JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ
العدد السادس والأربعون
(٨٥)- (٩٦)

تقييم الآثار البيئية الناتجة لصناعة السمنت في العراق : دراسة تحليلية شاملة للتلوث متعدد الوسائط واستراتيجيات التخفيف

م.م. سارة نوفل لطفي
الكلية التربوية المفتوحة مركز نينوى
sara.n.aljarah@gmail.com

الملخص:

يعد قطاع صناعة السمنت في العراق ركيزة أساسية لدعم عجلة الإعمار والتنمية العمرانية، إلا أنه يُصنف كأحد أكثر الصناعات ثقيلة الوطء على النظام البيئي. تهدف هذه الدراسة إلى التقييم الشامل والتحليل المعمق للآثار البيئية متعددة الوسائط "الهواء والماء والتربة والصحة" الناتجة عن صناعة السمنت في العراق. اعتمد البحث على المنهج التحليلي الوصفي الكمي من خلال مراجعة الأدبيات العلمية، وتحليل بيانات الرصد البيئي المتاحة لمصانع السمنت العراقية (الحكومية والأهلية). أظهرت النتائج تجاوز المصانع القديمة (عاملة بتقنية الفرن الرطب) للحدود المسموح بها دولياً في انبعاثات الغبار المتطاير (PM10, PM2.5) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) بنسب تراوحت بين ٢٠٠% إلى ٣٦٠%، مع تسجيل تأثيرات سلبية بالغة على قلوية التربة والمياه الجوفية. ويُعزى ذلك بشكل رئيسي إلى تقادم التكنولوجيا، الاعتماد الكلي على الوقود الأحفوري، وتعطل أنظمة الفلترة بسبب انقطاع التيار الكهربائي. ويخلص البحث إلى أن استدامة هذا القطاع تتطلب تحولاً جذرياً يشمل الإلزام بالتحول نحو الأفران الجافة ذات الدورات المغلقة، تفعيل استخدام الوقود البديل (RDF)، وتشديد العقوبات البيئية لتطبيق مبدأ "الملوث يدفع".

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

الكلمات المفتاحية: صناعة السمنت، التقييم البيئي، الانبعاثات الجوية، التلوث الغباري، تلوث التربة، الوقود البديل، العراق

Assessment of the Environmental Impacts Resulting from the Cement Industry in Iraq: A Comprehensive Analytical Study of Multi-Media Pollution and Mitigation Strategies

Assistant Lecturer:Sara Nawfal Lutfi
Open Educational College – Nineveh Center
sara.n.aljarah@gmail.com

Abstract:

The cement manufacturing sector in Iraq serves as a fundamental pillar supporting reconstruction and urban development; however, it is classified as one of the most environmentally burdensome heavy industries. This study aims to conduct a comprehensive assessment and in-depth analysis of the multi-media environmental impacts (air, water, soil, and public health) resulting from cement manufacturing in Iraq. The research adopts a quantitative descriptive-analytical approach by reviewing scientific literature and analyzing available environmental monitoring data for both public and private Iraqi cement plants.

The results revealed that older plants (operating with wet-process kiln technology) exceeded internationally permissible limits for particulate matter emissions (PM_{10}, $PM_{2.5}$) and carbon dioxide (CO_2) by rates ranging from 200% to 360%, while recording severe negative impacts on soil alkalinity and groundwater. This degradation is primarily attributed to obsolete technology, total reliance on fossil fuels, and the failure of filtration systems due to frequent power outages. The research concludes that the sustainability of this sector requires a radical shift, including mandatory transition toward dry-process closed-cycle kilns, activating the use of Refuse-Derived Fuel (RDF), and tightening environmental penalties to enforce the "polluter pays" principle.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

Keywords: Cement manufacturing, environmental assessment, gas emissions , dust pollution, soil contamination, alternative fuels, Iraq

١. المقدمة

يشهد العراق منذ عام ٢٠٠٣ حركة إعمار واسعة النطاق فرضتها الحاجة لإعادة بناء البنية التحتية المدمرة، مما جعل صناعة السمنت تحتل مرتبة متقدمة في الأولويات الصناعية. يضم العراق أكثر من ٢٠ معملاً للسمنت بطاقة إنتاجية تصميمية تفوق ٢٥ مليون طن سنوياً، تتوزع جغرافياً بالقرب من مكامن الحجر الجيري في محافظات كربلاء، النجف، بغداد، نينوى، والسليمانية (وزارة الصناعة والمعادن، ٢٠٢١).

ورغم الأهمية الاقتصادية الاستراتيجية لهذا القطاع، فإن صناعة السمنت تُعد عالمياً من الصناعات كثيفة استهلاك الطاقة والموارد، وتُسهم بحوالي ٨% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) العالمية الناتجة عن الأنشطة البشرية (Benhelal et al., 2013). في السياق العراقي، يتفاقم الأثر البيئي نتيجة عوامل بنيوية وتشغيلية خاصة؛ أبرزها تقادم خطوط الإنتاج في المصانع الحكومية التي تعمل بتقنية "الفرن الرطب" (Wet Process)، والاعتماد على الوقود الأحفوري الثقيل (المازوت والغاز الطبيعي)، فضلاً عن ضعف الرقابة البيئية وتأثير انقطاع التيار الكهربائي على كفاءة أنظمة معالجة الانبعاثات (Al-Fatlawi, 2015; Kadhim & Al-Jubouri, 2021).

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تقييم بيئي شامل يتجاوز الوصف السطحي إلى التحليل المعمق للروابط السببية بين العمليات الصناعية للسمنت وتدهور عناصر البيئة في العراق، مع تقديم حلول استراتيجية مبنية على الأدلة العلمية.

٢. الإطار النظري والدراسات السابقة

٢,١. الديناميكا الحرارية والكيميائية لإنتاج السمنت

تعتمد صناعة السمنت على تفاعل حراري يُعرف بـ "التكليس" (Calcination)، حيث يُسخن الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) في أفران دوارة بدرجات حرارة تقارب ١٤٥٠ درجة مئوية لينتج "الكلنكر" (Clinker) وفق التفاعل:

$$CaCO_3(s) + Heat \rightarrow CaO(s) + CO_2(g).$$

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

يُعرف هذا التفاعل بأنه المصدر الأول لانبعاثات CO_2 (تمثل حوالي ٥٠-٦٠% من إجمالي انبعاثات المصنع)، بينما ينتج الـ ٤٠-٥٠% المتبقية عن احتراق الوقود اللازم لتوليد هذه الحرارة الهائلة (IEA, 2018; Othman&Al-Maliki, 2020).

٢,٢. تصنيف الملوثات البيئية

تُصنف الملوثات الناتجة عن صناعة السمنت إلى ثلاث فئات رئيسية:

١. الملوثات الغبارية (Particulate Matter – PM): تنتج من عمليات التعدين، التكسير، الطحن، والتعبئة. تُعد الجسيمات الدقيقة (PM2.5) والأقل من ١٠ ميكرومتر (PM10) الأخطر بيئياً وصحياً لقدرتها على البقاء معلقاً لفترات طويلة واختراق الجهاز التنفسي (WHO, 2021).

٢. الغازات الناتجة عن الاحتراق والتفاعل: تشمل أكاسيد النيتروجين (NOx) الناتجة عن تفاعل النيتروجين والأكسجين في درجات الحرارة العالية، وأكاسيد الكبريت (SOx) الناتجة عن احتراق الوقود المحتوي على الكبريت، وثاني أكسيد الكربون (CO_2) (Al-Shehri & Al-Ghamdi, 2019).

٣. الملوثات غير التقليدية: تشمل المعادن الثقيلة (الرصاص، الكادميوم، الزئبق) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) والديوكسينات، والتي تتبخر في الفرن وتتكثف مع الغبار الملتقط في المرسبات (Ali&Nasser, 2022).

٢,٣. مراجعة الدراسات السابقة في البيئة العراقية

تناولت دراسة (Al-Fatlawi, 2015) تأثير معمل السمنت الكوفي على التربة، وأثبتت ارتفاعاً معنوياً في قلوية التربة وتركيز المعادن الثقيلة. وفي سياق جودة الهواء، رصدت دراسة (Hasan & Jafar, 2019) تجاوزات صارخة لمعايير منظمة الصحة العالمية في محيط مصانع كربلاء. وعلى الصعيد الصحي، أشارت دراسة (Abdel-Aziz&Al-Taei, 2019) إلى ارتفاع معدلات الإصابة بالربو القصبي والتهاب الملتحمة بين سكان المناطق المجاورة للمصانع. ورغم أهمية هذه الدراسات، إلا أنها ركزت على وسط بيئي واحد (إما الهواء أو التربة)، مما يستدعي ضرورة هذا البحث الذي يقدم تقييماً تكاملياً شاملاً.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

٣. منهجية البحث

اعتمد البحث على المنهج التحليلي الوصفي الكمي. تم جمع بيانات ثانوية من التقارير الرسمية لوزارة البيئة العراقية، ووزارة الصناعة، ومنظمة الصحة العالمية، ومنظمة الأمم المتحدة للبيئة (UNEP). كما تم الاستعانة ببيانات أولية منشورة في أبحاث ميدانية سابقة (Al-Fatlawi, ٢٠١٥؛ Hasan & Al-Kindi & Al-Saadi, ٢٠١٨؛ Jafar, ٢٠١٩؛ Al-Saadi et al., ٢٠٢٠) لقياس تراكيز الملوثات في محيط ٤ مصانع رئيسية في العراق (معمل السمنت الوطني، معمل كربلاء، معمل الكوفي، ومعمل لافارج بازيان)، استناداً إلى عشرون عينة جُمعت خلال شهرين تم استخدام التحليل الإحصائي الوصفي (المتوسطات، الانحرافات المعيارية)، الموضح تفصيلها في جدول (١)، ومقارنة النتائج بالمعايير الدولية لمنظمة الصحة العالمية (WHO) والمحددات الوطنية العراقية.

٤. النتائج والتحليل (Results and Analysis)

يُعرض في هذا القسم تحليل معمق للبيانات البيئية، مقترناً بتفسير السلوك الكيميائي والفيزيائي للملوثات في البيئة العراقية.

٤,١. تقييم وتحليل جودة الهواء (التلوث الغباري والغازي)

تُظهر بيانات الرصد البيئي في محيط مصانع السمنت العراقية، خاصة تلك التي تعمل بالطريقة الرطبة، كارثة بيئية تتمثل في تجاوزات مقلقة للحدود المسموح بها.

جدول (١)

مقارنة متوسطات تراكيز الملوثات الهوائية في محيط المصانع العراقية بالمعايير الدولية

الملوث	المعيار العراقي (µg/m³)	إرشادات WHO (µg/m³)	القراءة في محيط المصانع الرطبة (كربلاء/الوطني)	القراءة في المصانع الجافة الحديثة (بازيان)	نسبة التجاوز في المصانع الرطبة (مقارنة بالعراقي)
PM10 (سنوي)	150	15	420	85	280%
PM2.5 (سنوي)	50	5	210	28	٢20%
NOx (سنوي)	40	40	165	50	212.5%
SO_2 (سنوي)	50	40	230	45	260%

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

تحليل النتائج:

١. تأثير التكنولوجيا المستخدمة: يتضح من الجدول (١) الفجوة الهائلة بين المصانع الرطبة والجافة. في الأفران الرطبة، يحتوي الخليط الخام على نسبة ماء تصل إلى ٣٥%، مما يتطلب استهلاكاً حرارياً مضاعفاً لتبخير الماء قبل بدء التكليس (IEA, 2018). هذا الاستهلاك المفرط لوقود المازوت يفسر الارتفاع الكارثي في انبعاثات SO_2 (الناتجة عن الكبريت الموجود في المازوت العراقي) و NOx (الناتج عن الاحتراق في درجات حرارة عالية لفترات طويلة).

٢. فشل أنظمة الفلترة: إن الارتفاع غير المسبوق في نسب الغبار (PM) يعود إلى عامل تشغيلي محوري في العراق؛ وهو انقطاع التيار الكهربائي الوطني. تعتمد المصانع على المرسبات الكهربائية (ESP) التي تتطلب جهداً كهربائياً عالياً. عند انقطاع الكهرباء وتشغيل المولدات الاحتياطية، يتم إيقاف الـ ESP لتوفير الطاقة للمحركات الدوارة، مما يعني تفريغ آلاف الأطنان من الغبار مباشرة في الهواء الجوي (Kadhim & Al-Jubouri, 2021).

٣. التبعثر الجغرافي للملوثات: أثبتت دراسات نمذجة التشتت الهوائي (Al-Maliki, 2016) أن الغبار المنبعث من معامل كربلاء والنجف يتأثر بالرياح السائدة شمال غرب العراق، مما ينقل الملوثات لمسافات تتجاوز ١٥ كم، مهدداً المناطق السكنية والزراعية المجاورة.

٤,٢. تقييم وتحليل تدهور التربة والغطاء النباتي

لم يقتصر أثر مصانع السمنت على الهواء، بل امتد ليحدث تغييرات مورفولوجية وكيميائية عميقة في التربة الزراعية المحيطة.

أ. التغيرات الكيميائية (القلوية والمعادن الثقيلة):

أظهرت التحاليل المخبرية لتربة محيط معمل الكوفة ومعمل كربلاء ارتفاعاً في قيمة الأس الهيدروجيني (pH) من ٧,٢ (تربة طبيعية) إلى ٨,٨، مع ارتفاع ملحوظ في نسبة الكربونات والمعادن الثقيلة كالرصاص (Pb) والكادميوم (Cd) (Al-Saadi et al., 2020).

التحليل الكيميائي: يرجع هذا إلى ترسب الغبار المحمل بأكسيد الكالسيوم (CaO) وهيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$). عند تفاعل هذه القلويات مع ماء الري، تتشكل طبقة صلبة تحت السطح تُعرف بـ "التصلب الكيميائي"، مما يقلل من نفاذية التربة ويمنع تهوية الجذور. كما أن القلوية العالية تقلل من توافر العناصر الصغرى الضرورية للنبات (الحديد، المنغنيز، الزنك)، مما يؤدي إلى ظهور

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

أعراض الإصفرار (Chlorosis) على المحاصيل وانخفاض الإنتاجية الزراعية بنسبة تصل إلى ٣٠% في نطاق ٣ كم (Al-Fatlawi, 2015).

ب. التغيرات الفيزيائية:

تعمل جسيمات السمنت الدقيقة على سد مسام التربة (Clogging)، مما يقلل من قدرتها على الاحتفاظ بالماء ويزيد من الجريان السطحي (Runoff)، وهو ما يفاقم مشكلة التصحر التي تعاني منها المناطق الوسطى والجنوبية في العراق أصلاً (Al-Kindi & Al-Saadi, 2018).

٤,٣. تقييم وتحليل تلوث الموارد المائية

يؤثر قطاع السمنت على المياه السطحية والجوفية من خلال آليتين رئيسيتين:

١. التلوث الحراري والكيميائي للمسطحات المائية: تحتاج مصانع السمنت إلى كميات هائلة من المياه لتبريد أجسام الأفران والمعدات. يتم تصريف هذه المياه بدرجات حرارة مرتفعة وتحتوي على معلقات قلوية وأملاح ذائبة. في العراق، تُطرح هذه المياه غالباً دون معالجة في الأنهار أو الوديان المجاورة، مما يرفع درجة حرارة الماء ويقلل من تركيز الأكسجين المذاب، ويؤدي إلى قتل الحياة المائية (Sabbah & Al-Obaidy, 2020) (Biodiversity loss).

٢. التسرب إلى المياه الجوفية: يؤدي ترسب الغبار القلوي على التربة وتفاعله مع مياه الأمطار (القليلة في العراق) إلى تشكيل محاليل قلوية مركزة تتسرب بسهولة عبر التربة المسامية إلى طبقات المياه الجوفية، مما يزيد من العسر الكلي لمياه الآبار المستخدمة للشرب والري (Al-Kindi & Al-Saadi, 2018).

٤,٤. تحليل الآثار الصحية على المجتمعات المحلية

يُعد التدهور البيئي السالف ذكره ترجمة مباشرة لتدهور الصحة العامة للسكان. باستخدام منهجية تقييم الأثر الصحي (HIA)، تم تحليل المخرجات الصحية:

١. الاعتلالات التنفسية: إن استنشاق PM2.5 يسمح للجسيمات بعبور الحواجز البيولوجية والوصول إلى الحويصلات الهوائية، مسببة التهابات مزمنة وتليفاً رئوياً. أظهرت بيانات مراكز الصحة في قضاء الحسينية والخضر (القريبة من مصانع كربلاء) ارتفاع معدلات الإصابة بالربو (Asthma) والتهاب الشعب الهوائية المزمن (COPD) بنسبة ٤٠% أعلى من المعدلات الوطنية (Abdel-Aziz&Al-Taei, 2019).

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

٢. السرطانات والتسمم المعدني: احتراق المازوت بكميات ضخمة يولد مركبات عطرية متعددة الحلقات (PAHs) والديوكسينات، وهي مسرطنات من الفئة الأولى. كما أن ترسب المعادن الثقيلة (الزئبق والرصاص) يهدد السلسلة الغذائية، حيث تتراكم هذه السموم في أنسجة النباتات والحيوانات وصولاً للإنسان (Ali&Nasser, 2022).

٣. الأمراض الجلدية والعينية: يسبب الغبار المتطاير القلوي تهيجاً شديداً للأغشية المخاطية للعين، مما يفسر الانتشار الواسع لالتهاب الملتحمة (Conjunctivitis) والأمراض الجلدية التحسسية بين سكان المناطق المحيطة بالمعامل (Hussain et al., 2021).

٤,٥. التحليل الاقتصادي البيئي (تكلفة التدهور البيئي)

إن الأرباح التي تحققها مصانع السمنت في العراق لا تعكس التكلفة الحقيقية لإنتاجها، إذ تُحمّل المجتمع تكاليف خارجية (Externalities) ضخمة. تتضمن هذه التكاليف: خسارة الإنتاج الزراعي، تكلفة علاج الأمراض التنفسية والسرطانية، واستنزاف الموارد المائية غير المتجددة. تشير تقديرات تقريبية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة إلى أن تدهور جودة الهواء في العراق يكلف الاقتصاد الوطني ما يقدر بعدة مليارات من الدولارات سنوياً ، لصناعة السمنت نصيب كبير منها نظراً لحجم انبعاثاتها (UNEP, 2020).

٥. المناقشة (Discussion)

تؤكد نتائج هذا البحث أن المشكلة البيئية لصناعة السمنت في العراق ليست حتمية تكنولوجية، بقدر ما هي أزمة إدارة وتنظيم وتخطيط استراتيجي. عالمياً، تمكنت دول كألمانيا والهند من فك الارتباط بين النمو الاقتصادي لقطاع السمنت وانبعاثاته عبر التحول التكنولوجي (Ali&Nasser, 2022).

في العراق، تقف عوائق جذرية أمام هذا التحول:

١. فخ التكنولوجيا القديمة: تكلفة الاستبدال الكامل لخطوط الفرن الرطب بخطوط جافة تتجاوز ٤٠٠ مليون دولار للمصنع الواحد. الشركات الحكومية عاجزة عن توفير هذا التمويل، والقطاع الأهلي يرفض الاستثمار في التحديث طالما أن المصانع القديمة لا تزال تدر أرباحاً تشغيلية.

٢. ضعف المنظومة التشريعية والرقابية: غرامات وزارة البيئة على الانبعاثات المتجاوزة هزيلة جداً، ولا تُشكل حافزاً اقتصادياً لتشغيل فلاتر مكلفة الصيانة. كما غاب دور "البوابات الخضراء" في منح رخص التشغيل للمصانع الأهلية الجديدة، حيث سُمح بإنشاء مصانع ذات تقنيات مفتوحة الدورة.

JOBS
مجلة العلوم الأساسية
Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

٣. أزمة الكهرباء والوقود: تضطر المصانع إلى حرق المازوت بدلاً من الغاز بسبب أزمات الطاقة، ويتعطل عمل الفلاتر بسبب انقطاع الكهرباء الوطنية، مما يجعل من أي استثمار في الرقابة البيئية استثماراً هشاً (Kadhim & Al-Jubouri, 2021).

إن استمرار نهج "الإنتاج بأي ثمن بيئي" سيؤدي إلى تحول المناطق الصناعية في العراق إلى مناطق ميتة بيئياً (Dead Zones)، مما يستدعي تدخلاً حكومياً جذرياً يعيد هيكلة القطاع.

٦. الاستنتاجات (Conclusions)

١. تُعد صناعة السمنت في العراق، وخاصة "الخطوط القديمة" العاملة بتقنية الفرن الرطب والمطاحن المفتوحة، المساهم الأكبر في التلوث الصناعي متعدد الوسائط، حيث تتعدى انبعاثاتها الغبارية والغازية المعايير الوطنية والدولية بفوارق تصل إلى ٦٠٠%.

٢. يُعد الاعتماد على المازوت كوقود، وتقدم التكنولوجيا، وتعطل المرسبات الكهربائية المزمن بسبب أزمة الكهرباء، المسببات الجوهرية المباشرة للتدهور البيئي في محيط هذه المصانع.

٣. أدى الترسب المستمر للغبار القلوي والمعادن الثقيلة إلى إحداث تدهور لا رجعة فيه نسبياً في خصائص التربة الزراعية المحيطة (ارتفاع pH وتصلب التربة)، مما أدى لخسارة ملموسة في الغطاء النباتي والإنتاج الزراعي.

٤. وُجد ارتباط سببي قوي بين التعرض المزمن لانبعاثات مصانع السمنت والارتفاع الملحوظ في معدلات الإصابة بالأمراض التنفسية المزمنة، أمراض العيون، والسرطانات في المجتمعات السكانية القاطنة ضمن دائرة نصف قطرها ٥ كم.

٥. تتكبد البيئة والاقتصاد العراقي تكاليف خارجية باهظة نتيجة غياب مبدأ "الملوث يدفع"، مما يجعل أرباح صناعة السمنت أرباحاً وهمية تُدفع من رأس مال الصحة العامة والبيئة.

٧. التوصيات (Recommendations)

١. تحويل تكنولوجي إلزامي وتدريجي: إصدار تشريع ملزم بوقف كافة خطوط الإنتاج الرطبة والمفتوحة الدورة في العراق خلال مدة أقصاها ٥ سنوات، واستبدالها بخطوط الأفران الجافة ذات الدورات المغلقة، مع تقديم حوافز ضريبية للمصانع الملتزمة.

JOBS مجلة العلوم الأساسية Journal of Basic Science
Print -ISSN 2306-5249
Online-ISSN 2791-3279
العدد السادس والأربعون
٢٠٢٦م/١٤٤٨هـ

٢. استراتيجية الوقود البديل (Co-processing): إلزام المصانع باستبدال ٣٠% من وقودها الأحفوري بمخلفات الوقود المشتق من النفايات الصلبة البلدية والزراعية (RDF)، مما يخفض انبعاثات الكبريت ويحل أزمة النفايات في العراق بشكل متكامل.

٣. ربط الرقابة بالتشغيل الآلي: إلزام المصانع بتركيب أنظمة رصد مستمرة (CEMS) متصلة مباشرة بوزارة البيئة، مع تركيب أنظمة إغلاق آلي (Interlock) تُوقف تشغيل الفرن فوراً في حال تعطل الفلاتر، لمنع التفريغ العشوائي للغبار.

٤. توفير البنية التحتية للطاقة: تخصيص خطوط كهرباء وطنية عالية الجهد ومستقرة لصناعة السمنت لضمان استمرار عمل أنظمة الفلترة الصناعية والمرسبات.

٥. التشجير العازل والمناطق العازلة: إلزام المصانع بإنشاء مناطق عازلة (Buffer Zones) بعرض لا يقل عن ٢ كم ممنوع فيها البناء السكني، وزراعتها بأحزمة خضراء من الأشجار المقاومة للجفاف والقلوية (كالكازورينا) كمرشحات حيوية.

٦. تطبيق صارم لمبدأ الملوث يدفع: رفع قيم الغرامات البيئية لتصبح أضعاف تكلفة تشغيل الفلاتر، وتوجيه حصيلتها لصندوق وطني لتأهيل المناطق الزراعية والصحية المتضررة.

٨. المراجع (References)

1. Abdel-Aziz, N. M.,&Al-Taei, S. M. (2019). Health risk assessment of atmospheric emissions from cement plants in Iraq. Environmental Monitoring and Assessment , 191(7), 415. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7553-2
2. Al-Fatlawi, A. J. (2015). Evaluation of environmental impacts resulting from the cement industry in Iraq: A case study of Kufa cement plant. Journal of University of Babylon for Engineering Sciences, 23(2), 412-425. https://iasj.net/article/102045
3. Al-Kindi, R. M.,&Al-Saadi, H. A. (2018). Impacts of cement factories on groundwater quality in Karbala province, Iraq. Iraqi Journal of Science , 59(1C), 480-489. https://doi.org/10.24996/ijs.2018.59.1C.11
4. Al-Maliki, H. H. (2016). Dispersion modeling of particulate matter from cement factories in Iraq. Journal of Environmental Earth Sciences ,8(2), 55-66.
5. Al-Saadi, A. J., Al-Obaidy, M. J.,&Al-Khateeb, H. M. (2020). Accumulation of heavy metals in soil and plants around the cement factory in Kufa, Iraq. IOP Conference Series: Materials Science and

Engineering, 737(1), 012201. https://doi.org/10.1088/1757-899X/737/1/012201

6. Al-Shehri, F. M.,&Al-Ghamdi, A. Y. (2019). Environmental impacts of cement manufacturing: A review. Journal of Cleaner Production, 215, 120-135. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.102
7. Ali, I. H., & Nasser, M. K. (2022). Transition towards alternative fuels in the cement industry: Challenges and opportunities in Iraq. Energy Reports, 8, 1125-1138. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.295
8. Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry. Journal of Cleaner Production , 51, 142-161. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.049
9. Hasan, M. M., & Jafar, M. A. (2019). Environmental impact assessment of cement manufacturing plant in Iraq: Air quality perspective. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 518(2), 022005. https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022005
10. Hussain, A. A., Al-Saadi, H. J., & Mahmood, H. S. (2021). Assessment of health risks associated with exposure to particulate matter near cement factories. Environmental Science and Pollution Research, 28(15), 18766-18778. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12145-z
11. IEA. (2018). Technology roadmap: Low-carbon transition in the cement industry . International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry
12. Kadhim, R. J.,&Al-Jubouri, H. N. (2021). Operational failures of emission control systems in Iraqi cement plants. Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering , 22(1), 33-42. https://doi.org/10.31699/IJCPE/2021.1.5
13. Ministry of Industry and Minerals (MIM). (2021). Annual statistical report of the cement sector in Iraq . Republic of Iraq. Retrieved from https://www. industry.gov.iq.
14. Othman, A. M., & Al-Maliki, H. H. (2020). Assessment of air pollutants emitted from cement plants: A case study in Iraq. Iraqi Journal of Science, 61(5), 1024-1035. https://doi.org/10.24996/ijs.2020.61.5.5

15. Sabbah, A. M.,&Al-Obaidy, M. J. (2020). Environmental impact assessment of industrial wastewater discharge from cement factories in Iraq. Journal of Ecological Engineering , 21(6), 140-149. https://doi.org/10.12911/22998993/122182
16. UNEP. (2020). Air pollution in Iraq: Status, impacts, and pathways for change [التكلفة لتقدير فقط هنا استُخدم العراق، في الهواء تلوث حول عام مرجع السمنت بصناعة خاص كمصدر وليس العامة الاقتصادية]. United Nations Environment Programme. https://www.unep.org/resources/report/air-pollution-iraq
17. World Health Organization (WHO). (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329
18. Venkata Sudhakar, C., & Umamaheswara Reddy, G. (2023). Impacts of cement industry air pollutants on the environment and satellite data applications for air quality monitoring and management. Environmental Monitoring and Assessment, 195(840). https://doi.org/10.1007/s10661-023-11408-1
19. Khan, M. M. H., Mansoor, S. S., Yacoub, M. M., AbdUlameer, A. H., Al-Ani, S. M. A., Kamel, A. H., Ahmad, J. M., Afan, H. A., & Khaleel, F. (2025). Spatial modeling of cement dust pollution on soil properties in western Iraq. International Journal of Environmental Impacts, 8(4), 675-685. https://doi.org/10.18280/ijei.080405
20. Bărbulescu, A., & Hosen, K. (2025). Cement industry pollution and its impact on the environment and population health: A review. Toxics, 13(7), 587. https://doi.org/10.3390/toxics13070587
21. Salaripoor, H., Yousefi, H., & Abdoos, M. (2025). Life cycle environmental assessment of Refuse-Derived Fuel (RDF) as an alternative to fossil fuels in cement production: A sustainable approach for mitigating carbon emissions. Fuel Communications. https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2025.100135
22. Abdulwahid, M. Y., Galobardes, I., & Neto, O. M. M. (2025). Feasibility of using geopolymer concrete to enhance sustainability in Iraqi construction sector: A survey questionnaire. Innovative Infrastructure Solutions, 10, 569. https://doi.org/10.1007/s41062-025-02392-1