



## نقش بایوچار در بهبود عملکرد و کاهش اثرات محیط زیستی آبرزی پروری

سارا ملاعلی عباسیان<sup>۱</sup>، محمد باباپور<sup>۲\*</sup>

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۲- نویسنده مسئول: پژوهشکده میگو کشور، موسسه تحقیقات و علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران

\*ایمیل نویسنده مسول: m.babapour@areeo.ac.ir

### چکیده

بخش بزرگی از مزارع آبرزی پروری موجود در سرتاسر دنیا بر استخرهای خاکی استوار است. بکار بردن کود برای افزایش تولید اولیه یا خوراک دهی زیاد به دلیل افزایش تراکم کشت در این استخرها؛ مشکلات زیادی را در زمینه مدیریت خاک کف بستر و همچنین پایداری کیفیت آب ایجاد کرده است که با توسعه روز افزون آبرزی پروری این مشکلات روند تصاعدی داشته و در بسیاری از موارد زمینه ساز بروز و شیوع همه گیری ها و ایجاد بحران های اقتصادی در صنعت آبرزی پروری می شود. از طرفی پساب خروجی از این نوع مزارع یا انواع دیگر نیز نیازمند تصفیه قبل از ورود به محیط زیست می باشد. بایوچار به عنوان یک جاذب زیستی در دسترس، ارزان و سازگار با محیط زیست می تواند علاوه بر تقلیل این مشکلات در درون استخرها یا آب های بازجری یا پساب های خروجی؛ زمینه های دیگری نیز کاربرد داشته باشد. برخی از این زمینه های مطالعه شده یا بالقوه در این مطالعه ذکر شده است که از جمله می توان به کارکرد کنترل کننده ترکیبات نیتروژن دار در سیستم های آبرزی پروری، استفاده در جیره غذایی، استفاده به عنوان کود برای بارورسازی استخرها، ظرفیت نگهداری میکروب ها، جذب آلاینده های محیطی مثل فلزات سنگین، ترسیب کربن، کنترل در دسترسی مواد مغذی در استخرهای با تولید اولیه و... نام برد. با توجه به تکنیک ها و مواد مختلف قابل استفاده و توسعه این موارد به نظر می رسد بایوچار به عنوان یکی از راهکارهای آینده در آبرزی پروری بایستی مورد توجه قرارگیرد و پژوهش های متعدد در جنبه های مختلف آن انجام گیرد.

**واژه های کلیدی:** بایوچار، بهبود آبرزی پروری، تصفیه آب، استخرهای خاکی، اثرات محیط زیستی.

### ۱- مقدمه

یکی از مسائل جدی پیش روی جهان امروز، تغییرات آب و هوایی است [۱]، که در حال تبدیل شدن به یک تهدید مهم برای کره زمین است (افزایش گرمایش جهانی بر توسعه کشاورزی تأثیر منفی می گذارد و موجب بلایای شدید آب و هوایی، خشکسالی و فرسایش خاک می شود [۲]. در اقتصادهای دایره ای، اجرای راه حل های مدیریت زیست محیطی موثر برای رفع کاهش منابع ضروری است. طی چند سال گذشته، پتانسیل ضایعات محصولات کشاورزی در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) و ارتقای بی طرفی جهانی کربن به رسمیت شناخته شده است. تبدیل پسماندهای آلی به بایوچار می تواند یکی از تکنیک های دفع بی خطر آن باشد. پرکاربردترین روش برای ایجاد بایوچار، پیرولیز نامیده می شود، یک روش ترموشیمیایی که در آن یک ماده اولیه آلی تحت شرایط بی هوازی یا بدون اکسیژن کم یا بدون وجود اکسیژن تجزیه می شود [۳]. از ویژگی های بایوچار می توان به مساحت سطح ویژه بالا، حاوی کربن غنی، ساختار بسیار متخلخل، مقاومت ناپذیر و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا اشاره کرد [۴] که با استناد از این دلایل می توان از آن در محیط زیست مانند توقف کربن [۵]، اصلاح خاک و تصفیه آب استفاده نمود [۶]. یکی از گزینه های مناسب برای توقف کربن در خاک، بایوچار است که می تواند از طریق طیف وسیعی از نهاده ها از جمله بقایای گیاهی، لجن فاضلاب، زباله های شهری و محصولات جانبی صنعتی (مانند قطعات کارخانه های چوب بری) تولید

شود. این ورودی‌ها در شرایط بدون اکسیژن (پیرولیز<sup>۱</sup>) حرارت داده می‌شوند تا بایوچار تولید کنند؛ سه محصول اصلی پیرولیز: مایع (سوخت زیستی<sup>۲</sup>)، بایوچار و گاز، می‌توانند چرخه کربن (C) را از دو طریق تحت تأثیر قرار دهند [۷]. تغییرات در فرایند پیرولیز تأثیر زیادی بر کیفیت بایوچار، پتانسیل کارایی آن در کشاورزی و توانایی آن در توقف کربن دارد. بایوچار شکل پایداری از کربن است که می‌توان آن را به خاک‌های کشاورزی اضافه کرد. بایوچار بدلیل تخلخل زیاد، سطح ویژه بالایی داشته و می‌تواند اثرات مثبتی در حفظ و نگهداری رطوبت و پویایی عناصر غذایی در خاک داشته باشد [۸]. بایوچار بدلیل چگالی ظاهری بسیار کمتر در مقایسه با خاک‌های معدنی می‌تواند بر چگالی ظاهری خاک تأثیر بگذارد و آن را کاهش دهد. به نظر می‌رسد اصلاح خاک با بایوچار می‌تواند زمینه را برای حفظ بیشتر آب و مواد مغذی برای تولید محصول بیشتر فراهم کند و می‌تواند بعنوان یک راهکار مناسب در مدیریت پایدار محیط زیست و حفاظت از خاک مورد توجه باشد اما به طور کلی، بایوچار مناسب ترکیبی است که شوری آن کم و مقدار ظرفیت نگهداشت آب، عملکرد و کربن پایدار در آن بالا باشد [۹].



شکل ۱: کاربردهای موجود و بالقوه بایوچار در آبی پروری

## ۲- استفاده از بایوچار در تصفیه آب تازه، برگشتی، پساب خروجی

بایوچار به دلیل ظرفیت آن در جذب و کاتالیز طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در فاضلاب، ابزار مفیدی برای اصلاح محیط زیست است. دلیل این امر به دلیل مساحت سطح وسیع، تخلخل قابل توجه و گروه‌های عاملی قابل توجه آن است [۱۰]. کاربردهای بایوچار در سیستم آبی‌پروری بسیار گسترده است. با استفاده از بایوچار خاک اره و به دنبال آن بایوچار پوسته برنج در استخرهای پرورش ماهی، از محتوای فلزات سنگین آب کاسته شده و تجمع آنها در اندام‌های ماهی نیز کاهش می‌یابد. بایوچار به طور گسترده به عنوان یک جاذب برای حذف فلزات سمی، آلاینده‌های آلی و مواد مغذی از پساب‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی به عنوان فیلتر آب، بخصوص برای آب آشامیدنی یا آب پرورش آبیان استفاده می‌شود. فناوری بایوچار یک راه حل جدید، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای تصفیه پساب‌ها می‌باشد [۱۱]. بایوچار می‌تواند به عنوان یک جاذب کارآمد و سازگار با محیط زیست برای جذب سطحی مورد استفاده قرار گیرد، پودر بایوچار می‌تواند ریزآلاینده‌ها را از آب آشامیدنی و فاضلاب تصفیه‌شده به ترتیب در محدوده ۶۷٪، ۹۹٪ و ۳۵٪ تا ۹۷٪ حذف می‌کند [۱۲]. این قابلیت بایوچار به مواد اولیه مورد استفاده برای تولید بایوچار وابسته است که می‌تواند آن را به یک جاذب ایده‌آل تبدیل کند و به عنوان یک بیوفیلتر و در محل برای سیستم‌های تصفیه فاضلاب خانگی استفاده شود [۱۳]. بایوچار به عنوان یک بهبود دهنده خاک، یک منبع کربن مقاوم در خاک ایجاد می‌کند. در خاک‌های اصلاح شده با بایوچار با بهبود ظرفیت نگهداری مواد مغذی میزان نیاز کل کود کاهش می‌یابد و به این ترتیب اثرات زیست‌محیطی کوددهی در کشاورزی یا پرورش تلفیقی ماهیان کپور و ... را نیز کاهش می‌دهد. در خاک‌های کلسینه شده، انتشار اکسید نیتروژن به میزان ۵۰ تا ۸۰ درصد کاهش می‌یابد و فسفر رواناب در آب‌های سطحی و آبشویی نیتروژن در آب‌های زیرزمینی کاسته می‌شود. از بایوچار و ژئولیت به عنوان یکی از روشهای نیترات‌زدایی پساب‌های آبی‌پروری استفاده می‌شوند. لذا برای حذف نیترات، ژئولیت و بایوچار روش جایگزین پایداری از لحاظ زیست‌محیطی هستند [۱۴، ۱۵]. در پژوهشی در این زمینه مشخص شد که غلظت  $\text{NO}_3$  خاک با افزودن بایوچار در تمام تیمارهای کودی ۱۶ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، کاربرد بایوچار در مقایسه با تیمار مشابه بدون بایوچار پس از کاربرد کود

1- pyrolysis

2- bio-oil



اوره و  $\text{NO}_3$ ، انتشار تجمعی  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{NO}_2$  را کاهش داد و تنها انتشار  $\text{NO}_2$  پس از کاربرد کود  $\text{NH}_4$  کاهش یافت. انتشار  $\text{N}_2\text{O}$  بیشتر بود. در دمای بالا در مقایسه با دمای پایین پیرولیز کاهش یافت.

بایوچار به عنوان یک بهبود دهنده خاک، کارایی کودهای شیمیایی سنتی را به طور قابل توجهی افزایش می دهد و تقاضا را کاهش می دهد و در عین حال عملکرد محصول را به طور قابل توجهی افزایش می دهد. افزودن بایوچار (باگاس نیشکر) به آب،  $\text{NH}_4$ ،  $\text{NO}_3$ ،  $\text{PO}_4$  تولید اولیه را افزایش می دهد و در نتیجه نوسانات شدید قلیائیت را تثبیت می کند. بایوچار می تواند در آب شور داخلی (ISW) میزان کمبود ماده حیاتی پتاسیم را بدون تغییرات قابل توجه در رسوب، افزایش دهد [۱۵]. در پژوهش دیگری بایوچار به عنوان عاملی مؤثر برای حذف آمونیاک از استخرهای پرورش ماهی مطرح شد [۱۶].

### ۳- استفاده از بایوچار در مدیریت کیفیت آب در داخل استخرهای پرورشی

مدیریت کیفیت آب مهم ترین جنبه ی تجارت آبرزی پروری است که نیازمند سرمایه گذاری و نظارت صحیح و مستمر می باشد. در در پژوهشی بر بایوچار تولید شده از بستر قارچ مصرف شده (SMS) در دمای پیرولیز ۴۰۰ درجه سانتیگراد مشخص شد که این بایوچار به طور مؤثری آمونیاک موجود در آب را حذف می کند و در کاهش آمونیاک و سولفید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) رسوبات نیز بسیار مؤثر است [۱۷]. همچنین بایوچار می تواند مقدار pH آب و رسوبات را افزایش دهد، و برای کاهش مشکل اسیدی شدن در استخر استفاده شود [۱۸]. بایوچار تولید شده از فلس ماهی تیلاپیا (پیرولیز آهسته در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد) یون های مس را از آب جذب می کند [۱۹]. استفاده از بایوچار در خاک، انتشار گازهای گلخانه ای مانند اکسید نیتروژن در خاک های زراعی و متان در خاک شالیزارهای تالابی را کاهش می دهد [۲۰].

### ۴- استفاده از بایوچار در حذف آنتی بیوتیک ها از پساب

استفاده بیش از حد از آنتی بیوتیک هایی از قبیل تتراسایکلین (TET)، فلورام فنیکل، لووفلوکساسین (LEV)، فلوروکینولون و ... و ورود آنها به آب های سطحی مانند رودخانه ها و دریاچه ها، نگرانی های عمده ای را در مورد سلامت آبزیان و محیط زیست ایجاد کرده است؛ چرا که حذف این آنتی بیوتیک ها از محیط زیست، کار بسیار دشواری است. پژوهش های قبلی، قدرت بایوچار را به عنوان یک ماده جاذب مناسب نشان داده است. ظرفیت جذب بایوچار به ماده ای که برای تولید بایوچار استفاده می شود، بستگی دارد. بایوچار تهیه شده از پوسته برنج و تراشه چوب می تواند LEV را از محلول آبی حذف کند [۲۱]. متعاقباً، بایوچار مشتق شده از کاه برنج می تواند تتراسایکلین را از محلول آبی حذف و یا جذب کند [۲۲]. بایوچار تولید شده از استخوان ماهی تیلاپیا برای جذب تتراسایکلین مؤثر است [۲۳]. بایوچار تولید شده از بامبو آنتی بیوتیک های فلوروکینولون (انروفلوکساسین و افلوکساسین) را در فاضلاب جذب می کند، به نحوی که بیش از ۹۹٪ از آنتی بیوتیک های فلوروکینولون از طریق جذب سطحی از فاضلاب مصنوعی حذف شدند [۲۴]. بایوچار تولید شده از کود گاومیش، تتراسایکلین ها و فلوروکینولون ها را از آب حذف می کند [۲۵]. بایوچار تولید شده از سه ماده، پسماندهای زیستی، کود گاوی و تفاله قهوه مصرف شده، می تواند با موفقیت برای رفع آلودگی محلول های آبی حاوی TET، اریتروماکسین (ERY)، کلاریترومایسین (CLA)، تری متوپریم (TMP)، آمپی سیلین (AMP)، افلوکساسین (OFL) و سولفامتوکسازول (SMX) در غلظت های مشابه با غلظت های موجود در محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. راندمان حذف این آنتی بیوتیک ها از محلول آبی توسط بایوچار؛ تا حد زیادی به مقدار pH محیط، نوع آنتی بیوتیک ها و ویژگی های فیزیکوشیمیایی و ساختاری جاذب ها بستگی دارد [۲۶].

### ۵- استفاده از بایوچار به عنوان عامل کنترل کننده سیستم های آبرزی پروری

بایوچار به عنوان یک کربن جامد برای کنترل اثرات سمی ترکیبات نیتروژن دار، برای استفاده در سیستم های فناوری بیوفلاک مبتنی بر تیلاپیا (BFT) مناسب است. بایوچار می تواند به عنوان یک منبع کربن جایگزین برای BFT عمل کند. بایوچار در آزادسازی کربن به صورت آهسته عمل می کند و در حالی که حلالیت بالای گلوکز میزان زیادی کربن را به سرعت در محیط



رها می کند؛ هر دو این ویژگی ها می توانند در مواقع خاص مزایا و معایبی داشته باشند، نتایج استراتژی هایی کاربرد تلفیقی آنها امیدوارکننده است [۲۷، ۲۸]. بایوپار تولید شده از ضایعات کشاورزی (پوست اکالیپتوس، پوسته بادام زمینی، پوسته گردو، هسته هلو، دانه انگور و ضایعات زیتون) قادر به جذب و یا حذف ماده بی حس کننده ماهی Ms-222 از آب یا سیستم آبیاری پروری چرخشی (RAS) است، با وجود اینکه این ماده میل ترکیبی زیادی به فاز آبی دارد [۲۹]. بایوپار به عنوان یک اصلاح کننده خاک برای بهبود عملکرد، بهبود کیفیت آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از خاک، کاهش آلودگی مواد مغذی، کاهش اسیدیته خاک و کاهش نیاز به آبیاری و کود در سیستم تولید آبیاری پروری استفاده می شود [۳۰]. بایوپار تولید شده از حرا برای کاهش آلودگی نیتروژن در رسوبات استخر پرورش میگو بسیار مفید گزارش شده است. افزودن ۸٪ بایوپار هم حجم آب تجمع و هم آلودگی نیتروژن از رسوبات را کاهش داد. افزایش محتوی بایوپار، فراوانی نسبی باکتری های نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون را در رسوبات افزایش داد [۳۱].

### ۶- استفاده از بایوپار در جیره غذایی ماهی

بایوپار حاوی سطح بالایی از مواد مغذی است. در بایوپار تولید شده از ریز جلبک ها، سطح بالایی از پروتئین و کربوهیدرات حفظ شده بود و لذا به عنوان مکمل خوراک دام می تواند مورد استفاده قرار گیرد [۳۲]. در مطالعات محدودی استفاده از بایوپار در پرورش ماهی به عنوان خوراک بررسی شده است [۳۳]. برخی از محققان گزارش داده اند که بایوپار به عنوان خوراک، رشد را از نظر افزایش وزن، نرخ رشد ویژه (SGR)، نرخ تبدیل غذا (FCR) و نسبت بازده پروتئین در برخی از گونه های ماهی افزایش می دهد. در پژوهشی با افزودن ۵۰ درصد بایوپار تهیه شده از بامبو، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه (SGR)، نرخ تبدیل غذا (FCR) و نسبت بازده پروتئین را در ماهی پهن ماهی ژاپنی جوان (*Paralichthys olivaceus*) به طور قابل توجهی افزایش داده است [۳۴]. در پژوهشی بر ماهی قزل آلا قهوه ای (*Salmo trutta*) نیز با تغذیه با ۳۰-۲۰ درصد بایوپار در جیره غذایی، افزایش وزن نهایی بدن، نرخ رشد ویژه (SGR) و نرخ تبدیل غذا (FCR) بالاتری را نشان داد [۳۵]. همچنین پژوهشی مشخص شد که که افزودن ۲ درصد بایوپار بامبو به رژیم غذایی روزانه گربه ماهی راه راه (*Pangasius hypophthalmus*) به طور قابل توجهی وزن بدن، میزان بقا، FCR و SGR آنها را افزایش می دهد [۳۶]. پژوهش مشابهی با استفاده از ۱٪ بایوپار پوسته برنج برای تغذیه گربه ماهی راه راه انجام و نرخ رشد بالاتری (۳۶٪) گزارش شد [۳۷]. اما افزودن ۱٪ تا ۴٪ بایوپار بامبو به رژیم غذایی کپور معمولی انگشت قد؛ هیچ تأثیر قابل توجهی بر عملکرد رشد کپورها نداشت اما، در شاخص های سرم مانند آلانین آمینوترانسفراز، آسپاراتات آمینوترانسفراز، پروتئین کل، تری گلیسیرید، کلسترول کل، لیپوپروتئین با چگالی بالا (HDL) و گلوکز ارتقا مشاهده شد که نشان دهنده افزایش کیفیت و سلامت ماهی است [۳۸].

### ۷- استفاده از بایوپار در تولید کودهای سازگار با محیط زیست برای بارورسازی استخرها

در آبیاری پروری مبتنی بر تولید اولیه مانند پرورش ماهیان گرمابی، مقدار زیادی کود برای تولید و کسب سود بیشتر استفاده می شود. اما مقدار بیشتر کود، منجر به پساب غنی از فسفر می شود. کودهای مصنوعی مدت هاست که برای بهبود بهره وری خاک کشاورزی و یا القا تولید اولیه در استخرهای پرورشی مورد استفاده قرار می گیرند، برخی از آنها به محیط می روند و گازهای گلخانه ای (GHG) منتشر می کنند [۳۹]. بایوپار استفاده شده همراه با فسفر می تواند به عنوان کود زیستی استفاده شود زیرا نسبت به کودهای شیمیایی با محیط زیست سازگارتر و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه تر هستند. همچنین بایوپار قابلیت تجزیه زیستی دارد [۴۰]. به همین دلیل می توان بدون دغدغه زیاد از آن استفاده کرد. از طرفی یکی از راهکارهای افزایش میزان ماده آلی خاک و همچنین اصلاح خصوصیات خاک در راستای پایداری اکوسیستم های کشاورزی معرفی شده است [۴۱].





### ۸- برخی دیگر از مزایای مفید بایوچار

بوسیله بایوچار می توان مقادیر قابل توجهی کربن به شکلی بسیار پایدار ترسیب کرد. لهما و همکاران (۲۰۰۶) توقف سالانه ۲۰۰ میلیون تن را از طریق کاربرد بایوچار در خاک تخمین زدند. علاوه بر این، مطالعه آن‌ها نشان داد که پیرولیز در دمای پایین زیست توده همراه با به دام انداختن محصولات گاز و مایع برای تولید انرژی زیستی و استفاده از بایوچار در خاک، می‌تواند معادل حدود ۱۰ درصد از انتشار سالانه سوخت‌های فسیلی ایالات متحده را متوقف کند [۸].

افزودن بایوچار به خاک با افزایش راندمان استفاده از مواد مغذی، ظرفیت نگهداری آب و فعالیت میکروبی همراه می‌باشد. همچنین در استخرهای خاکی، میزان بقای بچه‌ماهی‌ها با بکار بردن بایوچار افزایش یافته است که ممکن است به دلیل بهبود ناشی از استفاده از بایوچار باشد. وجود بایوچار در استخر مولدین تیلاپیا موجب بهبود کیفیت آب و کاهش استرس در طول دوره پرورش شده و باعث بهبود تخم‌ریزی می‌شود. در فرآیند تولید بایوچار، می‌توان گرما و گازها را برای تولید حامل‌های انرژی مانند برق، هیدروژن یا روغن زیستی جذب کرد. علاوه بر این، سایر محصولات جانبی ارزشمند از جمله طعم‌دهنده چوب و چسب‌ها نیز می‌توانند به عنوان محصول جانبی بایوچار به دست آیند [۴۲].

### ۹- نتیجه گیری

اخیرا بایوچار به عنوان یک زمینه برای توسعه تولید پایدار محصولات مبتنی بر کربن و ارزش‌دهی به ضایعات کشاورزی در حال ظهور است. انواع مختلف مواد آلی از جمله بقایای محصولات کشاورزی، بقایای جنگلداری، لجن فاضلاب، کود و زباله‌های جامد آلی شهری می‌توانند با استفاده از روش‌های مختلف تولید بایوچار مورد استفاده دوباره قرار گیرند بررسی‌های انجام شده، حجم بقایای حاصل از هرس درختان با توجه به نوع گونه و شدت هرس بین ۰/۳ تا ۳/۵ تن در هکتار متغیر است [۴۳]؛ لازم به ذکر است که حدود ۳۰ درصد از محصولات کشاورزی به ضایعات تبدیل می‌شود. این میزان ضایعات نسبت به میزان استاندارد جهانی ضایعات کشاورزی (کمتر از ۱ درصد) بسیار زیاد بوده و به معنی هدر رفتن مضاعف آب به عنوان یک سرمایه‌ی گرانبها و در کنار آن از بین رفتن میزان بالای منابع انرژی، که در تولید فرآورده‌های کشاورزی صرف می‌شود، خواهد بود [۴۴]. کاربردهای بایوچار از نظر زیست‌محیطی و یا در آبرزی پروری مزایای بسیاری دارد. در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران زیادی به این مبحث جلب شده و در آینده نیز ادامه خواهد یافت، زیرا به میزان فراوان قابلیت در دسترس بودن داشته و با محیط زیست سازگار است. در حال حاضر تمرکز تحقیقات بر استفاده از آن به عنوان کاتالیزور و حذف فلزات سنگین از فاضلاب در مقیاس کوچک می‌باشد اما، برای درک پتانسیل آن برای امکان‌سنجی آینده و توجیه اقتصادی کارکرد آن در جنبه‌های مختلف دیگر؛ ضروری است که در اطلاعات بیشتر و گسترده تری بدست آورده شود. علاوه بر این، جایگزینی فناوری‌های قدیمی در زمینه تولید بایوچار مانند فناوری تولید و تبدیل، تجهیزات و استراتژی‌های فعال‌سازی با فناوری‌های جدید برای دستیابی به موفقیت در زمینه کاتالیزورهای مبتنی بر بایوچار نیز ضروری است که می‌تواند کارکردهای اختصاصی برای موارد ذکر شده در آبرزی پروری را ایجاد کند و این مطالعه زمینه را برای قابلیت‌های بالقوه بایوچار در آبرزی پروری و وضعیت فعلی پژوهش‌های انجام شده و مورد نیاز را تا حدی مشخص می‌کند.

### مراجع

1. Boluda-Verdu, I., et al., Fear for the future: Eco-anxiety and health implications, a systematic review. Journal of Environmental Psychology, 2022. **84**: p. 101904.
2. Jiang, H., et al., Determining the contributions of climate change and human activities to vegetation dynamics in agro-pastoral transitional zone of northern China from 2000 to 2015. Science of the Total Environment, 2020. **718**: p. 134871.
3. Das, S.K., et al., Compositional heterogeneity of different biochar: Effect of pyrolysis temperature and feedstocks. Journal of Environmental Management, 2021. **278**: p. 111501.
4. Weber, K., Production and Properties of Biochar. 2018.



5. Majumder, S., et al., The impact of biochar on soil carbon sequestration: Meta-analytical approach to evaluating environmental and economic advantages. *Journal of environmental management*, 2019. **250**: p. 109466.
6. Qian, Z., et al., Effects of biochar amendments on soil water retention characteristics of red soil at south China. *Biochar*, 2020. **2**: p. 479-488.
7. Galinato, S.P., J.K. Yoder, and D. Granatstein, The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy policy*, 2011. **39**(10): p. 6344-6350.
8. Lehmann, J., et al., Soil fertility and production potential. *Amazonian dark Earths: Origin properties management*, 2003: p. 105-124.
9. Sohi, S.P., et al., A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in agronomy*, 2010. **105**: p. 47-82.
10. Dashti, A., et al., Biochar performance evaluation for heavy metals removal from industrial wastewater based on machine learning: application for environmental protection. *Separation and Purification Technology*, 2023. **312**: p. 123399.
11. Xiang, W., et al., Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 2020. **252**: p. 126539.
12. Regkouzas, P. and E. Diamadopoulos, Adsorption of selected organic micro-pollutants on sewage sludge biochar. *Chemosphere*, 2019. **224**: p. 840-851.
13. Manyuchi, M., C. Mbohwa, and E. Muzenda, Potential to use municipal waste bio char in wastewater treatment for nutrients recovery. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 2018. **107**: p. 92-95.
14. Paul, D. and S.G. Hall, Biochar and zeolite as alternative biofilter media for denitrification of aquaculture effluents. *Water*, 2021. **13**(19): p. 2703.
15. Raul, C., et al., Sugarcane bagasse biochar: Suitable amendment for inland aquaculture soils. *Aquaculture Research*, 2021. **52**(2): p. 643-654.
16. Khalil, A., N. Sergeevich, and V. Borisova, Removal of ammonium from fish farms by biochar obtained from rice straw: Isotherm and kinetic studies for ammonium adsorption. *Adsorption Science & Technology*, 2018. **36**(5-6): p. 1294-1309.
17. Deng, B., et al., Effects of spent mushroom substrate-derived biochar on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions depend on pyrolysis temperature. *Chemosphere*, 2020. **246**: p. 125608.
18. Liang, L., et al., Review of organic and inorganic pollutants removal by biochar and biochar-based composites. *Biochar*, 2021. **3**: p. 255-281.
19. Achieng, G. and V. Shikuku, Adsorption of copper ions from water onto fish scales derived biochar: Isothermal perspectives. 2020.
20. Bolan, N., et al., Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 2022. **67**(2): p. 150-200.
21. Yi ShengZe, Y.S., et al., Removal of levofloxacin from aqueous solution using rice-husk and wood-chip biochars. 2016.
22. Fan, S., et al., Removal of tetracycline from aqueous solution by biochar derived from rice straw. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018. **25**: p. 29529-29540.
23. Módenes, A.N., et al., Tetracycline adsorption by tilapia fish bone-based biochar: Mass transfer assessment and fixed-bed data prediction by hybrid statistical-phenomenological modeling. *Journal of Cleaner Production*, 2021. **279**: p. 123775.
24. Wang, S., et al., Manganese oxide-modified biochars: preparation, characterization, and sorption of arsenate and lead. *Bioresource technology*, 2015. **181**: p. 13-17.
25. Wu, H., X. Dong, and H. Liu, Evaluating fluorescent dissolved organic matter released from wetland-plant derived biochar: effects of extracting solutions. *Chemosphere*, 2018. **212**: p. 638-644.
26. Stylianou, M., et al., Adsorption and removal of seven antibiotic compounds present in water with the use of biochar derived from the pyrolysis of organic waste feedstocks. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021. **9**(5): p. 105868.
27. Abakari, G., et al., The use of biochar in the production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc technology system-BFT. *Aquacultural Engineering*, 2020. **91**: p. 102123.



28. Castiglioni, M., et al., Biochars intended for water filtration: a comparative study with activated carbons of their physicochemical properties and removal efficiency towards neutral and anionic organic pollutants. *Chemosphere*, 2022. **288**: p. 132538.
29. Mopoung, S., et al., Water Treatment for Fish Aquaculture System by Biochar-Supplemented Planting Panel System. *The Scientific World Journal*, 2020. **2020**(1): p. 7901362.
30. Bhutia, T.P. and R.N. Bhutia, Waste reduction cum utilization: an approach for sustainable aquaculture. *Food and Scientific Reports*, 2021. **2**(7).
31. Be, S., S. Vinitnantharat, and A. Pinisakul, Effect of mangrove biochar residue amended shrimp pond sediment on nitrogen adsorption and leaching. *Sustainability*, 2021. **13**(13): p. 7230.
32. Viegas, C., L. Gouveia, and M. Gonçalves, Aquaculture wastewater treatment through microalgal. Biomass potential applications on animal feed, agriculture, and energy. *Journal of Environmental Management*, 2021. **286**: p. 112187.
33. Man, K.Y., et al., Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2021. **51**(2): p. 187-217.
34. Thu, M., et al., Effects of supplementation of dietary bamboo charcoal on growth performance and body composition of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010. **41**: p. 255-262.
35. Khaki, N.D., Malcevski, A., Voccia, A., Marzano, F., Interaction of Dietary Biochar (Black Carbon) on the Growth Performance and Survival Rate of Early Stage Larvae of Brown Trout (*Salmo trutta*). *Aquaculture Europe 2017*, 2017. **2017**.
36. Quaiyum, M., et al., Effects of bamboo charcoal added feed on reduction of ammonia and growth of *Pangasius hypophthalmus*. 2014.
37. Lan, T.T., T. Preston, and R. Leng, Feeding biochar or charcoal increased the growth rate of striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*) and improved water quality. *Livestock Research for Rural Development*, 2016. **28**(5): p. 84.
38. Mabe, L.T., et al., The effect of dietary bamboo charcoal supplementation on growth and serum biochemical parameters of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research*, 2018. **49**(3): p. 1142-1152.
39. Walling, E. and C. Vaneeckhaute, Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *Journal of Environmental Management*, 2020. **276**: p. 111211.
40. Arun, J., et al., Sustainable and eco-friendly approach for phosphorus recovery from wastewater by hydrothermally carbonized microalgae: study on spent bio-char as fertilizer. *Journal of Water Process Engineering*, 2020. **38**: p. 101567.
41. Kizito, S., et al., Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability*, 2019. **11**(11): p. 3211.
42. Czernik, S. and A.V. Bridgwater, Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy & fuels*, 2004. **18**(2): p. 590-598.
43. Nati, C., et al., Energy performance of a new biomass harvester for recovery of orchard wood wastes as alternative to mulching. *Renewable Energy*, 2018. **124**: p. 121-128.
44. Shirani, H., et al., Impact of pistachio residues on compactibility, and permeability for water and air of two aridic soils from southeast of Iran. *Arid Land Research and Management*, 2010. **24**(4): p. 365-384.