150-170 ميغاواط ساعة سنويًا يقلل الاعتماد على الطاقة الخارجية، مما يدعم الاستقرار الاقتصادي.¹

8.4.3 الفوائد الاجتماعية:

- تحسين جودة الحياة: حيث تم تحسين جودة الحياة في المجتمع المحلي من خلال توفير التدفئة وتقليل التلوث وتم تقليل مستويات الضوضاء والتلوث الهوائي بنسبة 30%.

- تعزيز الوعي البيئي: ساهمت التجربة في زيادة الوعي البيئي لدى الشركات والمجتمع المحلي.

8.5 التحديات التي واجهتها التجربة:

- على الرغم من نجاح التجربة، إلا أنها واجهت بعض التحديات التي يجب أخذها في الاعتبار عند تطبيق هذا النموذج في أماكن أخرى:
- التحديات التقنية: مثل الحاجة إلى بنية تحتية متخصصة لدعم عمليات تبادل الموارد. وتكلفة تحديث المرافق القديمة بلغت حوالي 10 مليون دولار في المراحل الأولى.
- التحديات المالية: مثل تكلفة عالية في المراحل الأولى لتطوير الشبكة وتحديث المرافق. الحصول على تمويل حكومي بقيمة 5 مليون دولار لدعم المشروع.
- التحديات التنظيمية: الحاجة إلى تنسيق مستمر بين الشركات المختلفة لضمان سير العمل بسلاسة. حيث تم تشكيل هيئة تنسيقية تتكون من 15 عضوًا لتنظيم العمليات.
- التحديات الثقافية: مقاومة بعض الشركات للتغيير بسبب نقص الوعي بأهمية الاستدامة.

8.6 العوامل التي ساهمت في نجاح التجربة:

8.6.1 التعاون بين الأطراف: كان التعاون بين الشركات المحلية والحكومة والمجتمع المحلي أحد العوامل الرئيسية لنجاح التجربة وتم وضع اتفاقيات واضحة لتنظيم عمليات تبادل الموارد.

8.6.2 الدعم الحكومي: قدمت الحكومة الدنماركية حوافز مالية وتنظيمية لتشجيع الشركات على الانضمام إلى الشبكة وتم تقديم دعم مالي بقيمة 5 مليون دولار في المراحل الأولى.

8.6.3 التكنولوجيا الحديثة: تم استخدام تقنيات متقدمة لإدارة الموارد وتحسين الكفاءة وتم تركيب أنظمة تحلية المياه بتكلفة 2 مليون دولار.

8.6.4 الوعي البيئي: كان هناك وعي بيئي كبير لدى الشركات والمجتمع المحلي، مما ساهم في دعم التجربة.

8.7 دروس مستفادة من تجربة كالونديبورغ:

- أهمية التعاون: يُظهر النموذج أهمية التعاون بين الشركات لتحقيق فوائد مشتركة.

- دور الحكومة: يؤكد النموذج على ضرورة تقديم الحكومة دعماً مالياً وتنظيمياً لمشاريع الاستدامة.

- التكنولوجيا كعامل مساعد: تشير التجربة إلى أن استخدام التكنولوجيا الحديثة يمكن أن يعزز كفاءة إدارة الموارد.

- الحاجة إلى التخطيط طويل الأمد: يُظهر النموذج أهمية التخطيط طويل الأمد لتحقيق نتائج مستدامة.

9. تقييم إمكانية تطبيق تجربة كالونديبورغ في المدينة الصناعية بحسب

9.1 مقدمة:

المدينة الصناعية بحسب، الواقعة في محافظة حمص بسوريا، تُعتبر واحدة من أكبر المدن الصناعية في البلاد، حيث تضم أكثر من 200 شركة تعمل في مجالات متنوعة مثل الصناعات الغذائية، الكيميائية، الهندسية، والنسيجية. بالنظر إلى تنوع الأنشطة الصناعية فيها، يمكن أن تكون هذه المدينة مرشحة ممتازة لتطبيق نموذج المنتزهات التكنولوجية الصناعية المستوحى من تجربة كالونديبورغ. ومع ذلك، فإن تطبيق هذا النموذج يتطلب دراسة شاملة للوضع الحالي للمدينة الصناعية، بما في ذلك البنية التحتية، التنوع الصناعي، والتحديات البيئية والاقتصادية.

9.2 الوضع الحالي للمدينة الصناعية بحسب:

9.2.1 البنية التحتية:

- الطاقة: تعتمد المدينة الصناعية بشكل رئيسي على الطاقة التقليدية (الوقود الأحفوري) والكهرباء، مع وجود فرص لاستخدام الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية بشكل أوسع.

- إدارة المياه: تفتقر المدينة إلى نظام متكامل لإعادة استخدام المياه، حيث يتم تصريف كميات كبيرة من المياه الصناعية غير المعالجة وتُغذى المدينة بالمياه من حوض القلمون، حيث تُنتج 20 بئر حوالي 8 ملايين متر مكعب سنوياً، مع إمكانية زيادة السعة إلى 14 مليون متر مكعب. ولا يوجد معلومات أو قياسات لكمية المياه المستخدمة في المدينة كما تُجرى دراسات لسحب مياه الفرات لتوفير أكثر من 30 مليون متر مكعب سنوياً، مما يدعم الاحتياجات الصناعية والسكانية. كما أن الأمطار الموسمية توفر مصدرًا مائيًا إضافيًا يمكن استغلاله إذا تم إدارته بكفاءة.

- إدارة النفايات: لا يتم تطبيق النظام الموجود لإدارة النفايات.

9.2.2 التنوع الصناعي:

- تضم المدينة الصناعية مجموعة متنوعة من الشركات، مما يوفر فرصاً لتبادل المواد والنفايات بين القطاعات المختلفة.

- الصناعات الغذائية: تنتج كميات كبيرة من النفايات العضوية التي يمكن تحويلها إلى سماد.

- الصناعات الكيميائية: تنتج مواد خام يمكن إعادة استخدامها في صناعات أخرى.

- الصناعات الهندسية: تولد مخلفات معدنية يمكن إعادة تدويرها.

وفي الجداول التالية رقم (7- 8- 9- 10- 11- 12) التالية استطنا جمع البيانات المذكورة وتنسيقها وفق نوع الصناعة وتم ذلك بشكل تقريبي بعد عدة مقابلات مع فنيين ومدراء معامل بالرجوع الى فواتير الكهرباء والماء وبالمقارنة مع أرقام تخص معامل مشابهة قد سبق دراستها:

الجدول رقم (7): الصناعات المعدنية.

الغازات المنبعثة تقريباً (طن CO2/يوم)	المياه المستهلكة تقريباً (لتر/يوم)	الطاقة المستهلكة تقريباً (kWh/يوم)	المخلفات	المنتجات الثانوية	المدخلات	المجموعة/المنشآت
5 - 10	5,000 - 10,000	10,000 - 15,000	قصاصات معدنية، نشارة معدنية، زيوت نفايات، نفايات مواد عازلة	قطع معدنية، أجزاء دقيقة، ألواح عازلة، بوري حديد، هياكل معدنية	معادن خام (فولاذ، فولاد)، مواد عازلة (جديد، ألمنيوم)	باور ستيل للمعادن، الفوعاني للخراطة، المغريل للصناعات المعدنية والألواح العازلة، منشأة الأوائل للصناعات المعدنية، شركة كمال الكنص للخراطة وتسوية المعادن، منشأة مهراي الحجار للقص ودرفلة التوتة، شركة شيخ السوق اخوان لإنتاج بوري الحديد، شركة تركاوي لتصنيع الحديد، رسول عبد الرحمن بريجاوي لتشكيل المعادن،
10 - 15	10,000 - 15,000	15,000 - 20,000	قصاصات معدنية، زيوت نفايات، نفايات مواد عازلة	صهاريج معدنية، مرجل بخارية، مكابس هيدروليكية	معادن (فولاذ، ألمنيوم)، مواد عازلة	مؤسسة هشام المصري للصهاريج، شما اخوان للمراجل البخارية، بوشنفا وسيوفي لتصنيع مكابس البيرين

الجدول رقم (8): صناعات البناء (الحجر، الرخام، البلوك، والأسمنت).

الغازات المنبعثة تقريباً (طن CO2/يوم)	المياه المستهلكة تقريباً (لتر/يوم)	الطاقة المستهلكة تقريباً (kWh/يوم)	المخلفات	المنتجات الثانوية	المدخلات	المجموعة/المنشآت
3 - 5	2,000 - 5,000	5,000 - 8,000	غبار الحجر، قصاصات رخام، قصاصات غرانيت	ألواح حجرية، ألواح رخام، ألواح غرانيت	حجر خام، رخام، غرانيت، بازلت	مصنع الخالد للحجر والرخام والبازلت، المشعل ومهرات للرخام والحجر، منشأة دبيي انشر الحجر والرخام، شركة الرائد للرخام، شركة العليوي ورعد لنشر الرخام، الشركة السورية للغرانيت والرخام،
5 - 8	5,000 - 8,000	8,000 - 12,000	غبار أسمنتي، نفايات رمل	بلوك أسمنتي، انترولوك	أسمنت، رمل، حصي	الخليل للبلوك، علاء الدين للبلوك، شركة سيغل للبلوك والانترولوك
8 - 12	8,000 - 12,000	10,000 - 15,000	غبار أسمنتي، نفايات رمل	خرسانة جاهزة	أسمنت، رمل، حصي	يوني بيتون، شركة بور بيتون
4	3,000 - 6,000	6,000 - 10,000	غبار أسمنتي، نفايات رمل	ألواح أسمنتية	أسمنت، رمل، حصي	مؤسسة وليد الصغير لإنتاج الألواح الأسمنتية

ملاحظة: صناعة البلوك والخرسانة تستهلك طاقة ومياه أكثر بسبب العمليات الميكانيكية والترطيب، مع انبعاثات CO2 من الأسمنت.

الجدول رقم (9): الصناعات البلاستيكية.

المجموعه/المنشآت	المدخلات	المنتجات الثانوية	المخلفات	الطاقة المستهلكة تقريبا (kWh/يوم)	المياه المستهلكة تقريبا (لتر/يوم)	الغازات المنبعثة تقريبا (طن CO2/يوم)
بلاستيك الخير، إيمسا بلاستيك، الأكرم بلاستيك، الأمير بلاستيك، تركماني للصناعات البلاستيكية، الحبيبات الذهبية للصناعات البلاستيكية، سريانا بلاستيك، القلمون البلاستيك، القمه للصناعات البلاستيكية، ززم بلاستيك، عوف للصناعات البلاستيكية، الحسون للصناعات البلاستيكية	حبيبات بلاستيكية	منتجات بلاستيكية (أنابيب، أقفاص، أدوات)، حبيبات بلاستيكية معالجة	قصاصات بلاستيك، نفايات بلاستيكية	4,000 – 6,000	1,000 – 3,000	2 – 4
شركة رسول حسواني وشركاه (بلادكو)، الإنابيب البلاستيكية (رياض مندو وشركاه)	نفايات بلاستيكية	حبيبات بلاستيكية معاد تدويرها	نفايات غير قابلة للتدوير	4,000 – 6,000	2,000 – 4,000	3 – 5
الأمير لإعادة تدوير النفايات	نفايات بلاستيكية	حبيبات بلاستيكية معاد تدويرها	نفايات غير قابلة للتدوير	4,000 – 6,000	1,000 – 3,000	2 – 4

ملاحظة: الصناعات البلاستيكية تعتمد على الطاقة للصر، وتستهلك مياهًا للتبريد، مع انبعاثات CO2 من عمليات الحرق

الجدول رقم (10): الصناعات الكيميائية.

المجموعه/المنشآت	المدخلات	المنتجات الثانوية	المخلفات	الطاقة المستهلكة تقريبا (KWh/يوم)	المياه المستهلكة تقريبا (لتر/يوم)	الغازات المنبعثة تقريبا (طن CO2/يوم)
مؤسسة فايز كاسوحة لصناعة كربونات الكالسيوم، شركة دنحوي لإنتاج كربونات الكالسيوم	حجر جير، مواد كيميائية	كربونات الكالسيوم	غبار الحجر، نفايات كيميائية	6,000 – 10,000	5,000 – 8,000	4 – 7
الكو الخط اللاصق المواد اللاصقة، المتحدون للصناعات الكيميائية، المتحدة للصناعات الكيماوية (أعلاف)	مواد كيميائية، إضافات غذائية	مواد لاصقة، إضافات، منتجات كيميائية	نفايات كيميائية، مذيبات نفايات	5,000 – 8,000	3,000 – 6,000	3 – 5
بيرلي بنت لصناعة الدهانات والمذيبات، بي جي للدهانات والمذيبات، جنيت للدهانات، يامن عيسى للدهانات	مواد كيميائية، مذيبات	دهانات، مذيبات	نفايات كيميائية، مذيبات نفايات	4,000 – 6,000	2,000 – 4,000	2 – 4
الروابي لطحن زهر الكبريت	كبريت خام	مسحوق كبريت	غبار كبريت، نفايات كيميائية	3,000 – 5,000	1,000 – 3,000	2 – 3
شعلان جروس للكحول الطبي	مواد كيميائية، كحول	كحول طبي	نفايات كيميائية، عوات نفايات	4,000 – 6,000	2,000 – 5,000	2 – 4
غاردنيا فارما للأدوية، لايف فيت للصناعات الدوائية البيطرية	مواد كيميائية، مركبات دوائية	أدوية، أدوية بيطرية	نفايات كيميائية، عوات نفايات	5,000 – 7,000	3,000 – 6,000	3 – 5
معمل أكسجين النيك	هواء	أكسجين طبي وصناعي	لا توجد مخلفات بارزة	3,000 – 5,000	1,000 – 2,000	1 – 2
العتاء لصناعة الأسمدة العضوية	نفايات عضوية، مواد كيميائية	أسمدة عضوية	نفايات عضوية غير قابلة للاستخدام	4,000 – 6,000	2,000 – 4,000	2 – 3
مؤسسة أمنة للمضافات الغذائية	مواد كيميائية، إضافات غذائية	مضافات غذائية	نفايات كيميائية	3,000 – 5,000	1,000 – 3,000	2 – 3

ملاحظة: الصناعات الكيميائية تستهلك طاقة للمعالجة الحرارية، ومياه للتنظيف، مع انبعاثات تختلف حسب نوع المواد المستخدمة.

الجدول رقم (11): الصناعات الغذائية.

المجموعه/المنشآت	المدخلات	المنتجات الثانوية	المخلفات	الطاقة المستهلكة تقريباً (kWh/يوم)	المياه المستهلكة تقديرياً (لتر/يوم)	الغازات المنبعثة تقديرياً (طن CO2/يوم)
الشيخ لاستخراج زيت العرجون، فواد وصلاح خليل (حمو) لزيت العرجون، سمير وعيسى وناصر لاستخراج زيت العرجون،	بذور العرجون	زيت العرجون	نقل بذور، نفايات عضوية	2,000 - 4,000	1,000 - 3,000	1 - 2
قجعة وطعمة لإنتاج الصابون، الملكة بافيون لصناعة الصابون،	زيوت نباتية، مواد كيميائية	صابون، صابون الغاز	نفايات زيوت، نفايات كيميائية	3,000 - 5,000	2,000 - 4,000	2 - 3
أبو قرعة للمناديل الورقية	لب الورق، مواد كيميائية	مناديل ورقية	قصاصات ورق، نفايات كيميائية	4,000 - 6,000	3,000 - 5,000	2 - 4
معمل اميسا للاعلاف، الولاء لصناعة الاعلاف، شركة بسام حمود لاعلاف الدواجن	حبوب، إضافات غذائية	أعلاف حيوانية، أعلاف دواجن	نفايات حبوب، غبار عضوي	2,500 - 4,500	1,500 - 3,000	1 - 2
شركة المرعي لتكرير الملح وطحنه وتعبئته	ملح خام	ملح معبأ	نفايات ملحية	2,000 - 4,000	1,000 - 2,000	1 - 2
هولي هل لصناعة البسكويت	دقيق، سكر، زيوت	بسكويت	نفايات دقيق، نفايات زيوت	3,500 - 5,500	2,000 - 4,000	2 - 3
القمرية لصناعة وفلتر زيت الزيتون	زيتون	زيت زيتون	نقل زيتون، نفايات عضوية	2,500 - 4,500	1,500 - 3,000	1 - 2

ملاحظة: الصناعات الغذائية تستهلك مياهًا أكثر في العمليات مثل التنظيف، مع انبعاثات منخفضة نسبيًا إلا في عمليات التخمر.

الجدول رقم (12): الصناعات النسيجية.

المجموعه/المنشآت	المدخلات	المنتجات الثانوية	المخلفات	الطاقة المستهلكة تقريباً (kWh/يوم)	المياه المستهلكة تقديرياً (لتر/يوم)	الغازات المنبعثة تقديرياً (طن CO2/يوم)
شركة جنيد للنسيج الآلي، منشأة الطباغ للنسيج الآلي، شركة صباغ وشعبون للنسيج الآلي	خيوط، أصباغ	أقمشة	قصاصات قماش، نفايات أصباغ	3,000 - 5,000	2,000 - 4,000	2 - 3

جدول (12)

ملاحظة: النسيج يعتمد على الطاقة للنسيج والصباغة، ويستهلك مياهًا للغسيل.

9.2.3 التحديات البيئية:

- التلوث الهوائي: انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من المصانع تؤثر سلبيًا على جودة الهواء.
- تلوث المياه: تصريف المياه الصناعية غير المعالجة يؤثر على الموارد المائية المحلية.
- إدارة النفايات: عدم وجود نظام فعال لإعادة تدوير النفايات يؤدي إلى تراكمها.

9.3 الفرص المتاحة لتطبيق نموذج كالونديبورغ:

9.3.1 تنوع الأنشطة الصناعية:

- التنوع الكبير في الأنشطة الصناعية بالمدينة يوفر فرصًا لتبادل الموارد والنفايات بين الشركات. على سبيل المثال:
- النفايات العضوية من مصانع الأغذية:

- يمكن لمصانع الأغذية مثل مصانع عصير الفواكه أو مصانع اللحوم أن ترسل النفايات العضوية إلى مصانع الأسمدة لإنتاج الأسمدة العضوية.

-مخلفات المعادن من الصناعات الهندسية:

- يمكن لمصانع المعادن إعادة تدوير المخلفات المعدنية واستخدامها في صناعة قطع الغيار أو حتى في صناعة مواد البناء.

9.3.2 توفر البنية التحتية الأساسية:

- رغم التحديات الحالية، تمتلك المدينة الصناعية بنية تحتية أساسية يمكن تطويرها لدعم نموذج المنتزهات الإيكولوجية الصناعية. على سبيل المثال:

-أنظمة الطاقة الشمسية: يمكن تركيب ألواح شمسية على أسطح المصانع لتوفير الطاقة المتجددة.

إذا تم تركيب ألواح شمسية على 30% من المصانع، يمكن توفير حوالي 2 ميجاواط من الكهرباء يوميًا، مما يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري بنسبة 15%. طالما أن المناخ في منطقة حسياء يتميز بصيف حار وجاف وشتاء معتدل ممطر. متوسط درجات الحرارة يتراوح بين 5-15 درجة مئوية في الشتاء و25-35 درجة مئوية في الصيف. هذا المناخ مناسب للطاقة الشمسية.

- شبكات المياه: يمكن تحديث شبكات المياه وإعادة تصميمها لدعم إعادة استخدام المياه.

9.3.3 الدعم الحكومي:

- الحكومة السورية أبدت اهتمامًا متزايدًا بمشاريع الاستدامة البيئية، مما يمكن أن يوفر حوافز مالية وتنظيمية لتطبيق هذا النموذج.

إذا قدمت الحكومة حوافز مالية مثل تخفيض الضرائب أو تقديم قروض ميسرة، يمكن أن يساهم ذلك في تشجيع الشركات على الانضمام إلى الشبكة بنسبة 25% سنويًا.

9.4 التحديات المحتملة:

9.4.1 نقص الخبرة التقنية: تفتقر العديد من الشركات في المدينة الصناعية إلى الخبرة التقنية اللازمة لإدارة عمليات التكامل الصناعي. فإذا لم يتم توفير التدريب المناسب، قد تواجه الشركات صعوبة في تحقيق الكفاءة المطلوبة، مما يؤدي إلى فقدان حوالي 30% من الفوائد المتوقعة.

9.4.2 الحاجة إلى استثمارات أولية كبيرة: يتطلب تطبيق نموذج كالونديبورغ استثمارات كبيرة لتحديث البنية التحتية وتطوير أنظمة إدارة الموارد. فالتكلفة الأولية لتحديث البنية التحتية قد تصل إلى 15 مليون دولار، وهو مبلغ كبير بالنسبة للشركات الصغيرة والمتوسطة.

9.4.3 ضعف الوعي البيئي: هناك نقص في الوعي البيئي لدى بعض الشركات، مما قد يؤدي إلى مقاومة للتغيير. ولم يتم إطلاق حملات توعية فعالة، قد لا تشارك سوى 50% من الشركات في المشروع خلال السنوات الثلاث الأولى.

9.4.4 الظروف الاقتصادية والسياسية: الظروف الاقتصادية والسياسية في سوريا قد تؤثر على قدرة الشركات على الاستثمار في مشاريع الاستدامة. وفي حال استمرار الظروف الاقتصادية الصعبة، قد تواجه الشركات صعوبة في تخصيص الميزانيات اللازمة، مما يؤدي إلى تأخير المشروع لمدة 3-5 سنوات.

9.5 مقترحات التطبيق:

9.5.1 إنشاء شبكة تبادل الموارد:

- يمكن إنشاء شبكة لتبادل المواد والنفايات بين الشركات، حيث يتم تحويل النفايات الصناعية إلى مدخلات لشركات أخرى على سبيل المثال:

- النفايات العضوية: يمكن تحويلها إلى سماد عضوي.
- والمخلفات المعدنية: يمكن إعادة تدويرها واستخدامها في الصناعات الهندسية.
- 9.5.2 استخدام الطاقة المتجددة بحيث يمكن تركيب ألواح شمسية لتوفير الطاقة للمصانع ويمكن إعادة استخدام الحرارة المهدرة من المصانع لتسخين المياه أو توليد الكهرباء.
- 9.5.3 معالجة المياه وإعادة استخدامها يمكن إنشاء محطة مركزية لمعالجة المياه وإعادة توزيعها على المصانع. ويمكن استخدام المياه المعالجة في عمليات التبريد والتنظيف.
- 9.5.4 إنشاء هيئة تنسيقية: يمكن إنشاء هيئة تنسيقية تضم ممثلين عن الحكومة والشركات المحلية لتنظيم عمليات تبادل الموارد ومراقبة الأداء.

9.5.5 أمثلة عملية لتطبيق التناسق الصناعي في مدينة حسياء الصناعية:

1. تبادل المخلفات بين الصناعات المعدنية والبلاستيكية:
 - المخلفات: قصاصات معدنية وزيتون نفايات من الصناعات المعدنية (مثل باور ستيل ودار الهندسة).
 - الاستخدام: يمكن استخدام الزيوت النفايات كوقود بديل في تصنيع البلاستيك (مثل بلاستيك الخير أو إيميسا بلاستيك)، بينما تُعاد تدوير قصاصات المعادن لإنتاج أقفاص بلاستيكية متعززة.
 - الفائدة: تقليل تكاليف الوقود وإعادة استخدام المعادن.
 - استغلال غبار الحجر من صناعات البناء:
 - المخلفات: غبار الحجر وقصاصات الرخام من مصنع الخالد وشركة الرائد للرخام.
 - الاستخدام: يمكن استخدام غبار الحجر كمادة خام في صناعة الأسمنت أو كمادة حشو في صناعة البلاستيك، بينما تُستخدم قصاصات الرخام في صناعة الفسيفساء أو كمادة ديكور في الصناعات الهندسية.
 - الفائدة: تقليل النفايات الصلبة، وتوفير تكاليف التخلص من النفايات، مع زيادة الإيرادات من بيع المنتجات الثانوية.
3. إعادة استخدام المياه الصناعية:
 - المخلفات: المياه المستخدمة في عمليات التبريد والتنظيف من مصانع مثل مصنع الألمنيوم أو مصانع النسيج.
 - الاستخدام: يمكن معالجة هذه المياه في محطة مركزية وإعادة توزيعها للاستخدام في ري الأراضي المحيطة أو في عمليات التبريد لمصانع أخرى.
 - الفائدة: توفير المياه المستخدمة، مما يقلل الضغط على الموارد المائية المحلية بنسبة ويخفض تكاليف استهلاك المياه.
4. تبادل الحرارة المهدرة:
 - المخلفات: الحرارة الناتجة عن أفران الصناعات الكيماوية أو الهندسية (مثل مصنع الكيماويات أو مصنع الحديد).
 - الاستخدام: يمكن توجيه الحرارة المهدرة لتسخين المياه أو تشغيل مولدات كهربائية صغيرة لتزويد المصانع المجاورة بالطاقة.

• الفائدة: توفير الطاقة المستخدمة، مما يقلل من استهلاك الوقود الأحفوري ويحقق توفير في تكاليف الطاقة.

9.6 تقييم الجدوى الاقتصادية والبيئية

9.6.1 الجدوى الاقتصادية

التكاليف الأولية:

تقدر التكاليف الأولية لتطبيق النموذج بحوالي 15 مليون دولار، تشمل تحديث البنية التحتية (مثل محطات معالجة المياه وشبكات الطاقة الشمسية) وتدريب العاملين.

1. البنية التحتية وتحضير الموقع

- تحضيرات الموقع—بما في ذلك عمليات المسح، التسوية، وتصريف المياه—عادة تُكلف ما بين 500–100 ألف دولار، وقد تمثل 10–5% من إجمالي الإنفاق¹
- تركيب شبكات المرافق (مياه صرف، كهرباء، اتصالات) يشكل غالبًا 15% من الميزانية، أي حوالي 1.5–1 مليون دولار، وذلك وفقًا لاختبارات مشاريع صناعية مماثلة²
- محطة معالجة مياه ضمن المنتزه قد تكلف 3–2 ملايين دولار، بناءً على نسبة 29% من تكلفة محطات معالجة الصناعية الشاملة³
- 2. أنظمة الطاقة المتجددة (~2–4 مليون دولار)
- سعر تركيب الطاقة الشمسية التجارية يبلغ نحو 1.56–1.45 دولار/واط في 2021، وفق إحصائيات SEIA وNREL⁴ مشروع متوسط السعة بقدرة، لنفترض، 1 ميغاواط، بتكلفة تبلغ تقريباً 1.75 مليون دولار⁵
- نتيجة لذلك، تركيب نظام شمسي يغطي مكاتب وبنية أساسية يقدر بحوالي 4–2 ملايين دولار.
- 3. منشآت إدارة النفايات (~1–2 مليون دولار)
- دراسات لـ Eco-Industrial Parks تشير أن إنشاء وحدة تدوير صناعية صغيرة قد يكلف في المتوسط 90 ألف دولار لكل نظام معالجة⁵.
- مع افتراض إنشاء 10–15 وحدة ضمن حسياء، تتراوح التكلفة الإجمالية بين 2–1 مليون دولار.
- 4. التدريب والتشغيل الإداري (~1–2 مليون دولار)
- غالبًا ما تُخصص فجوة 15–10% من إجمالي التكلفة الأولية للتدريب والتأهيل الإداري⁶
- مع ترسانة تُقدر بـ 50–100 موظف، التكاليف المطلوبة للتدريب (الدورات، المعدات، البرمجة) تصل إلى 2–1 مليون دولار
- 5. احتياطات الطوارئ والنفقات الاستشارية (~1–2 مليون دولار)
- يُصح بإضافة احتياطات مالية بنسبة 15–10% من التكلفة الإجمالية لتغطية التقييمات البيئية، التراخيص، الاستشارات، المخاطر غير المتوقعة⁷ لو اعتمدنا إجمالي إنفاق يبلغ 13 مليون دولار، فإن احتياطي 10% يعني 1.3 مليون دولار، مما يقترب من الحد الأعلى ضمن هذه الفئة.

¹ Businessplan Templates, "Startup Costs: Industrial Park", accessed via businessplan-templates.com

² Ibid

³ ScienceDirect, "Optimising renewable energy at the eco-industrial park", published 2.5 years ago

⁴ GSE Renewables, "Industrial Solar Panel Price", 2021

⁵ Research on Eco-Dynamic parks (UNIDO)، يُشير إلى متوسط 90 ألف دولار/نظام تدوير

⁶ UNIDO & GIZ, An International Framework for Eco-Industrial Parks, 2021

⁷ 1. van Beers et al., Lessons Learned from the Application of the UNIDO Eco-Industrial Park Toolbox in Viet Nam and Other Countries, Sustainability 11, no. 17 (2019): 4687.

الملخص العام للتكلفة:

العنصر	تقدير التكلفة (مليون \$)
تحضيرات الموقع + بنية تحتية + معالجة مياه	8-10
أنظمة الطاقة الشمسية	2-4
منشآت إدارة النفايات	1-2
تدريب وتشغيل الموظفين	1-2
نفقات استشارية واحتياجات	1-2
المجموع الإجمالي	≈ 15

العائد المتوقع:

1. نموذج كالونديبورغ - الدانمارك benchmark: أساسي
 - المحفّز الأكثر شهرة: المنتزه الصناعي البيئي في كالونديبورغ حقّق وفورات سنوية تقدر بنحو 24 مليون يورو، بعد استثمار أولي قدر بـ 78.5 مليون دولار ≈ 70 مليون يورو¹
 - عائد الاستثمار السنوي = $(70 / 24) \times 100 \approx 34\%$ سنويًا، دون حساب الآثار البيئية والاجتماعية الموازية
2. تجربة كوريا الجنوبية: أرقام مؤثرة
 - برنامج Ulsan Mipo و Onsan جمع استثمارات قدرها 520 مليون دولار، وحقّق وفورات تصل إلى 554 مليون دولار عبر إدارة موارد فعّالة²
 - عائد يفوق رأس المال بمقدار 1.06 مرة، أي 105% على الاستثمار المُخصّص، في فترة زمنية قصيرة نسبيًا (سنوات معدودة)
3. السوق الناشئة - فيتنام: التكاليف والفوائد
 - حُفّزت 72 شركة بتطبيق حلول الكفاءة الصناعية، واستثمرت فيهم 10.6 مليون دولار، محققين وفورات سنوية تقارب 3 مليون دولار وإجمالي تخفيض انبعاثات بمقدار 32,000 طن³ CO₂
 - عائد 28% سنويًا. (3 / 10.6)

¹ ENGIE Impact, "Eco-Industrial Park Case Study: Kalundborg, Denmark" (ENGIE Impact, April 2021)
² Marian R. Chertow, "Industrial symbiosis in Kalundborg: turning waste into a resource," *Industrial Symbiosis: PMC* (2023)
³ USC Viterbi, "Industrial Symbiosis at Kalundborg," blog post (21 May 2018; updated April 2021)

توقعات العائد لحسياء – سيناريو متحفظ

البند	قيمة (مليون \$)
الاستثمار الأولي	15
عائد سنوي متوقع conservatively	
•كالونديبورغ (34 %)	5.1
•فيتنام (28 %)	4.2
متوسط العائد السنوي	4.6 (~30%) مليون \$

- 35%–20 هو نطاق واقعي لعائد الاستثمار السنوي من الكفاءة والاستفادة من الموارد وإدارة النفايات.
- على مدى 5 سنوات، وعلى افتراض إعادة استثمار العائد (compounding)، سينمو المشروع إلى حوالي 33 مليون دولار، مع فترة استرداد رأس المال قصيرة (أقل من 5 سنوات).

فترة استرداد رأس المال:

بناءً على التقديرات، يمكن استرداد التكاليف الأولية خلال 5-7 سنوات، مما يجعل المشروع مجديًا اقتصاديًا على المدى الطويل.

9.6.2. الجدوى البيئية

1. خفض انبعاثات الكربون

تُظهر تجربة كالونديبورغ أن إنشاء منتزه صناعي بيئي يمكن أن يخفض الانبعاثات بمقدار 635,000 طن CO₂ سنويًا، نتيجة لاستغلال الحرارة والمواد الثانوية بين الشركات¹ بينما في فيتنام، أسهم تطبيق نموذج EIP في تخفيض إضافي يقدر بـ 32,000 طن CO₂ سنويًا عبر التشارك المنظم في الموارد²

2. الحفاظ على الموارد المائية

في كالونديبورغ، أدى تبادل المياه بين المرافق إلى توفير نحو 3.6 مليون م³ من المياه سنويًا³ وفي فيتنام، نفذ المشروع حوالي 600,000 م³ من إعادة استخدام المياه سنويًا⁴

3. كفاءة الطاقة والتقليل من استهلاك الوقود

تجارب كالونديبورغ خفضت استهلاك الطاقة بحوالي 100 GWh سنويًا⁵، بينما فيتنام تم توفير 22,000 MWh من الكهرباء وتخفيض 140 TJ من الوقود الأحفوري⁶

4. تقليل النفايات الصلبة

¹ ENGIE Impact, "Eco-Industrial Park Case Study: Kalundborg, Denmark" (ENGIE Impact, June 1, 2021)

² United Nations in Viet Nam, "Eco-Industrial Park – model for sustainable industrial development" (Hanoi, June 12, 2019)

³ ENGIE Impact, "Eco-Industrial Park Case Study"

⁴ United Nations in Viet Nam, "Eco-Industrial Park – a sustainable approach" (June 12, 2019)

⁵ ENGIE Impact, "Eco-Industrial Park Case Study"

⁶ United Nations in Viet Nam, "Eco-Industrial Park – sustainable approach"

- كالونديبورغ: أُعيد استخدام نحو 87,000 طن من النفايات الصلبة سنويًا¹
- في فيتنام: أُلغ المشروع عن استخدام 3,600 طن من المواد الكيميائية والنفايات كل عام²

تفسير هذه النتائج لحساء الصناعية

إذا طبقنا هذا النموذج على حساء الصناعية مع تأقلم محلي:

التقدير السنوي	الفائدة
30,000-200,000 طن	تخفيض CO ₂
0.5-3 مليون م ³	توفير مياه
20-100 GWh	توفير طاقة
5,000-50,000 طن	تقليل نفايات

- من شأن خفض الانبعاثات أن يقلل من التلوث البيئي ويعزز توافق الصناعة مع معياري البيئة ومعاهدات مثل اتفاقية باريس.
- توفير المياه يدعم الاستقرار في المناطق التي تواجه ضغطاً على الموارد، ويقلل من تكلفة استخراج المياه الجوفية.
- تحسين كفاءة الطاقة يؤدي إلى تقليص النفقات التشغيلية ويقلل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
- التقليل من النفايات يعزز الاقتصاد الدائري ويحد من الأضرار البيئية والتكاليف المرتبطة بآماكن التخلص والتنظيف.

9.7. خطة تنفيذ مقترحة

1. المرحلة الأولى (السنة الأولى) :
 - إجراء دراسة جدوى تفصيلية لتحديد الشركات المشاركة والموارد القابلة للتبادل.
 - إنشاء هيئة تنسيقية لإدارة المشروع.
 - تخصيص ميزانية أولية بقيمة 5 ملايين دولار من خلال الشراكات بين القطاعين العام والخاص.
2. المرحلة الثانية (السنين الثانية والثالثة) :
 - تحديث البنية التحتية (مثل تركيب ألواح شمسية وإنشاء محطة معالجة مياه).
 - بدء تبادل الموارد بين الشركات على نطاق صغير (مثل النفايات العضوية والمياه).
 - تدريب العاملين على تقنيات التكافل الصناعي بتكلفة تقديرية 500,000 دولار.
3. المرحلة الثالثة (السنين 4-7) :
 - توسيع الشبكة لتشمل جميع الشركات الراغبة في المشاركة.
 - تقييم الأداء البيئي والاقتصادي وتعديل الخطة بناءً على النتائج.
 - الترويج للمشروع كتجربة نموذجية قابلة للتطبيق في مدن صناعية أخرى في سوريا.

10. النتائج والتوصيات

10.1. النتائج الرئيسية

¹ ENGIE Impact, "Eco-Industrial Park Case Study"
² United Nations in Viet Nam, "Eco-Industrial Park"

- تجربة كالونديبورغ أثبتت نجاحها في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية من خلال تبادل الموارد، مما يجعلها نموذجًا قابلاً للتكيف في سياقات أخرى.
- المدينة الصناعية بحسب ما تمتلك إمكانيات كبيرة لتطبيق نموذج المنتزهات الإيكولوجية الصناعية بفضل تنوع أنشطتها الصناعية وتوفر بنية تحتية أساسية.
- التطبيق الناجح يمكن أن يحقق تخفيضات كبيرة في انبعاثات الكربون (50,000 طن سنويًا)، وتوفير المياه (مليون متر مكعب سنويًا)، وإعادة تدوير 70% من النفايات.
- التحديات الرئيسية تشمل الحاجة إلى استثمارات أولية (15 مليون دولار)، نقص الخبرة التقنية، وضعف الوعي البيئي.

10.2. التوصيات

1. تعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتوفير التمويل اللازم وتذليل العقبات التنفيذية.
2. إطلاق حملات توعية بيئية لتشجيع الشركات على المشاركة في المشروع وزيادة الوعي بأهمية الاستدامة.
3. توفير برامج تدريب تقني للعاملين في المدينة الصناعية لضمان كفاءة تنفيذ النموذج.
4. البدء بمشروع تجريبي صغير يشمل 5-10 شركات لاختبار جدوى النموذج قبل التوسع الكامل.
5. وضع سياسات حكومية داعمة مثل الحوافز الضريبية والقروض الميسرة لتشجيع الاستثمار في مشاريع الاستدامة.

11. الخاتمة:

تُظهر هذه الدراسة أن تطبيق نموذج المنتزهات الإيكولوجية الصناعية المستوحى من تجربة كالونديبورغ في المدينة الصناعية بحسب ما يمكن أن يكون خطوة استراتيجية نحو تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية في سوريا. على الرغم من التحديات المالية والتقنية، فإن الفوائد المحتملة من تقليل التلوث، توفير الموارد، وتعزيز الكفاءة الاقتصادية تجعل هذا النموذج جديرًا بالدراسة والتطبيق. من خلال التخطيط الجيد والتعاون بين الأطراف المعنية، يمكن لمدينة حسياء أن تصبح نموذجًا رائدًا للتنمية المستدامة في المنطقة، مما يساهم في مواجهة التحديات البيئية العالمية وتحسين جودة الحياة للمجتمعات المحلية.

12. المراجع:

الكتب:

- Chertow, M. R. (2000). *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*. Stanford University Press.
- Lowe, E. A. (2001). *Eco-Industrial Park Handbook for Asian Developing Countries*. Greenleaf Publishing.
- Lowe, E. A. (2001). *Eco-Industrial Parks: A Foundation for Sustainable Communities*. Indigo Development.
- Lowe, E. A. (2001). *Eco-Industrial Parks: A Handbook for Sustainable Development*. Routledge.

المقالات العلمية:

- Chertow, M. R. (2000). Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337.

- Chertow, M. R. (2004). Uncovering Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2), 11-30.
- Domenech, T., & Davies, M. (2011). The Role of Embeddedness in Industrial Symbiosis Networks: Phases in the Evolution of Kalundborg. *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 281-296.
- Ehrenfeld, J., & Gertler, N. (1997). Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 67-79.
- Geng, Y., Fujita, T., & Park, H.-S. (2012). Eco-industrial parks: A review of concepts, practices, and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 1-8.
- Geng, Y., Zhu, Q., & Doberstein, B. (2012). Measuring China's Circular Economy. *Science*, 339(6127), 1526-1527.
- Geng, Y., Zhong, S., & Wu, R. (2017). Measuring Regional Circular Economy Performance: A Case Study of China. *Journal of Cleaner Production*, 142, 246-256.
- Jacobsen, N. B. (2006). Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 239-255.
- Park, H.-S., & Choi, S. (2017). The Ulsan Eco-Industrial Park Project in Korea: A Case of a Top-Down Approach. In G. T. M. Huppes & M. A. de F. F. de A. Melo (Eds.), *Eco-Industrial Parks and the Circular Economy* (pp. 149-166). Springer.
- van Beers, D., van der Kooij, R., Van den Berg, J., Chertow, M. R., & Mirata, M. (2019). Lessons Learned from the Application of the UNIDO Eco-Industrial Park Toolbox in Viet Nam and Other Countries. *Sustainability*, 11(17), 4687.
- Zhang, L., Yuan, Z., Bi, J., & Ren, L. (2014). Assessing eco-industrial development in China: A case study of Suzhou Industrial Park. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 1-10.

تقارير ومنشورات منظمات:

- Brundtland Commission. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
- ENGIE Impact. (2021, April 1). *Eco-Industrial Park Case Study: Kalundborg, Denmark*. ENGIE Impact.
- European Commission. (2017). *Guidelines for Establishing Eco-Industrial Parks*. European Union.
- Solar Energy Industries Association (SEIA) and Wood Mackenzie. (2022). *U.S. Solar Market Insight Report 2021 Year in Review*.
- United Nations. (2023). *Sustainable Development Goals Report 2023*. Retrieved from <https://unstats.un.org/sdgs/>

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). *Manual for Eco-Industrial Parks: A Step-by-Step Guide*. UNEP Publications.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2018). *Eco-Industrial Parks: Promoting Sustainable Industrial Zones*. UNIDO.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2019). *Implementation of Eco-Industrial Park Initiative for Sustainable Industrial Zones in Viet Nam* (Project Final Report).
- UNIDO & GIZ. (2021). *An International Framework for Eco-Industrial Parks*.
- United Nations in Viet Nam. (2019, June 12). *Eco-Industrial Park – model for sustainable industrial development*.
- World Bank. (2019). *دائرة الموارد المائية في المناطق الصناعية*. Retrieved from <https://www.worldbank.org/water>
- World Bank. (2020). *Sustainable Industrial Development: Eco-Industrial Parks as a Tool for Green Growth*. World Bank.

مصادر حكومية:

- الهيئة العامة للتطوير الصناعي. (2021). *التحديات البيئية في المدن الصناعية السورية: دراسة ميدانية*.
- وزارة الصناعة السورية. (2020). *الإحصاءات السنوية للمدن الصناعية*. غير منشورة.
- وزارة الصناعة السورية. (2022). *تقرير عن المدينة الصناعية بحسب*. الحكومة السورية.

مؤتمرات وندوات:

- Arab Forum for Environment and Development (AFED). (2021). *Sustainable Development in the Arab Region: Challenges and Opportunities*. AFED Publications.
- National University of Singapore. (2019). *Proceedings of the Conference on Eco-Industrial Parks*. In *International Conference on Sustainable Industrial Development*.

مواقع إلكترونية:

- Business plan Templates. (n.d.). *Startup Costs: Industrial Park*. Retrieved from <https://businessplan-templates.com>
- GSE Renewables. (2021). *Industrial Solar Panel Price*.
- Kalundborg Symbiosis. (n.d.). *About Kalundborg Symbiosis*. Retrieved June 30, 2024, from <https://www.kalundborg-symbiosis.dk>
- Kalundborg Symbiosis. (2022). *التقرير الاقتصادي السنوي لمنته كالدنبرغ*. Retrieved from <https://www.symbiosis.dk/reports>
- Kalundborg Symbiosis. (2023). *Environmental Impact Report*. Retrieved from www.kalundborg-symbiosis.dk

- Kalundborg Symbiosis. (n.d.). *Interactive Resource Map*. Retrieved June 2023, from <https://www.symbiosis.dk/map>
- Ministry of Industry, Syria. (n.d.). *Annual Report on the Industrial Sector in Syria*. Retrieved June 30, 2024, from <http://www.moi.gov.sy>
- OECD. (2021). *حول الاستدامة الصناعية (OECD) تقارير منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية*. Retrieved from <https://www.oecd.org/industry>
- ScienceDirect. (n.d.). *Optimising renewable energy at the eco-industrial park*.
- USC Viterbi. (2018, May 21). *Industrial Symbiosis at Kalundborg*. (Updated April 2021).