مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

التلوث بالرصاص ومصادره، مسارات أنتقاله، وتأثيراته الصحية والبيئية (مراجعة شاملة)

م.م. أزهار فؤاد مناف الجواري
الجامعة المستنصرية / كلية التربية الاساسية

مستخلص البحث:
يهدف البحث إلى دراسة الانبعاثات الصناعية للرصاص والكشف عن آثارها الصحية والبيئية، من خلال دراسة مصادر انبعاثه، وآليات انتقاله في البيئة، وتأثيراته على الإنسان والنظم البيئية. أظهرت النتائج أن الرصاص يُعدّ من أخطر المعادن الثقيلة المتراكمة في البيئة، إذ ينتقل عبر الهواء والمياه والتربة، ثم يدخل السلاسل الغذائية مسبباً اضطرابات صحية خطيرة تشمل تلف الجهاز العصبي، وفقر الدم، وتأخر النمو العقلي لدى الأطفال. كما بينت الدراسة أن الصناعات الثقيلة، وإعادة تدوير البطاريات، والعمليات المعدنية تُعدّ من أبرز مصادر الانبعاث، وأن تراكم الرصاص في التربة والمياه يؤدي إلى تدهور خصوبتها وانخفاض التنوع الحيوي. تؤكد نتائج البحث ضرورة وضع استراتيجيات فعّالة للحد من الانبعاثات، والتي تشمل تطوير التقنيات الصناعية، وتعزيز التشريعات الرقابية، وتحسين إدارة النفايات، إلى جانب تكثيف برامج المراقبة ورفع الوعي المجتمعي. ويلخص البحث إلى أن مواجهة تلوث الرصاص تتطلب تكاملاً بين الجهود العلمية والفنية لضمان حماية صحة الإنسان والبيئة.

الكلمات المفتاحية: تلوث الرصاص، مصادر انبعاث الرصاص، مسارات انتقال الرصاص، التسمم بالرصاص، التأثيرات الصحية للرصاص.

المقدمة:

يعد الرصاص من المعادن الثقيلة التي تمتاز بصفات كيميائية وفيزيائية تجعل من انتشارها وتراكمها في البيئة مسألة ذات قضية بيئية وصحية هامة. لقد ظل الرصاص مهيمناً في العديد من الأنشطة الإنسانية منذ العصور القديمة، حيث استخدم في تطبيقات متنوعة مثل طلاء المباني، البطاريات، والدهانات، ومواد التجميل، مما أدى إلى إطلاق كميات كبيرة منه في البيئة بشكل مستمر.تتسم خصائصه الثقيلة وقابليته للتراكم الحيوي بكونه من الملوثات التي تصعب إدارتها، نظراً لقدرته على البقاء لفترة طويلة دون تحلل في التربة، الماء، والهواء، مما يعزز احتمالية تعرض الإنسان والكائنات الحية الأخرى لمخاطر عالية(Gulati *et al.*,2022). ومع تزايد الاعتماد على الصناعات المختلفة، تزايدت كذلك الانبعاثات الصناعية للرصاص، مما دفع إلى ضرورة تحسين فهم آليات وجوده وانتشاره في البيئة، وتقييم المخاطر المرتبطة بالتعرض المباشر وغير المباشر له. تنعكس آثار الرصاص على الصحة العامة والبيئة بشكل واضح من خلال تلوث المصادر المائية، والتربة، والهواء، حيث توجد روابط قوية بين مستوى التلوث وارتفاع معدل الأمراض المزمنة، خاصة أمراض الجهاز العصبي، والكلى، والجهاز التنفسي،

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

إضافة إلى تأثيرات سلبية على النظم البيئية، بما في ذلك تدهور الأحياء المائية وانخفاض الغطاء النباتي (Gupta *et al.*,2021). و يتطلب التعامل مع قضية التسمم بالرصاص نهجاً علمياً شاملاً يشمل تحديد المصادر، وفهم آليات الانتشار، وتحليل مسارات التعرّض، فضلاً عن تطوير أساليب تقييم المخاطر، واعتماد تقنيات فعالة للحد من مستويات التعرض، اضافة الى وضع سياسات وإجراءات إدارة بيئية مناسبة. ومن هنا تتضح حاجة ماسة لتطوير استراتيجيات مبتكرة وسياسات فاعلة للحد من الانبعاثات الصناعية وحماية الصحة العامة (Said and Mosa, 2024). بناءً على ما سبق، تهدف هذه الورقة البحثية إلى تقديم مراجعة شاملة للأدبيات العلمية الحالية حول التلوث بالرصاص، من خلال استعراض مصادره الرئيسية، وتحليل مسارات انتقاله في البيئة، وتقييم تأثيراته على صحة الإنسان والنظم البيئية، وذلك بهدف توفير صورة علمية متكاملة تُسهم في توجيه السياسات البيئية والصحية نحو الحد من مخاطر التعرض لهذا الملوث الخطير.

مشكلة البحث

ما مدى خطورة الانبعاثات الصناعية للرصاص على الإنسان والبيئة؟ وما آليات انتقاله وتأثيراته السمية ؟

أهمية البحث

تتمثل أهمية هذا البحث في تناوله أحد أخطر ملوثات البيئة الصناعية والمتمثل بالرصاص، لما يمتلكه من قدرة عالية على التراكم الحيوي والاستمرار في عناصر البيئة المختلفة. حيث يسهم في توضيح مصادر انبعاث الرصاص ومسارات انتقاله وتأثيراته السمية على صحة الإنسان، ولا سيما الفئات الأكثر عرضة كالأطفال والعاملين في القطاعات الصناعية، فضلاً عن إبراز انعكاساته السلبية على النظم البيئية والتنوع الحيوي. كما يعزز البحث الفهم العلمي لمخاطر الرصاص الصناعية ويسهم في الحد من تأثيراته السلبية على صحة الإنسان والبيئة.

أهداف البحث

يهدف البحث إلى توضيح مصادر الانبعاثات الصناعية للرصاص ومسارات انتقاله في البيئة، وكيفية انتشاره في الهواء والتربة والمياه ودخوله إلى السلاسل الغذائية. كما يسعى إلى إبراز التأثيرات الصحية والبيئية الناتجة عن التعرض للرصاص، مع التأكيد على أهمية الحد من انبعاثاته لحماية صحة الإنسان والحفاظ على التوازن البيئي.

منهجية البحث

اعتمد هذا البحث على المراجعة المنهجية الشاملة (Comperhensive Review Article)، لمناسبتها لطبيعة الدراسة التي تهدف إلى تحليل انبعاثات الرصاص وتقييم آثارها الصحية والبيئية بصورة شاملة ومنظمة، إذ جرى البحث وفق خطوات محددة تشمل تحديد سؤال البحث، ووضع معايير الاشتمال والاستبعاد، ثم جمع الدراسات ذات الصلة وتحليلها بشكل منهجي. أُجري البحث في قواعد البيانات العلمية المحكّمة Scopus وGoogle Scholar، فضلاً عن التقارير الصادرة عن المنظمات الدولية ذات العلاقة، ولا سيما منظمة الصحة العالمية، ،

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

واقتصر البحث على الدراسات المنشورة خلال الفترة الممتدة من 2011 إلى 2025 لضمان حداثة المعلومات. وقد شملت معايير الاشتمال الدراسات المنشورة باللغتين العربية والإنجليزية في مجلات علمية محكّمة، والتي تتناول مصادر الرصاص وتأثيراته الصحية والبيئية بشكل مباشر.

1. مفهوم الرصاص وخصائصه الكيميائية

يعد الرصاص عنصرًا كيميائيًا فلزيًا يمتاز بخصائص فريدة تجعله من المعادن ذات الاستخدام الواسع عبر العصور، خاصة في الصناعات المختلفة. يتواجد الرصاص طبيعيًا في القشرة الأرضية بكميات معتدلة، ويتم استخراجه بشكل رئيسي من خلال التعدين واستخراج الخامات المعدنية، حيث يوجد غالبًا في الرواسب المصاحبة لخام الزنك والفضة والنحاس. و يتميز الرصاص بقابليته العالية للتشكيل والمعالجة، كما أنه مقاوم للتآكل والتلف، مما جعله مادة مثالية في تصنيع العديد من المنتجات، بما في ذلك البطاريات، الأسلاك، والمواد البناء. (Bouida *et al*,.2022) من ناحية التركيب الكيميائي، يتخذ الرصاص شكلًا متعدد التكافؤ، ويتميز بمرونته في التفاعل مع العديد من العناصر والمركبات الكيميائية. يتفاعل بسهولة مع الأوكسجين لتشكيل أكاسيد الرصاص التي تتميز بخصائصها المقاومة للصدأ، كما يمكن أن يكون سهل الذوبان في الأحماض، الأمر الذي يسهل عمليات التصنيع والمعالجة. و يتميّز الرصاص ايضا بكثافته العالية وخصائصه الفيزيائية الفريدة، إذ يستطيع تكوين مركبات عضوية وغير عضوية، الأمر الذي أدى إلى تنوع استخداماته في المجالات الصناعية ومع ذلك، فإن هذه الخصائص تفرض مسؤولية بيئية وصحية كبيرة؛ إذ أن الرصاص يمكن أن يتراكم في الكائنات الحية والبيئة، مسببًا تأثيرات ضارة، خاصة عندما يتم إطلاقه بشكل غير منضبط ضمن الأنشطة الصناعية. لذلك فإن فهم خصائص الرصاص الكيميائية يعزز من تطوير استراتيجيات للحد من انبعاثاته وحمايته من التدهور البيئي والصحي (الياسري،2011).

2. مصادر الانبعاثات الرئيسية للرصاص

تُعدّ مصادر الانبعاثات الرئيسة للرصاص متنوعة وتشمل أنشطة بشرية وصناعية واسعة تُسهم بشكل مباشر في تراكمه في الهواء والماء والتربة، إذ يُعدّ احتراق الوقود الأحفوري لا سيما البنزين المحتوي على الرصاص في الدول التي لا تزال تستخدمه من أبرز المصادر في إطلاق جسيمات الرصاص الدقيقة إلى الغلاف الجوي، إضافةً إلى الصناعات المعدنية مثل صهر الرصاص وتنقية المعادن وتصنيع البطاريات، التي تُطلق كميات كبيرة من الأبخرة والجسيمات الملوثة. كما تُعدّ الدهانات المحتوية على الرصاص، والأنابيب القديمة المصنوعة من الرصاص، وبعض عمليات إعادة التدوير غير المنظمة، من المصادر المهمة التي تزيد من مخاطر التلوث خاصة في البيئات الحضرية. ويسهم حرق النفايات، خصوصاً النفايات الإلكترونية والمواد البلاستيكية المضاف إليها مركبات الرصاص، في تعزيز الانبعاثات وانتشارها على نطاق واسع. اضافة الى ذلك، تؤدي الأنشطة الزراعية التي تستخدم مبيدات أو أسمدة ملوثة بالرصاص، وكذلك انبعاثات المركبات الثقيلة ومواقع التصنيع العسكرية، إلى رفع مستويات الرصاص في

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

النظم البيئية، مما ينعكس سلباً على صحة الإنسان والكائنات الحية عبر السلاسل الغذائية. (الجواري، 2025) أما الصناعة الكيميائية والبنائية، فهي تساهم أيضاً بشكل ملحوظ في إطلاق الرصاص، إذ تُستخدم مركبات الرصاص كمادة في بعض المواد الكيميائية والمضافات، بالإضافة إلى المواد المستخدمة في عمليات التشييد والبناء، مما يزيد من إحتمالية تسرب المركبات المحتوية على الرصاص إلى البيئة المحيطة. رغم أن هذه الصناعات تتبع عادة معايير ضبط وتوجيهات صارمة، إلا أن التراكم المستمر للرصاص نتيجة عمليات التصنيع قد يؤدي إلى انتشار كميات متزايدة منه على مدى الزمن. وايضا فإن عمليات التعدين واستخراج الرصاص الخام تلعب دوراً حاسماً في تكوين الانبعاثات الصناعية، إذ يتطلب الاستخراج والمعالجة تصدير كميات من الغازات والأبخرة المحتوية على الرصاص، والتي تؤثر بشكل مباشر على جودة الهواء المحيط والمياه السطحية، فضلاً عن التربة (سعيد وآخرون ، 2020).

1.2. انتاج البطاريات والرصاص المستعمل

تتضمن عملية إنتاج البطاريات، خاصة تلك المستخدمة في السيارات والأجهزة الكهربائية، اعتمادًا كبيرًا على الرصاص كمكون أساسي. حيث يشكل الرصاص المستعمل مادة اساسية في تصنيع البطاريات الرصاصية الحمضية، اذ يتم استخراج الرصاص الخام ومعالجته لتحويله إلى أشكال مناسبة للاستخدام الصناعي.حيث تُنتج البطاريات عبر عمليات معقدة تتطلب استثمارات عالية في التقنيات والمعدات، وتُعدّ هذه العمليات من المصادر المهمة لانبعاثات الرصاص، خاصة خلال فترات التصنيع والتجميع.اذ أن خلال عمليات التصنيع، تبرز مخاطر انبعاث الرصاص نتيجة لتطايره في الهواء أو تسربه إلى البيئة، سواء عن طريق الغبار أو السوائل الملوثة(المهندس و عبد الرسول ، 2013) كما أن عمليات إعادة التدوير للبطاريات المستعملة تُعد من المصادر الأكثر قدرة على إطلاق الرصاص، بما في ذلك عمليات التفكيك والمعالجة التي قد تنتج عنها كميات كبيرة من المواد المحتوية على الرصاص إذا لم تُدار بشكل صحيح. من الجدير بالذكر أن استخدام الرصاص في هذه الصناعات يهدد بشكل مباشر البيئة والصحة العامة، جراء تسرب الجسيمات الدقيقة الملوثة والتي يمكن أن تنتقل عبر الهواء والتربة والمياه، مسببة تلوثًا مستمرًا وتأثيرات صحية سلبية على السكان والكائنات الحية(الاعرجي،2016). أضافة الى ذلك، تعتبر عمليات النقل والتخزين غير الآمن من العوامل التي تسهم في انبعاث الرصاص، إذ تُختزن كميات من الأحماض والمواد المحتوية على الرصاص في أماكن غير ملائمة، مما يزيد من احتمالية تسرب التلوث إلى البيئة (Al-Saedi *et al.*,2024).

2.2. صناعة المعادن والسباكة

تعد صناعة المعادن والسباكة واحدة من المصادر الرئيسية لانبعاث الرصاص، اذ تتضمن عمليات صهر وتشكيل المعادن التي تعتمد على عمليات حرارية تتولد منها كميات كبيرة من الغازات والجسيمات المعلقة المحتوية على الرصاص. وخلال عمليات السباكة يُستخدم الرصاص أحيانًا كمادة مضافة لتحسين خصائص سبائك المعادن، مما يؤدي إلى انتشار تراكمات من الرصاص في البيئة المحيطة بالموقع. بالإضافة إلى ذلك، يُنتج عن عمليات الصهر والمعالجة

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

الحرارية مخلفات تحتوي على نسب مرتفعة من الرصاص، التي قد تتسرب إلى الهواء، التربة، والمياه دون التخلص منها بطريقة سليمة (الغندور،2016). حيث ينتج عن ذلك انتشار جسيمات الرصاص في الهواء الجوي خاصة أثناء عمليات الاختزال والصهر، مما يساهم في تلوث الجو ويعرض العمال وسكان المناطق المجاورة لمخاطر صحية عالية. كما أن ترسيب الرصاص في التربة يُحدث عادة بالقرب من المنشآت الصناعية مما يؤثر سلبًا على النباتات والكائنات الدقيقة التي تعتبر أساس السلاسل الغذائية، وكان من نتائج ذلك التلوث البيئي المستمر وتأثيره السلبي على التوازن البيئي(الاحمر، 2020). بالاضافة على ذلك، تتسرب مخلفات عمليات السبك إلى المياه الجوفية والسطحية، مسببة تلوثًا مائيًا قد يصعب السيطرة على انتشاره، ويؤدي إلى دخول الرصاص عبر السلسلة الغذائية، مما يعرض الحيوانات والإنسان للمخاطر الصحية. تشير الدراسات إلى أن انبعاث الرصاص من هذه الأنشطة يساهم بشكل كبير في تراكمه في مواقع سكنية وزراعية، وهو ما يستدعي ضرورة اعتماد إجراءات فاعلة للحد من هذه الانبعاثات، وتحسين التقنيات الصناعية، وتطبيق معايير بيئية صارمة للحماية من مخاطر الرصاص المتنقلة من مصادر صناعة المعادن والسباكة (محمد وآخرون، 2019).

3.2. صناعات البناء والمواد الكيميائية

تعتبر صناعات البناء والمواد الكيميائية من المصادر المهمة لانبعاث الرصاص، نتيجة للعمليات التي تتضمن استخدام مركبات الرصاص أو إنتاج مواد ذات محتوى عالي من الرصاص.حيث ان في صناعة البناء، يُستخدم الرصاص بشكل واسع في تركيب الأنابيب، الطلاءات، والمواد المقاومة للتآكل، اذ يمكن أن يتعرض العاملون والمباني ذاتها لمستويات مرتفعة من الرصاص نتيجة للتآكل أو التدهور المستمر لهذه المواد مع مرور الزمن. بالإضافة إلى ذلك، تُستخدم مركبات الرصاص كمكونات في صناعة الإسمنت ومواد العزل، مما يزيد من احتمالية إطلاق الرصاص في البيئة المحيطة(العربي وآخرون ، 2017). أما في المجال الكيميائي، فتتضمن عمليات إنتاج مركبات الرصاص، مثل أكسيد الرصاص وأملاح الرصاص، التي تُستخدم في مختلف التطبيقات الصناعية والصناعات الإلكترونية، مسارات انبعاث متعددة. غالبًا ما تتعرض عمليات التصنيع والصيانة للتسرب أو الانبعاث غير المقصود، خاصةً عند تآكل الأنابيب المستخدمة لنقل أو تخزين مركبات الرصاص، الأمر الذي يؤدي إلى تسرب المادة إلى التربة، المياه، والهواء. وأن الأثر البيئي الناجم عن انبعاث الرصاص من هذه الصناعات يتمثل في التلوث المكثف للمحيط. حيث يُمكن أن يخترق نظم التربة والمياه الجوفية، مما يسبب تراكم الرصاص وتلوث الموارد الطبيعية. فضلاً عن ذلك، يُمكن أن تتسرب جزيئات الرصاص الصغيرة الحجم إلى الهواء عبر عمليات التبخير والدخان الصناعي، مما يعزز من خطر انتقالها إلى الكائنات الحية (حميد وعلي، 2024).

3.مسارات انبعاث الرصاص و انتقاله في البيئة

تنتقل جزيئات الرصاص الناتجة عن المصادر الصناعية إلى البيئة عبر مسارات متعددة تؤثر بشكل مباشر على نظمها المختلفة. حيث يُطلق الرصاص إلى الهواء من خلال العمليات

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

الصناعية، مثل التصنيع والمعادن والسباكة، اذ تظل الأدخنة والغازات المعلقة محمّلة بجزيئات الرصاص التي تنتقل عبر الغلاف الجوي لمسافات واسعة. حيث تتسبب هذه الجسيمات في تلوث الهواء المحيط، خاصة في المناطق القريبة من مصادر الانبعاث، مما يعرض السكان والكائنات الحية للأخطار الصحية والبيئية المباشرة.أضافة الى ذلك تعتمد الترسيبات في التربة والمياه بشكل كبير على عمليات التصعيد والرياح، ما يؤدي إلى تكوين رواسب من الرصاص على سطح التربة ومخزون المياه الجوفية والسطحية. تُعد هذه الترسيبات من مظاهر انتقال الرصاص داخل البيئة، حيث تتراكم مع مرور الزمن وتؤدي إلى تلوث بيئي مستدام. تتسبب عمليات التعرية والنشاط المائي في نقل الرصاص من التربة الملوثة إلى المياه، مما يهدد النظم المائية والكائنات التي تعتمد عليها(Raj and Das, 2023). اما انتقال الرصاص عبر السلاسل الغذائية فأنه يتم عن طريق دخول الرصاص إلى الكائنات الحية من خلال امتصاصه من التربة أو المياه، حيث يتراكم في أنسجتها مع مرور الوقت و يُعد هذا التراكم من العوامل الخطرة التي تضر بصحة الإنسان والحياة البرية (Al-Akoun *et al.*,2012).

1.3. أنتشار الرصاص في الهواء

تعد عمليات إطلاق الرصاص والغازات المعلقة من المصادر الرئيسية لانبعاثاته في البيئة، اذ تنطلق كميات كبيرة من الجسيمات الدقيقة المحتوية على الرصاص خلال عمليات التصنيع والمعالجة الصناعية. وتسبب هذه الجسيمات العالقة في الهواء في انتشار واسع لمركبات الرصاص عبر مسافات طويلة، مما يزيد من احتمالية استنشاقها من قبل الإنسان والكائنات الحية الأخرى. و تتصف الغازات المعلقة المحتوية على الرصاص بكثافتها العالية، ما يسهّل ترسيبها على أسطح مختلفة، ومع تراكمها في الجو تستقر على التربة والمسطحات المائية، مسببة تلوثًا يمتد أثره لوقت طويل (Pinho-Gomes *et al.*, 2023).

2.3. الترسيب في التربة والمياه

تعد عملية ترسيب الرصاص في التربة والمياه من الظواهر البيئية التي تؤدي إلى تراكم مركبات الرصاص في البيئة المحلية، مما يشكل تهديدًا مباشرًا على توازن البيئية والاستدامة. عندما يتم إطلاق الرصاص من المصادر الصناعية المختلفة، ينخفض جزئيًا على السطح ويتفاعل مع مكونات التربة والمياه السطحية، مما يؤدي إلى تكوين مركبات غير ذائبة تستقر وتتراكم بمرور الوقت. وتزداد معدلات الترسيب نتيجة لعوامل متعددة من بينها نمط المناخ، وسرعة الرياح، ونوعية التربة، ومستوى التسرب من المصادر الصناعية. يؤثر ذلك بشكل كبيرعلى نوعية التربة والمياه، حيث يزداد تركيز الرصاص في المناطق القريبة من مواقع الانبعاث، مما يسبب تلوثًا طويل الأمد يصعب إزالته . كما أن الترسيب يساهم في انتقال الرصاص إلى الطبقات السفلى من التربة، اذ يمكن أن يبقى لفترات طويلة، مما يعزز من احتمالية امتصاصه من قبل الكائنات الحية والتربة نفسها(Paul *et al*, 2019). أما فيما يخص المياه، فترسيب الرصاص يساهم في تلوث المياه السطحية والجوفية، مما يهدد مصادر الشرب والأنظمة البيئية المائية. وتشكل مخاطر الانتقال عبر الترسيب حافزًا على ضرورة تطبيق تقنيات معالجة المياه وتحسين

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

إدارة النفايات الصناعية وتقليل الانبعاثات الأصلية للرصاص من المصادر الصناعية (Vasudevan and Oturan, 2014).

3.3.انتقال الرصاص عبر السلاسل الغذائية

يعد انتقال الرصاص عبر السلاسل الغذائية من الظواهر البيئية الخطيرة، اذ يترسب هذا المعدن السام في الأعضاء النباتية والحيوانية على حد سواء، مما يؤدي إلى تداخله في السلسلة الغذائية بشكل تدريجي. تبدأ هذه العملية عادةً عندما تتعرض التربة أو المياه الملوثة بالرصاص لعمليات إطلاق غير مراقبة من مصادر صناعية مثل صناعات التعدين، أو إدارة النفايات المحتوية على الرصاص. حيث يُمتص الرصاص من قبل النباتات عن طريق الجذورخاصةً في التربة الملوثة،اذ يتراكم في الأنسجة النباتية، مما يجعله جزءًا من بنيتها الكيميائية. عند تناول هذه النباتات، تنتقل معدلات الرصاص التي تحتويها إلى الحيوانات العاشبة، والتي بدورها تصبح وسيلة لنقل الرصاص إلى الحيوانات المفترسة والبشر(الشاعر وآخرون ،2022).أما على مستوى الكائنات الحية، فأنتقال الرصاص عبر السلاسل الغذائية يتسبب في تراكمه بشكل تدريجي، ما يؤدي إلى زيادة مستوياته في الأنسجة والأعضاء، خصوصًا الكبد والكلى والدم. و يشكل تراكم الرصاص خطراً كبيراً على صحة الإنسان، اذ قد يؤدي إلى اضطرابات عصبية، واضراراً في وظائف الكلى، ومشاكل في التطور العقلي، وضعف المناعة خاصةً عند الأطفال الذين يتعرضون بشكل أكثر حساسية لهذه المادة (Al-naemi ,2011) . بالإضافة إلى ذلك، تتسبب مستويات الرصاص المتزايدة في البيئة في تهديدات للحيوانات البرية والنباتات، حيث تتداخل مع العمليات الحيوية، وتؤدي إلى تدهور الأنظمة البيئية وتراجع التنوع البيولوجي وقد أظهرت الدراسات أن عمليات التلوث المستمرة، خاصةً في المناطق القريبة من المنشآت الصناعية، تزيد من احتمالات انتقال الرصاص عبر السلاسل الغذائية
(سلطان وآخرون، 2012).

4. التأثيرات الصحية والبيئية للرصاص

يؤدي التعرض المستمر للرصاص الى مخاطر صحية وبيئية جسيمة، حيث يتسبب في آثار سلبية متنوعة على الإنسان والكائنات الحية الأخرى مما يؤدي إلى اعتماد سياسات صارمة للسيطرة على الانبعاثات، وتطبيق معايير دولية ومحلية للحد من ملوثات الرصاص، فضلاً عن تعزيز طرق التخلص الآمن من النفايات المحتوية عليه. كذلك تبرز أهمية اعتماد تدابير تقنية حديثة للحد من انبعاثاته، وتحسين كفاءة التصنيع، بالإضافة إلى تعزيز المراقبة والتتبع لضمان الامتثال وتحديد مصادر التلوث بشكل مستمر، بهدف حماية الصحة العامة والحفاظ على استدامة النظم البيئية من التهديدات المحتملة (Paul *et al.*, 2019).

1.4. التـأثير الصحي على الانسان

يؤدي التعرض الطويل الأمد للرصاص إلى العديد من الأضرار الصحية التي تؤثر بشكل خاص على الفئات الضعيفة من السكان، مثل الأطفال والنساء الحوامل. يُعتبر الرصاص مادة ذات سمية عالية، حيث تتراكم في الجسم وتتسبب في تلف الأعضاء الحيوية والأجهزة الحيوية، بما في ذلك

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

الجهاز العصبي، والكلى، والجهاز الدموي. وتظهرالأثارالصحية المباشرة في اضطرابات الجهاز العصبي، وتراجع القدرات الذهنية، واضطرابات السمع، وسوء التركيز، وظهور مشاكل سلوكية. أما على المستوى انتقاله عبرالاجيال فإن التعرض المستمر للرصاص قد يؤدي إلى تأخر النمو العقلي، وتقليل القدرات المعرفية، واضطرابات في السمع، وزيادة احتمالية الإصابة باضطرابات سلوكية واضطرابات في النوم(Rani and Dhok,2023).بالإضافة إلى ذلك، فإن الرصاص يعمل على تغيير وظيفة وأنماط تكوين الخلايا في الجسم، مما قد يؤدي إلى تلف الأوعية الدموية وارتفاع ضغط الدم، بجانب تضرر الغدد والأعضاء الأخرى نتيجة تراكمه في الأنسجة. وتزيد مصادر التعرض، مثل استنشاق الغازات الملوثة أو تناول الأطعمة الملوثة، من مخاطر الإصابة بأمراض حادة ومزمنة، مثل التسمم الرصاصي، الذي يمكن أن يكون مهدداً للحياة إذا لم يتلقى العلاج المناسب في مرحلة مبكرة. كما أن الرصاص يمر عبر الحواجز الطبيعية إلى دم الإنسان، حيث يترسب في العظام والأسنان، مما يصعب التخلص منه، ويتسبب في تدهور الحالة الصحية على المدى البعيد (Mandal *et al.*,2022).

2.4.التأثيرات على النظم البيئية و الكائنات الدقيقة

تؤثر الانبعاثات الصناعية للرصاص بشكل مباشر على النظم البيئية والكائنات الدقيقة من خلال تغيرات بيئية تؤدي إلى تلوث التربة والمياه، مما يهدد استقرار النظم البيئية وتوازن المورد الطبيعي. يتراكم الرصاص في التربة نتيجة للترسيب الناتج عن عمليات التصنيع واستخدام المنتجات المحتوية عليه، مع ما يترتب على ذلك من تقليل خصوبتها وتأثيرها السلبي على النباتات والحيوانات البرية(Collin *et al.*,2022) . بالإضافة إلى ذلك، يساهم تلوث المياه برصاص من مصادر التصنيع في تدهور جودة المياه العذبة، مما يحد من قدرة الكائنات الحية على البقاء ويتسبب في اضطرابات في السلاسل الغذائية. اضافة الى ذلك فأن الكائنات الدقيقة، التي تلعب دوراً محورياً في دارات البيئة، تتأثر أيضاً بشكل كبير. حيث يمكن أن تتعرض هذه الكائنات للسمية عند تعرضها لمستويات عالية من الرصاص، مما يؤدي إلى تغييرات في تركيبها الوظيفي وتدهور أدائها الحيوي. الرصاص يمكن أن يسبب اضطرابات في العمليات البيوكيميائية التي تعتمد عليها المجتمعات المجهرية، مثل التمثيل الضوئي، والتثبيت النتروجيني، والتحلل العضوي، مما يهدد استقرار الأنظمة الدقيقة ويؤثر على تفاعلها مع المكونات الأخرى في البيئة (Sevak *et al.*,2021). بالإضافة إلى ذلك، يلعب الرصاص دوراً في تقليل التنوع الحيوي، حيث أن أنماطًا معينة من الكائنات الدقيقة تكون أكثر حساسية له، في حين تزداد أعداد أنواع مقاومة، مما يؤدي إلى اضطراب التوازن البيئي وفقدان بعض الوظائف الحيوية الضرورية. إن تراكم الرصاص في البيئة وتلوثه للكائنات الدقيقة يمثل تهديدًا طويل الأمد،حيث يصعب القضاء على معدلات التلوث المرتفعة ويزيد من احتمالية نقل الرصاص إلى الكائنات الأعلى في السلسلة الغذائية، مما يفاقم الآثار السلبية الصحية والبيئية بشكل عام (Kolawole and Iyiola,2023).

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

5. الاطار الصحي العالمي لتلوث الرصاص

يُعد تلوث الرصاص من القضايا الصحية العالمية الخطيرة التي حظيت باهتمام من قبل منظمات الصحة الدولية، خاصة منظمة الصحة العالمية. حيث تصنف المنظمة الرصاص ضمن أخطر عشرة ملوثات تهدد الصحة العامة، لما يسببه من أثار ضارة على الإنسان، خصوصاً الأطفال. تقدر التقديرات بأن التسمم بالرصاص يتسبب في حوالي مليون وستمائة ألف وفاة سنوياً، وهو رقم يعكس خطورة انتشاره وتأثيره الواسع عبر مختلف المناطق والطبقات الاجتماعية World (Health,2023). ومن خلال الأبحاث والدراسات، تواصل الهيئات الصحية العالمية تطوير استراتيجيات لمراقبة توزيع الرصاص وتحديد مستويات التعرض الآمنة، مع تعزيز جهود التوعية والتدخل المبكر للحد من حالات التسمم. يعتمد الحد من هذه المشكلة على وضع أنظمة مراقبة صارمة، وتبني معايير تنظيمية صارمة لخفض الانبعاثات، وتحسين ممارسات إدارة النفايات. تزداد الحاجة إلى توحيد الجهود الدولية لتحقيق أهداف الوقاية، بما يشمل وضع السياسات الوطنية والعالمية، وتوفير الموارد اللازمة للتشريعات الرقابية، وتطوير برامج توعية مستدامة لتمكين المجتمعات من التعامل مع مصادر الرصاص المحتملة. وعليه، فإن التعاون بين الحكومات والمنظمات الصحية والمجتمع المدني يمثل ركناً أساسياً في تقليل العبء الصحي الناتج عن تلوث الرصاص وتحقيق بيئة صحية وآمنة للجميع (World Health,2024).

1.5.تدابير تقليل الانبعاثات والتخلص الامن من الرصاص

تُعتبر التدابير الفعالة لتقليل انبعاثات الرصاص من أولويات السلامة البيئية والصحة العامة، وتتطلب تطبيق استراتيجيات متعددة تتوافق مع المعايير الدولية والمحلية. من بين الإجراءات الأساسية تفعيل تقنيات الحد من الانبعاثات في عمليات الإنتاج الصناعي، مثل تركيب أنظمة التهوية الفعالة والمرشحات المتطورة التي تساعد في احتجاز جزيئات الرصاص قبل إطلاقها إلى الهواء. إضافة إلى ذلك، يتطلب تطوير معايير صارمة لاستخدام المواد وتقنيات التصنيع التي تقلل من إطلاق الرصاص وتحسين كفاءة العمليات الصناعية. أما التخلص الآمن من المخلفات المحتوية على الرصاص، فأصبحت من الضروريات، ويتطلب تطبيق آليات صارمة للفرز والمعالجة والتخلص النهائي وفقًا للأنظمة المعتمدة، لتقليل خطر تسرب المعدن إلى البيئة والنظم البيئية. يُشجع على الاعتماد على التقنيات الحديثة في إدارة النفايات، مع ضمان عدم إعادة تدوير أو استخدام المخلفات التي قد تلوث التربة والمياه. كذلك، يُعد التخلص بطرق آمنة من الرصاص المستعمل في البطاريات وغيرها من المنتجات استثمارًا ضروريًا في تقليل الانبعاثات وتحقيق الاستدامة (Raj and Das,2023). اضافة الى ذلك يبرز أهمية متابعة وتقييم مستويات الانبعاثات بشكل مستمر من خلال أنظمة مراقبة متطورة، مع التقارير الدورية التي توفر بيانات دقيقة تمكن من اتخاذ إجراءات تصحيحية فورية. يُعتمد على معدات قياس حديثة وتقنيات تحليلية متطورة لضمان تحديد مصادر الانبعاث بدقة والاستجابة لها بسرعة، مما يسهم في الحد من تأثيرها السلبي على الصحة والبيئة (Gupta *et al.*,2021).

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

2.5.الادارة الصحيحة للنفايات والمواد المحتوية على الرصاص

تتطلب الإدارة السليمة للنفايات والمواد المحتوية على الرصاص وضع استراتيجيات دقيقة لضمان تقليل تأثيراتها البيئية والصحية. يعتبر التعامل مع المخلفات التي تحتوي على الرصاص تحدياً كبيراً، نظراً لقدرتها على التسبب في تلوث التربة والمياه والهواء، فضلاً عن انتقالها عبر السلاسل الغذائية. من الضروري تصنيف هذه المخلفات بشكل دقيق وفقاً للقوانين والمعايير الوطنية والدولية، واعتماد أنظمة فعالة للتخزين والمعالجة الآمنة. يُفضل استخدام تقنيات متقدمة لفصل الرصاص عن المواد الخام أو النفايات، وتقليل كمية النفايات الناتجة من العمليات الصناعية، بالإضافة إلى التوجه نحو إعادة تدوير المخلفات الثمينة وتقليل الاعتماد على المكبات التقليدية. يتطلب الأمر أيضاً تدريب وتوعية العاملين في القطاعات الصناعية على أهمية الالتزام بالإجراءات الصحيحة للتخلص من المواد المحتوية على الرصاص، وتوفير معدات ووسائل أمنية لمنع تسرب أو تعرض العاملين لهذه المواد الخطرة (Al-Saedi *et al.*,2024). بالإضافة إلى ذلك، يجب تطبيق نظم مراقبة رصد دورية للكشف المبكر عن أي تسرب أو تلوث ناتج عن مخلفات الرصاص، وتوثيق العمليات والإجراءات لضمان التدخل السريع. التعاون بين الجهات المعنية، كالسلطات التنظيمية والصناعيين والبيئيين، يمثل عاملاً محورياً لتعزيز حماية البيئة والصحة العامة. إن الالتزام بالممارسات الصحيحة للإدارة يساهم بشكل كبير في الحد من الآثار السلبية للرصاص على المجتمعات والكائنات الحية، ويعزز من برامج الوقاية والتوعية المستدامة (مهندس و عبد الرسول، 2013).

6.دراسات سابقة

أشارت دراسة **Al-Dosky, Al-Timimi and Al-Dabbag (2012)** إلى أن سكان محافظة دهوك في إقليم كردستان، العراق، يعانون من مستويات مرتفعة من الرصاص في الدم، حيث بلغ المتوسط 7.3 µg/dL ، مع نسبة كبيرة من الأفراد (22.8٪) لديهم مستويات فوق 10 µg/dL. كما وجدوا ارتباطًا خطيًا قويًا بين تركيز الرصاص في الدم ومستوى الرصاص في الهواء ($r = 0.8$) و كما موضح في جدول رقم (1) ان الباحثون اوضحوا بأن من يعيشون في الضواحي أو بالقرب من مولدات البنزين معرضون أكثر، وأوصوا ببرامج مراقبة دموية صارمة وقيود على المصادر البيئية لغبار الرصاص.

وبينت دراسة **Al-Saad and Karem (2018)** إلى أن تربة حقل النفط القرنة الغربية في محافظة البصرة جنوب العراق تحتوي على تراكيز مرتفعة من المعادن الثقيلة، ولا سيما الرصاص(Pb) ، حيث تراوحت قيمه بين **(18.23–39.15 µg/g)** بحسب مواقع أخذ العينات. واستخدم الباحثان عدداً من المؤشرات البيئية مثل عامل التلوث **(Contamination Factor)** و مؤشر التراكم الجيولوجي **(Geo-Accumulation Index)** لتقييم درجة التلوث في المنطقة. وقد كشفت النتائج عن وجود تأثير واضح للأنشطة النفطية وعمليات الحفر بوصفها المصدر الرئيس لارتفاع تراكيز الرصاص في التربة. واستناداً إلى ذلك، أوصت الدراسة بضرورة فرض إجراءات رقابية مشددة وإجراء مسوحات ميدانية موسعة لتحديد بؤر التلوث

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

بدقة وتطبيق استراتيجيات فعّالة لاحتواء انتشار المعادن الثقيلة في البيئة، كما موضح في جدول رقم (1).كما كشفت الدراسة التي أجراها **Al-Asadi (2021)** عن وجود مستويات مرتفعة من العناصر الثقيلة، بما فيها الرصاص(Pb) ، في المياه والرواسب التابعة للأنظمة المائية في محافظة الديوانية – العراق وبيّنت الدراسة أن تركيز بعض المعادن الثقيلة تجاوز الحدود الطبيعية المسموح بها، إذ تخطّت القيم المسجلة الحد الآمن البالغ (≤ 0.005 µg/L) مقارنة بالمستوى المرجعي الأقل من (10 µg/L) .مما يشير إلى خطر بيئي طويل الأمد على الكائنات المائية وإمكانية انتقال هذا التلوث عبر السلسلة الغذائية المحلية كما موضح في جدول رقم (1). كما بيّنت الدراسة أن مصادر التلوث المحتملة تشمل التصريفات الصناعية والزراعية غير المعالجة التي تصب في مجرى النهر. وأوصى الباحث بضرورة تعزيز محطات المعالجة وتحديد مسارات التلوث بدقة للسيطرة على التراكم المستقبلي للعناصر الثقيلة.

كما أشارت دراسة Shi *et al.*, (2021) إلى أن التربة المحيطة بعدد من مناجم المعادن في الصين تُظهر مستويات متباينة لكن في كثير من المواقع تجاوزت تراكيز الرصاص الحدود المحلية، مع دلائل واضحة على مخاطر بيئية وإمكانات تأثير صحي للسكان المجاورين. استخدم الباحثون مؤشرات تقييم التلوث مثل المؤشر الجيولوجي للتراكم (Geo-Accumulation Index)ومؤشرات المخاطرة البيئية لتصنيف شدة التلوث، ووجدوا أن بعض المناطق معدنياً مرتفعة الخطورة خصوصاً بالقرب من مناطق تصنيع ومعالجة الخام حيث تراوحت التراكيز بين (18.23–39.15 µg/g) وبيّنت الدراسة أن هذه التراكيز تجاوزت المستويات الآمنة المرجعية المرتبطة بالتعرض البشري، والتي يجب أن تبقى ضمن الحد الأدنى المقبول (<5µg/dL)كما ربطت الدراسة مستويات الرصاص في التربة ببعض بيانات تراكيز الرصاص في الدم (BLLs) لسكان المناطق المجاورة، مما يشير إلى انتقال بيئي-إلى-حيوي للرصاص وخطر صحي محتمل. أوصت الدراسة بمتابعة دورية للتربة والمياه، وإجراءات استرداد التربة، وسياسات للحد من التعرض المهني والسكني في المناطق المناجمية وكما موضح في جدول رقم (1) .**وكما أكد تقرير** منظمة الصحة العالمية **(World Health, 2023)** أن التعرض المزمن للرصاص يمثل أحد أخطر مصادر التسمم البيئي التي تؤثر على صحة الإنسان، حتى عند المستويات المنخفضة من التعرض (5 µg/dL) وأشار التقرير إلى أن الأطفال هم الفئة الأكثر حساسية لتأثيرات الرصاص، إذ يؤدي تراكمه في الدماغ إلى انخفاض مستوى الذكاء(IQ) ، وتراجع الأداء الدراسي، واضطرابات سلوكية طويلة الأمد. كما أوصى التقرير بضرورة تنفيذ برامج وطنية لرصد مستويات الرصاص في الدم، وتحسين سياسات الصحة البيئية للحد من التعرض المنزلي والصناعي لهذا المعدن السام ،كما موضح في جدول رقم (1).

واوضحت دراسة Wang *et al.*, (2024) إلى أن عينات الجسيمات الهوائية ($PM_{2.5}$) المأخوذة من منطقة صناعية في مدينة جِنان،في الصين احتوت على نسبة من المعادن الثقيلة ، ومنها الرصاص ضمن الحدود المرجعية المسموح بها (≤ 0.5 µg/m³) اذ سجلت الدراسة قيما فعلية أقل من هذا المستوى (< 0.5 µg/m³) خلال سنة الرصد. وبينت الدراسة ان هذا المستوى

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

يعكس تلوثا مقبولا نسبيا من الناحية البيئية، الا ان التعرض المزمن لهذه الجسيمات قد يؤدي الى آثار صحية تراكمية. وأوضح الباحثون أن الأنشطة الصناعية والانبعاثات المرورية وعمليات احتراق الوقود تمثل المصادرالرئيسة لهذه المعادن ، وتسهم في انتقالها عبر الهواء لمسافات مختلفة. وأشار الباحث إلى أن الجسيمات الدقيقة الحاملة للرصاص تشكل خطراً تنفسياً وصحياً محتملاً، خاصة على الأطفال والفئات الأكثر حساسية،نتيجة قدرتهاعلى اختراق الجهاز التنفسي بعمق.وأكدت الدراسة ضرورة تعزيز أنظمة السيطرة على الانبعاثات وتوسيع برامج الرصد البيئي وربطها بالتقييمات الصحية للسكان المحيطين بالمناطق الصناعية كما موضح في جدول رقم (1) . ولتوضيح نتائج الدراسات السابقة بشكل مقارن، يبيّن الجدول (1) مستويات تركيز الرصاص في بيئات مختلفة وتأثيراته الصحية والبيئية.

جدول (1) مقارنة تركيزات الرصاص في بيئات مختلفة من دراسات سابقة

الاثرالصحي والبيئي	القيم الارشادية الدولية (WHO/EPA)	تركيز الرصاص المقاس	الوسط البيئي	البلد/ المنطقة	الدراسة والسنة
اضطرابات عصبية وارتباطه بمستويات الرصاص في الهواء	µg/dL 5 >	متوسط 7.3 µg/dL(22.8%) (µg/dL 10 >)	دم الإنسان	دهوك – العراق	Al-Dosky et, al(2012) .
تلوث تربة	µg/g 70 >	39.15–18.23 µg/g	التربة	البصرة–العراق	Al-Saad and Karem (2018)
خطرعلى الأحياء المائية	µg/L 10 >	تجاوزت القيم الطبيعية ≥ 0.005 µg/L	مياه ورواسب	الديوانية-العراق	Al-Asadi (2021)
مخاطر صحية للسكان	µg/dL 5 >	39.15–18.23 µg/g	تربة	الصين	Shi *et al* . (2021)
مخاطر تنفسية	µg/m³ 0.5 >	µg/m³ 0.5 ≥	هواء	الصين	Wang *et al* . (2024)
تأثيرات صحية خطيرة	µg/dL 5 >	ضار > 5 µg/dL	دم الإنسان	عالمي	(2023) WHO

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

7. الاستنتاجات

1.تُظهر النتائج أن الرصاص يُعدّ من أخطر المعادن الثقيلة المتراكمة في البيئة، خاصة في المناطق الصناعية التي تشهد عمليات صهر معادن، وإنتاج بطاريات، وإعادة تدوير غير منظمة.
2.تؤكد البيانات العلمية أن الرصاص ينتقل عبر الهواء والمياه والتربة، ثم يتسرب تدريجياً إلى السلاسل الغذائية، مما يزيد من احتمالية تعرض الإنسان والحيوان لآثاره السمية.
3.يتسبب التعرض المستمر للرصاص في أضرار صحية خطيرة تشمل اضطرابات الجهاز العصبي، وفقر الدم، وتراجع القدرات الذهنية، مع تأثيرات حادة لدى الأطفال والفئات الحساسة.
4.بيّنت النتائج أن التلوث البيئي المرتبط بالرصاص يؤدي إلى تدهور خصوبة التربة، وانخفاض التنوع الحيوي، وتضرر الكائنات الدقيقة المسؤولة عن العمليات الحيوية في النظم البيئية.
5. تُشير الدراسات إلى وجود علاقة مباشرة بين المواقع الصناعية ومستويات الرصاص في الدم لدى السكان، مما يعكس خطورة الانبعاثات الصناعية غير المسيطر عليها.
6.يظهر التراكم طويل الأمد للرصاص في الرواسب المائية والتربة كعامل تهديد مستمر، نظراً لصعوبة التخلص منه وارتفاع قدرته على البقاء في البيئة لسنوات طويلة.

7. التوصيات

1.ضرورة فرض معايير تنظيمية صارمة للحد من انبعاثات الرصاص في الصناعات الثقيلة، مع ضمان الالتزام الفعلي بالحدود البيئية المسموح بها.
2.اعتماد تقنيات صناعية متقدمة تشمل المرشحات عالية الكفاءة وأنظمة احتجاز الجزيئات لمنع إطلاق الرصاص إلى الهواء والتربة والمياه.
3.تحسين إدارة النفايات الصناعية المحتوية على الرصاص، خصوصاً مخلفات البطاريات، من خلال نظم فصل ومعالجة آمنة تمنع أي تسرب إلى البيئة.
4.تعزيز برامج الرصد البيئي المستمر لقياس مستويات الرصاص في الهواء والمياه والتربة، وتحديد بؤر التلوث وإعادة تقييم الوضع البيئي بشكل دوري.
5. دعم الأبحاث العلمية التي تستهدف تطوير بدائل صناعية أقل سمية، وتطبيق تقنيات حديثة لمعالجة التربة والمياه الملوثة بالرصاص.
6.زيادة التوعية المجتمعية حول مخاطر التعرض للرصاص وأهمية السلوكيات الوقائية، خاصة في المناطق ذات النشاط الصناعي الكثيف.

8.الخاتمة

يلخص هذا البحث إلى أن الانبعاثات الصناعية للرصاص تمثل تحدياً بيئياً وصحياً متفاقماً، نظراً لقدرته العالية على التراكم وانتقاله عبر عناصر البيئة المختلفة. فقد أوضحت الأدلة العلمية أن الرصاص يُحدث تأثيرات خطيرة على الصحة العامة، خاصة لدى الأطفال والعاملين في القطاعات الصناعية، نتيجة تأثيره المباشر على الجهاز العصبي والدم والكلى. كما أن الضرر لا يقتصر على الإنسان فحسب، بل يمتد ليطال النظم البيئية من خلال تدهور خصوبة التربة، وتلوث الموارد المائية، وتراجع التنوع البيولوجي. وتبرز أهمية تبني سياسات وتشريعات

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

صارمة للتحكم في الانبعاثات الصناعية وتطبيق تكنولوجيا نظيفة تضمن الحد من إطلاق الرصاص إلى البيئة. إضافة إلى ذلك،يجب تعزيز برامج المراقبة الصحية والبيئية، ودعم المبادرات التوعوية التي تسهم في رفع مستوى الوعي المجتمعي. إن تحقيق بيئة آمنة ومستدامة يتطلب تعاوناً متعدد المستويات يجمع بين القطاع الصناعي والجهات الحكومية والمجتمع، بما يضمن خفض معدلات التلوث وحماية الأجيال القادمة من مخاطر هذا العنصر السام.

المصادر

1. الاعرجي، ميلاد جاسم محي.(2016). تأثير عناصر المناخ في عملية التلوث البيئي (تلوث الهواء).مجلة كلية التربية الاساسية، 22(96)361-382.

2. العربي،بلال احمد عبد الله؛ عبد القادر، رشدي صباح وعباس ، ايثار كامل. (2017). اثر العناصر الثقيلة المنبعثة من عوادم السيارات على بعض المؤشرات الكيمو حيوية لنباتي اليوكالبتوس والسدر في تقاطعات شوارع مدينة بغداد. مجلة تكريت للعلوم الصرفة، 22(12)، 1-7.

3.الشاعر، ماجده، الخولي، عماد، عبد الله وشيرين. (2022). انتقال الحديد وبعض المعادن السامة من المواد الغذائية أثناء التخزين. مجلة الاقتصاد المنزلي. جامعة المنوفية، 32(2)، 64-79.

4. الأحمر، سيناء صالح مهدي .(2020). مساهمة السكان في تلوث مدينة بغداد .مجلة كلية التربية الأساسية، المجلد 26 (العدد 109)
https://doi.org/10.35950/cbej.v26i109.5440

5. الياسري، كفاية حسن ميثم. (2016). تلوث المياه الجوفية لبعض المناطق الواقعة بين جدول الكفل وشط الهندية. مجلة العلوم الإنسانية، 23(1)، 380-389.

6. الجواري، أزهار فؤاد مناف.(2025). العواصف الغبارية الهابة على العراق وتأثيراتها البيئية والصحية. مجلة كلية التربية الاساسية ،31(132)،830-846.

7. الغندور، محمد. (2016). دراسة تشكيل فلتر سيراميكي من الطينات المصرية لتنقية مياه الشرب. مجلة بحوث التربية النوعية، 2016(43)، 349-386.

8. حميد ،منار ماجد و علي ،مصطفى محمد. (2024). دراسة تباين خصائص وملوثات مياه الشرب في مدينة الناصرية. مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، 5(2)، 36-52.

9.سعيد،عادل احمد، سعيدان، احمد محمد الحاج وسعيد، سامي زيد محمد (2020). تقدير تراكيز بعض المعادن الثقيلة في ألعاب الأطفال البلاستيكية المَبيعة في أسواق محافظة عدن– اليمن. المجلة العربية للبحث العربي 2(12)،1-9.

10. محمد، سارة عبد الله، ظاهر، سعدية أحمد و حمود، عمار مولى .(2019). تقدير تلوث المياه والنباتات المزروعة على ضفاف نهر ديالى بالعناصر الثقيلة خلال فصل الصيف بواسطة تقنية الامتصاص الذري اللهبي . Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection, 11(2), 32–45.

11. ميثم عبد الله سلطان واخرون.(2012). تقييم تراكيز العناصر السامة والمسرطنة في الغبار والتربة في مدينة بغداد ومدى تأثيرها في انتشار.المجلة العراقية للعلوم.وقائع المؤتمر الاول للعواصف الترابية وتأثيراتها البيئية- الاسباب والمعالجات ،وزارة العلوم والتكنولوجيا،دائرة البيئة والمياه ،بغداد، العراق، 167-177.

12. م. م. مهندس و عبد الرسول، نبراس محمد. (2013). التأثيرات البيئية للبطاريات وبعض الأجهزة الالكترونية الصغيرة في النفايات والسمية الناتجة عنها. Journal of the College of Basic Education, 19(78), 803-816.

13.Al-Akoun, M., Ammar NabhanN, M., & Al-Awad, A. (2012). BLood Lead Levels IN Cows REARED AROUND POLLUTED LOCALITIES AND ITS INFLUENCE ON MILK LEAD LEVELS. Assiut Veterinary Medical Journal, 58(132), 1-14. https://doi.org/10.21608/avmj.2012.171853

14.Al-Asadi, S. A. R. (2021). Levels and sources of heavy metals pollution in the water and sediments of Al-Diwaniyah River, Iraq. https://doi.org/10.1007/s40899-022-00692-3

15.Al-Dosky, A. H., Al-Timimi, D. J., & Al-Dabbag, S. A. (2012). Lead exposure among the general population of Duhok governorate, Kurdistan region, Iraq. Eastern Mediterranean Health Journal, 18(9), 974–979. https://doi.org/10.26719/2012.18.3.255

16.Al-naemi, H. S. (2011). Estimation of lead and cadmium levels in muscles, livers and kidneys of slaughtered cattle in Mosul City. Mesopotamia Journal of Agriculture, 39(3), 8–16. https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.33899/magrj.2011.31205

17.Al-Saad, H. T., & Karem, D. S. (2018). Environmental assessment of heavy metals in soil of West Qurna-2 oil field at Basrah, southern Iraq. Journal of Petroleum Research and Studies, 8(2), 106–121. https://doi.org/10.52716/jprs.v8i2.251

18.Al-Saedi, M. S., Naimi, S., & Al-Sharify, Z. T. (2024). *The environmental impact of pollutants and heavy materials on the water quality in the Tigris River*. Mathematics and Modelling in Engineering Problems, 11(2), 290–300. https://doi.org/10.18280/mmep.110202

19.Bouida, L., Rafatullah, M., Kerrouche, A., Qutob, M., Alosaimi, A. M., Alorfi, H. S., & Hussein, M. A. (2022). A review on cadmium and lead contamination: Sources, fate, mechanism, health effects and remediation methods. Water, 14(21), 3432. https://doi.org/10.3390/w14111708
20.Collin, M. S., Venkatraman, S. K., Vijayakumar, N., Kanimozhi, V., Arbaaz, S. M., Stacey, R. S., ... & Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. Journal of Hazardous Materials Advances, 7, 100094. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094
21.Gupta, A. R., Bandyopadhyay, S., Sultana, F., & Swarup, D. (2021). Heavy metal poisoning and its impact on livestock health and production system. Indian J. Anim. Health, 60(2), 01-23. https://doi.org/10.36062/ijah.2021.spl.00421
22.Gulati, R., Kour, A., & Sharma, P. (2022). Ecological impact of heavy metals on aquatic environment with reference to fish and human health. Journal of Applied and Natural Science, 14(4), 1471. https://doi.org/10.31018/jans.v14i4.3900
23.Kolawole, A. S., & Iyiola, A. O. (2023). Environmental pollution: threats, impact on biodiversity, and protection strategies. In Sustainable utilization and conservation of Africa's biological resources and environment (pp. 377-409). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6974-4_14
24.Mandal, G. C., Mandal, A., & Chakraborty, A. (2022). The toxic effect of lead on human health: A review. Human Biology and Public Health, 3. https://orcid.org/0000-0002-0558-3247
25.Paul, S., Mandal, A., Bhattacharjee, P., Chakraborty, S., Paul, R., & Mukhopadhyay, B. K. (2019). Evaluation of water quality and toxicity after exposure of lead nitrate in fresh water fish, major source of water pollution. Egyptian Journal of aquatic research, 45(4), 345-351. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.09.001
26.Pinho-Gomes, A. C., Roaf, E., Fuller, G., Fowler, D., Lewis, A., ApSimon, H., ... & Holgate, S. (2023). Air pollution and climate change.

The Lancet Planetary Health, 7(9), e727-e728. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00189-4
27.Raj, K., & Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 5, 79-85. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.100101
28.Rani, P., & Dhok, A. (2023). Effects of pollution on pregnancy and infants. Cureus, 15(1).
29.Said, M., & Mosa, M. (2024). A proposed vision for improving the environmental performance of Egyptian universities on light of the standards of the Global Green Scale for University Rankings (GMWUR. Journal of Faculty of Education-AssiutUniversity, 40(9.2),1-76. https://doi.org/10.21608/mfes.2024.390180
30.Sevak, P. I., Pushkar, B. K., & Kapadne, P. N. (2021). Lead pollution and bacterial bioremediation: a review. Environmental Chemistry Letters, 19(6), 4463-4488. https://doi.org/10.1007/s10311-021-01296-7
31.Shi, J., et al. (2021). Characteristics and risk assessment of soil polluted by lead around various metal mines in China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(9), 4598. https://doi.org/10.3390/ijerph18094598
32.Vasudevan, S., & Oturan, M. A. (2014). Electrochemistry: as cause and cure in water pollution—an overview. Environmental chemistry letters, 12(1), 97-108. https://doi.org/10.1007/s10311-013-0434-2
33.Wang, J., Zhang, S., Qiu, X., Li, K., Li, J., Ren, Y., ... & Zhang, X. (2024). Characteristics and health risks of PM2. 5-bound metals in a Central City of northern China: a one-year observation study. Aerosol and Air Quality Research, 24(3), 230165. https://doi.org/10.4209/aaqr.230165
34.World Health Organization. (2023). Health effects of chronic lead exposure: Technical report. Geneva: WHO
35.World Health Organization. (2023). Report on activities during the ninth International lead poisoning prevention week, 24-30 October 2021. World Health Organization.

مجلة كلية التربية الاساسية
كلية التربية الاساسية – الجامعة المستنصرية
P- ISSN: 3007-3650 E- ISSN: 2706-8536
Journal of the College of Basic Education Vol.32 (No.137) 2026,pp.541-558

36.World Health Organization. (2024). Compendium of WHO and other UN guidance in health and environment, 2024 update. World Health Organization.

Lead pollution and its sources, transmission routes, and health and environmental impacts (comprehensive review)

Azhar Fouad Manaf Al-Jawari
Al-Mustansiriya University / College of Basic Education

Abstract

This research aims to study industrial lead emissions and reveal their health and environmental effects by studying their emission sources, their transport mechanisms in the environment, and their effects on humans and ecosystems. The results showed that lead is one of the most dangerous heavy metals that accumulate in the environment, as it is transported through air, water, and soil. Then it enters food chains, causing serious health disorders, including damage to the nervous system, anemia, and delayed mental development in children. The study also showed that heavy industries, battery recycling, and metallurgical processes are among the most prominent sources of emissions. The accumulation of lead in soil and water leads to a decline in fertility and a decrease in biodiversity. The research findings underscore the need for effective strategies to reduce emissions. This includes developing industrial technologies, strengthening regulatory legislation, improving waste management, along intensifying monitoring programs and raising community awareness. The research concludes that addressing lead pollution requires an integration of scientific and technical efforts to ensure the protection of human health and the environment.

Keywords: Lead pollution, sources of lead emissions, pathways of lead transport, lead poisoning, health effects of lead.