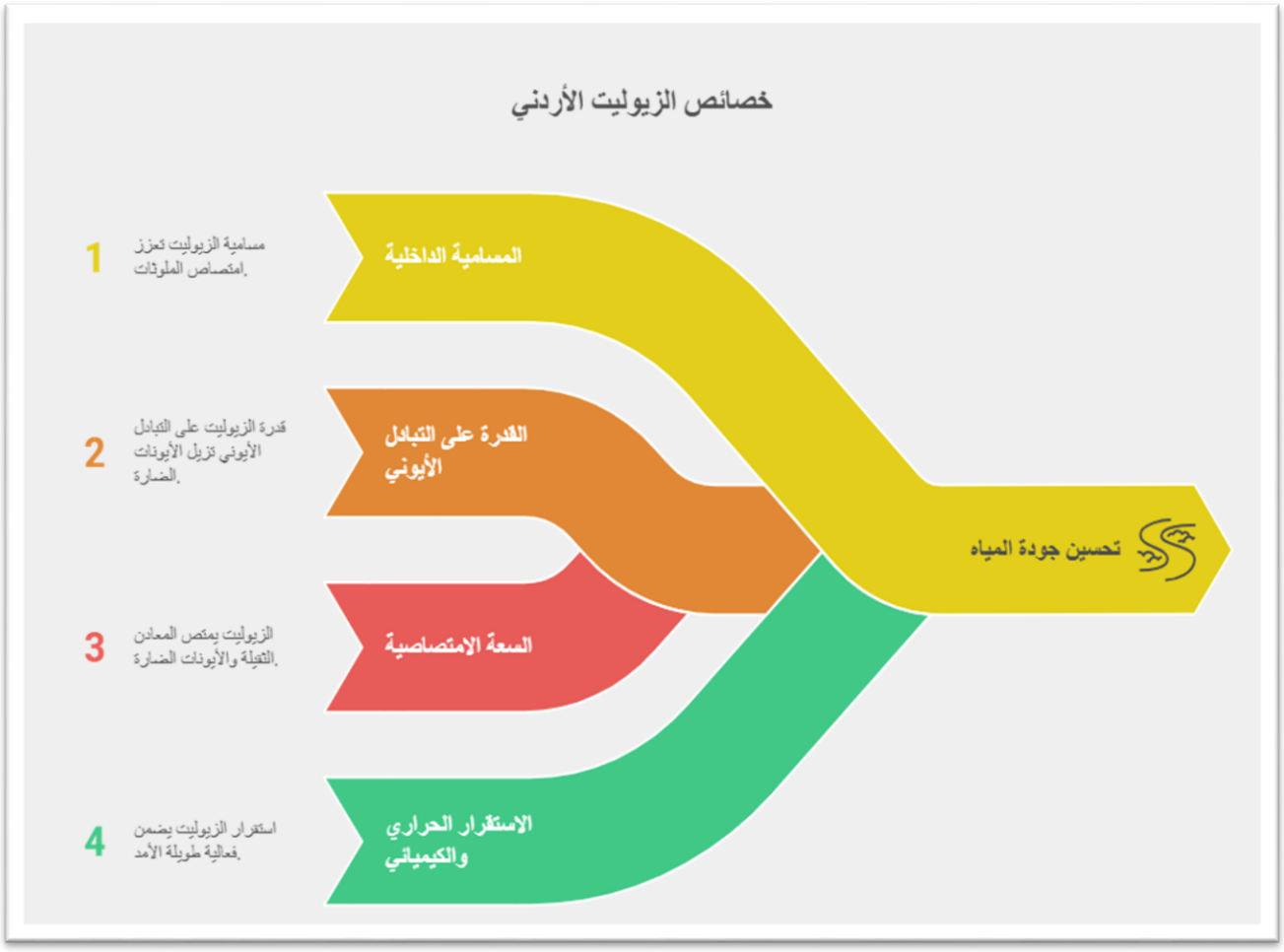
الاستخدامات البيئية والتنموية للزيوليت الأردني في معالجة المياه العادمة والزراعة السمكية
تجارب تطبيقية من شركة عمان للتعدين

يعد الزيوليت الطبيعي الأردني من أهم الموارد المعدنية ذات التطبيقات البيئية واسعة النطاق، نظرًا لامتلاكه خصائص عالية في الامتزاز والتبادل الأيوني والاستقرار الكيميائي. يستعرض هذا البحث الاستخدامات البيئية للزيوليت في معالجة المياه العادمة وفي نظم الزراعة السمكية، مع التركيز على التجارب التطبيقية التي نُفذت في مزارع الأسماك في منطقة الخربة السمراء. أظهرت النتائج قدرة الزيوليت على خفض الأمونيا بنسبة تصل إلى أكثر من 95٪ وتحسين جودة المياه من خلال إزالة العكورة وتقليل الملوثات العضوية. يقدم البحث توصيات عملية تشمل تطوير وحدات معالجة زيوليتية وطنية، وتعزيز الأبحاث التطبيقية، واعتماد الزيوليت في المواصفات الوطنية لمعالجة المياه.

يمتاز الزيوليت الطبيعي الأردني بتركيب بلوري فريد يجعله قادرًا على القيام بعمليات الامتزاز والتبادل الأيوني بكفاءة عالية. ومع تزايد التحديات البيئية المرتبطة بتلوث المياه العادمة ومزارع الأسماك، أصبح البحث عن حلول مستدامة ضرورة ملحّة. يقدم هذا البحث عرضًا شاملًا للخصائص الجيولوجية والفيزيائية والكيميائية للزيوليت الأردني، بالإضافة إلى نتائج تجارب ميدانية توضح فعاليته في تحسين نوعية المياه.

التوزيع الجيولوجي للزيوليت في الأردن

اهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيوليت الأردني



آلية عمل الزيوليت في معالجة المياه العادمة

➢ التبادل الأيوني(Ion Exchange)

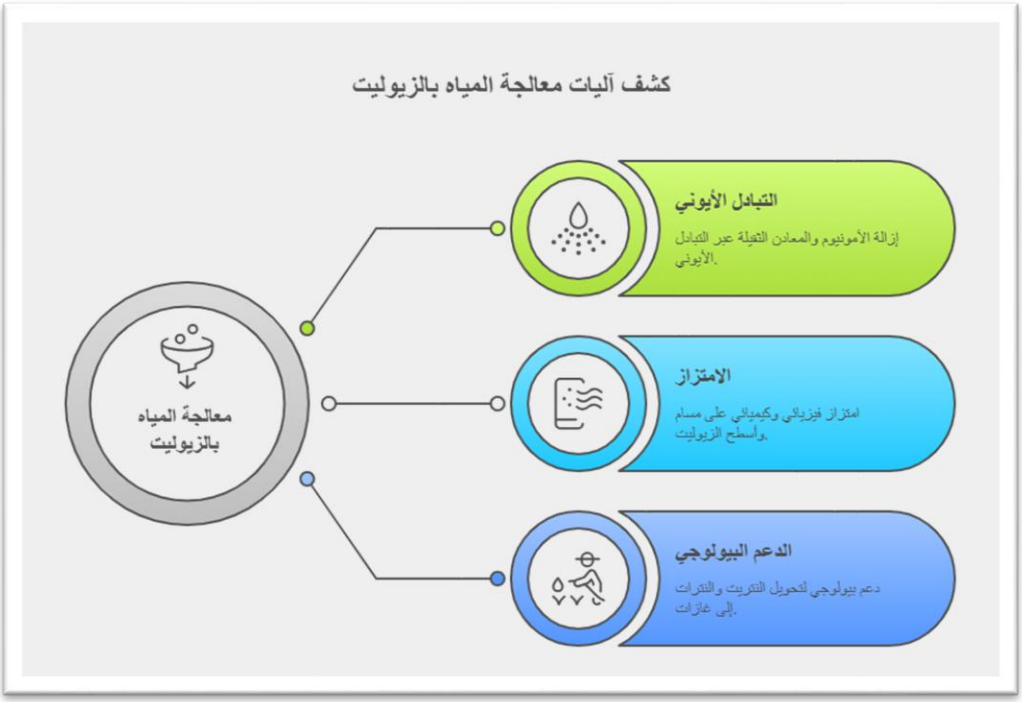
1. يحتوي الزيوليت على شبكة سيليكاتية مسامية تحمل شحنة سالبة ثابتة بسبب نقص الشحنات الموجبة للسيليكون والألومنيوم في التركيب البلوري.
2. هذه الشحنات السالبة تجذب الأيونات الموجبة (Cations) من المياه مثل NH_4^+ ، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Pb^{2+}، Cd^{2+}.
3. عند مرور المياه العادمة عبر الزيوليت، يحدث استبدال أيوني بين أيونات الماء والأيونات الموجودة على سطح الزيوليت.

➢ الامتزاز الفيزيائي والكيميائي(Adsorption)

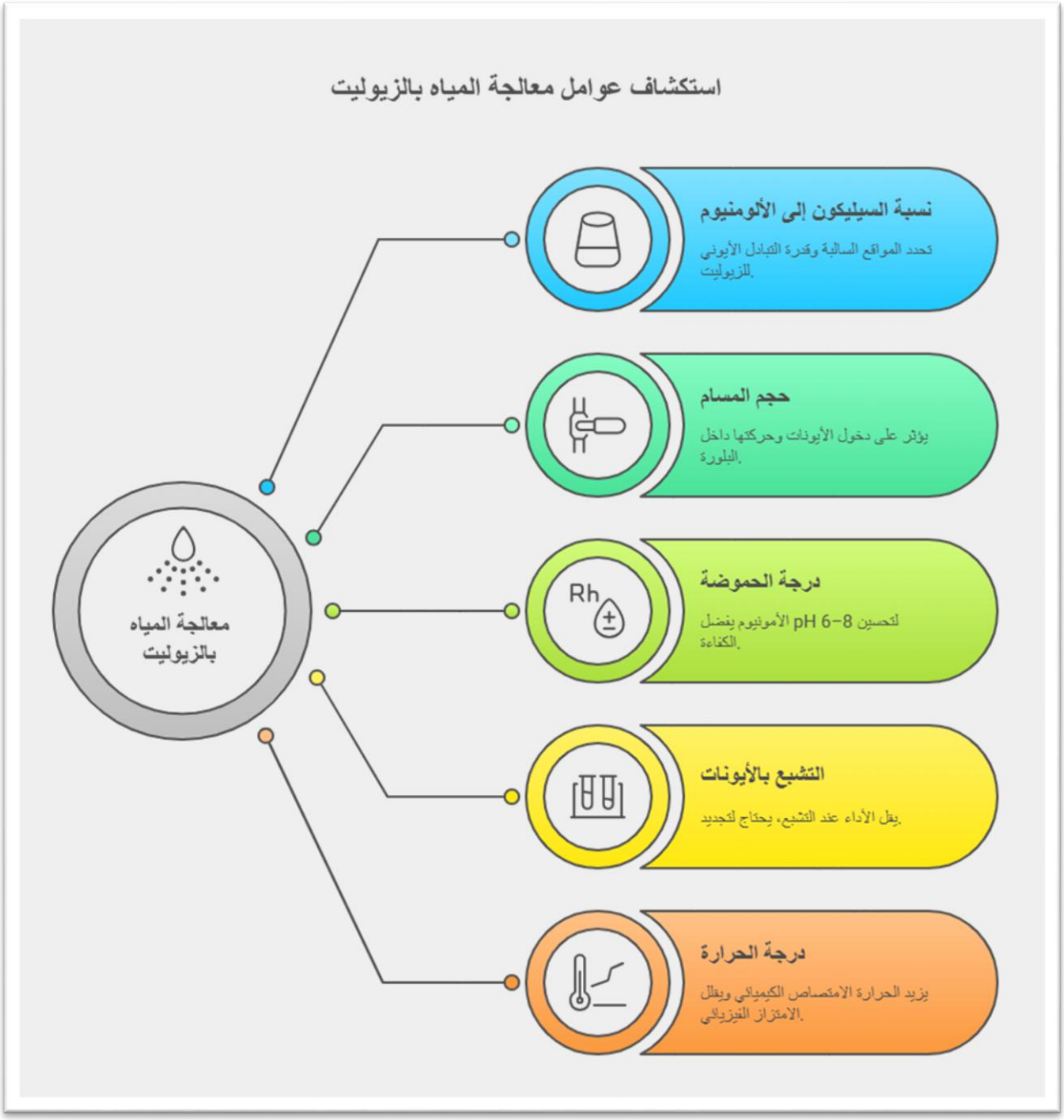
1. بجانب التبادل الأيوني، يتم الامتزاز الفيزيائي على السطوح الداخلية للمسام، حيث تلتصق الجزيئات أو الأيونات على السطح بفعل القوى الفيزيائية أو الروابط الهيدروجينية.
2. الامتزاز الكيميائي (Chemisorption) يحدث عندما تتفاعل أيونات معينة (مثل المعادن الثقيلة) مع مواقع سطحية محددة على البلورات، مما يزيد من كفاءة إزالة الملوثات.

➢ التنقية البيولوجية المدعومة بالزيوليت

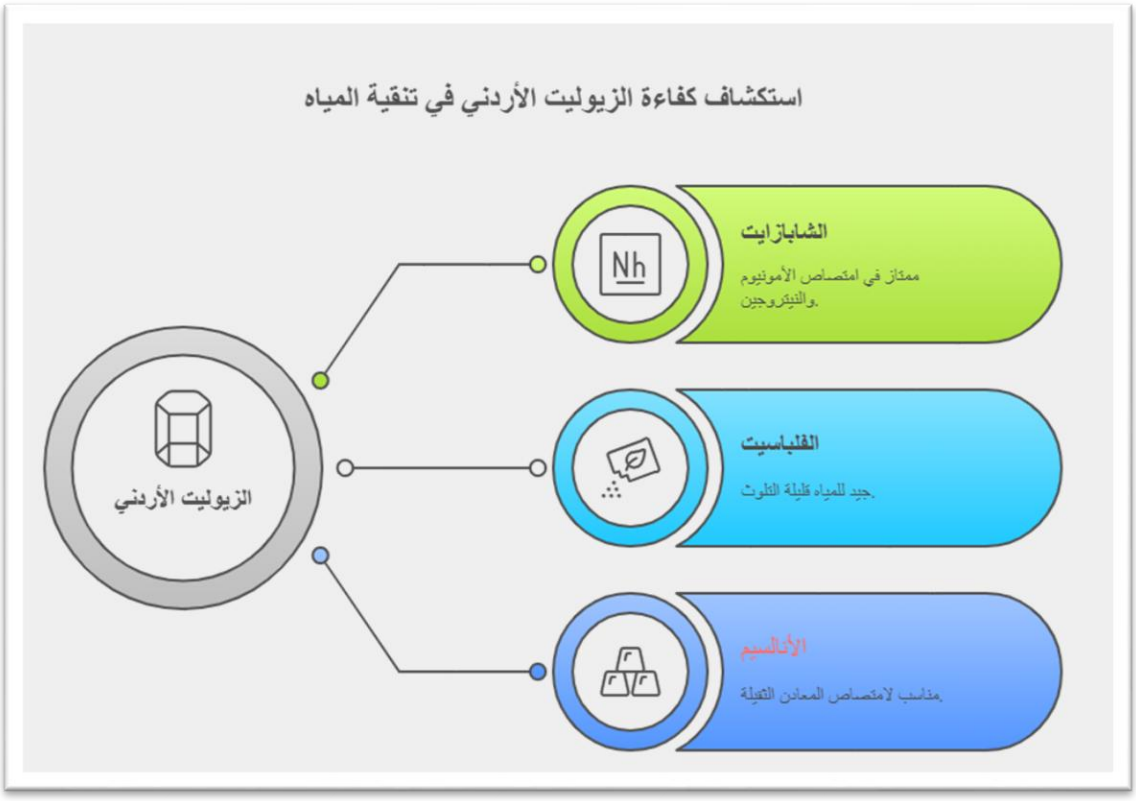
1. في أنظمة معالجة متقدمة، يمكن استزراع البكتيريا النافعة (Nitrosamines, Nitrobacteria) على سطح حبيبات الزيوليت.
2. هذه البكتيريا تحوّل الأمونيوم إلى النتريت ثم إلى نترات، ومن ثم إلى غاز النيتروجين عملية النترجة (Denitrification).
3. الزيوليت يعمل كـ حاضن أو حامل للميكروبات، ويزيد من التفاعلات الحيوية داخل المياه العادمة.



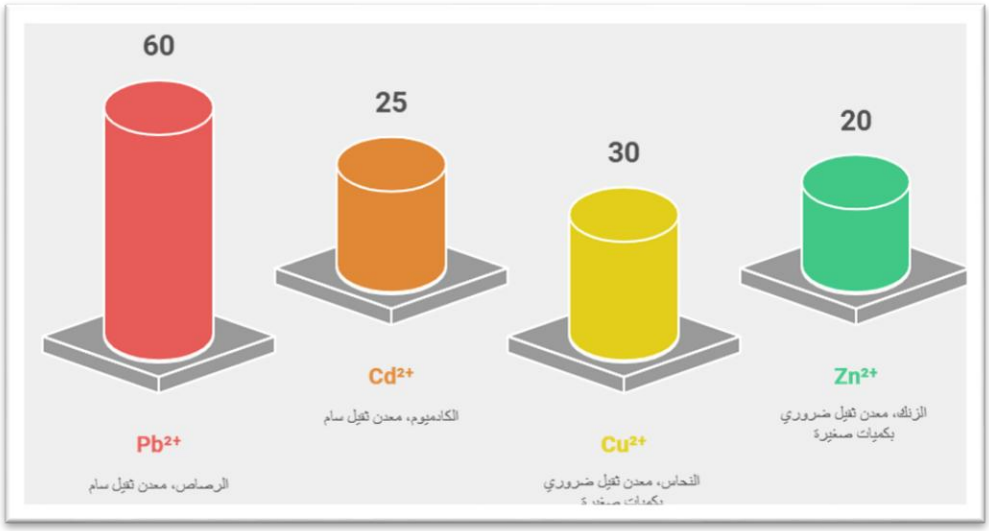
العوامل المؤثرة على آلية عمل الزيوليت في معالجة وتنقية المياه



كفاءة انواع الزيوليت الأردني في تنقية المياه



الكفاءة تعتمد على المسامية، السطح النوعي، Si/Al ratio، ودرجة التشبع بالأيونات،و الزيوليت الأردني قادر على امتصاص أيونات المعادن الثقيلة بسبب شحناته السالبة،ومن الامثلة على ذلك:



آلية إزالة الأمونيوم والنتريت من المياه

إزالة الأمونيوم (NH_4^+)

1. تدخل المياه العادمة إلى حوض يحتوي على زيوليت محمل بالصوديوم.(Na^+)
2. أيونات الأمونيوم NH_4^+ تتبادل مع أيونات Na^+ في البلورة.

مثال مبسط للتبادل الأيوني :

$$2Na\text{-}Zeolite + NH4^+ \rightarrow NH4\text{-}Zeolite + 2Na^+2$$

- هنا تم استبدال أيونات الصوديوم الموجودة في البلورة بأيونات الأمونيوم في المياه.
- النتيجة: انخفاض تركيز الأمونيوم في المياه العادمة، ويمكن لاحقًا استرجاع Na^+ لإعادة استخدام الزيوليت.

(ب) إزالة النتريت NO_2^-

1. الزيوليت يمتص أيونات النتريت جزئيًا.
2. في أنظمة معالجة متقدمة، يتم دمج الزيوليت مع البكتيريا النيتروفية لتحويل النتريت إلى نترات ثم نترات أقل ضررًا أو إلى غاز N_2 عبر عملية النترجة.(Denitrification)

تطبيقات الزيوليت الأردني في الزراعة السمكية:

دور الزيوليت في تنقية مياه برك الاسماك:

1. تقليل تراكم الأمونيوم والنتريت: دورة النيتروجين في الأحواض: الأمونيوم → النتريت → النترات.
2. تحسين مستوى الأكسجين المذاب: تقليل التأثير البيئي وتحسين جودة المياه.
3. تحسين صحة الأسماك والنمو: امتصاص الزيوليت للأيونات السامة وتبادلها مع أيونات أقل ضررًا.
4. الأثر البيئي: خفض التلوث، تقليل استخدام المواد الكيميائية.

تجارب شركة عمان للتعدين عن استخدام الزيوليت الأردني في تنقية مياه برك الأسماك

قامت شركة عمان للتعدين بإجراء تجارب تطبيقية لاستخدام الزيوليت الطبيعي الأردني في تحسين نوعية المياه في مزارع الأسماك بالتعاون مع أصحاب المزارع في منطقة الخربة السمراء/محافظة الزرقاء و تهدف التجارب إلى:

1. **إزالة الأمونيا والملوثات من المياه.**
2. **تحسين جودة المياه وحماية صحة الأسماك.**
3. **اختبار فعالية الزيوليت في تقنيات مختلفة (فلترة، رش، فرشيات أرضية، علاقات زيولايتيه).**

وصف المزرعة ومصدر المياه

- **الموقع: الزرقاء، منطقة الخربة السمراء.**
- **عدد البرك: 4 برك مائية متلاصقة كل بركة مساحة 9 م²، ارتفاع عمود المياه حتى 80 سم.**
- **عدد الأسماك: حوالي 1500 سمكة كارب عمرها عدة أشهر.**
- **مصدر المياه: بئر جوفي عمقه 200 متر، قدرة إنتاجية 120 م³/ساعة.**

التجربة الأولى: إزالة العكورة من مياه البرك

- **المكان: مختبرات الجامعة الأردنية.**
- **الوصف: إضافة الزيوليت بأحجام حبيبية مختلفة إلى مياه البرك لازالة العكورة.**
- **النتيجة: بعد 24 ساعة، اختفت العكورة وأصبحت المياه صافية بالكامل.**

اجريت هذه التجربه في مختبرات الجامعة الاردنية حيث كانت مياه البرك عكرة لوجود كميات من الملوثات والعوالق الطافية تم اضافة الزيوليت الى مياه البرك (باحجام حبيبية مختلفة) , وخلال 24 ساعة تم ازالة العكورة بشكل كامل وعادت المياه صافية كما هو موضح بالصور المرفقة.

ويوضح الشكل التالي صور مياة البرك السمكية قبل وبعد الفلترة باستخدام الزيوليت

نتيجة التجربة:

ان استخدام الزيوليت في عملية فلترة المياه العكرة وخاصة مياه برك الاسماك يعطي نتائج ممتازة جدا في التخلص من هذه العكورة الناتجة من الملوثات والعوالق الطافية، وهذا يحسن من مواصفات مياه البرك في زيادة كمية الاشعاع الشمسي الذي يصل الى مستويات منخفضة داخل عمود الماء في البرك.

التجربة الثانية: إزالة الأمونيا باستخدام فلتر زيوليتي

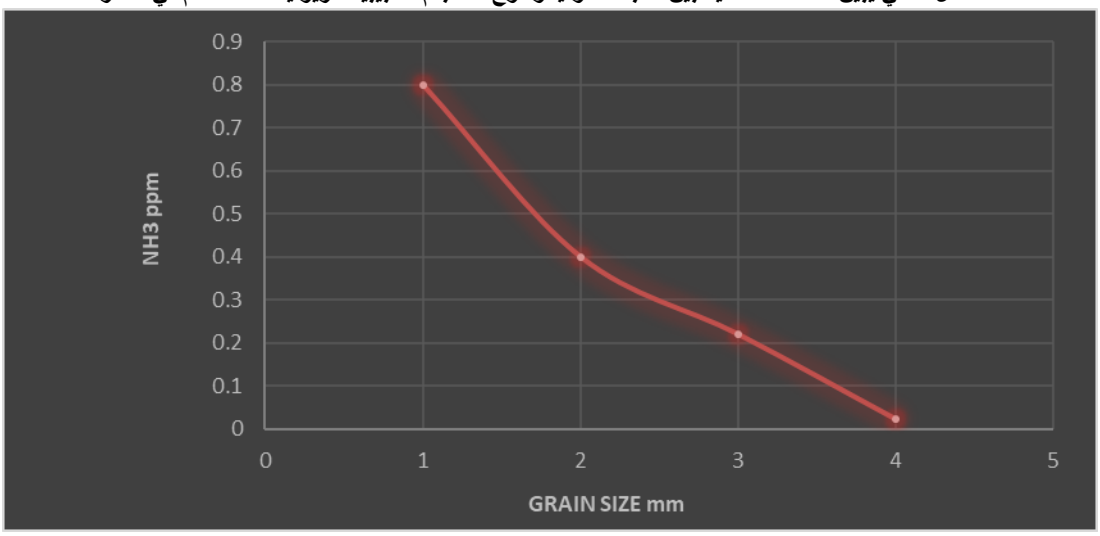
عمل الفلتر الزيوليتي : حجم الفلتر 15 لتر ارتفاع 40 سم،و يحتوي زيوليت بأحجام مختلفة : صغير(1>)ملم، متوسط (2–10 ملم)، كبير (20–50 ملم).

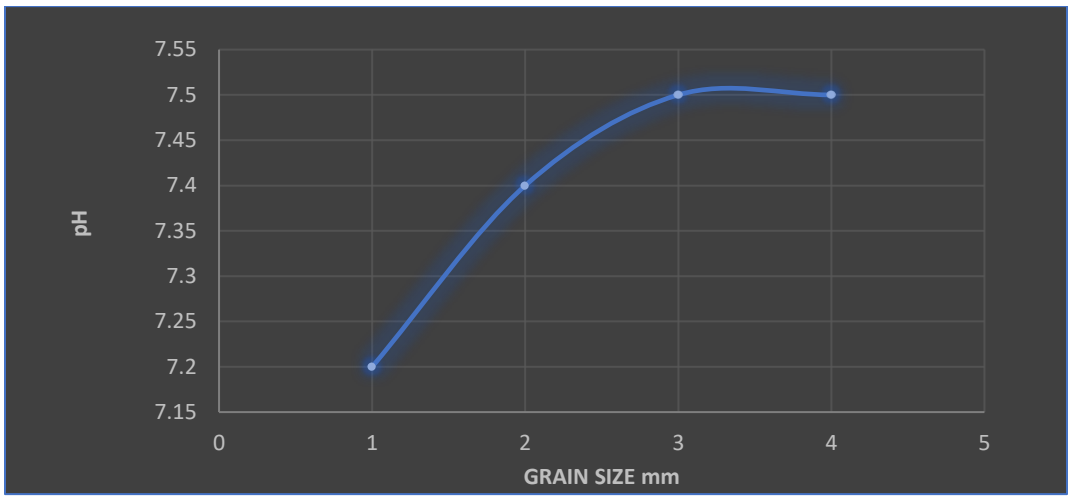
وتم اجراء هذه التجربه على ثلاث مراحل مختلفة من استخدام احجام حبيبية مختلفة من الزيوليت كما هو موضح بالجدول التالي:

المرحلة	الحجم الحبيبي المستخدم	pH		NH3 (ppm)	
		قبل المعالجة	بعد المعالجة	قبل المعالجة	بعد المعالجة
1	متوسط + كبير	7.2	7.4	0.8	0.4
2	صغير	7.2	7.5	0.8	0.22
3	صغير + متوسط + كبير	7.2	7.5	0.8	0.022

الاحجام الحبيبية المستخدمة في تجهيز فلتر الزيوليت

الشكل التالي يبين العلاقة العكسية بين نسبة الامونيا وتنوع الاحجام الحبيبية للزيوليت المستخدم في الفلتر





الشكل التالي يبين العلاقة طردية بين نسبة الحموضة وتنوع الاحجام الحبيبية للزيوليت المستخدم في الفلتر

نتيجة التجربة:

ان اســتخدام أحجام حبيبية مختلفة من الزيوليت خفض الأمونيا من (0.8 إلى 0.022) ppm وهو أقل من الحد الأقصــى المسـموح به لحياة الأسـماك(0.05 ppm) بينما قيم درجة الحموضـة ph لم تتاثر كثيرا حيث انها ارتفعت من 7.2 إلى 7.5 ضمن النطاق المناسب(6.5–8.5) .

التجربة الثالثة: : إزالة الأمونيا بطريقة رش الزيوليت على سطح المياه

الوصف: زيوليت ناعم (500–1000 ميكرون) يرش على سطح البرك.

تم اضافة الزيوليت خلال اربعة ايام وتم قياس نسب الامونيا قبل وبعد الاضافة بساعتين والجدول التالي يبين نتائج هذه التجربة

اليوم	كمية الزيوليت المضافة (كغم)	NH3 (ppm)	
		قبل الإضافة	بعد ساعتين
1	1.5	0.6	0.04
2	1.5	0.2	0.01
3	2	0.06	0.02
4	3	0.08	0.01

نتيجة التجربة:

1. **ان رش الزيوليت الناعم خفض تركيز الأمونيا بشكل سريع، ويساهم في تقليل المواد العضوية المعلقة في مياه البرك وحسن جودة هذه المياه. نلاحظ فعالية اضافة الزيوليت الناعم بالتخلص من غاز الامونيا من مياه البرك حيث يلاحظ ان كمية الامونيا قبل اضافة الزيوليت كمية عالية جدا وهي تتجاوز النسب المسموح بها وتشكل خطورة كبيرة على حياة الاسماك وبعد اضافة الزيوليت نلاحظ ان هذه النسب من غاز الامونيا تتراجع بشكل كبير جدا لتصل الى ما دون الحدود الدنيا المسموح بها من غاز الامونيا.**

2. **ان اضافة الزيوليت بهذه الاحجام الحبيبية تشكل الفرصة امام الاسماك لتناول الزيوليت كمادة غذائية تساهم في تغذاية الاسماك ومعالجة الامراض في الجهاز الهضمي والتخلص من المواد العضوية الطافية و الموجودة في اسفل الاحواض السمكية للحد من عمليات التحلل وانتاج الامونيا ونقص الاوكسجين وغيرها من الفوائد الاخرى.**

التجربة الرابعة: فلترة مياه البئر

تهدف هذه التجربة إلى معالجة مصدر المياه المزوّد للمشروع، والذي يُضخ من بئر مياه جوفية، وكان يحتوي على نسبة عالية من الأمونيا ($NH_3 \approx 0.4$ ppm). يعود هذا التلوث إلى وجود الأمونيا في الحوض المائي الجوفي، بسبب النشاط الزراعي الكثيف في المنطقة، وما ينجم عنه من ملوثات نتيجة استخدام الأسمدة العضوية والكيماوية والتي تتسرب إلى خزان المياه الجوفية. كما أن قرب البئر من محطة «الخربة السمراء» قد ساهم في زيادة التلوث في المياه.

ما يبرهن أن الفلتر الزيوليتي ($NH_3 \approx 0.01$ ppm) بعد تطبيق المعالجة عبر فلتر زيوليتي، انخفضت قيمة الأمونيا إلى نجح في إزالة تلوث الأمونيا بصورة كبيرة جداً.

نتيجة التجربة:

- ان استخدام الزيوليت في معالجة المياه الجوفية الملوثة قبل دخولها البرك باستخدام فلتر زيوليتي اعطى نتيجة ممتازة حيث انه خفض NH3 من 0.4 ppm إلى 0.01.ppm
- ان فلترة مياه البئر بالزيوليت فعالة جدًا في إزالة الأمونيا وتحسين جودة المياه.

النتائج

1. ان استخدام الزيوليت الأردني في إزالة الأمونيا من برك تربية الاسماك يعمل بفاعلية كبيرة ويعطي نتائج ملموسة على ارض الواقع ويخفض تركيزها إلى مستويات آمنة.(<0.05 ppm) .
2. استخدام أحجام مختلفة من حبيبات الزيوليت في الفلاتر يزيد من كفاءة الفلاتر وتنقية المياه.
3. يمكن استخدام الزيوليت بعدة طرق في معالجة تلوث المياه برك الاسماك من اهمها :
4. وضع فلاتر الزيوليت لفلترة مياه البرك بشكل مستمر داخل البرك.
5. رش الزيوليت على السطح مياه البرك.
6. فرش أرضيات برك الاسماك بطبقة من الزيوليت بسماكة 5 سم.
7. وضع علاقات تحتوي على الزيوليت على ارتفاعات ومسافات محددة داخل برك الاسماك.
8. معالجة مياه الابار الجوفية تقلل الملوثات وتحسن البيئة المائية. خاصة في احواض المياه الجوفية المالحة.

التوصيات:

1. إنشاء مركز وطني لتكنولوجيا الزيوليت.
2. تطوير مشروع مشترك وزارة المياه والقطاع الخاص لإنتاج فلاتر معالجة زيوليتية.
3. إدخال الزيوليت الأردني في المواصفات القياسية الوطنية لمعالجة المياه.

4. تحفيز الأبحاث التطويرية بالتعاون مع الجامعات الأردنية.
5. تطوير وحدات معالجة متنقلة لاستخدامها في المزارع والمناطق النائية.