# مدیریت ضایعات و پسماند های کشاورزی با استفاده از علم نانو

**حکمت اله غلامی ونوول**

**کارشناس کشاورزی و کارشناس ارشد شیمی معدنی**

Email : hekmatgholami63@yahoo.com

## چکیده

کشاورزی، فعالیت های گوناگونی را در بر می گیرد که خاک را برای حمایت از بذرها یا گیاهچه ها تا زمان برداشت، آماده می کنند. برخی از این فعالیت های کشاورزی، منابع عمدهٔ آلودگی در بخش کشاورزی هستند. بنابراین، تجمع ضایعاتِ کشاورزی که مدیریت سوء داشته اند، مشکلات زیست محیطی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، ایجاد نموده است، ضایعات کشاورزی بقایایی هستند که در حین تولیدات کشاورزی و پس از برداشت میوه و سبزیجات و فرآوری آنها، و همچنین محصولات جانبی صنایع تبدیلی انگور، موز، زیتون و شیر به دست می آیند. این ضایعات زمانی که به جای سوزاندن در فضای باز که باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی متعددی مانند تخریب خاک و آلودگی هوا می شود، به کاربردهای با ارزش مانند کمپوست، بیوچار، جاذب برای حذف آلاینده ها از محیط زیست و کودهای آلی تبدیل شوند، می توانند به عنوان گنجی ارزشمند تلقی شوند. دفع زباله های کشاورزی در محل های دفن زباله و تخلیه آن ها در فضای باز، رویه رایجی در کشورهای در حال توسعه است که منجر به تولید مقادیر زیادی خاکستر می شود که می تواند عمدتا به دلیل آلودگی آب های زیرزمینی، مشکلات جدی برای سلامتی و محیط زیست ایجاد کند. مدیریت رایج ضایعات کشاورزی ممکن است شامل موارد متعددی مانند تولید زیستی نانوذرات، محصولات بیوتکنولوژی، کمپوست سازی و تولید سوخت زیستی باشد. علاوه بر این، ترکیبات بیواکتیو زیادی را می توان از ضایعات کشاورزی به دست آورد که کاربردهای زیادی در زمینه های مواد غذایی کاربردی، دارویی و آرایشی دارد. مدیریت نانو ضایعات کشاورزی ممکن است شامل استفاده از فناوری نانو برای تبدیل ضایعات کشاورزی به یک محصول با ارزش باشد. این موضوع به خصوص تحت دیدگاه زیست اقتصاد سبز و پایدار، همچنان دارای سوالات زیادی است.

**کلمات کلیدی :** ضایعات،زباله کشاورزی. بیوچار، نانومواد

## ۱ .مقدمه

بخش کشاورزی به عنوان یکی از عوامل اصلی در بخش صنعتی در بسیاری از کشورهای سراسر جهان مورد توجه قرار می‌گیرد و میلیون‌ها فرصت شغلی را فراهم می‌کند و منبع اصلی تأمین غذا، خوراک دام، الیاف و سوخت ماست.

با توجه به افزایش تقاضا برای تولیدات کشاورزی، انتظار می‌رود مقادیر زیادی از پسماندهای کشاورزی تولید شود. این پسماندهای کشاورزی دارای محتوای کربن بالا هستند و به عنوان بیوماس شناخته می‌شوند که می‌توانند با استفاده از روش‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی مختلف در تولید محصولاتی مانند سوخت‌های زیستی، بیوشیمیایی و بیومواد استفاده شوند .تعداد زیادی از مطالعات از جمله مقالات، کتاب‌ها و بررسی‌ها درباره این پسماندهای کشاورزی و استفاده‌های جایگزین آنها گزارش شده است، مدیریت آنها ، قابلیت استفاده آنها در ساخت بتن سبز، حذف آلاینده‌ها به عنوان جاذب‌ها،کاربردهای آنها در مهندسی عمران ، تولید پلیمرهای قابل تجزیه، بیوفعال‌ها ، سوخت‌های زیستی، بایوکربن و بیوگاز گزارش شده است.

ضایعات کشاورزی می تواند شامل هر گونه باقی مانده ناشی از فعالیت های کشاورزی باشد که نیاز به مدیریت صحیح (یعنی چگونگی و چرایی استفاده مجدد یا بازیافت برای اهداف دیگر) دارد. این ضایعات کشاورزی همچنین ممکن است شامل ضایعات فرآوری مواد غذایی به عنوان محصولات جانبی صنایع مختلف غذایی باشد، مدیریت ضایعات کشاورزی همواره یک موضوع داغ بوده و همچنان هست، که محققان متعددی از جنبه های مختلف به آن پرداخته اند. دغدغه اصلی این محققان تبدیل این ضایعات به محصولاتی با ارزش به روشی سالم و همزمان به حداقل رساندن خطرات زیست محیطی این ضایعات است. این مطالعات بر رویکردهای مختلفی تمرکز کرده اند که تایید می کنند مهم ترین جنبه مدیریت ضایعات کشاورزی عمدتاً به ماهیت این ضایعات بستگی دارد. ضایعات کشاورزی را می توان از طریق ورمی کمپوست و بی متان سازی ، کاربرد در اقتصاد چرخشی ، استفاده از ابزار ارزیابی چرخه حیات و همچنین با روش موثرتر تبدیل مدیریت کرد. لازم به ذکر است که همه کشورها برای دستیابی به کشاورزی پایدار نیازمند مدیریت صحیح ضایعات کشاورزی هستند و فرآیند مدیریت هر نوع زباله و انتخاب آن باید بر اساس به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی و حداکثر ایمنی باشد. این فرآیند مدیریت ضایعات کشاورزی که با جمع آوری آغاز می شود، ممکن است شامل فرآیندهای بعدی مانند پردازش، حمل و نقل، دفع یا بازیافت و کنترل ضایعات باشد .

کاربردهای فناوری نانو در بخش کشاورزی، به ویژه در زمینه کودهای نانویی و سموم دفع آفات نانویی و همچنین نقش آن در مدیریت مؤثر عوامل بیماری زا گیاهی، رهاسازی کنترل شده مواد شیمیایی کشاورزی و جذب مواد مغذی، مورد توجه جدی محققان قرار گرفته است. این کاربردها ممکن است شامل رویکردهایی مانند استفاده از نانوذرات برای ترمیم یا حذف آلاینده ها از محیط زیست ، مدیریت نانویی ضایعات کشاورزی مانند نانوجذب کننده ها ، تبدیل پوست سیر به نانومواد کربنی به عنوان الکترود برای ابرخازن ها ، استفاده از نانو سلولز به عنوان ماده اولیه دارویی ، ساخت نانوسیلیکا و تبدیل لینین زائد به نانوبیوچار باشد. بنابراین، این مقاله مروری با هدف برجسته کردن ضایعات کشاورزی، طبقه بندی، کاربردها، مدیریت و نانومواد رایج مشتق شده از ضایعات کشاورزی نگارش شده است. همچنین مدیریت نانویی ضایعات کشاورزی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

## ۲. ضایعات کشاورزی: مشکل یا گنج؟

هر فعالیت انسانی مانند فعالیت کشاورزی ممکن است ضایعاتی را ایجاد کند. ضایعات کشاورزی بقایایی هستند که می توانند در طول فرآیند تولید کشاورزی و/یا پس از برداشت محصول ایجاد شوند. به عبارت دیگر: این ضایعات شامل باقی مانده های حاصل از کاشت، داشت و برداشت محصولات خام کشاورزی و صنایع وابسته مانند سبزیجات، میوه جات، طیور، گوشت، آبزیان، لبنیات و غلات می شود. منابع ضایعات کشاورزی ممکن است شامل : (۱) بقایای گیاهی: که پس از برداشت محصولات زراعی مختلف مانند برنج، گندم، ذرت، کاساوا، نیشکر، بادام زمینی، نارگیل (به ترتیب شامل کاه، پوسته، خوشه، ساقه، برگ نیشکر، پوسته) ایجاد می شوند (شکل ۱). (۲) ضایعات کشاورزی-صنعتی: که ممکن است از فرآوری های مختلف محصولات کشاورزی مانند پوسته برنج (حاصل کننده بیوگاز)، پوست کاساوا، پوسته بادام زمینی، و پوسته قهوه به دست آیند . (۳) ضایعات خطرناک: که باعث مشکلات زیست محیطی می شوند مانند باقیمانده سموم دفع آفات و کودهای شیمیایی و همچنین مواد رادیواکتیو، غیرسمی، سمی، قابل اشتعال و عفونی . (۴) ضایعات دامی: که ممکن است شامل فضولات دامی و طیور و همچنین ضایعات کشتارگاه مانند خون و شکمبه و لاشه حیوانات باشد. دو نوع ضایعات کشاورزی وجود دارد که ممکن است از صنایع تبدیلی کشاورزی یا به عنوان بقایای گیاهی در مزرعه باشد.

بالاترین میزان ضایعات گیاهی مربوط به برنج، ذرت، گندم/جو، پنبه و نیشکر است.مهمترین محصولاتی که پس از برداشت ضایعات تولید می کنند، ممکن است شامل گندم (کاه)، برنج (کاه و پوسته)، ذرت (برگ و بلال)، نیشکر (تفاله)، ضایعات سبزیجات (برگ، پوست و ساقه)، کنف و پنبه (ساقه)، بادام زمینی (پوسته) و نارگیل (پوست) باشد. گزارش شده است که تقریباً ۲۰ درصد از محصولات کشاورزی به دلیل فقدان امکانات مناسب پس از برداشت و ۱۰ درصد نیز ممکن است توسط جوندگان خورده شوند. سوالی که باید به آن پاسخ داد این است که آیا ضایعات کشاورزی مشکل هستند یا گنج؟ برای پاسخ به این سوال، بستگی به ماهیت و ترکیب این ضایعات کشاورزی دارد. ضایعاتی که سرشار از آلاینده های سمی یا مواد رادیواکتیو هستند، مشکل جدی محسوب می شوند و نیازمند حذف این مواد مضر از محیط زیست هستند. در مورد ضایعات کشاورزی مفید به عنوان "منابع بلااستفاده" ، آنها ثروتی واقعی به شمار می روند و نیاز به تبدیل شدن به محصولات اقتصادی دارند.

شکل ۱. منابع ضایعات گل داودی: (الف) گیاهان گل داودی در گلخانه، (ب) برداشت دستی گل های گل داودی و جدا کردن برگ ها و ریشه ها، (ج) محصول نهایی گیاه گل داودی، (د) گیاهان ضعیف با گل های کوچک،(ه) گیاهان بدون گل و (و) ضایعات ریشه بعد از برداشت.

با توجه به کشاورزی صنعتی، سالانه مقادیر زیادی ضایعات کشاورزی تولید می شود. طبق آمار، میزان تولید سالانه کاه برنج، گندم و ذرت در جهان به ترتیب حدود ۷۳۱، ۳۵۴ و ۲۰۳ میلیون تن و همچنین ۱۸۰ میلیون تن تفاله چغندر قند برآورد شده است. به طور کلی، بقایای کشاورزی به عنوان مواد باقیمانده در مزارع یا باغات پس از برداشت محصول، می توانند مستقیماً در خاک شخم زده شوند یا به کمپوست تبدیل گردند. بهترین روش مدیریت این بقایای مزارع، همان روش سنتی یعنی برگرداندن مستقیم آنها به خاک است. این روش می تواند باعث افزایش کارایی آبیاری، بهبود تهویه خاک، کنترل فرسایش خاک و ارتقاء سلامت خاک شود. اهمیت بقایای گیاهی شامل استفاده در کمپوست سازی، تولید انرژی زیستی یا سوخت زیستی، معدنی سازی یا آزادسازی مواد مغذی در خاک و افزایش کارایی جذب مواد مغذی توسط گیاهان است. از طرف دیگر، برخی از ضایعات کشاورزی ممکن است به دلیل داشتن مواد آلی و یا غیرآلی سمی و همچنین برخی گونه های میکروبی مضر، تأثیر منفی بر محیط زیست و خطرات جدی برای سلامت انسان داشته باشند. رایج ترین روش های مدیریت ضایعات کشاورزی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه شامل دفن زباله و سوزاندن بقایای گیاهی در مزارع پس از برداشت است. سوزاندن ضایعات کشاورزی

می تواند منجر به تولید مقادیر زیادی گازهای گلخانه ای (مانند$CO_2$ ، $CH_4$و$N_2O$ )، آلاینده های هوا (مانند$CO$ ، $SO_2$، $NO_x$، $NH_3$و ترکیبات آلی فرار) و ذرات معلق شود. افزایش ضایعات آلی کشاورزی به طور مستقیم در بروز برخی مشکلات جدی زیست محیطی از جمله انتشار گازهای گلخانه ای، آلودگی آب های زیرزمینی و رشد عوامل بیماری زا نقش دارد. همچنین استفاده بیش از حد از فضولات حیوانی یا کاربرد آن در خاک های اشباع، می تواند منجر به آلودگی آب های اطراف از طریق رواناب شود.

## ۳. نانومواد‌های مشتق شده از ضایعات کشاورزی

همانطور که قبلا ذکر شد، بخش قابل توجهی از ضایعات کشاورزی پس از برداشت محصول در مزرعه باقی می ماند که می تواند از خاک در برابر فرسایش محافظت کند یا به عنوان کود تامین کننده مواد مغذی عمل نماید. با این حال، سوزاندن یا دفن زباله این حجم بالای ضایعات، رویه رایج دیگری است که منجر به آلودگی خاک، آب های زیرزمینی و هوا می شود. سالانه مقادیر زیادی ضایعات کشاورزی، حدود ۹۹۸ میلیون تن، تولید می گردد. برخی از این ضایعات کشاورزی در حال حاضر برای تولید نانومواد مانند نانوذرات سیلیس، نانو سلولز، نانوجاذب، نانوکامپوزیت و افزودنی های نان سیمانی، همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، مورد استفاده قرار می گیرند.

بسیاری از ضایعات کشاورزی مانند پوسته بادام زمینی و گردو، پوست موز و پرتقال و پوسته نارگیل در سنتز زیستی نانوذرات سیلیس کاربرد دارند. همچنین از ضایعات کشاورزی دیگری همچون پوسته بادام و گردو، برگ های Saccharum officinarum و ضایعات گندم و جو به عنوان نانوجذب کننده برای حذف آلاینده ها از محیط زیست استفاده شده است. نانوسلولز نیز یکی از مهمترین نانومواد‌های مشتق شده از ضایعات کشاورزی است که از ضایعات مختلفی از جمله تفاله درخت پیلی (Canarium ovatum) ، ساقه چای ، بقایای پنبه (دی سوزا و همکاران، ۲۰۲۰)، تنه درخت Nypa Fruticans، الیاف پوست نارگیل و پوسته برنج تولید می شود. همچنین نانوکامپوزیت های زیادی نیز از ضایعات کشاورزی به دست آمده اند، مانند بیوچار ذرت ، خاک اره چوب درخت Cinnamomum camphora و پوسته برنج و تفاله زیتون

## ۴. مدیریت نانویی پسماندهای کشاورزی

مدیریت پسماندهای کشاورزی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، در مقایسه با کشورهای توسعه یافته، چالشی جدی محسوب می شود. مدیریت این پسماندها شامل فرآیندهای تولید، جمع آوری، حمل و نقل، بازیافت و دفع زباله، همراه با نظارت بر چنین فرآیندهایی و پسماندگیری محل های دفع زباله است . مدیریت پسماندهای کشاورزی طی دهه های اخیر به موضوعی اصلی تبدیل شده است و فرآیندهای زیادی برای مدیریت زباله های آلی از جمله کمپوست سازی یا کودهای آلی، بیوچار و حذف آلاینده ها از محیط زیست ابداع شده است. برخی از ضایعات کشاورزی مانند روغن ها به دلیل هزینه اقتصادی پایین و همچنین کاهش آنها در محل های دفن زباله، قابل کمپوست شدن نیستند. بنابراین، سیستم مدیریت پسماندهای کشاورزی از قرن گذشته تا تمدن نوین ما تغییر کرده است.

جدول ۲. مطالعات مختلف در مورد کاربرد ضایعات کشاورزی و بیوچار

| مرجع | یافته اصلی پس از کاربرد | نوع ضایعات کشاورزی | منبع ضایعات کشاورزی |
|---|---|---|---|
| Antoet al. (2021) | بیوچار به عنوان یک کاتالیست کارآمد در کاربردهای مختلف قابل استفاده است. | بیوچار | ضایعات جلبکی |
| Gayathri et al. (2021) | بیوچار می تواند یون های فلزی (مس، نیکل، کروم و روی) را از فاضلاب حذف کند. | بیوچار حاصل از ضایعات کشاورزی | هسته رطب خام |
| Ahmad et al. (2020) | بیوچار مقاومت سیمان فسفات منیزیم را در محیط آبی بهبود می بخشد. | بیوچار حاصل از ضایعات کشاورزی و مواد غذایی | کاه گندم |
| Bastos et al. (2020) | به عنوان (MKS) ضایعات پوسته هسته مورومورو پیش ماده بیومس در سنتز یک بیوچار اسیدی به کار رفت که به عنوان کاتالیست در تولید بیودیزل حاصل از روغن جاپوتی استفاده شد. | بیوچار | ایعات پوسته هسته مورومورو(MKS) |
| Campos et al. (2020) | بیوچار پتانسیل جذب کربن و استفاده به عنوان اصلاح کننده خاک را دارد. | بیوچار | ضایعات پوسته برنج، هسته زیتون و باقی مانده ها |
| Dey et al. (2020) | استفاده از بیوچار در مزارع آزمایشی هند و بوتان منجر به بهبود ۳۶ تا ۶۴ درصدی تولیدات کشاورزی شد. | مقایسه بیوچار با ضایعات کشاورزی خام و خاکستر | ضایعات کشاورزی خام |
| Gopal et al. (2020) | بیوچار در مناطق گرمسیری مرطوب با بهبود خواص خاک و عملکرد گیاه، کشاورزی تجدیدپذیر را تقویت می کند. | بیوچار | ضایعات برگ خرما |
| Georgieva et al. (2020) | از محلول های آبی توسط (II) حذف یون های نیکل بیوچار جاذب | بیوچار جاذب | پوسته گردو ضایعات کشاورزی |
| Kyriakou et al. (2020) | در (BBBs) بیوکاتالیست های بیوبنیان تثبیت شده تخمیر الکلی هیدرولیزات حاصل از تصفیه زیستی ضایعات پوست مرکبات به کار رفت. | بیوکاتالیست مبتنی بر بیوچار(BBBs) | پوسته پسته و بادام زمینی و چوب پنبه |
| Nikolaou et al. (2020) | تخریب پروپیل پارابن به عنوان جاذب و سونوکاتالیست | بیوچار صنعتی کشاورزی | پوسته برنج |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Paul et al. (2020) | بیوچار باعث افزایش سرعت رسیدن کمپوست در ورمی کمپوست (ورمیکامپوستینگ) процессе ضایعات سبزیجات می شود (فرآیند ورمی کمپوستینگ به فرآیندی گفته می شود که در آن از کرم های خاکی برای تجزیه مواد آلی و تولید کمپوست استفاده می شود.). | بیوچار | ضایعات سبزیجات |
| Pierri et al. (2020) | مواد هیبریدی مبتنی بر بیوچار برای فناوری کاتالیز اکسیداتین پتانسیل بالایی دارند. | بیوچار | کاه نیشکر و خاک اره |
| Yan et al. (2020) | بیوچار جذب سرب را از طریق جذب شیمیایی و رسوب دهی افزایش می دهد. | بیوچار غنی از فسفر | پوست کرم لوبیا |
| Zhang et al. (2020) | اصلاح خاک آلوده از طریق تثبیت سرب در خاک | خاکستر اره و بیوچار اره | ضایعات خاک اره |

بر اساس اقتصاد چرخشی، پسماندهای کشاورزی باید با استفاده بسیار مؤثر مدیریت شوند و اصل R۳ (کاهش، استفاده مجدد و بازیافت) در نظر گرفته شود، که شامل انتشار کم، مصرف کم و بازده بالا می باشد. مفهوم کاهش پسماندهای کشاورزی به معنای کاهش ورودی آب، مواد و انرژی، کاهش تولید محصولات غیر ضروری و کاهش تقاضای مردم به غیر از کیفیت زندگی است. مفهوم "استفاده مجدد" به معنای چند منظوره کردن یک کالا، توسعه صنعت بازسازی با ضایعات به عنوان مواد اولیه و جایگزینی منابع تجدیدپذیر به جای منابع تجدیدناپذیر تا حد امکان است. مفهوم "بازیافت" به معنای در نظر گرفتن ضایعات به عنوان مواد اولیه برای ایجاد گردش مواد داخلی، پارک فناوری ساخت و ساز و ایجاد سیستم اقتصاد چرخشی است که با بازیافت سنتی منابع و استفاده مجدد آنها متفاوت است.

مطالعات متعددی به ارزیابی استفاده و مدیریت پسماندهای کشاورزی از جنبه های مختلف پرداخته اند، از جمله:

۱. تولید نانوذرات سیلیس یا سیلیس نانو.
۲. تولید نانو سلولز به عنوان یک ماده با ارزش دارویی
۳. تولید بیوچار
۴. تولید ابرخازن‌های با عملکرد بالا بر پایه کربن نانومنافذ یا گرافن اکسید

در مقابل راه‌حل‌های مربوط به استفاده مجدد از ضایعات کشاورزی، مطالعات متعددی نیز به بررسی رویکردهای مدیریت این ضایعات پرداخته‌اند. برخی از این مطالعات به شرح زیر هستند:

۱. مدیریت پسماندهای کشاورزی و فرآوری مواد غذایی.
۲. پسماندهای کشاورزی و تأثیر آن بر محیط زیست و روش‌های مدیریت آن
۳. کاربرد پسماندهای کشاورزی در ضد میکروبی/مقاومت به آنتی‌بیوتیک
۴. تولید کامپوزیت کشاورزی برای بسته‌بندی.
۵. استفاده از خاکستر پسماندهای کشاورزی در تولید قیر.
۶. تبدیل زیستی برخی پسماندهای کشاورزی برای تولید آلفا-آمیلاز ، آنزیم‌های لیگسلولولیتیک.
۷. تولید انرژی زیستی مانند بیودیزل از ضایعات نانو قند چغندر ، بیوگاز، سوخت زیستی
۸. استفاده از عصاره پسماندهای کشاورزی (مانند تفاله نیشکر، پوست آناناس و موز) برای تولید پلاتین زیستی.
۹. استفاده از پسماندهای کشاورزی به عنوان جایگزین برای سنگدانه طبیعی در بتن .
۱۰. تولید جاذب یا نانو جاذب از ضایعات صنایع کشاورزی و غذایی برای حذف فلزات سنگین از محیط زیست
۱۱. تولیدکمپوست.
۱۲. کاربرد باقیمانده‌های کشاورزی یا ضایعات صنعتی کشاورزی برای رویکردهای پالایش زیستی.
۱۳. تولید ترکیبات بیواکتیو از فرآورده‌های جانبی کشاورزی
۱۴. تولید افزودنی‌های سیمانی.
۱۵. تولید بلوک‌های خاکی بدون پخت.
۱۶. تولید نانو سلولز از پسماندهای کشاورزی برای فرمولاسیون‌های آرایشی

طبق گزارش چندین مطالعه، نانومواد به دست آمده از ضایعات کشاورزی همواره مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. چندین نمونه دیگر مانند اکسید آهن در مقیاس نانو، سایر نانومواد اکسیدی و نانوتیوب ها وجود دارند که می توانند در تصفیه فاضلاب مزارع مورد استفاده قرار گیرند. همانطور که مطالعات نشان می دهد، ضایعات صنعتی به میزان قابل توجهی جایگزین سوخت های فسیلی شده و همچنین به عنوان منبعی برای ساخت نانومواد عمل کرده اند. ضایعات زیستی، به ویژه ضایعات کشاورزی، در صورت استفاده صحیح و سازگار با محیط زیست، می توانند نقش مشابهی ایفا کنند. در این بخش، به عنوان دو نمونه رایج، به ضایعات کشاورزی یعنی بیوچار و پوست موز به صورت مفصل پرداخته می شود (شکل ۲ تنها به ارائه مراحل جداسازی نانوسیملیس از کاه برنج اختصاص دارد)

### ۴.۱. بیوچار به عنوان یک ضایعات کشاورزی

بیوچار به عنوان "یک ماده جامد متخلخل کربنی با درجه بالایی از آروماتیک شدن و خاصیت ضد تجزیه قوی که از طریق تجزیه حرارتی زیست توده حاصل از ضایعات گیاهی یا حیوانی تحت شرایط بدون اکسیژن یا با اکسیژن محدود تولید می شود" تعریف می شود. بیوچار عمدتاً محصولی از زیست توده است که می تواند از طریق فرآیندهای تبدیل ترموشیمیایی مانند تفت دادن، پیرولیز کند یا سریع و گازسازی تحت پارامترهای فرآیند مختلف تولید شود . بیوچار یک بیومواد کم هزینه و تجدیدپذیر با چندین کاربرد از جمله ذخیره کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اصلاح خاک و حذف آلاینده‌های غیرآلی و آلی در سیستم‌های آبی است . بیوچار به عنوان یک استراتژی امیدوار کننده برای تولید انرژی، ذخیره کربن، افزایش بهره وری خاک و بهبود کیفیت خاک و محیط زیست در نظر گرفته می شود (جدول ۲). کاربردهای اصلی بیوچار در کشاورزی ممکن است شامل ذخیره کربن در خاک، کاهش انتشار خالص گازهای گلخانه ای و افزایش بهره وری محصول از طریق بهبود دسترسی به مواد مغذی و خواص خاک و کاهش از دست دادن مواد مغذی، رسوبات و آلاینده ها باشد.

شکل ۲. مراحل مختلف جداسازی نانوسیلیس از کاه برنج

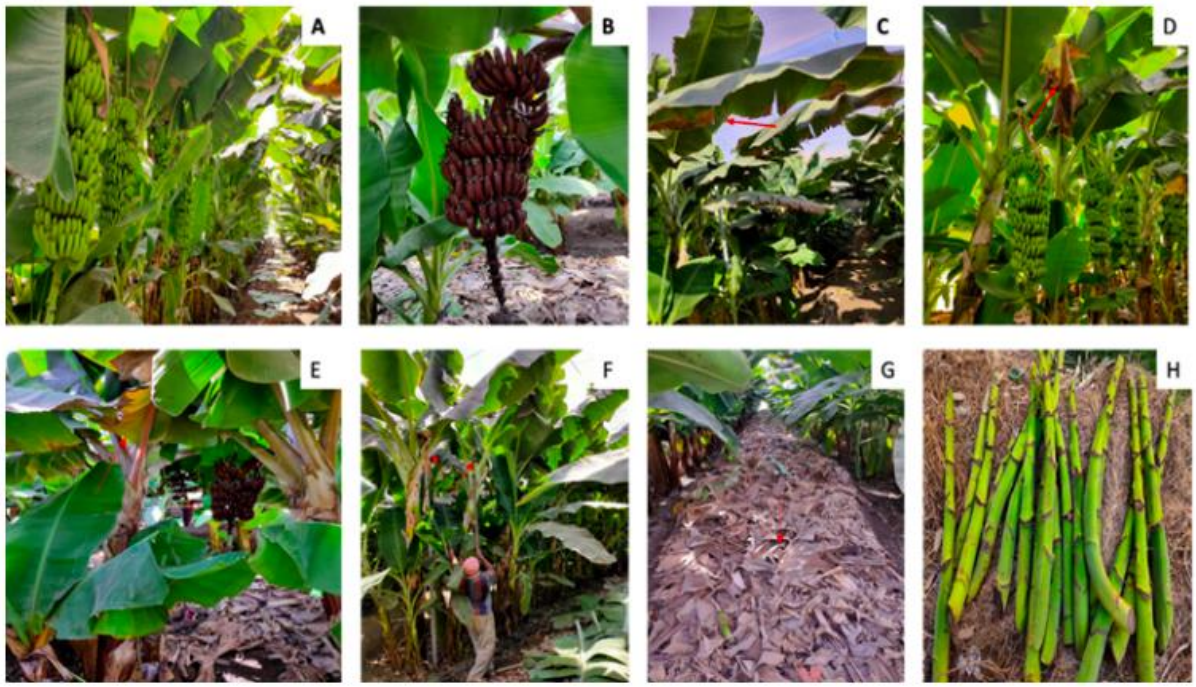
قابلیت جذب آلاینده توسط بیوچار به ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن بستگی دارد که تحت تاثیر عوامل متعددی مانند نوع مواد اولیه، تکنولوژی پیرولیز و شرایط پیرولیز قرار می گیرد. بیوچار خام، به خصوص در غلظت های بالاتر، توانایی محدودی برای جذب آلاینده ها از محیط زیست دارد. همچنین جداسازی بیوچار آسیاب شده به دلیل اندازه ذرات کوچک آن از محلول آبی دشوار است. برای غلبه بر این مشکلات، تحقیقات زیادی برای تولید بیوچار اصلاح شده با ساختار و ویژگی های سطحی خاص مانند نانوکامپوزیت های پایه بیوچار انجام شده است. بنابراین، سنتز نانوکامپوزیت های پایه بیوچار نه تنها روشی برای بهبود خواص بیوچار است، بلکه منجر به ایجاد یک کامپوزیت جدید با ترکیب مزایای بیوچار و سایر نانومواد می شود. اخیراً، نانوکامپوزیت های مبتنی بر بسترهای مختلف برای تصفیه فاضلاب، حتی فاضلاب هسته ای، توسعه یافته اند. در مقایسه با سایر نانوکامپوزیت ها، استفاده از بیوچار به عنوان ماده بستر برای تولید نانوکامپوزیت ها مزایای زیادی دارد. با این حال، گزارش شده است که نانوبیوچار با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر در مقایسه با بیوچار میکرومتری، منجر به افزایش تحرک یون های فلزی در محیط آب و خاک می شود. نانوبیوچار به عنوان حامل، در مقایسه با عملکرد بیوچار حجیم در نگهداری مواد مغذی و تثبیت مواد شیمیایی خطرناک، می تواند مهاجرت املاح طبیعی و آلاینده ها را تسهیل کند.

## ۴.۲. پوست موز به عنوان یک ضایعات کشاورزی

ضایعات مختلف صنایع کشاورزی از طریق فرآیندهای گوناگون به عنوان منبعی برای کربن مورد استفاده قرار گرفته اند تا محصولات با ارزش افزوده تولید شود. فرآیندهایی مانند ساکارریفیکاسیون و تخمیر متوالی یا همزمان قندهای احیا کننده آزاد شده (شکل ۳ و ۴) نمونه هایی از این فرآیندها هستند. این ضایعات کشاورزی می توانند شامل پوست میوه ها (مانند موز، پرتقال و غیره)، سبزیجات، غلات و حتی گیاهان دارویی باشند. پوست موز حاوی ترکیبات لیگنین سلولزی (لیگنین، پکتین، سلولز و همی سلولز) است. بنابراین، این ضایعات می توانند به عنوان منبع مناسبی از کربوهیدرات ها در نظر گرفته شوند. علاوه بر این، موز میوه ای فراوان و با قیمت مناسب است که در سراسر جهان یافت می شود . پوست موز، مانند بسیاری از پوست میوه های دیگر، پس از مصرف بخش گوشتی داخلی میوه، معمولا بدون فرآوری دور ریخته می شود. تبدیل ضایعات کشاورزی پوست موز به محصولات با ارزش که می تواند برای انسان و محیط زیست مفید باشد، ضروری به نظر می رسد

موز یکی از پرمحصول‌ترین میوه‌هاست و پوست آن با دارا بودن ۹۱.۵ درصد ماده آلی بسیار غنی است. همچنین سرشار از مواد مغذی بوده و در هر ۱۰۰ گرم پوست موز، ۷۸.۱ میلی‌گرم پتاسیم، ۱۹.۲ میلی‌گرم کلسیم، ۲۴.۳ میلی‌گرم سدیم، ۰.۶۱ میلی‌گرم آهن و ۷۶.۲ میلی‌گرم منگنز وجود دارد. کاربردهای رایج پوست موز شامل تولید روغن تک سلولی یا بیودیزل و یا به عنوان بستر برای تولید بیوسورفکتانت می‌باشد. علاوه بر این، نانوذرات سیلیس بیوژن نیز می‌توان از پوست موز به دست آورد . پوست موز همچنین حاوی طیف وسیعی از عوامل ضدمیکروبی طبیعی بوده و می‌تواند برای اهداف درمانی در مبارزه با عفونت‌های ناشی از میکروارگانیسم‌های مقاوم به چند دارو مورد استفاده قرار گیرد . تفاله استخراج شده از پوست موز نیز قابل کاربرد در اصلاح محیط زیست است. ضایعات گیاه موز به عنوان یک ضایعات کشاورزی عمده در نظر گرفته می‌شود و به ویژه در کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری، پتانسیل بالایی برای تولید انرژی زیستی دارد قابلیت جذب جیوه از محلول‌های آبی مختلف توسط پوست موز به عنوان یک جاذب زیستی مورد بررسی قرار گرفته است.از پوست موز می‌توان به عنوان منبع کربن در تولید پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها توسط مخمر هالوفیل جدا شده از جلبک‌های دریایی (Pichia kudriavzevii) و یا تولید پلی‌هیدروکسی بوتیرات توسط باکتری Zobellella sp. استفاده نمود که در آینده می‌تواند کاربردهای مختلفی در حوزه پزشکی

و کشاورزی داشته باشد.طبق گزارش‌ها در هند، پوست موز یکی از کمترین منابع بیوماسی مورد بررسی برای تولید بیواتانول با استفاده از سلولاز جدا شده از قارچ آسپرژیلوس نیجر در نظر گرفته می‌شود . همچنین می‌توان از پوست موز به عنوان حامل پروبیوتیک برای استخراج الکلی از فرآورده‌های جانبی استفاده کرد.




شکل ۳. منابع ضایعات موز: (A) موز زرد (B) موز قرمز (C و D) برگ‌های پیر موز زرد (E) برگ‌های پیر موز قرمز (F) بوته بعد از برداشت محصول (G) برگ‌های خشکیده (H) خوشه بدون میوه (ساقه خوشه موز)

شکل ۴. رایج‌ترین ضایعات موز: **(عکس ۱)** قاعده خوشه که هنگام برداشت بریده می‌شود. **(عکس ۲)** بوته مادر که بعد از برداشت بریده می‌شود. **(عکس ۳)** پوست موز بعد از جدا شدن.

پژوهشگران زیادی از پوست موز برای تولید نانومواد مفید استفاده کرده اند. به عنوان مثال، کود نانویی حاوی حدود ۸۰ گرم در لیتر پتاسیم عنصری به همراه سایر مواد معدنی مانند آهن، منیزیم، مس، سدیم، کلسیم و منگنز که با اسید سیتریک چلاته

شده اند، می تواند از پوست موز استخراج شود. این نانوکود دارای کارایی بسیار بالایی در جوانه زنی اولیه گوجه فرنگی و شنبلیله است و به همین دلیل، به عنوان یک محرک زیستی برای جوانه زنی بذر و بهبود عملکرد رشد نشا توصیه می شود. بنابراین، استفاده از فناوری نانو برای انتقال عصاره پوست موز از فرم معمولی به فرم نانو، ارزش بیشتری به این عصاره بخشیده و اثرات مثبت آن را بر افزایش رشد تقویت کرده است .علاوه بر این، از پوست موز برای سنتز سریع و مداوم نانوذرات نقره می توان استفاده کرد که فعالیت ضد میکروبی خوبی علیه برخی میکروارگانیسم های بیماری زا را نشان داد. این رویکرد سنتز سبز، به عنوان جایگزینی غیر سمی، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای روش‌های متداول جهت کاهش بار میکروبی در نظر گرفته می شود.

## نتیجه‌گیری

برای دستیابی به اهداف افزایش پایداری کشاورزی در ارتباط آب، غذا و انرژی، می‌توان از جریان‌های مختلف پسماند غنی از مواد مغذی مانند لجن‌های زیستی، آب بازیافتی، آب زیرزمینی با شوری کم، جریان‌های برگشتی کشاورزی، آب‌های صنعتی، کود دامی، کمپوست و موارد دیگر بهره برد. عبارت «ضایعات کشاورزی» (Agro-wastes) اصطلاحی است که برای توصیف مواد زائد تولید شده در طی هر فعالیت کشاورزی به کار می‌رود و می‌تواند شامل هر گونه ماده شیمیایی، آفت‌کش یا کود باشد. این مواد ممکن است ماهیت خطرناکی داشته باشند و استفاده از آن‌ها باید کاهش یابد. ضایعات کشاورزی همچنین ممکن است شامل بقایای گیاهی باشد که در مواد غذایی انسان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. برای مدیریت ضایعات کشاورزی کاربردهای فراوانی وجود دارد، از جمله تولید انرژی زیستی، بیوفسمند، کمپوست سازی و حذف آلاینده‌ها از محیط زیست. با توجه به مسائل آلودگی اقتصادی و زیست‌محیطی جهانی، نگرانی علمی در مورد مدیریت ضایعات کشاورزی و / یا صنعتی با استفاده از فناوری‌های سبز با ارزش افزوده رو به افزایش است. لذا به نظر می‌رسد تصفیه زیستی (با استفاده از میکروارگانیسم‌ها) و / یا مدیریت نانویی (با استفاده از فناوری نانو) ضایعات کشاورزی یکی از فناوری‌های زیستی سبز و امیدوارکننده باشد که می‌تواند با کمترین آسیب به محیط زیست، تعادل اکوسیستم کشاورزی را برقرار سازد. در آینده نیاز به تحقیقات بیشتر در مورد انواع ضایعات کشاورزی و مدیریت پایدار آنها وجود دارد.

## منابع

1. Abdelhady HH, Elaza HA, Ewais EM, Saber M, El- Deab MS (2020) Efficient catalytic production of biodiesel using nano-sized sugar beet agro- industrial waste. Fuel 261, 116481. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116481.

2. Adebisi JA, Agunsoye JO, Ahmed II, Bello SA, Haris M, Ramakokovhu MM, Hassan SB (2020) Production of silicon nanoparticles from selected agricultural wastes. Materials Today: Proceedings, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.658.

3. Ahamed A, Vallam P, Iyer NS, Veksha A, Bobacka J, LisakG (2021) Life cycle assessment of plastic grocery bags and their alternatives in cities with confined waste management structure: A Singapore case study. Journal of Cleaner Production 278, 123956. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123956.

4. Ahmad MR, Chen B, Duan H (2020) Improvement effect of pyrolyzed agro-food biochar on the properties of magnesium phosphate cement. Science of the Total Environment 718, 137422. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137422

5. Akhayere E, Essien EA, Kavaz D (2019) Effective and reusable nano-silica synthesized from barley and wheat grass for the removal of nickel from agricultural wastewater. Environmental Science and Pollution Research 26:25802–25813 https://doi.org/10.1007/s11356-019-05759-x.

6. An VN, Nhan HTC, Tap TD,·Van TTT, Viet PV, Hieu LV (2020) Extraction of High Crystalline Nanocellulose from Biorenewable Sources of Vietnamese Agricultural Wastes. Journal of Polymers and the Environment 28, 1465-1474 https://doi.org/10.1007/s10924-020-01695-x.

7. Anto S, Sudhakar MP, Ahamed TS, Samuel MS, Mathimani T, Brindhadevi K, Pugazhendhi A (2021) Activation strategies for biochar to use as an efficient catalyst in various applications. Fuel 285, 119205. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119205.

8. Ardebili SMS, Khademalrasoul A (2020) An assessment of feasibility and potential of gaseous biofuel production from agricultural/animal wastes: a case study. Biomass Conversion and Biorefinery, https:// doi.org/10.1007/s13399-020-00901-z.

9. Arun KB, Madhavan A, Sindhu R, Binod P, Pandey A, Reshmy R, Sirohi R (2020) Remodeling agro- industrial and food wastes into value-added bioactives and biopolymers. Industrial Crops & Products 154, 112621. https://doi.org/10.1016/j. indcrop.2020.112621.
10. Athinarayanan J, Jaafari SAAH, Periasamy VS, Almanaa TNA, Alshatwi AA (2020) Fabrication of Biogenic Silica Nanostructures from Sorghum bicolor Leaves for Food Industry Applications. Silicon,https://doi. org/10.1007/s12633-020-00379-4.

11. Banu SS, Karthikeyan J, Jayabalan P (2020) Effect of agro-waste on strength and durability properties of concrete. Construction and Building Materials 258, 120322. https://doi.org/10.1016/j. conbuildmat.2020.120322.

12. Bastos RRC, Corrêa APL, da Luz PTS, Filho GNR, Zamian JR, da Conceição LRV (2020) Optimization of biodiesel production using sulfonated carbon- based catalyst from an amazon agro-industrial waste. Energy Conversion and Management 205, 112457. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112457.

13. Bediako JK, Sarkar AK, Lin S, Zhao Y, Song M-H, Choi J-W, Cho C-W, Yun Y-S (2019) Characterization of the residual biochemical components of sequentially extracted banana peel biomasses and their environmental remediation applications. Waste Management 89, 141–153. https://doi. org/10.1016/j.wasman.2019.04.009.

14. Ben-OthmanS, Jõudu I, Bhat R (2020) Bioactives from Agri-Food Wastes: Present Insights and Future Challenges. Molecules. 25 (3), 510. doi: 10.3390/ molecules25030510.

15. Bhat VS, Kanagavalli P, Sriram G, Prabhu BR, John NS, Veerapandian M, Kurkurie M, Hegde G (2020) Low cost, catalyst free, high performance supercapacitors based on porous nano carbon derived from agriculture waste. Journal of Energy Storage 32, 101829. https://doi.org/10.1016/j. est.2020.101829.

16. Bhatt K, Lal S, Srinivasan R, Joshi B (2020) Bioconversion of agriculture wastes to produce α- amylase from Bacillus velezensis KB 2216: Purification and characterization. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 28, 101703. https://doi. org/10.1016/j.bcab.2020.101703.

17. Bhushan S, Rana MS, Mamta, Nandan N, Prajapati SK (2019) Energy harnessing from banana plant wastes: A review. Bioresource Technology Reports 7, 100212. https://doi.org/10.1016/j. biteb.2019.100212.

18. Bolzonella D, Battista F, Mattioli A, Nicolato C, Frison N, Lampis S (2020) Biological thermophilic post hydrolysis of digestate enhances the biogas production in the anaerobic digestion of agro- waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews 134, 110174. https://doi.org/10.1016/j. rser.2020.110174.

19. Bongao HC, Gabatino RRA, Arias CFH, Magdaluyo Jr ER (2020) Micro/nanocellulose from waste Pili (Canarium ovatum) pulp as a potential anti-ageing ingredient for cosmetic formulations. Materials Today: Proceedings 22, 275–280.

20. Campos P, Miller AZ, Knicker H, Costa-Pereira MF, Merino A, De la Rosa JM (2020) Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment Waste Management 105, 256– 267. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.013

21. Chakraborty V, Das P (2020) Synthesis of nano- silica-coated biochar from thermal conversion of sawdust and its application for Cr removal: kinetic modelling using linear and nonlinear method and modelling using artificial neural network analysis. Biomass Conv. Bioref., https://doi.org/10.1007/ s13399-020-01024-1.

22. Chaturvedi S, Kumari A, Bhatacharya A, Sharma A, Nain L, Khare SK (2018) Banana peel waste management for single-cell oil production.Energ. Ecol. Environ. 3 (5), 296–303. https://doi. org/10.1007/s40974-018-0101-3.

23. Daful AG, Chandraratne MR (2020) Biochar Production From Biomass Waste-Derived Material. Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials, Volume 4, doi:10.1016/B978-0-12- 803581-8.11249-4, pp: 370 - 378.

24. Dai Y, Sun Q, Wang W, Lu L, Liu M, Li J, Yang S, Sun Y, Zhang K, Xu J, Zheng W, Hu Z, Yang Y, Gao Y, Chen Y, Zhang X, Gao F, Zhang Y (2018) Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. Chemosphere, 211, 235-253. https://doi. org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.179.

25. Dakroury GA, Allan KF, Attallah MF, El Aff EM (2020) Sorption and separation performance of certain natural radionuclides of environmental interest using silica/olive pomace nanocomposites. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 325, 625–639 https://doi.org/10.1007/s10967-020- 07237-y.

26. Dalpaz R, Konrad O, Cyrne CCS, Barzotto HP, Hasan C, Filho MG (2020) Using biogas for energy cogeneration: An analysis of electric and thermal energy generation from agro-industrial waste. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 40, 100774. https://doi.org/10.1016/j. seta.2020.100774.

27. Dar RA, Parmar M, Dar EA, Sani RK, Phutela UG (2021) Biomethanation of agricultural residues: Potential, limitations and possible solutions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 135, 110217. https:// doi.org/10.1016/j.rser.2020.110217.

28. de Souza AG, Barbosa RFS, Rosa DS (2020) Nanocellulose from Industrial and Agricultural Waste for Further Use in PLA Composites. Journal of Polymers and the Environment, 28,1851–1868. https://doi.org/10.1007/s10924-020-01731-w.

29. Dey D, Gyeltshen T, Aich A, Naskar M, Roy A (2020) Climate adaptive crop-residue management for soil-function improvement; recommendations from field interventions at two agro-ecological zones in South Asia. Environmental Research 183, 109164. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109164.

30. Donner M, Gohier R, de Vries H (2020) A new circular business model typology for creating value from agrowaste. Science of the Total Environment 716, 137065. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv. 2020.137065.

31. Elbasiouny H, Elbanna BA, Al-Najoli E, Alsherief A, Negm S, Abou El-Nour E, Nofal A, Sharabash S (2020) Agricultural Waste Management for Climate Change Mitigation: Some Implications to Egypt. In: A. M. Negm and N. Shareef (Eds.), Waste Management in MENA Regions, Springer Water, https://doi.org/10.1007/978-3-030-18350-9_8, pp: 149-169. Springer Nature Switzerland AG.

32. El-BassiL, Azzaz AA, Jellali S, Akrout H, Marks EAN, Ghimbeu CM, Jeguirim M (2021) Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. Science of the Total Environment, 755, 142531. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2020.142531.

33. Fabre E, Lopes CB, Vale C, Pereira E, Silva CM (2020) Valuation of banana peels as an effective biosorbent for mercury removal under low environmental concentrations. Science of the Total Environment, 709, 135883. https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2019.135883.

34. Fareed A, Zaidi SBA, Ahmad N, Hafeez I, Ali A, Ahmad MF (2020) Use of agricultural waste ashes in asphalt binder and mixture: A sustainable solution to waste management. Construction and Building Materials, 259, 120575. https://doi.org/10.1016/j. conbuildmat. 2020.120575.

35. Gabhane JW, Bhange VP, Patil PD, Bankar ST, Kumar S (2020) Recent trends in biochar production methods and its application as a soil health conditioner: a review. SN Applied Sciences, 2,1307. https://doi.org/10.1007/s42452-020-3121-5.

36. Gayathri R, Gopinath KP, Kumar PS (2021) Adsorptive separation of toxic metals from aquatic environment using agro waste biochar:Application in electroplating industrial wastewater. Chemosphere, 262, 128031. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128031.

37. Ge S, Yek PNY, Cheng YW, Xia C, Mahari WAW, Liew RK, Peng W, Yuan T-Q, Tabatabaei M, Aghbashlo M, Sonne C, Lam SS (2021) Progress in microwave pyrolysis conversion of agricultural waste to value-added biofuels: A batch to continuous approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 135,110148. https:// doi.org/10.1016/j.rser.2020.110148.

38. GebremikaelMT, Ranasinghe A, Hosseini PS, Laboan B, Sonneveld E, Pipan M, Oni FE, Montemurro F, Höfte M, Sleutel S, De Neve S (2020) How do novel and conventional agri-food wastes, co- products and by-products improve soil functions and soil quality? Waste Management 113, 132–144.https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.040.

39. Georgieva VG, Gonsalvesh L, Tavlieva MP (2020) Thermodynamics and kinetics of the removal of nickel (II) ions from aqueous solutions by biochar adsorbent made from agro-waste walnut shells. J Mol Liquids 312, 112788. https://doi.org/10.1016/j. molliq. 2020.112788.

40. Gopal M, Gupta A, Hameed KS, Sathyaseelan N, Rajeela THK, Thomas GV (2020) Biochars produced from coconut palm biomass residues can aid regenerative agriculture by improving soil properties and plant yield in humid tropics. Biochar 2, 211–226. https://doi.org/10.1007/s42773-020- 00043-5.

41. Gullón P, Gullón B, Romaní A, Rocchetti G, Lorenzo JM (2020) Smart advanced solvents for bioactive compounds recovery from agri-food by-products: A review.

Trends in Food Science & Technology 101, 182–197. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.007.

42. Guo F, Bao L, Wang H, Larson SL, Ballard JH, Knotek-Smith HM, Zhang Q, Sud Y, Wang X,Hana F (2020) A simple method for the synthesis of biochar nanodots using hydrothermal reactor. MethodsX, 7, 101022. https://doi.org/10.1016/j. mex.2020.101022.
43. Guo Y, Zhang Y, Zheng D, Li M, Yue J (2020) Isolation and characterization of nanocellulose crystals via acid hydrolysis from agricultural waste-tea stalk. International Journal of Biological Macromolecules 163, 927-933. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac. 2020.07.009

44. Gupta C, Prakash D, Gupta S, Nazareno MA (2019) Role of Vermicomposting in Agricultural Waste Management. S. Shah et al. (eds.), Sustainable Green Technologies for Environmental Management, https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8_15, pp: 283-295. Springer Nature Singapore Pte Ltd.

45. Gwenzi W, Chaukura N, Wenga T, Mtisi M (2021) Biochars as media for air pollution control systems: Contaminant removal, applications and future research directions. Science of the Total Environment, 753, 142249. https://doi. org/10.1016/j.scitotenv.2020.142249.

46. Handojo L, Pramudita D, Mangindaan D, Indarto A (2020) Application of Nanoparticles in Environmental Cleanup: Production, Potential Risks and Solutions. In: R. N. Bharagava (Ed.), Emerging Eco-friendly Green Technologies for Wastewater Treatment, Microorganisms for Sustainability, 18, https://doi.org/10.1007/978-981-15-1390-9_3, pp:45-76. Springer Nature Singapore Pte Ltd.

47. He C, Sampers I, Raes K (2021) Dietary fiber concentrates recovered from agro-industrial by-products: Functional properties and application as physical carriers for probiotics. Food Hydrocolloids 111, 106175. https:// doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106175.

48. Hussein HS, Shaarawy HH, Hussien NH, Hawash SI (2019) Preparation of nano-fertilizer blend from banana peels. Bull Natl Res Cent. 43, 26.https://doi. org/10.1186/s42269-019-0058-1.

49. Ibrahim HMM (2015) Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 8 (3), 265-275.

50. Ishak NAIM, Kamarudin SK, Timmiati SN, Karim NA, Basri S (2020) Biogenic platinum from agricultural wastes extract for improved methanol oxidation reaction in direct methanol fuel cell. Journal of Advanced Research, https://doi.org/10.1016/j.jare. 2020.06.025.

51. Jannat N, Hussien A, Abdullah B, Cotgrave A (2020) Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review. Construction and Building Materials, 254, 119346. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119346

52. Javad S, Akhtar I, Naz S (2020) Nanomaterials and Agrowaste. In: S. Javad (Ed.), Nanoagronomy, https://doi.org/10.1007/978-3-030-41275-3_11, Springer Nature Switzerland AG, pp: 197-207.

53. Jiang C, Bo J, Xiao X, Zhang S, Wang Z, Yan G, Wu Y, Wong C, He H (2020) Converting waste lignin into nano-biochar as a renewable substitute of carbon black for reinforcing styrene-butadiene rubber. Waste Management, 102, 732–742. https://doi. org/10.1016/j.wasman.2019.11.019

54. John I, Yaragarla P, Appusamy A (2020) Production of Bioethanol from Banana Peel Using Isolated Cellulase from Aspergillus Niger. In: V. Sivasubramanian and S. Subramanian (Eds.), Global Challenges in Energy and Environment, Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering, https://doi.org/10.1007/978-981-13- 9213-9_2, pp: 9-18. Springer Nature Singapore Pte Ltd.

55. Kaliannan D, Palaninaicker S, Palanivel V, Mahadeo MA, Ravindra BN, Jae-Jin S (2019) A novel approach to preparation of nano-adsorbentfrom agricultural wastes (Saccharum officinarum leaves) and its environmental application. Environmental Science and Pollution Research, 26, 5305–5314. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3734-z.

56. Kamel R, El-Wakil NA, Dufresne A, NA Elkasabgy (2020) Nanocellulose: From an agricultural waste to a valuable pharmaceutical ingredient. International Journal of Biological Macromolecules, 163,1579- 1590.https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac. 2020.07.242.

57. Kammoun M, Ayeb H, Bettaieb T, Richel A (2020) Chemical characterisation and technical assessment of agri-food residues, marine matrices, and wild grasses in the South Mediterranean area: A considerable inflow for biorefineries. Waste Management, 118, 247–257. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.032

58. Kapoor R, Ghosh P, Kumar M, Sengupta S, Gupta A, Kumar SS, Vijay V, Kumar V, Vijay VK, Pant D (2020) Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. Bioresource Technology, 304, 123036. https://doi.org/10.1016/j.biortech. 2020.123036.

59. Kauldhar BS, Yadav SK (2018) Turning waste to wealth: A direct process for recovery of nano-silica and lignin from paddy straw agro-waste. Journal of Cleaner Production, 194, 158e166. https://doi. org/10.1016/j.jclepro. 2018.05.136

60. Khan HN, Faisal M (2020) Planning and Engineering Strategies of Agricultural Wastes and Their Remediation Strategies. In: M. Naeem et al. (Eds.), Contaminants in Agriculture, https://doi. org/10.1007/978-3-030-41552-5_10, pp: 219-232. Springer Nature Switzerland AG.

61. Koutra E, Mastropetros SG, Ali SS, Tsigkou K, Kornaros M (2021) Assessing the potential of Chlorella vulgaris for valorization of liquid digestates from agro-industrial and municipal organic wastes in a biorefinery approach. Journal of Cleaner Production 280, 124352. https://doi. org/10.1016/j.jclepro. 2020.124352

62. Kwoczynski Z, Cmelík J (2021) Characterization of biomass wastes and its possibility of agriculture utilization due to biochar production by torrefaction process. Journal of Cleaner Production, 280, 124302. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2020.124302.

63. Kyriakou M, Patsalou M, Xiaris N, Tsevis A, Koutsokeras L, Constantinides G, Koutinas M (2020) Enhancing bioproduction and thermotolerance in Saccharomyces cerevisiae via cell immobilization on biochar: Application in a citrus peel waste biorefinery Renewable Energy, 155, 53-64. https:// doi.org/10.1016/j.renene. 2020. 03.087.

64. Landin-Sandoval VJ, Mendoza-Castillo DI, Bonilla-Petriciolet A, Aguayo-Villarreal IA, Reynel-Avila HE, Gonzalez-Ponce HA (2020) Valorization of agri-food industry wastes to prepare adsorbents for heavy metal removal from water. Journal of

Environmental Chemical Engineering, 8, 104067. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104067

65. Lateef A, Nazir R, Jamila N, Alam S, Shah R, Khan MN, Saleem M, Rehman S (2019) Synthesis and characterization of environmental friendly corncob biochar based nano-composite – A potential slow release nano-fertilizer for sustainable agriculture. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 11, 100212. https://doi.org/10.1016/j. enmm. 2019.100212

66. Leite P, Sousa D, Fernandes H, Ferreira M, Costa AR, Filipe D, Gonçalves M, Peres H, Belo I, Salgado JM (2020) Recent advances in production of lignocellulolytic enzymes by solid-state fermentation of agro-industrial wastes, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100407

67. Leng L, Huang H, Li H, Li J, Zhou W (2019) Biochar stability assessment methods: a review. Sci. Total Environ. 647, 210–222.

68. Li S, Chen G (2020) Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance and socioeconomic impacts. Journal of Cleaner Production, 251, 119669. https://doi. org/10.1016/j.jclepro.2019.119669.

69. Lim JLG, Raman SN, Lai F-C, Zain MFM, Hamid R (2018) Synthesis of nano cementitious additives from agricultural wastes for the production of sustainable concrete. Journal of Cleaner Production 171, 1150- 1160. https://doi.org/10.1016/j.jclepro. 2017. 09. 143.

70. Liu G, Zheng H, Jiang Z, Zhao J, Wang Z, Pan B, Xing B (2018) Formation and Physicochemical Characteristics of Nano Biochar: Insight into Chemical and Colloidal Stability. Environ. Sci. Technol. 2018, 52, 10369−10379. DOI: 10.1021/acs.est.8b01481

71. Luhar S, Cheng T-W, Luhar I (2019) Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review. Composites Part B 175, 107076. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107076

72. Maity S, Das S, Mohapatra S, Tripathi AD, Akthar J, Pati S, Pattnaik S, Samantaray DP (2020) Growth associated polyhydroxybutyrate production by the novel Zobellellaetiwanensis strain DD5 from banana peels under submerged fermentation.

International Journal of Biological Macromolecules 153, 461–469. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac. 2020.03.004.

73. Maji S, Dwivedi DH, Singh N, Kishor S, Gond M (2020) Agricultural Waste: Its Impact on Environment and Management Approaches. In: R. N. Bharagava (ed.), Emerging Eco-friendly Green Technologies for Wastewater Treatment, Microorganisms for Sustainability 18, https://doi.org/10.1007/978- 981-15-1390-9_15, pp: 329-351. Springer Nature Singapore Pte Ltd.

74. Maraveas C (2020) Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste. Polymers (Basel) 12 (5), 1127. doi: 10.3390/ polym12051127.

75. MartínezTrujillo MA, BautistaRangel K, GarcíaRivero M, MartínezEstrada A, CruzDíaz MR (2020) Enzymatic saccharifcation of banana peel and sequential fermentation of the reducing sugars to produce lactic acid. Bioprocess and Biosystems Engineering, 43, 413–427. https://doi.org/10.1007/ s00449-019-02237-z.

76. Mo KH, Thomas BS, Yap SP, Abutaha F, Tan CG (2020) Viability of agricultural wastes as substitute of natural aggregate in concrete: A review on the durability-related properties. Journal of Cleaner Production, 275, 123062. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2020.123062.

77. Naidu Y, Siddiqui Y, Idris AS (2020) Comprehensive studies on optimization of ligno-hemicellulolytic enzymes by indigenous white rot hymenomycetes under solid-state cultivation using agro-industrial wastes. Journal of Environmental Management, 259, 110056. https://doi. org/10.1016/j.jenvman. 2019. 110056.

78. Nguyen H, Moghadam MJ, Moayedi H (2019) Agricultural wastes preparation, management, and applications in civil engineering: a review. Journal of Material Cycles and Waste Management 21, 1039– 1051 https://doi.org/10.1007/s10163-019-00872-y.

79. Nikolaou S, Vakros J, Diamadopoulos E, Mantzavinos D (2020) Sonochemical degradation of propylparaben in the presence of agro-industrial biochar. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8, 104010. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104010.

80. Ojha N, Das N (2020) Process optimization and characterization of polyhydroxyalkanoate copolymers produced by marine Pichia kudriavzevii VIT-

NN02 using banana peels and chicken feather hydrolysate. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 27, 101616. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101616

81. Pandey S, Dwivedi N (2020) Utilisation and Management of Agriculture and Food Processing Waste. In: P. Mishra et al. (Eds.) Innovations in Food Technology, Springer Nature Singapore Pte Ltd. Pp: 269-288. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_19.

82. Paul S, Kauser H, Jain MS, Khwairakpam M, Kalamdhad AS (2020) Biogenic stabilization and heavy metal immobilization during vermicomposting of vegetable waste with biochar amendment. Journal of Hazardous Materials 390, 121366. https://doi. org/10.1016/j.jhazmat. 2019. 121366

83. PeerzadaJG, R Chidambaram (2020) A Statistical Approach for Biogenic Synthesis of Nano-Silica from Different Agro-Wastes. Silicon, https://doi. org/10.1007/s12633-020-00629-5.

84. Pierri L, Gemenetzi A, Mavrogiorgou A, Regitano JB, Deligiannakis Y, Louloudi M (2020) Biochar as supporting material for heterogeneous Mn(II) catalysts: Efficient olefins epoxidation with H2O2. Molecular Catalysis, 489, 110946. https://doi. org/10.1016/j.mcat.2020.11094

85. PramanikP, Krishnan P, Maity A, Mridha N, Mukherjee A, Rai V (2020) Application of Nanotechnology in Agriculture. In: N. Dasgupta et al. (Eds.), Environmental Nanotechnology, Volume 4, Environmental Chemistry for a Sustainable World 32, https://doi.org/10.1007/978-3-030-26668-4_9, pp: 317 – 348. Springer Nature Switzerland AG.

86. Prasad M, Ranjan R, Ali A, Goyal D, Yadav A, Singh TB, Shrivastav P, Dantu PK (2020) Efficient Transformation of Agricultural Waste in India. In: M. Naeem et al. (Eds.), Contaminants in Agriculture, https://doi.org/10.1007/978-3- 030-41552-5_13, pp: 271-287. Springer Nature Switzerland AG.

87. Qi H, Zhao Y, Zhao X, Yang T, Dang Q, Wu J, Lv P, Wang H, Wei Z (2020) Effect of manganese dioxide on the formation of humin during different agricultural organic wastes compostable environments: It is meaningful carbon sequestration. Bioresource Technology, 299, 122596. https://doi.org/10.1016/j. biortech.2019.122596.

88. Rini J, Deepthi MP, Saminathan K, Narendhirakannan RT, Karmegam N, Kathireswari P (2020) Nutrient recovery and vermicompost production from livestock solid wastes with epigeic earthworms. Bioresource Technology, 313, 123690. https://doi. org/10.1016/j.biortech.2020.123690.

89. Rodriguez JA, Filho JFL, Melo, LCA de Assis IR, de Oliveira TS (2020) Influence of pyrolysis temperature and feedstock on the properties of biochars produced from agricultural and industrial wastes. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 149, 104839. https://doi.org/10.1016/j. jaap.2020.104839.

90. SakhiyaAK,·Anand A, Kaushal P (2020) Production, activation, and applications of biochar in recent times. Biochar, 2, 253–285. https://doi.org/10.1007/ s42773-020-00047-1.

91. Saleem M, Saeed MT (2020) Potential application of waste fruit peels (orange, yellow lemon and banana) as wide range natural antimicrobial agent. Journal of King Saud University–Science 32, 805–810. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.02.013

92. Salem S, Teimouri Z, A Salem (2020) Fabrication of magnetic activated carbon by carbothermal functionalization of agriculture waste via microwave-assisted technique for cationic dye adsorption. Advanced Powder Technology, https:// doi.org/10.1016/j.apt.2020.09.007.

93. Shaaban S, Nasr M (2020) Toward Three R's Agricultural Waste in MENA: Reduce, Reuse, and Recycle. In: A. M. Negm and N. Shareef (Eds.), Waste Management in MENA Regions, Springer Water, https://doi. org/10.1007/978-3-030-18350-9_17, pp: 337 – 353. Springer Nature Switzerland AG.

94. Siles-Castellano AB, López MJ, Jurado MM, Suárez- Estrella F, López-González JA, Estrella-González MJ, Moreno J (2020) Industrial composting of low carbon/nitrogen ratio mixtures of agri-food waste and impact on compost quality. Bioresource Technology, 316, 123946. https://doi.org/10.1016/j. biortech. 2020.123946.

95. Singh SP, Endley N (2020) Fabrication of nano-silica from agricultural residue and their application. In: A. Husen and M. Jawaid (Eds.), Nanomaterials for Agriculture and Forestry Applications. DOI: https:// doi.org/10.1016/B978-0-12-817852-2.00005-6, pp: 117-134. Elsevier Inc.

96. Suffo M, de la Mata M, Molina SI (2020) A sugar- beet waste based thermoplastic agro-composite as substitute for raw materials. Journal of Cleaner Production, 257, 120382. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2020.120382

97. Tamilselvi R, Ramesh M, Lekshmi GS, Bazaka O, Levchenko I, Bazaka K, Mandhakini M (2020) Graphene oxide - Based supercapacitors from agricultural wastes: A step to mass production of highly efficient electrodes for electrical transportation systems. Renewable Energy 151, 731- 739. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.072

98. Tan X, Liu Y, Gu Y, Xu Y, Zeng G, Hu X, Liu S, Wang X, Liu S, Li J (2016) Biochar-based nano- composites for the decontamination of wastewater: A review. Bioresource Technology, 212, 318-333. https//:doi.org/10.1016/j.biortech2016.04.093.

99. Thapa S, Engelken R (2020) Optimization of pelleting parameters for producing composite pellets using agricultural and agro-processing wastes by Taguchi- Grey relational analysis. Carbon Resources Conversion 3, 104–111. https://doi.org/10.1016/j.crcon.2020.05.001.

100. Torres-Carrasco M, Reinosa JJ, de la Rubia MA, Reyes E, Peralta FA, Fernández JF (2019) Critical aspects in the handling of reactive silica in cementitious materials: Effectiveness of rice husk ash vs nano- silica in mortar dosage. Construction and Building Materials 223, 360–367. https://doi.org/10.1016/j. conbuildmat. 2019.07.023.

101. Wang D, Jiang P, Zhang H, Yuan W (2020) Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review.

102. Wang RX, Zhao Y, Xie XY, Mohamed TA, Zhu LJ, Tang Y, Chen YF, Wei ZM, (2020) Role of NH3 recycling on nitrogen fractions during sludge composting. Bioresour. Technol. 295, 122175.

103. Woodard R (2021) Waste Management in Small and Medium Enterprises (SMEs): Compliance with Duty of Care and implications for the Circular Economy. Journal of Cleaner Production 278, 123770. https:// doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123770.

104. Yan Y, Sarkar B, Zhou L, Zhang L, Li Q, Yang J, Bolan N (2020) Phosphorus-rich biochar produced through bean-worm skin waste pyrolysis enhances the adsorption of aqueous lead. Environmental Pollution 266, 115177. https://doi.org/10.1016/j. envpol.2020.115177

105. Zakaria ZA (2018) Sustainable Technologies for the Management of Agricultural Wastes. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future Book Series, https://doi. org/10.1007/978-981-10-5062-6, Springer Nature Singapore Pte Ltd.

106. Zalewska M, Popowska M (2020) Antimicrobial/ Antibiotic Resistance Genes Due to Manure and Agricultural Waste Applications. In: M. Z. Hashmi (Ed.), Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes, Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies, https://doi. org/10.1007/978-3-030-40422-2_6, pp: 139 – 161. Springer Nature Switzerland AG.

107. Zhang Q, Zhang D, Xu H, Lu W, Ren X, Cai H, Lei H, Huo E, Zhao Y, Qian M, Lin X, Villota EM, Mateo W (2020) Biochar filled high-density polyethylene composites with excellent properties: Towards maximizing the utilization of agricultural wastes. Industrial Crops & Products 146, 112185. https:// doi.org/10.1016/j.indcrop. 2020.112185.

108. Zhang Y, Wang X, Ji H (2020) Stabilization process and potential of agro-industrial waste on Pb- Contaminated soil around Pb-Zn mining. Environmental Pollution 260, 114069. https://doi. org/10.1016/j.envpol.2020.114069.