A

联合国粮食及农业组织 | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture | Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

لجنة مصايد الأسماك

اللجنة الفرعية المختصة بتربية الأحياء المائية

الدورة الثالثة عشرة

روما، إيطاليا، 20–23 مايو/أيار 2025

محور التركيز المواضيعي 2: تربية الأحياء المائية والاقتصاد الدائري

الموجز

تبرز تربية الأحياء المائية كحلٍّ حاسم لتحديات الأمن الغذائي العالمي، لا سيما في ظلّ النمو السكاني والطلب المتزايد على أغذية مغذية وآمنة ومتنوعة. ويمثل دمج مبادئ النهج الدائري في سلاسل قيمة تربية الأحياء المائية فرصةً قيّمةً لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة في استخدام الموارد والتقليل من المهدر وتلوث نظم الأغذية المائية إلى أقصى حدّ، بما يُحسّن استدامة القطاع بشكل عام.

وتركّز المفاهيم والتصاميم والممارسات الحالية المتعلّقة بالنهج الدائري في سلاسل قيمة تربية الأحياء المائية على أربعة مجالات رئيسية: (1) تحسين مدخلات الأعلاف من خلال تطوير واعتماد مكونات بديلة للأعلاف المستخدمة في تربية الأحياء المائية لتقليل الاعتماد على مصادر الأعلاف التقليدية؛ (2) وإعادة استخدام الموارد وإعادة تدويرها من خلال نظم متكاملة لتربية الأحياء المائية تعزّز كفاءة استخدام الموارد عبر شتّى مكونات الإنتاج؛ (3) وخلق قيمة للمنتجات الثانوية السمكية ومخلفات تربية الأحياء المائية لدعم الاقتصاد الأحيائي، مع تطبيقات في قطاعات الأغذية والعلف والزراعة والطاقة؛ (4) ودمج الطاقة المتجدّدة في عمليات تربية الأحياء المائية لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتقليل البصمة الكربونية للقطاع.

وتُقدّم وثيقة العمل هذه تحليلًا للمفاهيم والتصاميم والممارسات الحالية المتعلّقة بالنهج الدائري في سلاسل قيمة تربية الأحياء المائية. وتتناول التحديات الرئيسية والقيود والدروس المستفادة من هذه الممارسات، مع تحديد المسارات المحتملة لتعزيز النهج الدائري في القطاع. كما تُسلّط الضوء على مبادرات منظمة الأغذية والزراعة وخطتها الاستراتيجية بشأن التنمية المستدامة لتربية الأحياء المائية، ومبادئ النهج الدائري، والاقتصاد الأحيائي.

الإجراءات المقترح اتخاذها من جانب اللجنة الفرعية
إنّ اللجنة الفرعية مدعوّةٌ إلى القيام بما يلي: ➢ الإقرار بأهمية نظم تربية الأحياء المائية المستدامة وشأنها وإمكاناتها الإنمائية ضمن الاقتصاد الدائري والاقتصاد الأحيائي؛ ➢ وتشجيع الأعضاء على تبادل الخبرات والدروس المستفادة وحالات النجاح في وضع السياسات والتخطيط وتطبيق مبادئ النهج الدائري في تربية الأحياء المائية عبر سياقات متنوعة؛ ➢ والتوصية بإجراءات وأنشطة محدّدة، وتقديم توجيهات مفصّلة إلى منظمة الأغذية والزراعة لدعم تطوير نظم التربية المستدامة للأحياء المائية وتسريع وتيرته في الاقتصاد الدائري.

مقدمة

1- تؤدي تربية الأحياء المائية دورًا محوريًا في معالجة الأمن الغذائي العالمي من خلال توفير مصدر غذائي غني بالمغذيات من البروتينات العالية الجودة وأحماض أوميغا 3 الدهنية والمعادن والفيتامينات، لتلبية الاحتياجات الغذائية للسكان المتزايد عددهم. كما تدعم سبل عيش ملايين الأشخاص حول العالم، لا سيما في المجتمعات المحلية الساحلية والريفية، وتساهم بشكل كبير في الاقتصاد العالمي.[1] وتتيح تربية الأحياء المائية، باعتبارها نظامًا مهمًا لإنتاج الأغذية، حلًّا عمليًا للتحديات العالمية الملحة، مثل الجوع والفقر وتغير المناخ.[2]

2- ولكن النمو السريع لتربية الأحياء المائية أثار انتقادات بشأن آثارها البيئية. ويتمحور جزءٌ كبير من هذه الانتقادات حول سؤال جوهري بشأن ما إذا كان نمو تربية الأحياء المائية يؤدي إلى زيادة مقابلة في الطلب على المساحيق والزيوت السمكية كمكونات رئيسية للأعلاف، ممّا يزيد من الضغط على مصايد الأسماك المرتبطة بها.[3] وعلاوةً على ذلك، تتسبّب مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية في كمية كبيرة من المخلفات على طول سلاسل القيمة، على شكل مخلفات منتجات ومنتجات ثانوية للتجهيز، ممّا يثير مخاوف بشأن الآثار البيئية إذا لم تتم إدارتها بشكل سليم.

3- ويشير الاقتصاد الدائري إلى نظم اقتصادية قائمة على نماذج الأعمال التي تعيد استخدام المواد وتعيد تدويرها واستردادها (المعروفة أيضًا باسم مبادئ الاستدامة الثلاثة أو نهج R3) في عمليات الإنتاج والتوزيع والاستهلاك لتحقيق التنمية المستدامة. ويمكن وصف المفهوم أيضًا بأنه نهج يمكن أن يقلّل من استهلاك الموارد عن طريق إبطاء حلقات الموارد الطبيعية أو إغلاقها أو تضييقها.[4] ويمكن تطبيق مبادئ النهج الدائري على الاقتصاد الأحيائي الأوسع نطاقًا لتحويل

---

[1] منظمة الأغذية والزراعة. 2024. *حالة الموارد السمكية وتربية الأحياء المائية في العالم 2024 – التحول الأزرق في ميدان العمل*. روما. https://openknowledge.fao.org/items/f760015f-b85b-478f-83ed-c1d016829ff5

[2] Wong, A., Frommel, A.Y., Sumaila, U.R. et al. A traits-based approach to assess aquaculture's contributions to food, (2024) climate change, and biodiversity goals. npj Ocean Sustain 3, 30.

[3] FAO. 2025. Responsible use of fishmeal in aquaculture. FAO Innovation for Blue Transformation. Rome. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3660en

[4] منظمة الأغذية والزراعة. 2022. *حالة الغابات في العالم 2022* – المسارات الحرجية لتحقيق التعافي الأخضر وبناء اقتصادات شاملة وقادرة على الصمود ومستدامة. روما، منظمة الأغذية والزراعة. https://openknowledge.fao.org/items/9715a0fd-7b28-4fe6-bbf2-afb9b7a14780

النظم الزراعية والغذائية.[5] ويمكن لنظام لتربية الأحياء المائية مبني على مبادئ النهج الدائري أن يقلّل من المخلفات وأن يعظم كفاءة استخدام الموارد من خلال الحفاظ على المواد والمنتجات والموارد واستخدامها لأطول فترة ممكنة. ويستند إلى ثلاثة مبادئ رئيسية للنهج الدائري: (1) القضاء على المخلفات والتلوث؛ (2) وتدوير المنتجات والمواد بأعلى قيمة لها؛ (3) وإعادة تجديد الطبيعة، وجميع هذه المبادئ مدفوعة بالتصميم.[6]

4- ويتضمن الإطار الاستراتيجي لمنظمة الأغذية والزراعة للفترة 2022–2031[7] الذي تم إقراره خلال الدورة الثانية والأربعين لمؤتمر المنظمة، مجال الأولوية البرامجية "الاقتصاد الأحيائي من أجل أغذية وزراعة مستدامة". ويُعرّف البيان الصادر عن مؤتمر القمة العالمي للاقتصاد الأحيائي لعام 2024 الاقتصاد الأحيائي بأنه "إنتاج الموارد البيولوجية، واستخدامها، وحفظها، وتجديدها، بما في ذلك المعارف والعلوم والتكنولوجيا والابتكارات ذات الصلة، لتوفير حلول مستدامة (معلومات، ومنتجات، وعمليات، وخدمات) داخل جميع القطاعات الاقتصادية وعبرها، وتمكين التحوّل إلى اقتصاد مستدام". كما يُشير البيان إلى أن الاقتصاد الأحيائي ليس مفهومًا ثابتًا، وأن معناه يتطور باستمرار.[8]

5- وتم لفت انتباه لجنة مصايد الأسماك في دورتها السادسة والثلاثين التي عقدت في عام 2024 إلى مفهوم الاقتصاد الأحيائي، حيث أقرت اللجنة بالإمكانات الكبيرة التي تتمتع بها النظم المائية للمساهمة في الاقتصاد الأحيائي،[9] ودعا الأعضاء المنظمة إلى "دمج المنتجات المائية المستدامة في التنفيذ الأوسع نطاقًا لبرامج الاقتصاد الأحيائي، وخاصة تلك المتعلقة بمصايد الأسماك الصغيرة النطاق والشعوب الأصلية والمجتمعات المحلية".[10]

6- ومع تزايد أهمية الاستخدام الأمثل للموارد لتحسين كفاءة استخدامها، والمخاوف البيئية والحاجة إلى ممارسات مستدامة، أصبح دمج مبادئ النهج الدائري في تربية الأحياء المائية أمرًا حيويًا بشكل متزايد للتحوّل نحو اقتصاد أكثر استدامة وقدرة على الصمود.

7- وفي حين تمت بلورة مفهوم النهج الدائري ومناقشته منذ سبعينيات القرن الماضي، فإنه لم يحظَ باهتمام كبير من جانب مجتمع تربية الأحياء المائية إلّا مؤخرًا. وتم الترويج للابتكارات والممارسات القائمة على مبادئ النهج الدائري وتطويرها وتطبيقها، بهدف تحقيق ما يلي: (1) تحسين مدخلات أعلاف تربية الأحياء المائية لتقليل الاعتماد على الموارد المحدودة، مثل المساحيق والزيوت السمكية من مصايد الأسماك الطبيعية؛ (2) وإعادة استخدام الموارد وإعادة تدويرها داخل نظم تربية الأحياء المائية؛ (3) والاستفادة من المنتجات الثانوية السمكية والفاقد والمهدر من تربية الأحياء المائية كموارد للأغذية والعلف والمدخلات الزراعية والطاقة؛ (4) ودمج الطاقة المتجدّدة في عمليات تربية الأحياء المائية.

---

[5] FAO. 2024. Bioeconomy for food and agriculture: A global stocktaking study. Rome https://doi.org/10.4060/cd2490en

[6] Ellen MacArthur Foundation. 2013. Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition. www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an

[7] منظمة الأغذية والزراعة. 2021. *الإطار الاستراتيجي للفترة 2022–2031*. منظمة الأغذية والزراعة، روما. https://openknowledge.fao.org/items/fe7e89f9-7b6d-4cff-999d-cd79dcc13399

[8] International Advisory Council on Global Bioeconomy. 2024. Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2024https://gbs2024.org/news/iacgb-communique/

[9] منظمة الأغذية والزراعة، 2024. *الاقتصاد الأحيائي من أجل أغذية وزراعة مستدامة*. الوثيقة COFI/2024/INF/18. روما. https://openknowledge.fao.org/items/3b118914-24e6-4a68-9939-caa0a7964121

[10] منظمة الأغذية والزراعة. 2024. *تقرير الدورة السادسة والثلاثين للجنة مصايد الأسماك*، روما، 8–12 يوليو/تموز 2024. تقرير منظمة الأغذية والزراعة عن مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية، العدد 1459. روما. https://openknowledge.fao.org/items/9dfb5d6e-c23d-4b20-9690-b30047e70192

وستحتاج هذه العناصر كافةً إلى دمجها بشكل منهجي مع نُهج الإدارة الشاملة في سلاسل قيمة تربية الأحياء المائية المستدامة، وستتطلّب سياسات تمكينية لتسريع اعتماد حلول قابلة للتطبيق لإحداث تأثير إيجابي على نطاق أوسع.

تحسين مدخلات الأعلاف في تربية الأحياء المائية لتقليل الاعتماد على الموارد المحدودة

8- مع استمرار تزايد الطلب على الأغذية المائية، ستزداد الحاجة إلى أعلاف الأحياء المائية لدعم قطاع تربية الأحياء المائية المتنامي. وفي الوقت الحالي، فإن غالبية المكونات المستخدمة في تصنيع أعلاف الأحياء المائية مشتقة من محاصيل أرضية، ومنتجات ثانوية زراعية، ومساحيق وزيوت سمكية متأتية من أسماك علفية منخفضة القيمة، ومن منتجات سمكية ثانوية. ومن شأن زيادة إنتاج أعلاف الأحياء المائية أن تزيد من حدة المنافسة على هذه الموارد، التي تُستخدم لأغراض متعددة، بما في ذلك الاستهلاك البشري وعلف الماشية.[11]

9- ويبرز إنتاج واستخدام مكونات مبتكرة ومراعية للبيئة، مشتقة من منتجات ثانوية للنظام الغذائي (منتجات ثانوية مصنوعة إلى جانب منتجات أولية صالحة للاستهلاك البشري)، كحلّ محوري لزيادة كفاءة استخدام الموارد، وتقليل المنافسة بين الأغذية والأعلاف، وتعزيز النهج الدائري في النظم الغذائية. وتتمتع زيادة استخدام هذه المنتجات الثانوية كمكونات أعلاف بإمكانيات كبيرة، لا سيما عندما تقترن بتدابير أخرى، لدعم التحوّل الذي تشتد الحاجة إليه نحو نظم غذائية قائمة على النهج الدائري.[12]

الاستخدام المسؤول للمساحيق السمكية

10- لقد أُحرز تقدّمٌ ملحوظ في قطاع تربية الأحياء المائية المغذّاة بالأعلاف، بما في ذلك الابتكارات في نظم الاستزراع، والتقدّم التكنولوجي، وتطوير تنوع المكونات المستخدمة وتحسينه. وقد قلّلت هذه التطورات بشكلٍ كبيرٍ من اعتماد أعلاف الأحياء المائية على المساحيق والزيوت السمكية، ونتيجةً لذلك، انخفضت نسبة المساحيق السمكية المستخدمة في أعلاف الأحياء المائية من 19 في المائة في عام 2000 إلى 9 في المائة في عام 2020.[13]

11- وفي حين زاد إنتاج تربية الأحياء المائية من الحيوانات المائية بشكل كبير في العقود الأخيرة، فإن كمية المساحيق والزيوت السمكية المستخدمة لم تزداد بشكل متناسب، ممّا يشير إلى أن نمو تربية الأحياء المائية على مستوى العالم لم يؤدِ إلى زيادة في مصايد الأسماك الطبيعية المستخدمة للتقليل من المساحيق السمكية، على الرغم من أنه غيّر بعض الأنماط الإقليمية لمصايد الأسماك المستخدمة لصناعة المساحيق السمكية.[14]

[11] Rana, K.J.; Siriwardena, S.; Hasan, M.R. 2009. Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 541. Rome, FAO. 2009. 63 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1143e

[12] Sandström, V., Chrysafi, A., Lamminen, M. et al. 2022. Food system by-products upcycled in livestock and aquaculture feeds can increase global food supply. Nat Food 3, 729–740 (2022). www.nature.com/articles/s43016-022-00589-6

[13] Glencross, B., Ling, X., Gatlin, D., Kaushik, S., Øverland, M., Newton, R., Valente, L.M. 2024. A SWOT Analysis of the Use of Marine, Grain, Terrestrial-Animal and Novel Protein Ingredients in Aquaculture Feeds. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 1–39. https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2315049

[14] منظمة الأغذية والزراعة. 2024. *حالة الموارد السمكية وتربية الأحياء المائية في العالم 2024 – التحول الأزرق في ميدان العمل*. روما. https://openknowledge.fao.org/items/f760015f-b85b-478f-83ed-c1d016829ff5

المنتجات الثانوية السمكية لإنتاج أعلاف الأحياء المائية

12- برزت المنتجات الثانوية السمكية (مخلفات الأغذية المائية والمنتجات الثانوية لتجهيز الأغذية المائية) كمصدر قيّم لإنتاج المساحيق والزيوت السمكية. وقد ارتفعت حصة المساحيق والزيوت السمكية المشتقة من المنتجات الثانوية السمكية من 25 في المائة في عام 2010 إلى ما يُقدر بنحو 34 في المائة من الإنتاج العالمي للمساحيق السمكية في عام 2022. ومن المتوقع أن يستمر هذا الاتجاه في المستقبل.[15] وفي عام 2023، شكّلت المنتجات الثانوية السمكية حوالي 39 في المائة من الإنتاج العالمي للمساحيق السمكية و54 في المائة من الإنتاج العالمي للزيوت السمكية،[16] ممّا يُسهم بشكل كبير في مبادئ الاقتصاد الدائري.

13- وتتوقف جودة منتجات المساحيق السمكية المنتجة من المنتجات الثانوية السمكية على نضارة المواد الخام وجودتها الغذائية. وقد أدى استخدام تقنيات إنتاج مبتكرة للتقليل من المنتجات الثانوية السمكية المستخدمة في المساحيق والزيوت السمكية، إلى منتجات عالية الجودة ذات قيمة غذائية وسوقية جيدة.

14- وعندما يكون إنشاء مصنع لصناعة المساحيق السمكية غير مجدٍ اقتصاديًا بسبب بسبب محدودية أو عدم اتساق توافر المنتجات الثانوية السمكية، أو عدم وجود خدمات لوجستية وبنية تحتية كافية لجمع المنتجات الثانوية السمكية ونقلها وتجهيزها بكفاءة، يُمكن لإنتاج سيلاج الأسماك أن يكون بديلًا. وسيلاج الأسماك هو منتج سائل يُصنع من أسماك كاملة أو أجزاءٍ منها، يتم تسييلها بفعل الإنزيمات الموجودة في الأسماك مع إضافة حمض. ويمكن بعد ذلك تجهيز جميع المنتجات الثانوية السمكية وتحويلها إلى مُحلّل مائي ذي تركيبة غذائية تُشبه تلك الموجودة في المساحيق السمكية عند استبعاد الماء. ويُمكن أن يحلّ سيلاج الأسماك محّل المساحيق السمكية في العلف.

15- ومن خلال المصافي الأحيائية، يمكن تجهيز المنتجات الثانوية السمكية وتحويلها إلى مكونات ذات خصائص فريدة لازمة لأعلاف محددة، مثل علف اليرقات. كما يمكن أن يحلّ ذلك جزئيًا محلّ المساحيق السمكية أو أن يُستكمل بمكونات أخرى نباتية أو حيوانية أو ميكروبية.

16- وتحتوي مياه الصرف الصحي الناتجة عن بقايا الأسماك على بروتينات ودهون قابلة للذوبان، بالإضافة إلى مركبات عضوية قيّمة أخرى. ومن خلال تطبيق تقنيات تجهيز متقدّمة، يُمكن معالجة هذه المياه الغنية بالمغذيات وتحويلها إلى مساحيق وزيوت سمكية وغيرها من المنتجات ذات القيمة المضافة.

17- وتتيح أعلاف الأحياء المائية التي يتم صنعها من مخلفات الأسماك المحوّلة عدة مزايا. فهي توفر مغذيات أساسية، مثل الأحماض الأمينية، والأحماض الدهنية، والفيتامينات، والمعادن الكبيرة، والعناصر النزرة، والتي قد تفتقر إليها التركيبات البديلة الأخرى (غير المساحيق السمكية). وبالإضافة إلى ذلك، تُحسّن هذه المغذيات من مذاقها.

[15] FAO. 2025. Responsible use of fishmeal in aquaculture. FAO Innovation for Blue Transformation. Rome. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3660en

[16] IFFO, 2024. The sources of marine ingredients: whole fish & by-products. www.iffo.com/sources-marine-ingredients-whole-fish-products

18- ورهنًا بمعدلات الإدراج، يُمكن للمكونات القائمة على المنتجات الثانوية السمكية إنتاج أغذية صالحة للأكل ذات خصائص تركيبية مماثلة لتلك المنتجة من المساحيق السمكية. كما يُسهم دمج المنتجات الثانوية السمكية ومخلفاتها في أعلاف الأحياء المائية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال الحدّ من الفاقد من الأغذية وتعزيز النهج الدائري في قطاع تربية الأحياء المائية.[17]

المنتجات الثانوية الزراعية لإنتاج أعلاف الأحياء المائية

19- تشمل المنتجات الثانوية الزراعية مخلفات المحاصيل (المواد النباتية المتبقية بعد الحصاد) والمنتجات الثانوية للتجهيز، مثل نخالة الحبوب وحبوب التقطير، والمنتجات الثانوية للسكر، ومسحوق البذور الزيتية، والمنتجات الثانوية للفاكهة. واستُخدمت أنواع عديدة من هذه المنتجات الثانوية مباشرةً، أو خضعت لتجهيز إضافي لاستخدامها كعلف تكميلي أو كمكونات في أعلاف مائية مُركّبة.

20- وتم استكشاف دمج المنتجات الثانوية للفاكهة ومشتقاتها الناتجة عن التجهيز الصناعي للتفاح والحمضيات والموز والعنب في أعلاف الأحياء المائية كبدائل جزئية للمكونات التقليدية، على نحو تجريبي في تربية عدد من الحيوانات المائية. وأدت أعلاف الأحياء المائية التي تدمج المنتجات الثانوية للفاكهة إلى دعم نمو الحيوانات المائية وإنتاجيتها وحُسن حالتها. وتُعرف المشتقات النشطة بيولوجيًا المتأتية من المنتجات الثانوية للفاكهة بأنها مُحفزات للمناعة ومضادات للميكروبات ومضادات للأكسدة. ويمكن للمنتجات الثانوية للفاكهة أن تُصبح من أكثر المنتجات الثانوية النباتية استدامةً لتطوير صناعة إنتاج أعلاف الأحياء المائية.[18]

المنتجات الثانوية للحيوانات الأرضية لإنتاج أعلاف الأحياء المائية

21- تُستخدم مصادر متنوعة من البروتين الحيواني في أعلاف الأحياء المائية المركّبة. وتُعدّ المنتجات الثانوية الحيوانية المنتجات الحيوانية المصنّعة أكثر المنتجات شيوعًا.[19] وتشمل هذه المنتجات مسحوق اللحم والعظام، ومسحوق اللحم، ومسحوق الريش المميَّأ، ومسحوق المنتجات الثانوية للدواجن، ومسحوق الدم، وغير ذلك من المنتجات الحيوانية. ويُتيح الاستخدام المتزايد لمساحيق المنتجات الثانوية الحيوانية المجهّزة بشكل مناسب في أعلاف الأحياء المائية المركبة طريقةً لإعادة تدوير المنتجات الثانوية الحيوانية بأمان وتحويلها إلى أعلاف للحيوانات المائية المستزرعة. وينطوي ذلك على ميزة تحويل المنتجات غير الغذائية التي يمكن أن تكون لها آثار بيئية سلبية ناشئة عن التخلص منها (عن طريق الطمر أو الحرق)، إلى أغذية مائية عالية الجودة ومغذية وآمنة.

[17] Colombo S.M., Roy K., Mraz J., Wan A.H.L., Davies S.J., Tibbetts S.M., Øverland M., Francis D.S., Rocker M.M., Gasco L., Spencer E., Metian M., Trushenski J.T., Turchini G.M. 2022. Towards achieving circularity and sustainability in feeds for farmed blue foods. Reviews in Aquaculture 2022, 1–27. doi:10.1111/raq.12766. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/raq.12766

[18] Mahmoud A. O. Dawood et al. 2022. Fruit processing by-products in the aquafeed industry: A feasible strategy for aquaculture sustainability. Reviews in Aquaculture, Vol. 12, Issue 4, 1945-1965. www.researchgate.net/publication/360314813_Fruit_processing_by-products_in_the_aquafeed_industry_A_feasible_strategy_for_aquaculture_sustainability

[19] Tacon, Albert G.J. 2000. Rendered animal byproducts: A necessity in aquafeeds for the new millennium. The Global Aquaculture Advocate, August 2000. www.globalseafood.org/advocate/rendered-animal-byproducts-a-necessity-in-aquafeeds-for-the-new-millennium/

22- وقد خفّفت تقنيات التصنيع الحديثة من المخاوف المبكرة بشأن تفاوت جودة المغذيات (مثل ارتفاع نسبة الرماد في مسحوق اللحم والعظام، واختلال توازن الأحماض الأمينية في مسحوق الريش). وتنطوي المنتجات الثانوية الحيوانية، بعد إعادة تجهيزها بشكل صحيح، على إمكانات كبيرة لتحلّ محلّ المساحيق السمكية في أعلاف الأحياء المائية، مع مراعاة المتطلبات الغذائية الخاصة بكل نوع والالتزام بمعايير السلامة. وباعتبارها بدائل للمساحيق والزيوت السمكية، فإن استخدامها يُخفّف من الضغط على الموارد البحرية، ويُخفّض تكاليف إنتاج الأعلاف ويُحسّن من ربحية مشاريع تربية الأحياء المائية.

الحشرات كمكون من مكونات أعلاف الأحياء المائية

23- تمثل الحشرات أكثر مجموعات الحيوانات تنوعًا وغذاءً طبيعيًا للعديد من أنواع الأسماك. وقد تم اختبار ما لا يقل عن ستة عشر نوعًا من الحشرات كمصدر بديل للبروتين في أعلاف الأحياء المائية، واستُخدمت ثمانية أنواع منها على سبيل التجربة في الإنتاج الصناعي لأعلاف الأحياء المائية.[20] وإن تربية الحشرات باستخدام المخلفات العضوية والمنتجات الثانوية الزراعية تحوّلها إلى موارد قيّمة. ولا توفر هذه العملية مصدرًا عالي الجودة للبروتين بالنسبة إلى أعلاف الأحياء المائية فحسب، بل تساهم أيضًا في التقليل من المخلفات والتقليل من تحديات التخلّص منها. وتتميز مساحيق الحشرات عمومًا بمحتوى بروتيني أعلى ومستوى أعلى من الأحماض الأمينية مقارنةً بمكونات الأعلاف النباتية. فعلى سبيل المثال، يحتوي مسحوق ذبابة الجندي الأسود، مقارنة بمصادر البروتينات النباتية، على أحماض أمينية أكثر قابلية للمقارنة، ويتميز بقابلية هضم البروتين مماثلة للمساحيق السمكية.[21] ويمثل استخدام مسحوق الحشرات كبديل للمساحيق السمكية في أعلاف الأحياء المائية فرصة كبيرة لتقليل الاعتماد الحالي على الموارد السمكية البحرية.

تطوير الأعلاف القائمة على الطحالب

24- تتمتع الكتلة الحيوية للطحالب الدقيقة، بتركيبتها الفريدة من خلايا المادة الأيضية النشطة بيولوجيًا، بإمكانيات هائلة كمكون علفي. فهي غنية بالأحماض الأمينية الأساسية، والأحماض الدهنية، والفيتامينات، والأصباغ، وتوفر تركيبة متوازنة وغنية بالمغذيات. وتوفر الطحالب الدقيقة أيضًا، بالإضافة إلى كونها مكونًا أساسيًا في أعلاف الأحياء المائية، مجموعة متنوعة من المركبات النشطة بيولوجيًا التي تعزّز صحة الأنواع المستزرعة وقابليتها للبقاء على قيد الحياة، مع تحسين جودة لحومها.[22،23]

[20] Yuzer Alfiko, Dizhi Xie, Retno Tri Astuti, Joey Wong, Le Wange. 2022. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. Aquaculture and Fisheries 7 (2022) 166–178.

[21] Zulkifli NFNM, Seok-Kian AY, Seng LL, Mustafa S, Kim Y-S, Shapawi R, 2022. Nutritional value of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae processed by different methods. PLoS ONE 17(2): e0263924. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0263924

[22] Kiran BR, Venkata Mohan S. 2021. Microalgal Cell Biofactory-Therapeutic, Nutraceutical and Functional Food Applications. Plants (Basel). 2021 Apr 21;10(5):836. https://doi.org/10.3390/plants10050836

[23] Ahmad, A., W. Hassan, S., & Banat, F. 2022. An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: food security and circular economy. Bioengineered, 13(4), 9521–9547. https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148

25- ويوفر الإنتاج الضخم للطحالب الدقيقة مزايا عدة مقارنةً بالنباتات الكبيرة. فهي أكثر إنتاجية من حيث التمثيل الضوئي، ممّا يجعل إنتاجها على نطاق واسع عالي الكفاءة ومجدٍ تجاريًا. وعلاوةً على ذلك، يمكن إنتاجها بكثافة مع الحدّ الأدنى من متطلبات المياه والأراضي الصالحة للزراعة، ممّا يجعلها بديلًا، مراعيًا للبيئة، لاستخدام المساحيق والزيوت السمكية التقليدية في تركيبات أعلاف الأحياء المائية.[24]

إعادة استخدام الموارد وإعادة تدويرها في نظم تربية الأحياء المائية

26- لقد صُمّم العديد من نظم تربية الأحياء المائية باتباع نهج دائري، مع التركيز على إعادة استخدام المغذيات وإعادة تدويرها واستعادتها. وتدمج هذه النظم أنواعًا متعددة في بيئة واحدة، حيث تُشكِّل مخلفات أحد النظم الفرعية، سواء أكان مائيًا أم أرضيًا، مدخلات لنظام فرعي آخر. وأدى هذا المفهوم إلى تطوير نُظم متكاملة متنوعة، تختلف باختلاف الأنواع المعنية، وتقنيات الاستزراع، وكثافة العمليات، والموارد المعاد تدويرها.[25] وتتمثل إحدى السمات الرئيسية لهذه النظم في التآزر والتكامل الغذائي بين الأنواع، ما يُمكّن من إعادة تدوير المغذيات من المخلفات الصلبة والذائبة على حدٍ سواء. ومن بين الأصناف الرئيسية لنظم تربية الأحياء المائية المتكاملة هناك: الزراعة المائية النباتية التكاملية (IAA)، وتربية الأحياء المائية المتعددة والمتكاملة (IMTA)، والاستزراع النباتي والسمكي، والاستزراع المتعدد.

الزراعة المائية النباتية التكاملية

27- يتكوّن نظام زراعة مائية نباتية تكاملية من مكونين أو أكثر من مكونات الاستزراع المترابطة بشكل متزامن أو متسلسل، يتمثل أحدهما على الأقل في تربية الأحياء المائية. وبدمج هذه المكونات في نظام واحد، يُستخدم ناتج أحد المكونات، الذي كان سيُهدر لولا ذلك، كمدخل لمكون آخر. ويُعزّز النهج الدائري كفاءة استخدام الأراضي والمياه والمغذيات مقارنةً بنظم الزراعة أو تربية الأحياء المائية المستقلة التي لديها نفس مدخلات الموارد وكثافة التشغيل. وعادةً ما تكون نظم الزراعة المائية النباتية التكاملية شبه مكثفة، وتتميز باستقرار وقدرة على الصمود أكبر وتأثيرات بيئية سلبية أقل بفضل تنوع وظائفها الإنتاجية وقدرتها على إعادة استخدام المغذيات المهدَرة داخل النظام.

28- ويُعتبر استزراع الأرز والأسماك، من الأمثلة النموذجية على الزراعية المائية النباتية التكاملية، فهو يدمج زراعة الأرز مع تربية الأسماك، ممّا يُنشئ نظامًا ذا منفعة متبادلة. فبينما تقوم الأسماك بمكافحة الآفات والأعشاب الضارة، تُخصّب الطحالب التربة، ممّا يُحسّن إنتاج الأرز. وفي المقابل، تُوفر نباتات الأرز الظلّ والحماية للأسماك. وتعزّز هذه الطريقة إنتاج الأغذية، وتزيد من دخل المزارعين، وتُحسّن استخدام الأراضي والمياه. كما تُقلّل من الاعتماد على الأسمدة والمبيدات الكيماوية، ما يُعزّز التنوع البيولوجي وسلامة النظام البيئي. وقد طُوِّرت نظم مماثلة لاستزراع حيوانات مائية أخرى ذات قيمة تجارية أعلى مع الأرز، مثل سلطعون النهر، وسرطان البحر القفازي، وثعابين حقول الأرز. ويتسم بعض هذه النظم،

[24] Nagappana, S., Das, P., AbdulQuadir, M. Thaher, M., Khan, S., Mahat, C., Al-Jabri, H., Vatland, A.K., Kumar, G. 2024. Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. Journal of Biotechnology 341 (2021) 1–20. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003

[25] Yuan, D., Edward, P. & Halwart, M. 2019. *Current Practices and Future Prospects for Integrated Agriculture and Aquaculture in Asia – A Regional Review. In* FAO. 2019. Report of the Special Session on Advancing Integrated Agriculture Aquaculture through Agroecology, Montpellier, France, 25 August 2018. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1286. Rome. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/41eaf371-113f-4024-bf3d-49a49d8256b9/content

مثل الاستزراع التكاملي لسلطعون النهر والأرز في الصين، بإنتاجية عالية وكفاءة اقتصادية عالية.[26] وتتمتع هذه النظم بالقدرة على دعم الإنتاج المكثف للحيوانات المائية، مع تعزيز كفاءة استخدام المياه والمساحة والمغذيات في الوقت نفسه.

تربية الأحياء المائية المتعددة والمتكاملة

29- في نظام تربية أحياء مائية متعددة ومتكاملة، تُربى أنواع الأحياء المائية المغذّاة بالأعلاف (مثل الروبيان أو الأسماك الزعنفية) جنبًا إلى جنب مع أنواع استخلاصية غير عضوية (مثل الأعشاب البحرية والطحالب الدقيقة أو غيرها من النباتات)، وأنواع استخلاصية عضوية (مثل المحار، الذي يتغذى على العوالق و/أو الرواسب)، وآكلات المخلفات القاعية (مثل خيار البحر).[27] وتُعيد هذه الأنواع الاستخلاصية، عند استزراعها بنسبٍ مناسبة، تدوير المغذيات التي تفرزها الأنواع المغذّاة بالأعلاف والتي لولا ذلك لفُقدت في النظام. ومن خلال محاكاة النظم الإيكولوجية الطبيعية، يُعزّز نظام تربية الأحياء المائية المتعددة والمتكاملة دورة المغذيات، ويُعزّز التنوع البيولوجي، ويُحسّن استخدام الموارد في البيئات المائية.

الاستزراع النباتي والسمكي

30- الاستزراع النباتي والسمكي هو نظام زراعي عضوي متكامل، يجمع بين تربية الأحياء المائية والزراعة المائية لخلق نظام ذي منفعة متبادلة. وفي هذا النظام، تعمل مخلفات الأسماك كسماد طبيعي للنباتات، بينما تساعد النباتات في ترشيح المياه للأسماك وتنقيتها. ويقلّل هذا النظام الدائري المغلق من استخدام المياه، ويلغي الحاجة إلى الأسمدة الكيميائية، ويُحسّن استخدام الأراضي، ويؤدي إلى طريقة عالية الكفاءة ومستدامة للغاية لإنتاج الأغذية. كما يُتيح حلًا واعدًا لاستزراع الأسماك والمحاصيل بطريقة تتسم بالكفاءة في استخدام الموارد.

الاستزراع المتعدد

31- ينطوي الاستزراع المتعدد على استزراع نوعين أو أكثر ضمن نظام الاستزراع نفسه، حيث تشغل هذه الأنواع مستويات غذائية ومواضع مكانية مختلفة. ومن أهم مزايا الاستزراع المتعدد تقليل هدر العلف والاستخدام الأكثر كفاءة للمغذيات والموارد المائية. كما يُعزّز الاستزراع المتعدد التنوع البيولوجي، ما يُحسّن القدرة على مواجهة الأمراض والآفات والتقلبات البيئية، ما يجعل النظام أكثر استقرارًا واستدامة.

32- وأحد الأمثلة النموذجية على ذلك نظام الاستزراع المتعدد الأنواع لأسماك الشبوط الصيني، حيث تتم تربية أسماك شبوط الحشائش، والشبوط الفضي، والشبوط كبير الرأس، والشبوط الشائع، وشبوط الطين، والشبوط الأسود معًا في الحوض نفسه. ويستهلك شبوط الحشائش، بصفته عاشبًا، الأعلاف الخضراء وغيرها من المدخلات الاصطناعية، بينما يتغذى الشبوط الفضي والشبوط كبير الرأس، بصفتهما كائنين يتغذيان بالترشيح ويشغلان عمود الماء، على العوالق النباتية والعوالق الحيوانية، على التوالي. أما الشبوط الشائع، وشبوط الطين، والشبوط الأسود، فهي كائنات تتغذى في القاع،

[26] Jiang, Y., Cao, C. 2021. Crayfish–rice integrated system of production: an agriculture success story in China. A review. (2021) Agron. Sustain. Dev. 41, 68. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00724-w

[27] Chopin, T. 2013. Integrated multitrophic aquaculture (IMTA). In R. A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of sustainability science and technology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_173

حيث تتغذى على المخلفات والكائنات القاعية والرخويات. وتُخصّب بقايا الأعلاف ومخلفات الأسماك الحوض، ما يدعم نمو العوالق النباتية ويحافظ على النظام الإيكولوجي.

نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير

33- تُوفر نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير حلًا مبتكرًا لاســـتدامة تربية الأحياء المائية من خلال التقليل من اســـتخدام المياه ومن الآثار البيئية. وتُؤدي هذه التقنية إلى كفاءة اســـتخدام المياه وإعادة تدوير المغذيات من خلال الآليات الخمس التالية:

(1) **الترشيح وإعادة الاستخدام**: توفر نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير نظامًا مائيًا مغلق الحلقة، حيث تُرشَّح المياه باستمرار، ممّا يسمح بإعادة استخدامها عدة مرات. ويُقلِّل ذلك من إجمالي استهلاك المياه اللازمة لاستزراع الأسماك، ويُقلِّل من احتمالية وصول الملوثات إلى المسطحات المائية الخارجية. كما تلتقط عملية الترشيح المغذيات القيّمة، مثل النيتروجين والفوسفور، التي يمكن إعادة استخدامها كسماد أو في نظم الاستزراع المتكاملة، ممّا يُعزّز نهجًا مغلق الحلقة.

(2) **الحدّ من التصريف**: من خلال إعادة تدوير المياه، تحدّ نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير من تصريف المخلفات، ممّا يقلّل من التأثير على النظم الإيكولوجية المحلية ويحدّ من خطر تلوث المغذيات الشائع في أساليب تربية الأحياء المائية التقليدية. وهذا أمر بالغ الأهمية للحفاظ على جودة المياه وحماية التنوع البيولوجي المائي.

(3) **الحفاظ على الموارد**: تستخدم نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير كميات أقل بكثير من المياه العذبة المستخرجة من المصادر الطبيعية مقارنة بنظم تربية الأحياء المائية التقليدية الأخرى، ممّا يساهم في الحفاظ على موارد المياه العذبة في ظلّ تزايد ندرة المياه العالمية.

(4) **قابلية التوسع في تربية الأحياء المائية في المناطق الحضرية**: تُعدّ تكنولوجيا نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير مناسبةً بشكلٍ خاص للبيئات الحضرية التي قد تكون فيها المساحة والموارد المائية محدودة. ومن خلال تعزيز التكامل الرأسي وكفاءة الإنتاج، تدعم نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير مبادرات الأمن الغذائي المحلية في المناطق المكتظة بالسكان. ويكتسي ذلك أهميةً خاصة بالنسبة إلى المدن البعيدة عن مناطق الزراعة التقليدية، إذ يُقلّل الاعتماد على سلاسل الإمدادات الطويلة ويضمن إمدادات ثابتة من المنتجات الطازجة. كما تتيح بيئة نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير المتحكم فيها استمرار الإنتاج، بغض النظر عن الظروف الجوية الخارجية، وهو أمرٌ مفيد بشكلٍ خاص للحفاظ على إمدادات ثابتة من الأسماك على مدار العام.

(5) **تعزيز الأمن الأحيائي**: تتيح بيئة نظم تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير المتحكم فيها إدارةً أفضل لمسببات الأمراض، ممّا يُقلّل من الحاجة إلى المضادات الحيوية والمواد الكيميائية. وهذا يتماشى مع مبادئ النهج الدائري من خلال التركيز على الصحة والتقليل من المواد الكيميائية والمخلفات.

خلق قيمة للمنتجات الثانوية السمكية والفاقد والمهدر من تربية الأحياء المائية

34- إن نموذج الاقتصاد الخطي التقليدي، الذي يتميز بنهج "الأخذ-التصنيع-التخلص"، يُسهم بشكل كبير في التدهور البيئي واستنزاف الموارد. وفي المقابل، يُركز النموذج الدائري على الاستدامة من خلال السعي إلى تقليل مدخلات المواد الخام، وخلق قيمة للمخلفات أو المخلفات الثانوية، والحفاظ على قيمة المنتج كمورد لأطول فترة ممكنة خلال دورة حياته، وإعادة تصميم العمليات، وإعادة دمج المنتجات المستخدمة عند نهاية مدة صلاحيتها. وينبغي تشجيع الاستثمارات في صناعات الاقتصاد الأحيائي، مثل المصافي الأحيائية التي تحوّل المخلفات باستخدام التكنولوجيا الأحيائية، كجزءٍ من تحويل النظم الزراعية والغذائية وتنمية المناطق الساحلية.[28]

35- وتمثل المنتجات الثانوية السمكية، بما في ذلك الرؤوس والجلد والزعانف والقشور والأحشاء، ما بين 30 في المائة و70 في المائة من إجمالي الإنتاج المائي،[29] وتتسم بإمكانيات هائلة لإعادة استخدامها. ويمكن تحويلها إلى أغذية وأعلاف ومنتجات أحيائية وظيفية ومدخلات زراعية. كما يمكن تجهيز مخلفات تربية الأحياء المائية، مثل المخلفات السائلة والحمأة، والتي عادةً ما تُعتبر مشكلة، وتحويلها إلى أسمدة حيوية أو استخدامها لإنتاج الغاز الحيوي. ولا تُضيف هذه التطبيقات قيمةً إلى المنتجات الثانوية للأسماك ومخلفات تربية الأحياء المائية فحسب، بل تُسهم أيضًا في الاستدامة من خلال التقليل من المخلفات وتعزيز التدوير.

المنتجات الثانوية السمكية لإنتاج الأغذية

36- غالبًا ما يتم التخلص، أثناء عملية التجهيز، من الأجزاء الأكثر غنى بالمغذيات من الأسماك، كالرؤوس والعظام والجلد. ولكن يُمكن استخدام تقنيات بسيطة، كالتجفيف والتعليب والفرم، لإنتاج منتجات لذيذة ومغذية للاستهلاك البشري من هذه الأجزاء المهمَلة. ومن خلال تصميم أساليب للتجهيز، يُمكن إعادة استخدام هذه المنتجات الثانوية وإعادة تدويرها في النظام الغذائي، وتحويلها إلى أغذية بشرية قيّمة. ويُمكن لذلك أن يُقلّل بشكل كبير من الفاقد والمهدر من الأغذية، وأن يُحافظ على المغذيات، ويُقلّل من البصمة البيئية لإنتاج الأغذية.

المنتجات الثانوية السمكية لاستخدامها في المكملات الغذائية والمستحضرات الصيدلانية ومستحضرات التجميل وصناعة النسيج

37- تحتوي المنتجات الثانوية السمكية على شتّى المركبات الحيوية النشطة والأصباغ الطبيعية، مثل الكاروتينات والكولاجين ومحلّلات البروتين، والتي يمكن استخلاصها وعزلها لاستخدامها في الأغذية الوظيفية والمكملات الغذائية والمستحضرات الصيدلانية ومستحضرات التجميل، نظرًا إلى خصائصها الخافضة لضغط الدم والمضادة للأكسدة والتخثر

[28] Gomez San Juan, M. 2024. The bioeconomy toolbox – A guide to support the development of sustainable bioeconomy strategies and policies. Environment and Natural Resources Management Working Paper, No. 99. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cc8856en

[29] Naghdi, S., Rezaei, M., Heidari, M.G., Tahergorabi, R., Lorenzo, J.M. & Mirzaei, F. 2024. Insights into fishery by-product application in aquatic feed and food: a review. Aquacult Int 32, 5851–5910 (2024). https://doi.org/10.1007/s10499-024-01447-x

والميكروبات.[30،31] وحاليًا، تتم اســتعادة هذه المكونات العالية القيمة بكميات صــغيرة من خلال عمليات إعادة تدوير الموارد الفعالة من حيث التكلفة. ولكن أساليب الاستخلاص الأكثر كفاءة يمكن أن تزيد من إنتاجيتها بشكل كبير.

38- وتشـكّل المنتجات الثانوية المتأتية من صـناعات تجهيز القشـريات (وخاصـةً الرؤوس والأصـداف) حوالي 75 في المائة من إجمالي وزن القشـريات (الروبيان، وسـرطان البحر، والجمبري، والكركند، والكريل). ويشـكِّل الكيتين ما بين 20 و58 في المائة من الوزن الجاف لهذه المنتجات الثانوية.[32] ويُتيح اسـتخلاص الكيتين من أصـداف القشـريات حلًا مُحتملًا للتقليل من المخلفات وإنتاج مُركّبات قيّمة. ويتميز الكيتين ومشـــتقاته بكونه مُتجدّدًا، ومتوافقًا حيويًا، وقابلًا للتحلّل الحيوي، وغير سامٍ. كما يُستخدم الكيتين ومشتقاته كمواد حيوية في مجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك الأغراض الطبية الحيوية (مثل الجلد الاصـطناعي، وتجديد العظام والغضـاريف)، وحفظ الأغذية (مثل الأغشـية الصـالحة للأكل)، والأغراض الصيدلانية (مثل صناعة الأدوية)، والزراعة[33] (مثل مبيدات الآفات الحيوية، والأسمدة الحيوية، والأغشية الزراعية لتغليف البذور والفواكه).[34]

39- ويجري حاليًا استكشاف استخدام قشور الأسماك وجلودها في صناعة النسيج.[35] وقد أدت الابتكارات في مجال الأزياء المســـتدامة إلى تطوير جلد الســـمك، وهو جلد متين وذو ملمس فريد. ويُســـتخدم هذا الجلد في صـــناعة الإكسسوارات كالحقائب والأحذية والأحزمة،[36] كما يُستخدم في صناعة المجوهرات وغيرها من الإكسسوارات في صناعة الأزياء.

المنتجات الثانوية السمكية ومخلفات تربية الأحياء المائية لإنتاج الأسمدة الحيوية

40- مع تزايد الطلب العالمي على الزراعة العضـــوية، تزداد الحاجة إلى حلول لأسمدة فعّالة ومراعية للبيئة. وتُعدّ المنتجات الثانوية السـمكية ومخلفات تربية الأحياء المائية، مثل المخلفات السـائلة والحمأة، غنية بالمغذيات مثل النيتروجين والفوسـفور، بالإضـافة إلى العناصـر النزرة، مثل البوتاسـيوم والكالسـيوم والمغنيسـيوم والحديد والنحاس والمنغنيز. ويمكن استعادة هذه المخلفات وتجهيزها لتحويلها إلى أسمدة حيوية للاستخدام الزراعي مع ضـمان معالجة مخاطر التلوث. وتُمكّن إعادة استخدام هذه المخلفات من إعادة تدوير هذه المغذيات من نظم إنتاج الأغذية المائية وإعادتها إلى الزراعة، ممّا يُعالج

[30] Gomez San Juan, M., Bogdanski, A. & Dubois, O. 2019. Towards sustainable bioeconomy - Lessons learned from case studies. Rome, FAO. 132 pp. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/5509d9e4-34f9-47ea-b312-7b40029fd66c/content

[31] Responsible Seafood Advocate. 2024. Circular economy: New tech turns fish waste into valuable pharma and cosmetic ingredients. www.globalseafood.org/advocate/circular-economy-new-tech-turns-fish-waste-into-valuable-pharma-and-cosmetic-ingredients/

[32] S.M. Kuddus, R.I.Z. Ahmad. 2013. Isolation of novel chitinolytic bacteria and production optimization of extracellular chitinase. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 11 (2013), pp. 39-46. https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2013.03.001

[33] Imen Hamed, Fatih Özogul, Joe M. Regenstein, 2016. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. Trends in Food Science & Technology, Vol. 48, 40-50. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224415002721

[34] Malerba M, Cerana R. 2019. Recent Applications of Chitin- and Chitosan-Based Polymers in Plants. Polymers (Basel). 2019 May 8;11(5):839. www.researchgate.net/publication/332993030_Recent_Applications_of_Chitin-_and_Chitosan-Based_Polymers_in_Plants

[35] Erh-Jen Hou, Chi-Shih Huang, Ying-Chou Lee, Hsueh-Ting Chu. 2022. Upcycled aquaculture waste as textile ingredient for promoting circular economy, Sustainable Materials and Technologies, Volume 31.

[36] The Sustainable Living Guide. 2024. The Rise of Fish Leather in the Fashion Industry. https://thesustainablelivingguide.com/fish-leather/

في الوقت نفسه مشكلة إدارة المخلفات في نظم الأغذية المائية، ويُقلّل من الآثار البيئية الناجمة عن التعدين والأسمدة الاصطناعية.

المنتجات الثانوية السمكية ومخلفات تربية الأحياء المائية لإنتاج الطاقة المتجدّدة

41- إنّ المنتجات الثانوية السمكية ومياه الصرف الصحي الناتجة عن بقايا الأسماك ومياه تربية الأحياء المائية، غنية بالمغذيات والمواد العضوية. ويمكن إعادة استخدامها لإنتاج الوقود الحيوي كمصدر للطاقة المتجدّدة.

42- فعلى سبيل المثال، يُعدّ الزيت المستخرج من المنتجات الثانوية لأسماك البلطي مصدرًا واعدًا لإنتاج الوقود الحيوي. فبإضافة محفزات كيميائية وكحوليات قصيرة السلسلة، يُمكن أسترة الزيت وتحويله إلى وقود حيوي.[37] وبالإضافة إلى ذلك، يُمكن استخدام المنتجات الثانوية السمكية كركائز لإنتاج الغاز الحيوي من خلال الهضم الحيوي اللاهوائي.[38]

43- وتُمثل الأعشاب البحرية مادة أولية واعدة ومستدامة لإنتاج الوقود الحيوي. فتوافرها الكبير، وتركيبتها القابلة للتخمير بسهولة، وإمكانية تحلّلها الجيدة تجعلها مرشحة مناسبة لتحلّ محلّ الوقود الأحفوري كمصدرٍ مفيدٍ للطاقة.[39، 40]

44- وغالبًا ما تخلِّف تربية الأحياء المائية المكثفة، مثل تربية الروبيان المكثفة، كميات كبيرة من المخلفات الصلبة على شكل حمأة شبه متدفقة، تحتوي على كتلة حيوية غنية بالطاقة والمغذيات. ويمكن معالجتها في وحدات هضم حيوي لاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي.[41]

دمج الطاقة المتجدّدة في تربية الأحياء المائية

45- مع تزايد الطلب على الممارسات المراعية للبيئة للتقليل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والبصمة الكربونية، تكتسب الأهمية المتزايدة لتحسين نظم تربية الأحياء المائية التي تعمل بالطاقة المتجدّدة اعترافًا متزايدًا في قطاع إنتاج الأغذية على المستوى العالمي.

46- ويؤدي احتدام المنافسة على موارد الأراضي، مع تزايد عدد سكان العالم، إلى استخدام الأراضي لغرضين إنتاجيين مختلفين، مثل دمج تربية الأحياء المائية مع الطاقة الكهروضوئية، ممّا يوفر نهجًا لزيادة كفاءة استخدام الأراضي.

47- وتتيح الطاقة الكهروضوئية المائية، حيث تُبنى الألواح الشمسية فوق أسطح مزارع تربية الأحياء المائية، إنتاجًا متزامنًا للحيوانات المائية والطاقة الشمسية. ويزيد استخدام الأراضي لغرضين إنتاجيين من كفاءة استخدامها، ممّا يُخفّف من حدة المنافسة المتزايدة على موارد الأراضي بين مختلف القطاعات.

---

[37] Lee, T. C. et al. 2022. Tilapia wastes to valuable materials: A brief review of biomedical, wastewater treatment, and biofuel applications. Mat. Today Proc. 57, 1389–1395. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.174

[38] Bücker, F., Marder, M., Peiter, M.R., Neutzling Lehn, D., Mendonça Esquerdo, V., de Almeida Pinto, L.A., & Konrad, O. 2020. Fish waste: An efficient alternative to biogas and methane production in an anaerobic mono-digestion system. Renewable Energy, Volume 147, Part 1, Pages 798-805. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.140

[39] Zhao, Y., Bourgougnon, N., Lanoisellé, J-L., and Lendormi, T. 2022. Biofuel Production from Seaweeds: A Comprehensive Review. Energies. 2022; 15(24):9395. https://doi.org/10.3390/en15249395

[40] Alvarado-Ramírez, L., Santiesteban-Romero, B., Poss, G., Sosa-Hernández, J.E., Iqbal, H.M.N., Parra-Saldívar, R., Bonaccorso, A.D. & Melchor-Martínez, E.M . 2023. Sustainable production of biofuels and bioderivatives from aquaculture and marine waste Frontiers in Chemical Engineering, vol. 4, 1072761. https://doi.org/10.3389/fceng.2022.1072761

[41] Rittiron, T. and Wannakomol, A. 2015. The biogas production from shrimp farming waste. Suranaree J. Sci. Technol. 23(2):85-90. www.thaiscience.info/Journals/Article/SJST/10984547.pdf

48- ويوفر دمج الطاقة الشمسية في مزارع تربية الأحياء المائية حلًا بديلًا للطاقة خارج الشبكة، وهو أمر بالغ الأهمية لعمليات تربية الأحياء المائية في المناطق النائية أو حيث تكون شـــبكات الكهرباء غير متاحة، أو حيث تكون إمدادات الكهرباء غير موثوقة.

49- وأدّت التطورات الأخيرة في دمج الطاقة الشـمسـية في تربية الأحياء المائية إلى اختراع مهويات أحواض شمسـية، توفر طريقة مراعية للبيئة وفعالة من حيث التكلفة لتهوية الأحواض.

50- ويقلّل دمج مصـــادر الطاقة المتجدّدة في ممارســـات تربية الأحياء المائية من اعتماد تربية الأحياء المائية على إمدادات الطاقة من الوقود الأحفوري، ويقلّل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، ويؤدي إلى انخفاض كبير في البصمة الكربونية، ويخفّض من التكاليف التشغيلية لتربية الأحياء المائية، وبالتالي يضطلع بدور حاسم في تعزيز كفاءة تربية الأحياء المائية ونهجها الدائري.

المشاكل والقيود والتحديات

51- يُمثل دمج مبادئ النهج الدائري في تربية الأحياء المائية فرصـةً واعدةً لتحسـين كفاءة الموارد، والتقليل من الآثار البيئية، وتعزيز الاسـتدامة والربحية على حدٍّ سـواء. ولكن الانتقال إلى ممارسـات النهج الدائري في سـلاسـل قيمة تربية الأحياء المائية تصاحبه مجموعة من التحديات والقيود والمشاكل التي يجب التغلّب عليها لتحقيق النجاح المنشود.

الحواجز السياساتية والتنظيمية

52- غالبًا ما تكون السياسـات واللوائح التنظيمية الموجودة فضـفاضـة للغاية، ولا تُناسـب دعم أو تشـجيع مبادرات الاقتصاد الدائري في مجال تربية الأحياء المائية بفعالية. ويمكن وضع سياسات تدعم على وجه التحديد تربية الأحياء المائية القائمة على النهج الدائري بالاستناد إلى الإطار السياساتي والتشريعي الحالي.

53- وإنّ بعض السياسات واللوائح التنظيمية عفا عليه الزمن، ممّا يعيق تطبيق الممارسات المستدامة، ويتسبب في تردّد أصـحاب المصـلحة في اعتماد نماذج قائمة على النهج الدائري. ومن الأهمية بمكان مراجعة هذه اللوائح وتحديثها، لا سيما في ضـوء التطورات التكنولوجية الأخيرة وتأثيرها على الاسـتفادة من المنتجات الثانوية ومخلفات النظم الغذائية وخلق قيمة لها.

54- ولم يتم بعد وضـع تعريفات واضـحة على وجه التحديد للاسـتراتيجيات والنهج الدائرية في تربية الأحياء المائية، كما لم يُحدّد بعد إطار عمل للاقتصـاد الدائري لتربية الأحياء المائية. ويؤدي هذا الافتقار إلى الوضـوح إلى لُبس وتحديات في رصد الممارسات وآثارها، وتقييمها وتنظيمها.

تعقيد التكنولوجيا

55- يتضـمن تطوير تربية الأحياء المائية القائمة على النهج الدائري إعادة تصـميم نظم الإنتاج بالاسـتناد إلى المبادئ الإيكولوجية، مع التركيز أوّلًا على إعادة النظر في طريقة الإنتاج والاســتخدام، ثم على منع المهدر والحدّ منه، وأخيرًا على إعادة استخدام الموارد وإعادة تدويرها. وتشمل تربية الأحياء المائية مجموعة واسعة من الأنواع ونظم الاستزراع والموارد، ممّا يُشكّل تحديًا في تطوير التكنولوجيات والابتكارات اللازمة لمعالجة هذا التعقيد.

56- وتتطلّب تربية الأحياء المائية المتكاملة، التي تشـــمل إنتاج أنواع متعددة، مجموعة متنوعة من المعارف والمهارات لإدارة مختلف عناصر الاستزراع بفعالية. ويُشكّل ذلك تحديات كبيرة، لا سيما للمزارعين أصحاب الحيازات الصغيرة.

57- وتتفاوت القيّم البيولوجية وجودة المنتجات الثانوية الســمكية ومخلفات تربية الأحياء المائية تفاوتًا كبيرًا. ويتطلّب خلق قيمة لهذه الموارد تطوير واستخدام تكنولوجيات ومرافق متخصصة، وتكييفها مع السياق المحلي.

عدم كفاية البنية التحتية

58- يُشـــكّل عدم كفاية البنية التحتية اللازمة لجمع المخلفات ونقلها وتخزينها ومعالجتها وتجهيز المنتجات الثانوية بشـــكل منهجي عوائق كبيرة أمام إنشـــاء نظم دائرية في ســـلاســـل قيمة تربية الأحياء المائية. وغالبًا ما تفتقر مزارع تربية الأحياء المائية إلى مرافق لمعالجة المخلفات وخلق قيمة لها.

القيود المالية

59- ويتطلّب التحوّل إلى نموذج دائري في تربية الأحياء المائية اســتثمارات أولية في التكنولوجيا والبنية التحتية، ممّا قد لا يضمن عوائد مالية فورية. ويمكن لعدم اليقين الاقتصادي هذا أن يثني المنتجين عن تبني ممارسات مستدامة رغم فوائدها على المدى الطويل.

60- وغالبًا ما تكون المنتجات المتأتية من النماذج الدائرية لتربية الأحياء المائية أكثر تكلفة بسبب ارتفاع تكلفة إعادة التجهيز والإمدادات المحدودة، أو التكلفة الإضافية المرتبطة بإعادة استخدام المخلفات وإعادة تدويرها والحدّ منها.

الفجوات في مجال الوعي

61- لقد وضـع مفهوم الاقتصـاد الدائري في مطلع سـبعينيات القرن الماضـي. ولكن الربط الهادف والترابط المفاهيمي بين الاقتصـــاد الدائري وتربية الأحياء المائية يُعدّ تطورًا حديثًا نســـبيًا. ويمكن للفجوات في المعرفة في ما بين أصـــحاب المصلحة في تربية الأحياء المائية في ما يتعلق بمبادئ النهج الدائري إعاقة التنفيذ. وإنّ المبادرات التثقيفية أساسية لتشجيع الممارسات المستدامة والتأكيد على فوائد النظم الدائرية.

عدم كفاية التعاون بين أصحاب المصلحة

62- يتطلّب التطبيق الناجح للممارســات الدائرية تعاونًا بين مختلف أصــحاب المصــلحة، بما في ذلك المســتزرعون والقائمون على التجهيز وصـــانعو الســـياســـات والباحثون. وقد يكون خلق بيئة تعاونية أمرًا صـــعبًا نظرًا إلى اختلاف الأولويات والاهتمامات عبر القطاع، ومع القطاعات الأخرى ضمن اقتصاد حيوي شامل.

الدروس المستفادة وآفاق المستقبل

وضع السياسات

63- تكتسي السياسات والأطر التنظيمية المواتية أهمية بالغة لتهيئة بيئة سياساتية تمكينية لتطوير الاقتصاد الدائري في تربية الأحياء المائية. وينبغي أن يكون صانعو السياسات على دراية تامة بأحدث التطورات والابتكارات التكنولوجية لضمان استناد أي إصلاحات سياساتية إلى أدلة علمية.

64- ويتم تشجيع وضع السياسات لاستعراض وتحسين السياسات واللوائح التنظيمية الحالية من أجل تحقيق ما يلي: (1) تحفيز تطوير التكنولوجيا الدائرية، واستخدام المنتجات المستمدة من الممارسات الدائرية؛ (2) وتعزيز التعاون والعمل المشترك بين أصحاب المصلحة، مثل المزارعين والقائمين على التجهيز وصانعي السياسات وقادة القطاع والباحثين.

65- وتُعدّ تربية الأحياء المائية جزءًا لا يتجزأ من استراتيجيات الاقتصاد الأحيائي. ويدعم وجود إطار عمل شامل للاقتصاد الأحيائي تهيئة بيئة مواتية للاستثمار في الابتكارات المتعددة القطاعات التي تخلق قيمة للمخلفات والمنتجات الثانوية.

66- وعلى المستوى الدولي، ينبغي للبلدان أن تسعى إلى ضمان التنسيق والاعتراف المتبادل بالسياسات واللوائح التنظيمية المتعلقة بمخاوف الأمن الحيوي وسلامة الأغذية المرتبطة باستخدام المنتجات المستمدة من الممارسات الدائرية.

67- ويمكن تحقيق الاتساق السياساتي بين مختلف القطاعات الوطنية وكذلك مع الالتزامات الدولية من خلال وضع استراتيجيات شاملة للاقتصاد الحيوي.

68- وينبغي التعامل مع تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري في تربية الأحياء المائية بطريقة مختلفة، ومصمّمة خصيصًا للسياق المحدّد للأقاليم، وأنواع تربية الأحياء المائية (تربية الأحياء المائية في المياه العذبة مقابل تربية الأحياء المائية البحرية)، ومقاييس عمليات تربية الأحياء المائية.

التكنولوجيا والابتكار

69- لطالما توافقت تربية الأحياء المائية، تاريخيًا، مع المبادئ الأساسية للنُهج الدائرية من خلال نظم متكاملة متنوعة. ولكن لتعزيز قابليتها للتدوير، هناك حاجة إلى مزيد من التقدم التكنولوجي والابتكار لتحسين أو وضع نظم جديدة لتربية الأحياء المائية تتسم بكفاءة استخدام الموارد، وتجربة منتجات جديدة أو مُحسّنة، وإعادة دمج التدفقات الثانوية في خطط الإنتاج. ويمكن لنماذج أعمال الاقتصاد الأحيائي أن تساعد في تحديد الفرص المشتركة بين القطاعات، وأن تُسهّل دمج مبادئ النهج الدائري في تصميم أنشطة الإنتاج والتجهيز.

70- وتُعتبر معرفة تركيبة (المغذيات والمواد الملوثة) المواد الخام، مثل المنتجات الثانوية السمكية أو بقايا تربية الأحياء المائية، أمرًا بالغ الأهمية لتحسين استخدام هذه المواد الخام بطريقة آمنة من حيث صحة الإنسان والحيوان وسلامة البيئة، فضلًا عن كونها مجدية من الناحية الاقتصادية، وهي تدعم جميع ركائز الاقتصاد الأحيائي المستدام.[42]

[42] FAO. 2021. Aspirational Principles and Criteria for a Sustainable Bioeconomy. Rome, FAO. 16 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb3706en

71- وينبغي تطوير والنهوض بالتكنولوجيات البسيطة والمنخفضة التكلفة التي يمكن استخدامها بأقل استثمار وعلى نطاق صغير (مثل إنتاج سيلاج الأسماك).

72- وقد شكّلت الابتكارات الحديثة، مثل إنتاج مساحيق الحشرات والطحالب الدقيقة للأغذية والأعلاف واستخدام المنتجات الثانوية السمكية في أعلاف الأحياء المائية وخلق قيمة لها وتطوير نظم استزراع متكاملة مبتكرة، القوى الدافعة والعوامل الممكِّنة الأساسية لانتقال تربية الأحياء المائية من النماذج الخطية التقليدية، مثل "الإنتاج والاستهلاك"، إلى نموذج دائري بدرجة أكبر.

73- وينبغي تهيئة بيئة سياساتية مواتية لتشجيع التطور التكنولوجي وتحفيز الابتكار ورعايته وتوسيع نطاقه لتعزيز النهج الدائري في سلاسل قيمة تربية الأحياء المائية.

الرصد والتقييم

74- يُعتبر الرصد الفعال أمرًا بالغ الأهمية لضمان استيفاء النظم والتكنولوجيات والمنتجات الجديدة لمتطلبات الأمن الحيوي وسلامة الأغذية والبيئة مع تعظيم كفاءة استخدام الموارد وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير والحدّ من المخلفات في نفس الوقت.

75- وينبغي وضع آليات تقييم مناسبة، بالإضافة إلى تطوير بعض الأدوات الحالية، مثل تقييم دورة الحياة (LCA)، لوضع مؤشرات كمية للنهج الدائري ومساهمتها في الاقتصاد الأحيائي. ويمكن استخدام هذه المؤشرات لتشجيع الاستثمار وتحفيز الممارسات الدائرية والمنتجات المشتقة.

الوعي العام

76- غالبًا ما يرتبط استخدام المنتجات الثانوية السمكية ومكونات الأعلاف البديلة، إلى جانب إعادة تدوير المخلفات وخلق قيمة لها في تربية الأحياء المائية، بالأمن الحيوي، ومخاوف سلامة الأغذية، وقضايا القبول الاجتماعي. ولمواجهة هذه التحديات، من الضروري ضمان وعي الجمهور وتثقيفه بفوائد التدوير والمنتجات المشتقة من عمليات الإنتاج الدائري. وإضافةً إلى ذلك، من شأن رفع مستوى الوعي وإشراك الجمهور في مجال الاستدامة تحفيز طلب المستهلكين على منتجات تربية الأحياء المائية من مصادر مسؤولة. وهذا، بدوره، يمكنه أن يعزّز حوافز السوق للمنتجين للانتقال نحو عمليات إنتاج دائرية بدرجة أكبر، ممّا يعزز قطاع تربية أحياء مائية أكثر استدامة وقدرة على الصمود.

دور منظمة الأغذية والزراعة في تربية الأحياء المائية القائمة على إعادة التدوير

77- تُعدّ منظمة الأغذية والزراعة منصة حكومية دولية لتبادل المعلومات، والحوار في مجال السياسات، وتبادل المعرفة. وهي تدعم وتُسهّل بنشاطٍ وضع السياسات واللوائح التنظيمية والخطوط التوجيهية التي تُدمج مبادئ التدوير في سلاسل قيمة تربية الأحياء المائية. ولتعزيز التدوير في تربية الأحياء المائية، تقف المنظمة على أهبة الاستعداد لتزويد الحكومات بالمساعدة الفنية في تنفيذ إصلاحات السياسات، مثل الإعانات الموجّهة، والحوافز الضريبية، ومعايير السلامة، وإصدار الشهادات. وينبغي تكملة هذه الإصلاحات بزيادة الاستثمارات، والتنفيذ الفعال للمشاريع، وإنتاج ونشر منتجات

معرفية. وعلاوةً على ذلك، تُولي المنظمة الأولوية للشراكات المتعددة أصحاب المصلحة على المستويات العالمية والإقليمية والوطنية ودون الوطنية. وتهدف هذه الشراكات إلى النهوض بقطاع تربية أحياء مائية أكثر استدامة وقدرة على الصمود.

78- ويُعدّ **الاقتصاد الأحيائي من أجل أغذية وزراعة مستدامة** مجال أولوية برامجية في الإطار الاستراتيجي للمنظمة للفترة 2022–2031، يوجِّه جهودها الهادفة إلى تحويل النظم الزراعية والغذائية والنهوض بعالم آمن غذائيًا للجميع.

79- وتحدّد **خارطة طريق التحوّل الأزرق**[43] للمنظمة استراتيجية شاملة لإعادة تشكيل النظم الغذائية المائية، مع التركيز على تكثيف تربية الأحياء المائية المستدامة، وتحسين إدارة مصايد الأسماك، وتحديث سلاسل قيمة المنتجات المائية (بما في ذلك الحدّ من الفاقد والمهدر من الأغذية)، وذلك في سياق التدابير اللازمة للتكيف مع تغير المناخ والحدّ من آثاره. كما تُشدّد على الحاجة إلى حوكمة أقوى وزيادة الاستثمار في هذا القطاع. وإنّ الإجراءات الموصى بها في خارطة الطريق لعمليات تربية الأحياء المائية وسلاسل قيمة الأغذية المائية تتوافق بشكل وثيق مع مبادئ الاقتصاد الدائري، وتُسهم في بناء اقتصاد أحيائي مستدام. ولتعزيز فعالية النُهج الدائرية، تدعو خارطة الطريق إلى مواصلة تطوير المقاييس والمعايير في المجالات الرئيسية، وتوسيع نطاق الاستثمار في ممارسات خلق قيمة للمنتجات الثانوية، وتوسيع نطاق نظم تربية الأحياء المائية المتكاملة، واعتماد تكنولوجيات مبتكرة، واستخدام الطاقة المتجدّدة. وستُساعد هذه الجهود على تحسين استخدام الموارد، والتقليل من المهدر، والنهوض بقطاع تربية أحياء مائية أكثر استدامة وقدرة على الصمود.

80- وتوفر **الخطوط التوجيهية للتربية المستدامة للأحياء المائية** (الوثيقة COFI:AQ/XIII/2025/INF.11) إطارًا شاملًا لإدارة ممارسات التربية المستدامة للأحياء المائية وتطويرها. وتُشدّد الخطوط التوجيهية على تكامل مبادئ النهج الدائري، التي تتوافق مع أهداف تحقيق الاستدامة في الاستخدام، والإدارة المسؤولة، وصون النظم الإيكولوجية المائية والتنوع البيولوجي واستعادتهما، بالإضافة إلى التخفيف من آثار تغير المناخ.

[43] FAO. 2022. Blue Transformation – Roadmap 2022–2030: A vision for FAO's work on aquatic food systems. Rome. https://doi.org/10.4060/cc0459en