١١ – التلوث بالمعادن الثقيلة

يقصد بها كافة المعادن التي تزيد كثافتها عن (٥غم/سم^{٣}) وما يقل عنها تدعى بالمعادن الخفيفة ، فضلاً عن وجود بعض المعادن النزرة (Trece) التي تتواجد في التربة بتراكيز مساوية او اقل من (٠,١%).

تعمل النشاطات البشرية في مجالات الحياة المختلفة الى الحاق الضرر بالتربة الطبيعية مما يصيبها بالتلوث لا سيما التلوث بالعناصر الثقيلة ذات المخاطر الكبيرة جراء سوء الاستخدام سواء كان من قبل النشاط الصناعي ام الزراعي ام الانشطة الاخرى والتي تتحرر منها العناصر الثقيلة الضارة بالبيئة الطبيعية والبيئة الحية.

تتباين العناصر الثقيلة في التربة بنسب متفاوتة حسب طبيعة العنصر والمنطقة المأخوذ منها عينة الدراسة تبعاً لقربها او بعدها عن مصدر التزويد الملوث للبيئة ، لذا فان خطر هذه العناصر يكمن في ثبوتها في البيئة وبقائها لمدة طويلة دون تحللها بواسطة البكتريا مما يؤدي الى انتقالها الى مسافات بعيدة عن مناطق وجوها وبالتالي يتيح لها فرصة التضاعف في ضل الزيادة الحاصلة في مقذوفات الملوثات الى البيئة وبالتالي يمكن ان تنتقل الى الانسان عبر السلسلة الغذائية نتيجة تراكمها في النباتات او الحيوانات التي يتغذى عليها الانسان.

تحتاج الكائنات الحية الى بعض العناصر الثقيلة بتراكيز محدودة مثل الحديد والنحاس والزنك ، في حين ان هناك بعض العناصر ليس له اي فائدة تذكر وهو سام في اي تركيز كان كالزئبق والكادميوم والرصاص ، لذا فان ارتفاع تراكيز هذه المعادن نتيجة النشاطات البشرية ادى الى ارتفاعها في البيئة سواء كانت في الهواء ام في التربة ام المياه وبذلك يعد هذا الارتفاع خطراً يهدد النظام الحيوي الاحيائي إذ تكمن خطورته بالآثار السامة لهذه المعادن في العمليات الحيوية والجزيئات الحيوية الكبرى كالبروتينات والكربوهيدرات والهون والاحماض النووية وقد يصل تأثيرها الى موت الكائن الحي.

تؤدي هذه المعادن دوراً مهماً في حياة الاحياء وفعاليتها البيولوجية المختلفة ، فالحديد له اهمية معروفة في تركيب الدم والانزيمات ، بينما المنغنيز والزنك والنحاس تعد محفزات انزيمية .

تكون المعادن الثقيلة سامة وخطرة في تراكيز معينة رغم كونها ضرورية للحياة في تراكيز واطئة جداً قد لا يتجاوز قسماً منها (٠,٥%) ملغم/لتر ومما يزيد خطورة المعادن الثقيلة في البيئة هو عدم امكانية تحللها بواسطة البكتريا والعمليات الطبيعية الاخرى فضلاً عمَا تمتاز به من ثبوتيتها في البيئة والتي تمكنها من الانتشار لمسافات واسعة وبعيدو عن موقع نشوئها او مصدر تزويدها ، ولعل اخطر ما

فيها يرجع الى قابلية بعضها الى التراكم الحيوي في انسجة واعضاء الكائنات الحية في البيئة سواء كانت البيئة المائية ام البيئة اليابسة .

تحتوي التربة على كثير من الكائنات الحية بأنواعها المختلفة والمنتشرة بإعماق متباينة منها فضلا عمَا تحتويه من مركبات عضوية وغير عضوية مما يجعل التربة وسطاً حيوياً معقداً يؤهلها لأن تكون مركزاً لأنواع الملوثات التي تنعكس آثارها في الكائنات الحية ومنها الإنسان ، وعلى الرغم من ضآلة تركيز العناصر الثقيلة في البيئات الطبيعية إلا أنه قد يكون مرتفعاً في البيئات الملوثة وفيما يمكن للمياه الملوثة أن تحمل تركيزات عالية من العناصر الثقيلة ، لذا فإن ما تحتويه التربة الملوثة من عناصر ثقيلة قد يفوقها بأضعاف لأن التربة تعد وسطاً أكثر ثباتاً للعناصر الثقيلة.

تعد خصائص التربة وطبيعة ونوع المعدن ودرجة تفاعل التربة (pH) ونسبة الطين والمواد العضوية والتفاعل مع العناصر الأخرى من أهم العوامل الرئيسة في تحديد وفرة العناصر الثقيلة في التربة ، إذ إن حركة العناصر الثقيلة وذوبانها وجاهزيتها تعتمد بشكل عام على صفات الادمصاص لها وأن هذه الصفات تتأثر بصفات التربة ، إذ أن العناصر الثقيلة تكون قليلة في الترب ذات الأس الهيدروجيني المتعادل أو المائل قليلاً إلى القاعدية وتزداد جاهزيتها عند زيادة حموضة التربة ، فضلاً عن أن زيادة ملوحة التربة التي تعمل على زيادة جاهزية العناصر الثقيلة سيما الرصاص والكادميوم بنسبة (٠,٧٥ ، ١٨) % على التتابع من خلال تكوين أملاح المعادن الثقيلة وذوبانها في الماء أو عن طريق منافسة الأيونات الموجبة في الاملاح للمعادن الثقيلة على سطوح التبادل في غرويات التربة إذ إن منافسة الكالسيوم عند إضافته إلى التربة بشكل كلوريد الكالسيوم ادت إلى زيادة جاهزية (١,٢٦) % من الرصاص الكلي و (٢٢) % من الكادميوم الكلي ، كما أن للمادة العضوية دوراً آخر ورئيساً في جاهزية العناصر الثقيلة، إذ أشارت الدراسة إلى أن التركيز الجاهز لكل من الكادميوم والرصاص والزنك والكروم والنحاس في التربة يرتبط ارتباطاً موجباً مع محتواها من المادة العضوية ، كما وجد أن المادة العضوية المتحللة تكون قادرة على تكوين معقدات مع العناصر الثقيلة وتكون هي المسؤولة عن جاهزية المعادن الثقيلة عند ذوبانها في محلول التربة. تعد النشاطات الصناعية والزراعية وحرق النفايات الحضرية وعوادم المركبات في منطقة الدراسة من أبرز مصادر العناصر الثقيلة في التربة فضلاً عمَا ينقل بواسط العواصف الغبارية من مناطق قد تكون خارج الحدود الدولية أو من الداخل من ملوثات تترسب بالنتيجة النهائية على سطح التربة رافعة من قيم تركيزها ، وفي دراسة عن بيان أثر المتساقطات الجوية في تلوث

البيئة أشارت إلى أن كمية عنصر الحديد المنقول في عاصفة غبارية قادمة من شبة الجزيرة العربية بلغت نحو (٦٠٤٧٨ ملغم/كغم).

ولخطورة المعادن الثقيلة في تلوث البيئة وما لها من انعكاسات في الكائنات الحية وضمنها الانسان نود ان نبين اثرها في الانسان باعتباره سيد البيئة والمتسبب في تلوثها والمتأثر بها :

١- الرصاص (Pb)

يتواجد في الطبيعة بتركيز (١٤,٨ ملغم/كغم) في قشرة الأرض إذ يتواجد بأشكال عدة منها كبريتيد الرصاص (PbS) وكربونات الرصاص (PbCO3) وكبريتات الرصاص (PbSO4) وينتقل عند حدوث التجوية الكيميائية.

يظهر تأثير عنصر الرصاص على الكائنات الحية لاسيما النباتات من خلال التأثير في انزيمات السيتوبلازم فضلاً عن التأثير في تركيب الخلية من خلال استبدال العناصر الغذائية الاساسية في مواقع تبادل الأيونات الموجبة في التربة الذي قد يؤدي إلى خفض تحلل المواد العضوية ومن ثم نقص مغذيات التربة مما تنعكس آثارها على انخفاض نمو النبات وموته، فضلاً عن تأثيره في عملية البناء الضوئي من خلال فتح الثغور الموجودة على سطح الورقة وغلقها إذ إن محتوى النبات من الكلوروفيل يعد مؤشراً على استمرارية عملية التفاعل الضوئي.

أشارت إحدى الدراسات إلى أن تعرض نبات الحنطة لتراكيز عالية من الرصاص يؤدي إلى حدوث تثبيط عال في النمو يصل إلى حوالي (٦٠) % ، كما أن المجموع الجذري يثبط بشكل واضح جداً وبدرجة أعلى من المجموع الخضري وبمختلف مستويات التراكيز ، كما أن نبات الذرة النامية في وسط حاوي على أيونات الرصاص فإن هذا الأيون سوف يترسب على سطوح الجذور وبعدها يتراكم بشكل بلورات الرصاص في جدران الخلايا ، وفي دراسة أخرى أشارت إلى أن زيادة تركيز الرصاص في التربة يؤثر سلباً في العمليات الحيوية في التربة إذ يقوم بتقليل ثاني أوكسيد الكربون وأعداد الأحياء الدقيقة فضلاً عن تثبيطه لعملية النترتة وتراكم النتريت بدلاً من النترات ومن ثم قد يعرض النبات إلى التسمم.

ينجم عن التعرض الى الرصاص عنه الاصابة بفقر الدم وحدوث انخفاض في العدد الكلي لكريات الدم الحمراء وتركيز هيموغلوبين الدم ، فضلاً عمًا يحدثه التسمم بالرصاص من تأثيرات في الجهاز العصبي والجهاز التناسلي من خلال التأثير على عمل الخصية وانخفاض عدد الحيوانات المنوية فضلاً عن حدوث ضعف الانتصاب والتأثير على المبايض وبالتالي يؤدي الاصابة بالعقم ، كما ينجم عنه ارتفاع ضغط الدم الكلوي وزيادة تركيز الكرياتين في البول وحدوث نوبات قلبية قد تؤدي الى الوفاة ،

ولا يقتصر الامر على ما ذكر اعلاه وانما يصل الامر الى فقدان الذاكرة وقصور في وظيفة الادراك وحدوث حالات الاكتئاب واختلال في التوازن وفقدان الشهية والام في البطن وغثيان واسهال فضلاً عن فقدان الوزن ، وقررت وكالة حماية البيئة ان الرصاص مسبب محتمل للسرطان لدى البشر وكذلك قررت الوكالة الدولية لأبحاث السرطان (IARC) ان الرصاص غير العضوي هو على الارجح مادة مسببه للسرطان.

٢ الزئبق

يعد معدن الزئبق احد المعادن المسببة للأمراض السرطانية لا سيما سرطان الكبد والكلية وسرطان الجلد فضلاً عن سرطان الرئة ، كما يمكن ان تنجم عن زيادة تركيز الزئبق في جسم الانسان الى حدوث في المكونات اللمفاوية والاستجابة المناعية وبالتالي انعكاس ذلك على فقدان القدرة على حاسة السمع والبصر كما يمكن ان تظهر اثارة على الجهاز العصبي والدماغ مما ينجم عنه اضطرابات عصبية وحدوث حالات الخرف والشلل، فضلاً عن تأثيره في الجهاز التناسلي لا سيما الذكري واحداث ضمور في الحيوانات المنوية وتشوهات الجنين وحدوث حالات الاجهاض.

٢– النيكل (Ni)

يعد أحد العناصر المقاومة للتأكل وهو ذو درجة لمعان عالية ، كما أنه أحد العناصر السامة خاصة إذا كان على شكل مسحوق لذا تعد التربة إحدى أكبر مصادر أطلاقه إلى الهواء الجوي.

يتواجد عنصر النيكل بنسب طبيعية في التربة تتراوح بين (١٠ – ٧٠) ملغم/كغم، لذا فإن زيادة تركيزه يرجع لعملية الامتزاز من المعادن الطينية وإلى وجودة في الصخور القاعدية والرسوبية ، فضلاً عمَا تقوم به المواد العضوية في زيادة تركيزه في التربة.

تظهر تأثيرات عنصر النيكل في التربة إذ يجعلها غير صالحة لنمو النبات ومن ثم قد يؤثر في وفرة الإنتاج ونوعية المحصول من خلال تثبيط عملية الانقسام الخلوي ، فضلاً عن تثبيط عملية البناء الضوئي ، كما يعمل على اختزال قدرة الثغور على التوصيل إذ يتداخل مع امتصاص العناصر المغذية الضرورية لنمو النبات كالصوديوم، والكالسيوم ، والحديد ، والزنك ويؤدي بالتالي إلى انخفاض تركيزها في النبات ، كما يسبب ذبول الأوراق وتحلل صبغة الكلوروفيل فيها مسبباً اصفرارها.

تؤثر زيادة تركيز العناصر الثقيلة في الصفات التشريحية للنبات إذ أشارت إحدى الدراسات إلى أن تراكم عنصر النيكل في انسجة أوراق الحنطة يؤدي إلى تقليل سمك خلايا الطبقة الوسطى وحجم الحزم الوعائية وقطر الأوعية الموجودة في الحزم الرئيسة والجانبية وعرض خلايا البشرة ، فضلاً عن التأثير

على أنواع الأوكسجين التفاعلية• أذ إن النبات يتعرض إلى حالة من الإجهاد التأكسدي التي ينجم عنها أضراراً بالمكونات الخلوية ،والعمليات الحيوية، والفسيولوجية داخل الخلايا من خلال تأثيرها على الجزيئات الحيوية الكبرى كالبروتينات والدهون والكربوهيدرات و DNA ،ويثبط العديد من الانزيمات والتأثير في صفات الأغشية الخلوية ومن ثم يؤدي إلى موت النبات ، لذا فإن زيادة إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية داخل الخلايا النباتية تعد استجابة اولية لتعرض النبات إلى المعادن الثقيلة.

وجد بان تأثير كاربونيل النيكل يكون ساماً للغاية للإنسان وان مركباته الذائبة تكون اكثر سمية من مركباته غير الذائبة ، كما يمكن ان ينتج عن النيكل حدوث مشاكل في الانجاب فضلاً عمًا يسببه من فقر الدم ونقص النمو.

٣- النحاس (Cu)

تحتوي معظم الترب الطبيعية على عنصر النحاس إلا أنه يوجد بتراكيز منخفضة جداً قد لا تتجاوز الجزء بالمليون ، من جهة أخرى يعد من العناصر سريعة التفاعل في حال وجود رطوبة جوية مما ينتج عنه أوكسيد النحاس السام ذو اللون الأخضر، ويشكل نحو (٠,١%) من وزن النبات إذ تكمن أهميته في تكوين المادة الخضراء وتركيب الانزيمات.

إن ظروف ذوبانية النحاس وحركته هي ظروف مؤكسدة وحامضية إذ إن تركيزه في الظروف القاعدية والمختزلة يكون قليلاً ، كما أن وجود الكبريت في البيئة المختزلة يؤدي إلى تكوين مركب كبريتيد النحاس وهو غير ذائب وغير متحرك ويكون معقدات مع المواد العضوية ، ويعد أكثر العناصر قوة لتكوين معقدات مع هذه المواد قياساً مع الزنك ، والكادميوم ، والرصاص.

تتأثر النباتات في حال نقص النحاس إذ يؤدي إلى ظهور أنسجة ميته في قمة الأوراق الحديثة ثم يمتد هذا على طول حافة الورقة وفي حال النقص الشديد فإن الأوراق تموت وتسقط وتبدأ أعراض الذبول بالظهور على النبات.

يعد معدن النحاس احد المعادن المسببة لمرض السرطان ، فضلاً عمًا يحدثه من تغيرات فسيولوجية سريعة وتأثيرات مؤذية تؤثر على العديد من اعضاء جسم الانسان كتليف الكبد والتهاب الجلد واضطرابات عصبية.

•- يطلق مصطلح انواع الاوكسجين التفاعلية على عدد من الجزيئات التي تشتق من الأوكسجين الجزيئي (O_2) كالأيون السالب من الاوكسجين (O_2^-) وبيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وجذر الهيدروكسيل (OH) ، وتنتج هذه الجزيئات ثانوياً في الخلايا غير المعرضة للإجهاد عند اختزال الاوكسجين إلى ماء في اثناء عملية التنفس. للمزيد ينظر خيرالله موسى عواد الجابري ، المصدر السابق ، ص٢١ - ٢٢

٤- الكادميوم (Cd)

يعد من العناصر الانتقالية ويكون مشابهاً للزنك في الصفات الجيوكيميائية ويختلف عنه بأنه أقل وفرة في الطبيعة ويكون مذاباً في بيئة مؤكسدة حامضية إذ يكون معقدات مع المواد العضوية ويمتز على أيونات هيدروكسيد الحديد والمنغنيز.

يوجد في القشرة الأرضية بتركيز يتراوح بين (٠,١ – ١) ملغم/كغم ويوجد بأشكال عدة منها كبريتيد الكادميوم (Cds)، وكربونات الكادميوم ($CdCO_3$)، وأوكسيد الكادميوم (CdO).

تؤدي التراكيز العالية لعنصر الكادميوم إلى رفع تركيز بيروكسيد الهيدروجين• في النبات ، فضلاً عن تأثيره في عملية البناء الضوئي من خلال التأثير في صبغة الكلوروفيل ويخفض معدل امتصاص الماء والغذاء ، مما ينتج عن انخفاض محتوى الأوراق من الكربوهيدرات الكلية ••التي تقوم بتوفير الطاقة من خلال عملية الأكسدة ومن ثم يؤدي إلى تثبيط نمو النبات وموته باختزاله لعملية التنفس والبناء الضوئي.

تساهم الفعاليات البشرية كالأنشطة الصناعية والتوسع في استخدام الأسمدة الفوسفاتية والمبيدات الحشرية في زيادة تركيز عنصر الكادميوم في التربة ، فضلاً عن ري الترب بمياه الصرف الصحي وأماكن تجمع النفايات التي يتم حرقها إذ يتطاير الرماد وينتشر إلى مسافات بعيدة حاملاً معه عنصر الكادميوم.

يُعد الكادميوم مادة سامة ومسرطنة عند التراكيز المنخفضة وقد يؤدي التعرض له الى حدوث انتفاخ الرئة والتهاب القصبات الهوائية وهشاشة العظام والتهاب المفاصل وضعف الكلى وفقر الدم والسكري وامراض القلب والاوعية الدموية وتلف الكبد وانخفاض الخصوبة والصداع والسكتات الدماغية ، فضلاً عمًا يسببه من الامراض السرطانية.

٥- الكوبلت (Co)

يبلغ تركيزه في القشرة الأرضية نحو (٢٠) ملغم/كغم، ويعد المرافق القوي للنيكل إذ إن صفاتهما متشابهة ويميلان أن يعاد ترسيبهما مع أكاسيد الحديد والمنغنيز ويكون الكوبلت مركبات مع الهيدروكسيد والكاربونات لتكوين هيدروكسيد الكوبلت Co(OH)2 وكاربونات الكوبلت ($COCO_3$) التي لها قابلية ذوبان قليلة ، كما أن له حركة متوسطة إلى عالية وله علاقة مع الكبريتات إذ يعمل معها معقدات.

•- يلعب بيروكسيد الهيدروجين دوراً مهماً بوصفه مركباً ناقلا للإشارة اثناء تعرض النبات للإجهاد وبوصفه وسيطاً في عملية تفعيل الانزيمات التي يمكن من خلالها تنظيم عملية النسخ الجيني بواسطة تفعيل عوامل النسخ .

••- تعد إحدى الجزيئات الحيوية الاربعة الرئيسة في النبات مع البروتينات والدهون والاحماض النووية التي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بحياة النبات

يساهم عنصر الكوبلت مع بعض العناصر الثقيلة كالنحاس، والحديد، والكروم في التأثير على إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية في النبات التي لها مهمة خاصة إذ تظهر مقاومة الأمراض البكتيرية والفيروسية ونقل الإشارات بين الخلايا النباتية التي تسيطر على موت الخلية النباتية ، فضلاً عن تنظيم نمو النباتات مثل ترقيق جدار الخلية وتنظيم عمليتي البناء الضوئي والتنفس.

تسبب السمية الناتجة عن زيادة معدن الكوبلت في جسم الانسان الى اعتلال عضلة القلب بسبب قلة وصول غاز الاوكسجين له مما ينتج عنه تعطيل الوظائف الكيميائية والحيوية في الجسم ، فضلاً عن تأثيره على الحمض الريبي النووي RNA.

٦ – الزرنيخ (As)

يعد الزرنيخ ساماً للكبد إذ يتسبب في تليف وتشمع الكبد ، ويؤثر في نخاع العظم والعناصر الخلوية في الدم ، كما تظهر تأثيراته على الجنين إذ ويخفض نشاط الانزيمات ، ويمكن ان يتسبب في اصابة الانسان بالأمراض السرطانية كسرطان الجلد والامعاء والمثانة وسرطان الكلى.

٧– الالومنيوم (Al)

يمتاز الالومنيوم بالاختلاط مع الدم والولوج الى داخل الخلايا مما ينجم عنه الاصابة بالأمراض السرطانية لا سيما سرطان الثدي كما انه يتسبب في انسداد القنوات التي يخرج منها العرق في جسم الانسان فضلاً عمَا يسببه من فقر الدم وهشاشة العظام والتهاب الدماغ والتعب المزمن وبعض الامراض الجلدية ، وقد اشارت دراسة حديثة الى ان مرض الزهايمر يزداد نحو مرة ونصف في المناطق التي يصل متوسط تركيز الالومنيوم الى اكثر من (0.11) ppm عن المناطق التي يقل فيها التركيز عن (0.01) ppm.