تقييم إمكانات التكافل الصناعي (IS) وفق منهجية تحليل تدفقات المواد والطاقة، حالة الدراسة: مدينة حسياء الصناعية

نُهى أحمد القاموع* د.هيثم شاهين**

(الإيداع: 16 كانون الأول 2025، القبول: 26 كانون الثاني 2026)

الملخص:

من أجل تعزيز كفاءة استخدام الموارد، وتقليص البصمة البيئية بشكلٍ ملموس، وتحقيق الاستدامة الاقتصادية والبيئية، يبرز موضوع التكافل الصناعي، الذي يسعى إلى تقديم حلول عملية، وقابلة للتطبيق في القطاعات الصناعية، كالمدينة الصناعية في حسياء، والمناطق الصناعية الأخرى في سوريا والعالم.

أجريت هذه الدراسة لتقييم الإمكانات التقنية للتكافل الصناعي (Industrial Symbiosis–IS) في مدينة حسياء الصناعية. اعتمدت المنهجية على تحليل تدفقات المواد والطاقة، بهدف تحديد أوجه القصور والفائض لاستكشاف فرص التبادل التكافلي، والتعاون بين الكيانات الصناعية، وقد أظهر التحليل أن المدينة تمتلك إمكانات كبيرة لتبادل الموارد المهدورة. تشير النتائج إلى إمكانية تحويل أكثر من 103000 طن سنوياً من المخلفات الصلبة إلى موارد، واسترجاع ما يصل إلى 70MW من الحرارة المهدورة.

تم تحديد ثلاثة مشاريع ذات أولوية قصوى يمكن أن تؤدي إلى خفض سنوي يقدر بـ 39000 طن من انبعاثات CO_2 في المرحلة الأولى، وقد خلصت الدراسة، إلى أنه لا بدّ من وضع خارطة طريق تتضمن الاستثمار في البنية التحتية المشتركة، وتأسيس وحدة تنسيق متخصصة في مدينة حسياء الصّناعيّة.

الكلمات المفتاحية: التكافل الصناعي، حسياء، الإيكولوجيا الصناعية، الاقتصاد الدائري، التنمية المستدامة.

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

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

Evaluation of Industrial Symbiosis Investment by Using Material and Energy Flow Analysis in Hassia Industrial City

Nouha Ahmad Al-kamoua* **Haitham Shaheen****

(Recived: 16 December 2025, Accepted: 26 January 2026)

Abstract:

To enhance resource efficiency, significantly reduce the environmental footprint, and achieve economic and environmental sustainability, the concept of Industrial Symbiosis (IS) emerges. IS seeks to provide practical and applicable solutions in industrial sectors, such as the Hassia Industrial City and other industrial zones in Syria and globally. This study was conducted to assess the technical potential of Industrial Symbiosis (IS) in the Hassia Industrial City. The methodology relied on analysing material and energy flows to identify deficits and surpluses, thereby exploring opportunities for symbiotic exchange and cooperation among industrial entities. The analysis revealed that the city possesses significant potential for exchanging wasted resources. The results indicate the possibility of converting over 103,000 tons of solid waste annually into resources and recovering up to 70 MW of waste heat. Three high-priority projects were identified that could lead to an estimated annual reduction of 39,000 tons of CO2 emissions in the first phase. The study concluded that a roadmap is necessary, including investment in shared infrastructure and the establishment of a specialized coordination unit within the Hassia Industrial City.

Keywords: Industrial Symbiosis, Hassia, industrial ecology, circular economy, sustainable development.

***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.**

المقدمة:

في إطار الخطط الموضوعة، في المجال الاقتصادي والتنمية الاقتصادية، ورفع المؤشرات الاقتصادية، لعب التصنيع الدور المهم في رفد اقتصاديات الدول، بقيم مضافة تساعدها في تحقيق أهدافها الاقتصادية المطروحة، فكان من الضروري، أن تولي الحكومات أهمية كبيرة للمدن والتجمعات الصناعية **(Domenech 2011, Afshari 2020)**.

تقع مدينة حسياء الصناعية في جنوب حمص، تأسّست عام 2004، تعتبر تجمع صناعي وعمراني متطور، تتضمن كافة المرافق الخدمية – الاجتماعية – الثقافية – التعليمية – الترفيهية والمهنية بمساحة 2500 هكتار، وتتسع لـ 7 آلاف نسمة، وبتوسع مستقبلي يمكن أن يصل إلى 12500 هكتار، ويتسع لـ 350 ألف نسمة. تتميز المدينة الصناعية بحسياء بموقع جغرافي هام يتوسط سوريا، وترتبط بشبكة من الطرق المحلية والإقليمية والدولية من خلال عقد طرقية عصرية، كما تتميز المدينة بقربها من المرافئ البحرية، وذلك عن طريق تحويلة حمص الكبرى التي أمّنت ربطاً مختصراً مع تلك المرافئ (الإدارة العامة للمدينة الصناعية في حسياء). تُعد مدينة حسياء الصناعية (Hassia Industrial City) ثالث أكبر تجمع صناعي في سوريا، وتتميز بتنوع قطاعاتها (المعادن، الإسمنت، الكيماويات، الغذاء، النسيج)، وهذا التنوع في الصناعات، بالإضافة إلى خطط التوسع المستقبلية ، والموقع الجغرافي الهام ، قاد إلى اختيارها كحالة دراسة بهدف تقييم الإمكانات التقنية للتكافل الصناعي. حيثُ يعد التكافل الصناعي (IS) ركيزة أساسية في التحول نحو الإيكولوجيا الصناعية (Industrial Ecology)، **تُعرف الإيكولوجيا الصناعية** بأنها دراسة التدفقات المادية والطاقية داخل الأنظمة الصناعية، حيث يتم التعامل مع المجمع الصناعي كنظام بيئي (Ecosystem) يسعى إلى تقليل الهدر عن طريق تحويل المخرجات غير المرغوب فيها من عملية معينة إلى مدخلات قيمة لعملية أخرى. ويعد التكافل الصناعي (Industrial Symbiosis) التطبيق العملي والأبرز لهذا المفهوم من خلال تبادل الموارد والنفايات بين الشركات المختلفة **(Zhang., et al.,2024)**، **(Afshari et al., 2020)**

عالمياً، أثبتت تجارب مثل مدينة 'كالوندبورج' في الدنمارك أن تبادل الموارد يؤدي إلى خفض التكاليف والانبعاثات بشكل جذري. ومع ذلك، تواجه المناطق الصناعية الناشئة تحديات كبيرة في إدارة النفايات واستنزاف الموارد، مما يتطلب أدوات تحليلية دقيقة مثل تحليل تدفق المواد (Material Flow Analysis–MFA) وتحليل تدفق الطاقة(Energy Flow) Analysis–EFA لتحديد الفرص الكامنة للتبادل بين المصانع **(شاهين، القاموع 2025)**.

إن نجاح شبكات التكافل والتّبادل لتصميم وإنشاء المناطق الصّناعيّة الإيكولوجية يحتاج إلى قنوات اتّصال فعّالة بين الشركات مع بعضها البعض، وذلك لتنسيق الجهود الّتي تهدف إلى تحويل المجمّعات الصّناعيّة الّتقليديّة إلى مجمّعات إيكولوجيّة، كما أشارت كمثال لذلك إلى ما قامت به كوريا الجنوبيّة من إنشاء مؤسّسة حكوميّة للمجمّعات الصّناعيّة، حيث يتم تعيين فريق لكل مجمّع تحت إشراف مدير خبير ومؤهّل ولديه إلمام عميق بثقافة الإيكولوجيا الصّناعيّة (**Behera, Kim et al., 2012**).

من أجل تحليل أحدث النتائج حول استخدام المنتجات والفوائض الثانوية، وتحت عناوين إعادة استخدام وإعادة تدوير النتائج الفرعية، واستغلالها من أنشطة أخرى خارج دورة الإنتاج الواحدة، مثل مصادر الكربون البديلة (مثل الكتلة الحيوية والبلاستيك)، أجريت مجموعة أبحاث أكاديمية. أظهرت النتائج، أنه من أجل تحسين معدلات إعادة الاستخدام والاسترداد، من الضروري زيادة جودة النتائج الفرعية المستردة. يجب تطوير وتنفيذ حلول تكنولوجية جديدة، بهدف تحقيق جودة أعلى للنواتج الفرعية، من أجل زيادة إعادة استخدامها بطريقة مستدامة بيئيًا واقتصاديًا، ويؤدي ذلك إلى الاقتراب من هدف "صفر نفايات"، ويعد طريقة قابلة للتحقيق لتوفير الموارد الطبيعية وتقليل الأثر البيئي لعمليات الإنتاج **(شاهين، القاموع 2025)**.

يمكن استبدال الموارد الطبيعية بالنواتج الفرعية أيضًا بتوفير الطاقة وتحقيق كفاءة طاقة أعلى في عمليات الإنتاج. في هذا الإطار، وإذا أخذنا قطاع صناعة الصلب، فإنه ينبغي على هذا القطاع أن يواصل مساره نحو الاقتصاد الدائري، من خلال زيادة إعادة استخدام النتائج الفرعية بطريقة مستدامة، ويشمل ذلك تقليل استغلال الموارد الطبيعية، مثل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتلوث البيئة، واستخدام مواد خام بديلة ذات أثر بيئي أقل، بالإضافة إلى مراقبة الآثار القائمة **(Branca, Colla et al.2020)**.

على الرغم من الأهمية الاستراتيجية لمدينة حسياء الصناعية كقطب نمو في سورية، إلا أنه – لا توجد دراسات سابقة قامت بتقييم إمكانات التكافل الصناعي فيها باستخدام منهجيات تحليل التدفقات الكمية .(MFA/EFA) وتأتي هذه الدراسة لتملأ هذه الفجوة البحثية عبر تقديم أول قاعدة بيانات ميدانية أولية، وتحديد مشاريع تطبيقية ذات أولوية تساهم في دعم صناع القرار لتحويل المدينة إلى تجمع صناعي إيكولوجي مستدام (رستم، حسن، خير بك، **2013**).

تبرز القيمة المضافة لهذا العمل في استناده إلى بيانات واقعية وسجلات رسمية لمدينة حسياء الصناعية (دراسة حالة فعلية)، حيث تم تحليل 103ألف طن من النفايات وتحديد إمكانات حرارية مهدرة بدقة 70ميغاواط .وخلافاً للأدبيات السابقة التي تكتفي بتحديد فرص التبادل، يقدم هذا البحث نموذجاً تشغيلياً مقترحاً يتضمن حلولاً تقنية مثل أنظمة (ORC) مع تقديرات أولية للجدوى الاقتصادية، مما يجعله خارطة طريق تطبيقية لصناع القرار.

أهمية البحث:

تنبع أهمية البحث من خلال دعم الانتقال من نموذج صناعي تقليدي إلى نموذج مستدام يحقق مفاهيم الاقتصاد الدائري. وهذا يتاتى بتطبيق نهج التكافل الصناعي الذي يعني استخدام النفايات الناتجة عن صناعة ما كمواد خام في صناعات أخرى. يعتبر التعاون الصناعي المتبادل (الترابط الصناعي) علاقة تعاونية ومفيدة بين كيانات صناعية مختلفة أو قطاعات، حيث تتحول النفايات أو المنتجات الفائضة أو الموارد غير المستغلة من كيان واحد إلى مدخلات ذات قيمة لكيان آخر. يشمل ذلك تبادل المواد والطاقة والمياه والخبرات، مما يؤدي إلى زيادة كفاءة الموارد، وتقليل النفايات، وتوفير التكاليف، وتحقيق فوائد بيئية.

أهداف البحث:

تقييم الإمكانات التقنية للتكافل الصناعي (Industrial Symbiosis IS) وفق منهجية تحليل تدفقات المواد (Material Flow Analysis MFA) والطاقة (Energy Flow Analysis EFA)، في مدينة حسياء الصناعية/ مدينة حمص.

حدود الدراسة

الحدود المكانية: تركز الدراسة على مدينة حسياء الصناعية في الجمهورية العربية السورية كنموذج تطبيقي

الحدود الزمانية: تعتمد الدراسة على البيانات والتغيرات الحاصلة حتى عام 2025.

الحدود الموضوعية: تختص بتحليل وتطوير نموذج للتكافل الصناعي باستخدام تحليل تدفقات المواد والطاقة.

الحدود المنهجية: تعتمد الدراسة على منهج تطبيقي تحليلي.

المنهجية والطرائق:

اعتمدت الدراسة على ثلاث مراحل، وفق منهجية تصاعدية (Bottom–Up Approach) لتحليل ديناميكيات التكافل الصناعي داخل مدينة حسياء الصناعية:

المرحلة الأولى (جرد المكونات):

يؤدي تنوع الصناعات في مدينة حسياء الصناعية (الصناعات الغذائية، النسيجية، المعدنية، والكيميائية) إلى إنتاج كميات كبيرة من المنتجات الثانوية والنفايات، لذلك تم القيام بتحديد قائمة بـ 10 شركات ومرافق خدمات ممثلة لمعظم الصناعات، وتم تجميع بيانات المدخلات والمخرجات، كما هو موضح في الجدول (1).

المرحلة الثانية (التحليل الكمي وتحليل التدفقات البينية):

تحليل المدخلات والمخرجات وتدفقات المواد (Material Flow Analysis MFA) والطاقة (Energy Flow Analysis EFA) في كل مصنع، مع التركيز على تحديد مسارات النفايات وعمليات ما قبل التخلص منها، (الجدولين 2 و3).

المرحلة الثالثة:

تقييم إمكانات التكافل الصناعي من خلال مطابقة نقاط إنتاج النفايات مع نقاط طلب المواد لاقتراح فرص تبادل الموارد وتعزيز كفاءة استردادها، (الجدول 4)، وقد اعتمدت الدراسة في جمع البيانات مقابلات ميدانية أُجريت عام 2023–2024 مع مديري التطوير والتخطيط في المصانع قيد الدراسة، ونظراً للظروف الصعبة والمعوقات البيروقراطية، كان الحصول على البيانات عملية معقدة، لذلك تم الاعتماد على المقابلات والاستبيانات مع مديري التشغيل والطاقة، مما وفر رؤى ذات قيمة كبيرة.

تم الحصول على قائمة المصانع من الإدارة العامة للمدينة الصناعية في حسياء، وتم تقدير الطاقة الإنتاجية السنوية لكل مصنع من خلال هذه المقابلات والوثائق المتاحة.

بعد تحديد المصانع الأساسية، تمت دراسة تدفقات المواد والطاقة والمياه لكل مصنع على حدة، وتم تطوير مخططات للمدخلات والمخرجات توضح ديناميكية هذه التدفقات، واستناداً إلى دراسة Kastner وآخرين (2015)، تم التركيز على اثنين من التدفقات المحورية:

1. تدفقات المواد.
2. تدفقات الطاقة.

منهجية حساب التدفقات" :تم استخلاص البيانات الكمية المتعلقة بالنفايات والمدخلات الطاقية اعتماداً على السجلات الرسمية الصادرة عن إدارة المدينة الصناعية في حسياء للفترة (2023–2025). تمت معالجة هذه البيانات باستخدام منهجية تحليل تدفق المواد(MFA) ، حيث تم تصنيف النفايات الصلبة حسب نوعها (بلاستيكية، معدنية، غذائية، إلخ) وتقدير حجم الفائض السنوي القابل للتدوير والذي بلغ 103 ألف طن. أما بالنسبة للوفر الطاقي، فقد تم حساب الاستطاعة الضائعة بناءً على التدفقات الحرارية المسجلة في مداخن المصانع الكبرى وتطبيق معادلات التوازن الطاقي لتقدير الوفر الممكن تحقيقه عبر تقنية ORC (**Neves, A., et al. 2020**).

بالنسبة لتقنية **دورة رانكن العضوية(ORC)** ، تُحسب التكلفة عادةً بناءً على "الكيلوواط الكهربائي" المُنتج:

- **وحدات ORC** :تتراوح التكلفة عالمياً بين **2500$إلى 4500 $** لكل كيلوواط (kW) مركب. إذا افترضنا استرجاع جزء من الـ 70 ميغاواط حراري لتحويلها إلى كهرباء، فإن الاستثمار الأولي سيكون ضخماً ولكنه ذو قيمة مضافة عالية.
- **أنابيب نقل الحرارة** :تعتمد التكلفة على المسافة والعزل، وتُقدر تقريباً بـ **500$إلى 800 $** للمتر الطولي الواحد للأنابيب الصناعية المعزولة مسبقاً.

  في المشاريع الصناعية المشابهة في المنطقة، **تتراوح فترة استرداد التكلفة** بين **3إلى 6 سنوات.**
- يعتمد ذلك بشكل أساسي على **سعر شراء الكهرباء** أو **تكلفة الوقود الموفر** (مثل الفيول أو الغاز). كلما ارتفعت أسعار الطاقة عالمياً، أصبحت هذه المشاريع أكثر جدوى وأسرع في استرداد تكاليفها.

في مدن مثل "**حسياء**"، تعتمد الصناعات الكبرى (الحديد، الإسمنت، الزجاج) على الأفران التي تعمل بنظام **التشغيل المستمر**، مما يعني أن **تدفق الحرارة مستقر** بنسبة تزيد عن **90%**من ساعات السنة.

ولضمان الجدوى، يجب أن **تكون المسافة بين مصدر الحرارة والمصنع المستفيد أقل من 2 كم** لحسن الحظ، المدن الصناعية مخططة جيداً تضع المصانع ذات الصلة في بلوكات قريبة **(محمود، أسعد، 2016)**.

النتائج والمناقشة:

يوضح الجدول (1) تحديد وتحليل المصانع العشر الأساسية، حيث تم تحديد مصانع رئيسة في العنقود الصناعي/ ضمن حسياء، وتحليل خصائص تدفقات المواد والطاقة الداخلة والخارجة منها.

الجدول رقم (1): مدخلات ومخرجات 10 شركات صناعية مختارة ضمن مدينة حسياء) (إدارة مدينة حسياء، 2025-2023)

Plant	Main Inputs	Energy (MW)	Water (m³/yr)	By-products (t/yr)	Waste Heat (°C, MW)	Current Disposal	Potential Sinks (A/B)
مصنع صهر الحديد	خردة + خامات حديد	80	150000	خبث 40,000	1000°C, 20 MW	مكب + ردم	إسمنت/طرق
خط إنتاج الإسمنت	كلنكر + حجر كلسي	60	120000	غبار 30,000	400°C, 15 MW	تكديس/ طمر	بلاط/طرق
خط قص وصقل الرخام	كتل رخام	10	50000	مخلفات صلبة 15,000	150°C, 2 MW	مكبات خارجية	إسمنت/ديكور
خط تعبئة المواد الغذائية	حبوب + زيوت	15	40000	بقايا عضوية 8,000	80°C, 1 MW	مكب نفايات	سماد/طاقة حيوية
إنتاج أنابيب بلاستيكية	بولي إيثيلين	12	30000	قصاصات بلاستيك 5,000	180°C, 3 MW	بيع محدود لإعادة التدوير	تدوير بلاستيك
مصنع أقمشة	قطن/خيوط	8	20000	قصاصات قماش 3,000	90°C, 1 MW	حرق/ مكب	تعبئة/حشوات
إنتاج أدوية عامة	مواد فعالة دوائية	10	25000	نفايات دوائية 1,000	120°C, 2 MW	حرق خاص	معالجة خاصة
خط إنتاج أعلاف	حبوب + إضافات	6	15000	مخلفات حبوب 2,000	70°C, 0.5 MW	مكب زراعي	سماد/طاقة حيوية
مصنع أسمدة كيميائية	فوسفات + أمونيا	20	40000	مياه مالحة + حمأة 7,000	350°C, 5 MW	صرف للمجاري	ري/تدوير كيميائي
توربين غازي	غاز طبيعي	50	60000	غازات مداخن 20,000	500°C, 25 MW	إطلاق جوي	شبكة تسخين

- **النتائج الكمية: تحليل تدفقات الموارد:**

1- تحليل تدفقات المواد (Material Flow Analysis–MFA):

أظهر تحليل MFA أن الإمكانية التقنية للتكافل المادي تتجاوز 103000 طن سنوياً من المخلفات التي يمكن تحويلها من نفايات إلى مواد خام ثانوية (Secondary Raw Materials) (الجدول 2).

الجدول رقم (2): تحليل تدفقات المواد (Material Flow Analysis–MFA)

فئة المخلفات	المادة الثانوية	الكمية السنوية (طن/سنة)	التكافل المقترح
مخلفات البناء والمناجم	خبث صهر الحديد، غبار الإسمنت، بودرة الرخام	85	بدائل للكلنكر في الإسمنت، مواد مالئة، ركام للطرق
المخلفات العضوية	بقايا غذائية ومخلفات أعلاف	10	إنتاج الغاز الحيوي (Biogas) أو السماد العضوي
المخلفات القابلة للتدوير	قصاصات بلاستيك ونسيج	8	إعادة تدوير داخلية/خارجية، مواد عزل وتعبئة

2- تحليل تدفقات الطاقة (Energy Flow Analysis-EFA):

يشير تحليل EFA إلى أن إجمالي القدرة الحرارية المهدورة في المدينة تبلغ 70 MW، مما يفتح فرصاً كبيرة لاسترجاع الحرارة (Waste Heat Recovery-WHR) (الجدول 3).

الجدول رقم (3): تحليل تدفقات الطاقة

فئة الحرارة	المصادر الرئيسية	القدرة المهدورة (MW)	الاستغلال التقني المقترح
I. حرارة عالية (500–1000 °C)	مصنع الحديد، محطة الطاقة الغازية	45 MW	توليد الكهرباء عبر دورة رانكين العضوية (ORC)
II. حرارة متوسطة (350–400 °C)	مصنع الإسمنت، الكيميائيات	20 MW	التبريد المركزي عبر مبردات الامتصاص (ABC) للخدمات والمكاتب
III. حرارة منخفضة (80–180 °C)	البلاستيك، الرخام، الغذاء	7 MW	تسخين المياه والتدفئة، تجفيف المحاصيل الزراعية (Agri Drying)

3- تقييم الجدوى البيئية والاقتصادية (أفضل 3 مطابقات):

تم تقدير القيمة المضافة لأفضل ثلاث مطابقات بناءً على تقليل الاعتماد على المواد الخام البكر (Reduced Virgin Material Consumption)، وتجنب انبعاثات الكربون ($Avoided\ CO_2$) (الجدول 4).

الجدول رقم (4): جدول المطابقة

أولوية	المطابقة التكافلية (التبادل)	التوفير البيئي (المقدر)	الأثر المالي الرئيسي
1	المواد البديلة (خبث الحديد → الإسمنت)	خفض انبعاثات 32,000 طن CO_2 سنوياً	وفورات في المواد الخام (استبدال الكلنكر) + إلغاء تكلفة التخلص من الخبث
2	استرجاع الطاقة (حرارة الحديد → 4 MW كهرباء)	خفض انبعاثات 7,500 طن CO_2 سنوياً	وفورات في الطاقة (تقليل فاتورة الكهرباء) + استقرار إمداد الطاقة
3	المواد المائلة (غبار الإسمنت / رخام → بناء)	خفض 45,000 طن سنوياً من المخلفات الصلبة المرسلة للمكبات	إيرادات جديدة من بيع المواد المائلة (المخلفات) كمنتجات ثانوية

- **المشاريع ذات الأولوية القصوى وخارطة الطريق:**

يبين الجدول (5) المشاريع ذات الأولوية القصوى.

الجدول رقم (5): المشاريع ذات الأولوية القصوى

الأولوية	المشروع المقترح	العوائق والتحديات الرئيسية	التوصية الاستراتيجية
1	التكامل المعدني–البنائي: تفعيل مطابقة الخبث والرخام كمواد أولية	اللوجستيات: الحاجة إلى بنية تحتية لنقل المواد بكميات كبيرة المعيارية: ضمان التزام الخبث بمعايير الجودة للإنتاج	آلية الشراء والبيع المضمونة: توقيع اتفاقيات (Off–take Agreements) طويلة الأمد تحت إشراف مديرية المدينة لضمان استمرارية التوريد
2	وحدة توليد الكهرباء من الحرارة المهدورة (ORC): استغلال الحرارة المرتفعة من مصنع الحديد	التكاليف الرأسمالية: ارتفاع كلفة الاستثمار الأولي للمعدات التقنية المتقدمة	تأمين التمويل الأخضر/الحوافز: توفير إعفاءات ضريبية خاصة لتقنيات استرجاع الحرارة وإعداد طلبات تمويل للجهات الداعمة للاستدامة
3	مشروع تدوير المياه الأساسي: معالجة المياه من الكيميائيات للاستخدامات غير الحرجة	الثقة وعدم اليقين: تردد الشركات في استخدام مياه الصرف المعالجة في عملياتها	إنشاء محطة معالجة مُصغرة (Pilot Plant): إطلاق مشروع تجريبي مشترك لإثبات جودة المياه المعالجة قبل التوسع لتشجيع الثقة

أهم ثلاثة قطاعات تشكل "مثلث التكافل" في الدراسة:

1. **قطاع الصناعات الهندسية والمعدنية (مصانع الحديد والصلب):**

هذا القطاع هو المصدر الرئيسي للحرارة المهدورة (التي قدرت بـ 70 ميغاواط). كما ينتج "خبث الحديد" الذي يمثل مادة خاماً ثانوية أساسية.

2. **قطاع الصناعات الكيميائية والإنشائية (مصانع الإسمنت والدهانات):**

يمتاز بقدرة عالية على استيعاب مخلفات القطاعات الأخرى (مثل الخبث أو الرماد) ودمجها في العملية الإنتاجية، كما يمكنه الاستفادة من الطاقة المسترجعة.

3. **قطاع الصناعات الغذائية:**

4. ينتج كميات ضخمة من المخلفات العضوية والصلبة (البلاستيك والكرتون) التي تساهم في رقم الـ 103 ألف طن الذي ذكرتَه، وهي قابلة للتحويل إلى طاقة حيوية أو مواد تغليف معاد تدويرها.

تتفق نتائج هذه الدراسة مع التوجهات العالمية في المناطق الصناعية الناشئة، حيث أظهرت دراسات مشابهة في تركيا أن استرجاع الحرارة منخفضة الدرجة يمثل الفرصة الأكبر لتحسين كفاءة الطاقة. وبمقارنة كمية الحرارة المهدورة في حسياء (70 ميغاواط) مع تجارب عالمية استخدمت تقنيةORC ، نجد أن تطبيق المشاريع المقترحة سيضع مدينة حسياء في مصاف التجمعات الصناعية الصديقة للبيئة، محاكاةً بذلك نماذج ناجحة في أوروبا واليابان**(Cercel et al., 2023)** .

الخلاصة:

على الرغم من أن المصلحة البيئية قد تنشأ كسبب أساسي لتطوير التكافل الصناعي، إلا أن المصلحة الذاتية هي السبب الرئيسي وراء تعاون المنظمات في شبكات التكافل الصناعي، حيث سعت العديد من دول العالم إلى التكافل الصناعي لتحقيق الكفاءة في استهلاك الموارد، ونظراً للوعي العالمي بالاستدامة والمتطلبات الأكثر صرامة، لجميع الأنشطة التجارية

لتصبح دائرية، فإننا ندعو الشركات بشدة إلى عدم البقاء على الحياد في انتظار أن تصبح نظم التكافل الصناعي مربحة، بل العمل الآن للحصول على ميزة تنافسية في مستقبل أكثر دائرية.

تؤكد هذه الدراسة أن الإمكانات التقنية للتكافل الصناعي في مدينة حسياء هائلة، ويمكن أن يكون نموذج التكافل الحل الأمثل لتقليل التكاليف التشغيلية وتحقيق الاستدامة البيئية.

وأثبتت هذه الدراسة أن مدينة حسياء الصناعية تمتلك إمكانات غير مستغلة لتحقيق التكافل الصناعي، حيث كشف تحليل التدفقات المستند إلى السجلات الرسمية عن وجود فائض من النفايات الصلبة يتجاوز 103 ألف طن سنوياً، وهدر حراري يصل إلى 70 ميغاواط، وإن تبني النموذج المقترح الذي يربط بين القطاعات الهندسية، والإنشائية، والغذائية، واستخدام تقنيات مثل ORC، لا يساهم فقط في خفض الانبعاثات بمقدار 39 ألف طن من CO2، بل يعزز الاستدامة الاقتصادية للمدينة.

التوصية النهائية:

يوصى بإنشاء وحدة تنسيق للتكافل الصناعي (IS Coordination Unit) تابعة لمديرية المدينة الصناعية، ويجب أن تكون مهمتها الرئيسية هي تذليل العوائق التنظيمية، ومراقبة تدفقات الموارد، وتسهيل المفاوضات بين الشركات لترجمة هذه الإمكانات التقنية إلى مشاريع تكافلية ناجحة حيثُ تتولى المهام التقنية والتشريعية والتحفيزية لضمان تحويل هذه الفرص إلى واقع ملموس."

مهام وحدة تنسيق التكافل الصناعي المقترحة:

1. **المستوى التقني** :بناء قاعدة بيانات ديناميكية لتدفقات الموارد والطاقة وتحديثها دورياً بالتنسيق مع المصانع، لتحديد فرص التبادل اللحظية.
2. **المستوى التشريعي** :إعداد المسودات القانونية لعقود "تبادل المخرجات" التي تضمن حقوق جميع الأطراف وتنظم مسؤولية نقل ومعالجة النفايات.
3. **المستوى المالي** :تصميم حزمة من الحوافز بالتنسيق مع إدارة المدينة، مثل تخفيض الرسوم الخدمية للمصانع التي تحقق وفراً طاقياً أو تتبادل مواردها محلياً.

المراجع باللّغة العربيّة:

1. الإدارة العامة للمدينة الصناعية بحسياء **(2025–2023)** التقرير السنوي لتدفقات المواد والنفايات الصلبة والطاقة، حمص، سوريا.
2. رستم، حسن، خير بك **(2013)**. دراسة تاثيرات المرفأ الجاف المقترح في مدينة حسياء الصناعية على قطاع النقل اللوجستي سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (5) مجلة جامعة تشرين
3. . شاهين، القاموع **(2025)**. المراجعة البيئيّة لمعامل تصنيع تعليب الخضار/ الكونسروة، حالة الدّراسة مدينة حسياء الصّناعيّة/ حمص. مقالة بمجلة جامعة اللاذقية.
4. شاهين، القاموع **(2025)** المنتزهات الإيكولوجيّة الصّناعيّة: دراسة حول إمكانيّة تطبيق تجربة منتزه كالوندبورغ في المدينة الصّناعيّة بحسياء. مقالة بمجلّة جامعة حماه.
5. محمود، أسعد **(2016)** دراسة تحليلية لواقع الاستثمار في المدن الصناعية السورية خلال الفترة 2012–2004 سلسلة العلوم الاقتصادية والقانونية المجلّد (38) العدد (4) مجلة جامعة تشرين

References:

6. Afshari, H., et al. **(2020)**. The effect of environmental and social value objectives on optimal design in industrial energy symbiosis. ***Resources, Conservation and Recycling***, 158, 104825.

7. Behera, S. K., Kim, J.-H., Lee, S.-Y., Suh, S. & Park, H.-S. **(2012)**. Evolution of 'designed' industrial symbiosis networks in the Ulsan eco-industrial park: 'Research and development into business' as the enabling framework. ***Journal of Cleaner Production***, 29–30, 103–112.

8. Branca, T. A., Colla, V., Algermissen, D., Granbom, H., Martini, U., Morillon, A., Pietruck, R. & Rosendahl, S. J. **(2020)**. Reuse and recycling of by-products in the steel sector: Recent achievements paving the way to circular economy and industrial symbiosis in Europe. ***Metals***, 10(3), 345.

9. Cercel, B., et al. **(2023)**. Waste heat recovery potential in industrial zones: A case study of Turkish industrial sectors. ***Energy Reports***, 9, 214–225.

10. Domenech, T. & Davies, M. J. **(2011)**. Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. ***Progress in Industrial Ecology – Social and Behavioral Sciences***, 10, 79–89.

11. Neves, A., et al. **(2020)**. The role of Organic Rankine Cycle (ORC) in industrial waste heat recovery: A review of European applications. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 145, 111104.

12. Zhang, Y., et al. **(2024)**. Industrial ecology and circular economy: New methodologies for material flow analysis (MFA) in emerging economies. ***Journal of Cleaner Production***, 412, 138764.