



بررسی مروری انرژی بیوهیدروژن و بیومتان از زباله های زیستی از طریق تخمیر نوری تولید

بهارک اللهویردی ضیائی

گروه زیست فناوری مواد غذایی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه تبریز ، تبریز، ایران

خلاصه

در این مقاله که یک مقاله مروری ترجمه شده است که درباره روشهای تولید انرژی مورد نیاز صنایع و تامین نیازهای سوختی از طرقی غیر از طرق فسیلی و از بکارگیری میکروارگانیسم ها بحث می شود . در این متن تلاش شده است با استفاده از بکار گیری از منابع زباله های صنعتی و پساب های شهری و کارخانه ها در جهت تامین بخشی از انرژی در راستای تامین هیدروژن به عنوان سوخت پاک و همچنین تولید متان توسط میکروارگانیسم های فتو سنتز کننده ، مورد بررسی قرار داده شود . ابتدا مکانیسم تولید هیدروژن و متان زیستی ، باکتری ها و راکتورهای مورد استفاده برای نیل به هدف تولید، عوامل موثر بر تولید و جنبه های تولید، انواع سوپسترا های مورد استفاده در راکتورها و منبع انرژی و مصرف باکتری ها مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت راهکارهایی جهت توسعه تولیدات و بهره گیری از انرژی های زیستی بهینه در آینده ارائه گردیده است . هدف از ترجمه و ارائه این مقاله بیشتر به منظور پیشنهادی جهت توجه صنایع تولیدی به استفاده از منابع غیر فسیلی و همچنین به کارگیری انرژی های پاک و توسعه روز افزون کاربرد این نوع منابع انرژی و عمومی سازی آنها جهت تولید و به کارگیری داخل سازمان هر واحد تولیدی و صرفه جویی در مصرف ذخایر سوخت تجدید ناپذیر متداول می باشد.

کلمات کلیدی : هیدروژن ، متان ، بیوراکتور ، تخمیر نوری ، فاضلاب های صنعتی ، انرژی ، میکروارگانیسم ها ، فتوسنتز ، سوپسترا ، محیط زیست



۱. مقدمه

انرژی زیستی، که از مواد آلی مانند فاضلاب و زباله های زیستی تولید می شود، به عنوان یک جایگزین امیدوارکننده ظهور کرده است. استفاده از این مواد زائد نه تنها آلودگی محیط زیست را کاهش می دهد، بلکه یک راه حل مقرون به صرفه برای تولید انرژی نیز فراهم می کند که به خوبی با تلاش های جهانی برای مبارزه با تغییرات اقلیمی همسو است. با توجه به پتانسیل آن برای افزایش قابل توجه امنیت انرژی، حفاظت از محیط زیست و با توجه به پایداری و رشد اقتصادی دولت ها، صنایع و موسسات تحقیقاتی به شدت در حال سرمایه گذاری در توسعه فناوری های کارآمد برای تولید انرژی زیستی از زباله های مختلف هستند. این تغییر به سمت انرژی زیستی برای ایجاد آینده ای پایدار و کاهش وابستگی به منابع انرژی متعارف بسیار مهم است.

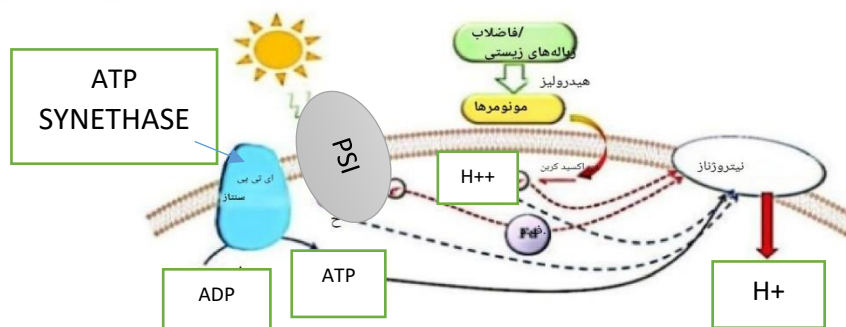
علیرغم اینکه در تسریع تولید انرژی زیستی موثر است، دارای معایبی مانند تقاضای بالای انرژی است. یکی از تکنیک های جایگزین کلیدی برای تبدیل فاضلاب یا زباله های زیستی به انرژی زیستی، اتخاذ تبدیل بیوشیمیایی است که شامل هضم بی هوازی، سلول هلی سوختی میکروبی و تخمیر نوری می شود. در میان آنها، تخمیر نوری به ویژه برای تبدیل سوبسترا های آلی به گاز هیدروژن با استفاده از باکتری های فتوسنتزی و نور امیدوارکننده است.

این فرآیند، تولید انرژی زیستی پاک را در شرایط ملایم و با طیف وسیعی از منابع فاضلاب و زباله های زیستی موجود، امکان پذیر می کند و در مقایسه با روش های حرارتی سنتی، رویکردی پایدار تر ارائه می دهد. (تخمیر نوری با عملکرد در شرایط محیطی، مصرف انرژی و هزینه ها را کاهش می دهد و تولید محصولات جانبی مضر را به حداقل می رساند و آن را به جایگزینی سازگار تر با محیط زیست و کارآمد تر تبدیل می کند. علیرغم وعده های داده شده، کاربرد عملی تخمیر نوری در حال حاضر به دلیل چالش های فنی و اقتصادی محدود شده است و این امر مستلزم تحقیقات مداوم و پیشرفت های فناوری برای افزایش بهره وری، کاهش هزینه ها و بهبود مقیاس پذیری است. تولید از طریق تخمیر نوری، با تمرکز بر بررسی استفاده از نانوکاتالیست های نوری مختلف و نانو مواد و چالش ها و پیشرفت های سوخت های زیستی مبتنی بر جلبک و زباله های غذایی است.

۲. تولید هیدروژن از طریق تخمیر نوری

۲.۱ - شرح فرآیند

تخمیر نوری یک فرآیند بیولوژیکی است که در آن باکتری های فتوسنتز کننده ، به سوبستراهای آلی به ویژه (PNSB) (باکتری های غیر گوگردی بنفش) یا زباله های زیستی را به گاز هیدروژن تبدیل می کنند . این باکتری ها در استفاده از انرژی نور برای تولید هیدروژن مهارت دارند ، فرآیندی که مسیرهای متابولیکی و فتوسنتزی را باهم ادغام می کند . (در شکل ۱) این فرآیند با ورود سوبسترا های آلی مانند کربوهیدرات ها ، پروتئین ها و چربی ها به یک بیوراکتور که در آن کشت می شود ، آغاز می شود . (PNSB) ترکیبات آلی به عنوان دهنده الکترون عمل می کنند که توسط باکتری ها متابولیزه می شوند تا الکترون ها و پروتون ها ، اجزای اساسی در تولید هیدروژن ، را آزاد کنند پس از جذب ، انرژی نور ، الکترون ها را در مرکز واکنش فتوسنتزی برانگیخته می کند [1] . کاهش پروتون ها به هیدروژن مولکولی و سنتز آدنوزین تری فسفات لازم برای عملکرد های مختلف سلولی مولکولی از طریق فعالیت آنزیم های هیدروژناز را فراهم می کند . فرآیند کای را می توان به صورت تبدیل سوبستراهای آلی به گاز هیدروژن ، دی اکسید کربن و سایر فرآورده های جانبی متابولیک خلاصه کرد . باکتری هایی مانند PNSB فتوسنتزی رایج مورد استفاده در تخمیر نوری ، از جمله گونه های ردوباکتریوم اسفروئیدس و رودوسودوموناس پالوستریس را نشان می دهد.



شکل شماره ۱ - مکانیسم عمل باکتری های فتوسنتز کننده

۲.۲ - منابع مختلف فاضلاب و زباله های زیستی



تولید هیدروژن از طریق تخمیر نوری از منابع مختلف فاضلاب و زباله های زیستی استفاده می کند که هر کدام به دلیل محتوای آلی متفاوت خود ، مزایای منحصر به فردی ارائه می دهند . فاضلاب صنعتی ، به ویژه از صنایع غذایی و آشامیدنی ، لبنیات ، نفت ، سرشار از ترکیبات آلی مانند قندها ، چربی ها و پروتئین ها است [1]. این مواد مغذی ، بستر بسیار خوبی برای باکتری های فتوسنتزی فراهم می کنند و فاضلاب صنعتی را به منبع ارزشمندی برای تولید هیدروژن تبدیل می کنند . ترکیبی از کربوهیدرات ها و پروتئین ها که به راحتی توسط رودوباکتر اسفرویدز متابولیزه می شوند .

۲/۲/۱ CSTR - های پیوسته و نا پیوسته

مقایسه تولید هیدروژن بین سیستم های راکتور مخزن دار ناپیوسته و پیوسته جدول ۱ همچنین اهمیت بهینه سازی فرآیند را نشان می دهد . تخمیر همزمان فاضلاب مخلوط در فرآیند تخمیر نوری می تواند بازده تولید هیدروژن را افزایش دهد . به عنوان مثال ، هی و همکارانش نشان دادند که ترکیب فاضلاب کارخانه آجوسازی با پساب کارخانه خمیر و کاغذ ، تولید بیوهیدروژن را به طور قابل توجهی افزایش می دهد .

جدول ۱ - مروری بر مطالعات مرتبط با تولید بیوهیدروژن از فاضلاب زیستی و پسماند از طریق فوتوتخمیر

مواد اولیه	اینوکلوم	راکتور	دما درجه C	PH
فاضلاب پالایشگاه شکر و اسید مالیک	اسفائیرودیس R	BATCH	30	7
فاضلاب شکر	رودوباکتر	CSTR	25.6	7
فاضلاب کارخانه آجوسازی	رودوباکتر اسفائیرودیس	BATCH	28+/-2	7-7.2
فاضلاب سس سویا	رودوبیوم مارینوم	BATCH	۳۰	7
فاضلاب توفو	رودوباکتر	BATCH	30	7
فاضلاب لبنی	رودوباکتر، اسفائیرودیس	BATCH	30	7-7.2
فاضلاب آسیاب زیتون	PNSB	BATCH	30	6.8-7.2
پساب کارخانه آجیو و رستوران	رودوباکتر، اسفائیرودیس	BATCH	30	7
پساب تخمیری آسیاب روغن نخل	ایندیگینوس باکتریا	BATCH	30	7



7	30	BATCH	PNSB	فاضلاب کارخانه آبجوسازی و کاغذ
7	30	BATCH	رودوباکتر، اسپارودیس NCIMB8253	فاضلاب روغن پالم و پساب های کاغذ و خمیر کاغذ صنایع
6.8	25-28	CSTR	رودوباکتر، اسفئیرودیس	ضایعات نان
6.8	30	BATCH	رودوسودوموناس، اسفئیرودیس	ضایعات گیاهی
7	30	سفارشی	رودوباکتر، اسفئیرودیس	باقی مانده سیب زمینی
7	30	BATCH	HAU-M1	کرنوب
7	30	BATCH	ترکیب باکتری ها	پسماند کشاورزی
6.8	30	BATCH	HAU-M1	استاور ذرت
6.8	30	BATCH	رودوسپریوم روبیروم	ساقه ذرت

ویژگی های منحصر به فرد فاضلاب کارخانه آبجوسازی، مانند محتوای آلی غنی و نسبت کربن به نیتروژن مطلوب آن، در صورت استفاده به عنوان یک سوبسترا در فرآیند تخمیر نوری، به بازده هیدروژن بالاتر کمک می کند. این اثر هم افزایی نه تنها استفاده از سوبسترا را بهینه می کند، بلکه راندمان کلی و پایداری تولید بیوهیدروژن از مخلوط های فاضلاب صنعتی را نیز بهبود می بخشد. زباله های زیستی، شامل پسماند های کشاورزی و ضایعات مواد غذایی، یکی دیگر از مواد اولیه امیدوارکننده برای تولید انرژی زیستی از طریق تخمیر نوری هستند [2]. زباله های زیستی حاصل از فرآوری مواد غذایی و ضایعات آشپزخانه به دلیل محتوای آلی بالا و قابلیت تجزیه زیستی، پتانسیل قابل توجهی برای تولید هیدروژن نشان می دهند. این مثال ها نشان می دهند که ضایعات مواد غذایی می توانند به عنوان یک بستر موثر برای باکتری های فتوسنتزی عمل کنند که تبدیل مواد آلی به هیدروژن را امکان پذیر می کنند و همزمان به چالش های دوگانه در رابطه با مدیریت ضایعات مواد غذایی و تولید انرژی تجدید پذیر می پردازد.

پسماند های کشاورزی، مانند کاه، ساقه ذرت و تراشه های چوب، حاوی لیگنوسلولز هستند که می توانند پیش تیمار شده و هیدرولیز شوند تا قند های قابل تخمیر آزاد شوند. این قندها به عنوان پیش تیمار شده و هیدرولیز شوند تا قندهای قابل تخمیر



آزاد شوند. این قندها به عنوان سوبسترا برای باکتری های فتوسنتزی جهت تولید هیدروژن عمل می کنند. با توجه به فاضلاب و زباله های زیستی، هر دو منابع تغذیه ای امیدوار کننده ای برای تولید انرژی زیستی از طریق تخمیر القایی نوری هستند. با این حال، تفاوت هایی وجود دارد. نکته قابل توجه این است که فاضلاب فراوان و برای کاربرد های در مقیاس بزرگ مقرون به صرفه است، اگرچه ترکیبات پیچیده و سمیت بالقوه آن نیاز به مدیریت دقیق دارد. زباله های زیستی که به دلیل محتوای آلی غنی خود مشهور هستند، از بازیافت تنوع و رقابت میکروبی مواجهه شوند. در نتیجه، انتخاب ماده اولیه برای تولید هیدروژن به عواملی مانند در دسترس بودن، هزینه و تاثیر زیست محیطی بستگی دارد و چنین عواملی از قبل بررسی می شوند تا تاسیسات تصفیه فاضلاب و مناطق کشاورزی برای تولید انرژی زیستی بلند مدت و سود آور ایده آل شوند. با استفاده از این منابع زباله، فوتوفور نه تنها تولید هیدروژن تجدید پذیر را ممکن می سازد، بلکه به کاهش ضایعات و همچنین حمایت از پایداری محیط زیست نیز کمک می کند.

۲/۳- پارامترهای مهم فرآیند

راندمان تولید هیدروژن از طریق تخمیر نوری تحت تاثیر چندین پارامتر حیاتی فرآیند قرار دارد. درک و بهینه سازی این پارامترها برای به حداکثر رساندن بازده هیدروژن ضروری است. شدت و طول موج نور برای فعالیت باکتری های فتوسنتزی، به ویژه PNSB بسیار مهم هستند. به طور خاص، شدت نور به طور قابل توجهی بر رشد و تولید زیست توده باکتری های فتوسنتزی در فرآیند های تصفیه فاضلاب تاثیر می گذارد. شدت نور بهینه، حداکثر جذب و استفاده از انرژی نور را تضمین می کند و در نتیجه میزان تولید هیدروژن را افزایش می دهد. فراتر از منبع نور، دما نیز به طور قابل توجهی بر فعالیت های متابولیکی باکتری های فتوسنتز کننده تاثیر می گذارد. به عنوان مثال، فرآیندهای متابولیکی باکتری های فتوسنتز کننده تاثیر می گذارد. به عنوان مثال، فرآیند تبدیل زیستی می تواند در شرایط دمایی مختلف رخ دهد. سرمادوست ها در دمای ۰-۲۵ درجه



سانتیگراد، مزوفیل ها در دمای ۲۵-۴۵ درجه سانتیگراد، گرمادوست ها در دمای ۴۵-۶۵ درجه سانتیگراد، فوق گرمادوست ها در دمای بالای ۸۰ درجه سانتیگراد، PH بهینه مورد نیاز، فرآیندهای بی هوازی بسیار وابسته به دما هستند. در نتیجه برای گونه های مختلف باکتریایی می تواند متفاوت باشد. سطح PH محیط کشت بر رشد باکتری تاثیر می گذارد و عملکرد بهینه برای تخمیر نوری معمولاً در محدوده ی خنثی است که تولید هیدروژن را تعیین می کند.

از این رو، انحراف از این مقدار پایدار برای آنزیم های دخیل در تولید هیدروژن بوده و آنها را مختل می کند. حفظ مقدار اطمینان از فعالیت مداوم باکتری ها و تولید هیدروژن بسیار مهم است. با این حال، در این فرآیند ها به دلیل وجود اسیدهای آلی، مانند محصولات کنترل مقدار PH جانبی اسیدهای چرب فرار، بسیار چالش برانگیز است. اسیدی شدن ناشی از چنین محصولات جانبی باعث کاهش ظرفیت بافری در راکتور می شود. در دسترس بودن مواد مغذی مانند کربن، نیتروژن و عناصر کمیاب برای متابولیسم باکتری ها حیاتی است. سوپستراهای آلی در فاضلاب منابع کربن کلیدی را فراهم می کنند، در حالی که وجود نیتروژن برای سنتز پروتئین و رشد سلول ضروری است. واضح است که تعادل مناسب بین این مواد مغذی و رشد سلول ضروری است. واضح است که تعادل وجود نیتروژن برای سنتز پروتئین و رشد سلول ضروری است. واضح است که تعادل مناسب بین این مواد مغذی [3]،

فعالیت بهینه باکتری ها را فراهم می کند و سطوح بیش از حد و کمبود مواد مغذی می تواند منجر به نرخ تولید هیدروژن کمتر از حد مطلوب شود. در نتیجه، نسبت C/N یک عامل حیاتی است که هنگام استفاده از تخمیر نوری برای تولید هیدروژن باید در نظر گرفته شود، که باید علاوه بر این برای به حداکثر رساندن بازده هیدروژن بهینه C/N بهینه می شود. بنابراین این نسبت کربن / هیدروژن به دستیابی به فرآورده های تولید بیوهیدروژن موثرتر و کارآمدتر کمک کرد. علاوه بر این، مکمل سازی مواد مغذی شیمیایی می تواند با حمایت از رشد باکتری و فعالیت آنزیمی، راندمان تخمیر را افزایش دهد. ویتامین ها، مانند اسید نیکوتینیک و بیوتین، برای حفظ سلامت باکتری ها و افزایش بهره وری هیدروژن در سیستم تخمیر بسیار مهم هستند [3]. فسفر نقش های



ضروری در سنتز انرژی به شکل ATP دارد که فرآیند های مختلف را در سلول ها تغذیه می کند . علاوه بر این ، فسفر در سیستم های PH به عنوان یک بافر عمل می کند و به حفظ تعادل بیوشیمیایی کمک می کند . تخمیر نوری علاوه بر تولید انرژی ، ویژگی متمایز پایداری رانشان می دهد و راه حل ها را برای تولید انرژی گسترش می دهد .

۲/۴- مکانیسم گسترده تولید هیدروژن

PNSB انرژی نور را جذب می کند تا مواد آلی زائد را در فرآیند تخمیر نوری به انرژی هیدروژن تبدیل کند . با این حال ، عوامل منع کننده ای مانند آنزیم های نیتروژناز و همچنین کاهش میزان تولید هیدروژن و مهار ناشی از ترکیباتی سمی مانند H_2 و CO_2 در زمانی که در نور کم قرار می گیرند می توانند مانع این فرآیند شوند . به عنوان مثال ، سوبستراهای باقیمانده و فاضلاب تیره رنگ ، نفوذ نور را کاهش می دهند ، در حالی که غلظت بالای آمونیوم فعالیت نیتروژناز را سرکوب می کند . علیرغم مواجهه با چنین چالش هایی ، فناوری های پیشرفته ای برای بهبود راندمان تخمیر نوری به سمت تولید بیهیدروژن به طور جامع در بخش های بعدی خلاصه و بررسی می شوند .

۲/۴/۱- پیش تصفیه زیر لایه

پیش تصفیه زیر لایه ، پیش تیمار بستر برای تجزیه مواد آلی پیچیده به ترکیبات ساده تر که می توانند به راحتی توسط میکروارگانیسم مورد استفاده قرار گیرند ، ضروری است و تکنیک های پیش تیمار رایج شامل روش های فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی است . به طور خاص ، پیش تیمارهای فیزیکی ، مانند آسیاب کردن ، سطح بستر را افزایش می دهند و آن را برای رفتارهای میکروبی در دسترس تر می کنند . پیش تیمارهای شیمیایی ، از جمله تیمارهای اسیدی یا قلیایی ، به حل شدن پلیمرهای پیچیده مانند سلولز و همی سلولز کمک می کنند و منجر به آزادسازی قندهای قابل تخمیر می شوند . [1] پیش



تیمارهای بیولوژیکی از آنزیم ها یا کنسرسيوم های میکروبی برای تجزیه مواد لیگنوسلولزی استفاده می کنند و آنها را بدون نیاز به مواد شیمیایی خشن به قندهای ساده تر تبدیل می کنند. این روش های پیش تیمار برای افزایش دسترسی به بسترهای قابل تخمیر تر طراحی شده اند که به نوبه خود باعث بهبود کارایی و عملکرد تولید هیدروژن می شود.

۲/۴/۲- مهندسی ژنتیک

تولید بیوهیدروژن به شدت به مهندسی ژنتیک متابولیسم میکروبی متکی است. بنابراین، توسعه سویه های با عملکرد بالا برای بهبود بازده هیدروژن از اهمیت حیاتی برخوردار است. مهندسی ژنتیک به یک رویکرد کلیدی برای افزایش عملکرد باکتری ها در شرایط مختلف محیطی تبدیل شده است، با استراتژی هایی از جمله کاهش اثرات خودسایشی، بیان بیش از حد ژن های ATP و بهبود تحمل آمونیم [1].

۲/۴/۳- فناوری بی حرکت سازی یک استراتژی موثر

فناوری بی حرکت سازی برای افزایش راندمان و بهره وری تولید هیدروژن از زباله های زیستی است و مسیری را به سمت فرآیندهای تولید هیدروژن زیستی پایدار تر و مقرون به صرفه تر ارائه می دهد. این رویکرد شامل اتصال سلول های میکروبی به مواد نگهدارنده است که مستقیماً بر مکانیسم های کلیدی مربوط به تولید هیدروژن تاثیر می گذارد. با بی حرکت سازی سلول ها، پایداری و غلظت جامعه میکروبی به طور قابل توجهی افزایش می یابد و یک محیط متراکم و از نظر متابولیکی فعال ایجاد می شود که استفاده از سوبسترا و انتقال الکترون برای تولید هیدروژن را بهینه می کند. یکی از مزایای کلیدی بی حرکت سازی یا تثبیت، افزایش مقاومت سلول های میکروبی در برابر تنش های محیطی، مانند



نوسانات دما، یا وجود مواد بازدارنده است. این افزایش انعطاف پذیری برای PH تغییرات حفظ تولید هیدروژن پایدار در شرایط صنعتی متغیر و بالقوه چالش برانگیز ضروری است. علاوه بر این، این خواص تحمل تنش، نقش های محوری در تولید هیدروژن پایدار در کاربردهای صنعتی که شرایط ممکن است متفاوت باشد، ایفا می کنند [4]. علاوه بر این، بی حرکت سازی، خطر شسته شدن سلول ها، که یک مشکل رایج در فرآیندهای تخمیر مداوم است را کاهش می دهد و در نتیجه چرخه تولید پایدار و طولانی مدت را تضمین می کند. در میان تکنیک های مختلف تثبیت، سیستم های مبتنی بر بیوفیلیم به طور خاص قابل توجه هستند. به طور خاص، این سیستم ها میکروارگانیسم ها را قادر می سازد تا یک بیوفیلیم - یک لایه نازک و محافظ از سلول ها - روی سطح ماده نگهدارنده تشکیل دهند. بیوفیلیم به عنوان یک دفاع طبیعی در برابر شستشوی سلول عمل می کند، که یک مشکل رایج در فرآیندهای تخمیر مداوم است که در آن سلول ها ممکن است در پساب از بین بروند. در این سیستم های سلول تثبیت شده، الیاف کربن فعال به دلیل مساحت سطح بزرگ خود، حامل های بسیار موثری هستند. سایر مواد با سطوح ناهموار، مانند الیاف نوری، صفحات شیشه ای متخلخل و مواد زیستی با استفاده از نانوذرات، نیز معمولاً به عنوان حامل استفاده می شوند [4]. این مواد مزایای اضافی مانند افزایش نفوذ نور یا فعالیت کاتالیزوری را فراهم می کنند که فرآیندهای متابولیکی را برای تولید هیدروژن بیشتر تشدید می کند. فراتر از انتخاب مواد حامل، پارامترهای عملیاتی مانند غلظت سوپسترا، شدت نور و سرعت جریان نیز به طور قابل توجهی بر عملکرد کلی و پایداری طولانی مدت سیستم های سلول تثبیت شده تاثیر می گذارند. برای مثال، توزیع بهینه نور در بیوراکتور، حداکثر فعال سازی مسیرهای فتوسنتزی را تضمین می کند، در حالی که سرعت جریان کنترل شده از تنش برشی که ممکن است به بیوفیلیم آسیب برساند، جلوگیری می کند. با وجود این پیشرفت ها، کاربرد فناوری تثبیت در راکتور های بزرگ هنوز به خوبی بررسی نشده است. چالش هایی مانند حفظ یکپارچگی بیوفیلیم و ایجاد تعادل در انتقال جرم در محیط های صنعتی نیازمند تحقیقات بیشتر است. گسترش تحقیقات در مورد راکتورهای تثبیت شده در مقیاس بزرگ برای پر کردن شکاف بین مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی و کاربردهای صنعتی ضروری است و راه را برای تولید بیوهیدروژن کارآمد و پایدار در مقیاس بزرگ هموار می کند.



۲/۴/۴-افزودنی های تکمیلی

برخلاف تاکتیک های تشدید ذکر شده در بالا ، استفاده از افزودنی های تکمیلی رویکرد عملیاتی ساده تری را ارائه می دهد . این روش در درجه اول با هدف افزایش فرآیند تولید هیدروژن با وارد کردن مواد خاص به محیط تخمیر بر اساس نیازهای متابولیکی باکتری انجام می شود . این فرآیند را می توان با افزودن موارد زیر بهینه کرد : عناصر فلزی ضروری برای رشد باکتری یا سنتز ؛ نانو مواد فوتوکاتالیستی که جذب نور را بهبود می بخشد ؛ و محلول های بافر برای کاهش مهار اسید ، این افزودنی ها به طور موثر در بهبود تولید هیدروژن فوتو تخمیر نقش دارند . یون های فلزی به دلیل عملکردشان در متابولیسم باکتری ها و فعال سازی آنزیم ها ، نقش های محوری در سیستم های تخمیر نوری ایفا می کنند . یون های فلزی تولید هیدروژن تخمیر نوری را از طریق مکانیسم های متعدد افزایش می دهند . استفاده از یون های مختلف روی فعالیت میکروبی و بهینه سازی مسیر های متابولیکی ، بازده و سرعت هیدروژن را به طور قابل توجهی افزایش داد . یون های روی ، انتقال کارآمد الکترون را تسهیل کرده و واکنش تکامل هیدروژن را تقویت می کنند . به عنوان مثال رودوپسودوموناس TiO_2 - ZnO - Fe_3O_4 - SiC - اندازه نانو با باکتری فتوتروفیک ادغام شده با ردوباکتراسپاروئیدس نتایج امیدوارکننده ای به همراه داشته است . این نانو ذرات به عنوان فوتوکاتالیست عمل می کنند و فرآیندهای جذب نور و انتقال الکترون را افزایش می دهند و در نتیجه راندمان تولید هیدروژن را تحت تابش نور مرئی افزایش می دهند ، که با افزایش تولید هیدروژن از طریق تخمیر نوری از ۲۴٪ تا ۸۸٪ پشتیبانی می شود . نانو ذرات با فراهم کردن مکان های فعال اضافی و افزایش چگالی کلی الکترون ، فرآیند را تسهیل می کنند [1] . استفاده از کشت های باکتریایی مخلوط با نانو ذرات مبتنی بر آهن ، نیکل و روی نیز افزایش تولید هیدروژن از فاضلاب صنعتی را نشان داده است ، که نشان می دهد این نانو مواد می توانند به عنوان اهداکننده الکترون عمل می کنند و در نتیجه متابولیسم میکروبی و فعالیت هیدروژناز را ارتقا دهند . افزایش



کارایی و مقیاس پذیری تولید بیوهیدروژن از طریق تخمیر نوری فراتر از یون های فلزی و نانو مواد ، افزودنی های آلی خاصی نیز در کمک به تولید هیدروژن از طریق تخمیر نوری موثر شناخته شده اند . یون های فلزی به عنوان کوفاکتور های ضروری عمل می کنند و واکنش های آنزیمی حیاتی برای تولید هیدروژن را افزایش می دهند . نانو مواد جذب نور و انتقال الکترون را بهینه می کنند و مستقیماً بر راندمان تکامل هیدروژن تاثیر می گذارند . افزودنی های آلی محیط میکروبی را غنی می کنند و رشد قوی باکتری ها و فعالیت متابولیکی را تقویت می کنند . در مجموع ، این پیشرفت ها هم سرعت تولید هیدروژن و هم بازده آن را بهبود می بخشند و پتانسیل امیدوارکننده آنها را برای سیستم های تولید بیوهیدروژن در مقیاس بزرگ نشان می دهند .

۲/۴/۵-طراحی راکتور و بهینه سازی شرایط

بهینه سازی راکتور با در نظر گرفتن عوامل حیاتی مانند توزیع نور ، در دسترس بودن سوپسترا و اختلاط کشت میکروبی ، نقش محوری در افزایش تولید بیوهیدروژن تخمیر نوری ایفا می کند . یک چالش اساسی در تخمیر نوری ، اطمینان از توزیع یکنواخت نور است ، زیرا روشنایی ناهموار مانع از کارایی فتوسنتز میکروارگانیسم ها می شود . برای پرداختن به چنین مسائلی ، طرح های نوآورانه ای مانند راکتورهای صفحه ای تخت ، راکتورهای لوله ای و راکتورهای فتوبیور با منابع نور داخلی توسعه یافته اند ، زیرا این طرح ها قادر به بهبود نفوذ نور ، کاهش اثرات سایه و بهینه سازی جذب فوتون هستند و در نتیجه نرخ کلی تولید هیدروژن را افزایش می دهند . علاوه بر این ، به حداکثر رساندن نسبت سطح به حجم راکتور ، هم استفاده از نور و هم تبادل گاز را افزایش می دهد و به راندمان بالاتر تولید هیدروژن کمک می کند [5] .



استفاده از سیستم های سلولی بی حرکت و راکتور های بیوفیلیم مزایای دیگری مانند جوامع میکروبی تثبیت شده و تراکم سلولی بالا را ایجاد می کند. با فراهم کردن محیطی پایدار برای رشد میکروبی و حفظ تراکم سلولی بالا، این سیستم ها می توانند بهره وری کلی را در جهت تولید بیوهیدروژن افزایش دهند. علاوه بر طراحی راکتور، ادغام تخمیر در تاریکی باد تخمیر نوری، یک رویکرد هم افزایی برای به حداکثر رساندن تولید هیدروژن از زباله های زیستی ارائه می دهد. این به این دلیل است که تخمیر در تاریکی می تواند هیدروژن را به همراه اسیدهای آلی و الکل ها تولید کند که می توانند به عنوان سوپسترا برای تخمیر نوری بعدی عمل کنند. این ادغام امکان استفاده تقریباً کامل از مواد آلی را فراهم می کند و هم بهره وری منابع بازده هیدروژن را افزایش می دهد. دو استراتژی ادغام رایج وجود دارد: سیستم متوالی و همزمان، در تنظیمات متوالی، پساب حاصل از تخمیر در تاریکی به راکتور تخمیر نوری تغذیه می شود و تامین مداوم سوپستراها را تضمین می کند. در مقابل سیستم های همزمان تمام فرآیندهای مربوطه را در یک راکتور واحد ترکیب می کنند و تبدیل کارآمد سوپسترا را در یک محیط کشت مشترک امکان پذیر می سازد. بنابراین، دما و PH بهینه سازی پارامترهای عملیاتی این سیستم های یکپارچه می تواند نیازهای متابولیکی میکروارگانیسم های تخمیر کننده در تاریکی و نور را هماهنگ کند [3].

۳- تولید بیومتان از طریق تخمیر نوری

۳/۱- فرآیند تولید بیومتان به روش تخمیر نوری و مکانیسم های آن

تولید متان از سیستم های تخمیر نوری شامل استفاده غیر مستقیم از انرژی نور برای تسهیل تجزیه بی هوازی مواد آلی است که منجر به تولید متان می شود. برخلاف تولید مستقیم هیدروژن، تولید متان از تخمیر نوری به یک فرآیند چند مرحله ای متکی است که در آن شرایط نوری، فعالیت میکروبی را در شرایط بی هوازی افزایش می دهد. این فرآیند با ورود فاضلاب حاوی سوپستراهای آلی به یک بیوراکتور آغاز می شود. PNSB انرژی نور را جذب می کنند. (شکل شماره ۲) باکتری های فتوسنتز کننده، عمدتاً به



صورت کاتالیزوری تجزیه مولکولهای آلی پیچیده را به ترکیبات ساده تر آغاز کنند. این باکتری ها، همراه با سایر میکروارگانیسم های بی هوازی، یک محیط هم افزایی ایجاد می کنند که در آن مواد آلی به تدریج از طریق مراحل متعدد هیدرولیز، اسیدزایی، استئوزایی و در نهایت متانوژنز (تولید متان) تجزیه می شوند. در متان زایی، آرکی های متان زا محصولات واسطه ای مانند استات، هیدروژن و دی اکسید کربن را به متان تبدیل می کنند. راندمان تولید متان به طور قابل توجهی تحت تاثیر شرایط نوری قرار دارد که فعالیت متابولیکی باکتری های فتوسنتزی را افزایش داده و به نوبه خود، فرآیند کلی تجزیه بی هوازی را بهبود می بخشد. متان تولید شده توسط تخمیر نوری یک فرآیند غیر مستقیم و چند مرحله ای است که می تواند از طریق بهینه سازی فعالیت میکروبی و شرایط محیطی، با استفاده از انرژی نور برای بهبود راندمان تجزیه بی هوازی و تولید متان، افزایش یابد. هنگام پردازش زباله های زیستی برای تولید نامناسب می تواند به طور قابل توجهی بازده متان را کاهش دهد. شرایطی که در آن دینامیک میکروبی نسبت به عوامل محیطی حساس تر است. با PH و دما، می توان راندمان تولید متان تغییر متناوب شرایط مانند شدت نور از طریق تخمیر نوری را به میزان قابل توجهی افزایش داد و آن را به یک فناوری امیدوارکننده برای تولید پایدار انرژی زیستی تبدیل کرد. ا. دغام تخمیر نوری و متانوژنز می تواند در یک راکتور واحد یا از طریق راکتورهای متوالی رخ دهد. در یک سیستم تک راکتوری، باکتری های فتوتروفیک و متانوژن ها همزیستی و تعامل مستقیم دارند و تبدیل کارآمد سوبسترا و تولید متان را تسهیل میکنند [6]



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



مختلف استفاده می کند و مواد آلی پیچیده را به طور موثر به بیوهیدروژن و بیومتان تبدیل می کند. علاوه بر این، ادغام حذف آمونیوم یا استفاده از شرایط خاص، راندمان فرآیند را بیشتر افزایش می دهد و تنش بالای دی اکسید کربن و سدیم به یک استراتژی بسیار موثر برای به حداکثر رساندن خروجی انرژی زیستی در حین تصفیه فاضلاب و زباله های زیستی تبدیل می کند.

جدول شماره ۲- تولید بیومتان از فاضلاب و زباله های زیستی از طریق تخمیر نوری

خوراک دام	تلقیح	بیومتان تیره	بیومتان فتوسنتزی
استات سدیم + گلوکز	لجن هضم شده به روش بی هوازی	۱۱۳ میلی لیتر در گرم COD	۱۹۸ میلی لیتر COD
شیرابه کود گاوی	PNSB	حدود ۰.۰۱ لیتر COD	۰.۰۵۷ لیتر از کل COD
شیرابه کود گاوی	لجن هضم شده به صورت بی هوازی	۲۰٪ از مقدار کل COD	۸۰٪
لجن شهری	لجن هضم شده به صورت بی هوازی	۱۷۹.۲ میلی لیتر COD	۳۰۵.۴ لیتر COD
استات سدیم + گلوکز	لجن هضم شده به صورت بی هوازی	۹.۷ میلی لیتر بر D راکتور	۲۸.۱ میلی لیتر از D راکتور
فاضلاب اسید ترفتالیک	لجن هضم شده به صورت بی هوازی	۱۱۴.۸ میلی مول بر لیتر	۲.۲۱۸ میلی مول بر لیتر مجدور D
اسید هیومیک + گلوکز	لجن هضم شده به صورت بی هوازی	حدود ۱۰۰ میلی لیتر	۲۲۳.۰ میلی لیتر VS

بنابراین، میکروارگانیسم های تحریک شده با نور، مسیر های متابولیکی را در سیستم تقویت می کنند و امکان استفاده کارآمد تر از سوپسترا و متان زای ی را فراهم می کنند. نکته قابل توجه این است که ادغام نور در فرآیندهای هضم بی هوازی می تواند منجر به مزایای عملیاتی نیز شود، هضم بی هوازی با کمک نور نه تنها عملکرد بیوگاز را افزایش می دهد، بلکه تجزیه ترکیبات آلی مقاوم، مانند اسیدهای هیومیک که تجزیه آنها



دشوار است را نیز تسریع می کند. انرژی نور تاثیر کمکی بر تخریب بستر دارد، زیرا دخالت میکروارگانیزم های فتوسنتزی مسیرهای متابولیکی درون سیستم را متنوع می کند و تخریب بستر را بیشتر می کند. با بهره گیری از چنین اثرات هم افزایی ابزاری در سیستم های تخمیر نوری، سیستم های بی هوازی می توانند دستیابی به تولید متان بیشتر، کاهش مواد آلی باقیمانده و افزایش راندمان فرآیند. براساس، درک عمیق از این پیشرفت های مثال زدنی، پتانسیل بالای اتخاذ فناوری تخمیر نوری به عنوان یک رویکرد پایدار و نوآورانه برای بهینه سازی تولید بیومتان از فاضلاب و زباله های زیستی که به طور گسترده در دسترس هستند، شناخته شده است. تاثیر نوع خوراک، ترکیب تلقیح و فناوری های پیشرفته بر راندمان تولید بیومتان از طریق تخمیر نوری در مطالعات مختلف مشهود است. به عنوان مثال، سوبستراهایی مانند استات سدیم، گلوکز، شیرابه کود گاوی، لجن شهری و اسید هیومیک، درجات مختلفی از ظرفیت تولید بیومتان را در شرایط نوری نشان می دهند. استفاده از فتوکالیست ها جذب نور را بهبود می بخشد، انتقال الکترون را تسهیل می کنند و تعاملات میکروبی حیاتی برای متان زایی را ارتقا می دهند. در مقایسه با مطالعات مختلف، نتیجه گرفته می شود که پیچیدگی خوراک ها و ویژگی های جوامع میکروبی، عوامل کلیدی در تعیین بازده نهایی متان هستند. فناوری های پیشرفته مانند استفاده صحیح از شدت نور، تغییر جمعیت میکروبی و مکانیسم انتقال الکترون، تقویت اثرات تخمیر نوری را ممکن می سازد و به نوبه خود راندمان تولید سوخت زیستی را تعیین می کنند. با پیوند دادن این یافته ها، این بررسی یک چارچوب جامع برای درک چگونگی تاثیر متقابل پارامترهای مختلف بر تولید بیومتان ارائه می دهد و پیشرفت های اخیر و چالش های موجود در بررسی سیستم های بیوانرژی فوتوتخمیر را شرح می دهد [1].



فرآیند فتومتان زایی را می توان از طریق روش های خاصی بهبود بخشید. $g-C_3N_4$ در این سیستم به عنوان یک فوتوکاتالیست کارآمد عمل می کند و مکانیسم منحصر به فردی را فراهم می کند که فرآیند کلی تخمیر نوری $g-C_3N_4$ را تقویت می کند. اولاً خواص جذب نور عالی و شکاف باند مناسبی است که به آن اجازه می دهد نور تولید می کند و نور مرئی را به طور موثر مهار می کند. پس از تابش جفت های الکترون - حفره، که در آن الکترون های تولید شده توسط نور نقش حیاتی در کاهش پروتون ها برای تولید هیدروژن دارند. این هیدروژن متعاقباً به عنوان دهنده الکترون برای آرکی های متانوژن عمل می کند و در نتیجه تولید متان را افزایش می دهد. علاوه بر این، سطح بالای آن مکان های فعال تری را برای اتصال و تعامل میکروبی فراهم می کند و فعالیت و پایداری میکروبی را ارتقا می دهد [3].

۴-مقایسه تولید هیدروژن و متان از طریق تخمیر نوری

تخمیر نوری برای تولید بیوهیدروژن و تخمیر نوری برای تولید بیومتان دو فرآیند تبدیل انرژی زیستی متمایز هستند که هر کدام اصول منحصر به فردی را نشان می دهند. اولاً، اصول اساسی این فرآیندها به طور قابل توجهی متفاوت است. تخمیر نوری برای تولید هیدروژن از قابلیت های فتوسنتزی مانند استفاده می کند که از انرژی نور برای هدایت فتولیز سوبستراهای آلی استفاده می کنند و گاز هیدروژن را به عنوان محصول جانبی تولید می کنند. این فرآیند ذاتاً بی هوازی است و به زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی برای تجزیه مولکول های آب یا اسیدهای آلی متکی است که منجر به تولید هیدروژن می شود. در مقابل، تخمیر نوری برای تولید متان شامل استفاده از نور برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم های بی هوازی، از جمله باکتری های فتوسنتزی و آرکی ها، در فرآیند هضم بی هوازی است. در اینجا، نور در درجه اول برای تحریک رشد و فعالیت های متابولیکی این میکروارگانیسم ها عمل می کند و به طور غیر مستقیم تولید متان را از طریق تخمیر و متان زایی بعدی سوبسترا آلی افزایش می دهد. نقش نور در تولید متان بیشتر در مورد بهینه سازی اکوسیستم های میکروبی و فرآیندهای انتقال الکترون است تا تولید مستقیم متان. ارزیابی اقتصادی محصولات هدف تولید شده از فرآیندهای تخمیر نوری به عنوان یک معیار حیاتی برای ارزیابی پیشرفت آن به سمت تولید در مقیاس صنعتی عمل می کند [5]. به دلیل مزایایی مانند بازده هیدروژن بالا تر، استفاده عالی از



انرژی نور و کاهش نیاز به بستر ، تولید هیدروژن از طریق تخمیر نوری در مقایسه با تخمیر در تاریکی هزینه های اقتصادی کمتری دارد . ارزیابی اقتصادی هیدروژن و متان تولید شده از سیستم های تخمیر نوری ، هیدروژن تولید شده از طریق تخمیر نوری به دلیل نقش آن به عنوان یک منبع انرژی پاک با کاربردهای گسترده در صنایع ، حمل و نقل و مواد شیمیایی ، ارزش اقتصادی بالاتری را ارائه می دهد . بیوهیدروژن قیمت بازار بالاتری دارد ، با این حال ، این فرآیند به مواد اولیه با کیفیت بالا مانند قندها ، اسیدهای چرب فرار ، در کنار طراحی های پیشرفته فتوبیوراکتور نیاز دارد که هزینه های سرمایه گذاری اولیه را افزایش می دهد . علیرغم این چالش ها ، چرخه تولید کوتاهتر و دسترسی به محصولات جانبی مانند اسید استیک ، امکان سنجی اقتصادی کلی تولید هیدروژن را افزایش می دهد . مقرون به صرفه بودن تولید بیومتان در توانایی آن در پردازش جریان های متنوع زباله های آلی با الزامات سختگیرانه کمتر نهفته است که منجر به هزینه های عملیاتی پایین تر می شود . علاوه بر این ، چگالی انرژی بالاتر و راندمان ذخیره سازی متان ، امکان استفاده طولانی مدت را فراهم می کند . و همچنین مزایای هزینه ای ، آن را برای کاربردهای مدیریت پسماند مناسب می کند . به طور کلی ، تولید هیدروژن ، بازگشت سریع تر سرمایه گذاری و پتانسیل بازار بالاتری را ارائه می دهد ، به ویژه در مناطقی در مناطقی که انرژی تجدید پذیر را در الویت قرار می دهند . با این حال ، تولید متان برای عملیات پایدار در مقیاس بزرگ با استفاده از زباله های آلی مناسب تر است و مزایای زیست محیطی و اقتصادی را در مدیریت پسماند فراهم می کند . هیدروژن هدف تولید شده از تخمیر نوری منجر به انتشار گازهای گلخانه ای نمی شود ، در حالی که تولید بیومتان با انتشار گازهای گلخانه ای تولید دی اکسید کربن را همراه داشته باشد . بهینه سازی تولید متان از تخمیر نوری با فناوری های جذب کربن می تواند ضمن حفظ بازده بالای آن ، اثرات زیست محیطی آن را کاهش دهد . بنابراین ، یافتن راه های موثر برای استفاده از دی اکسید کربن تولید شده در طول تولید بیومتان برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای بسیار مهم است . نکته قابل توجه این است که ، در جدول بیومتان بازده انرژی بالاتر و انرژی حرارتی بیشتری نسبت به بیوهیدروژن نشان داده است . پس از تولید بیومتان ، قادر به تجمع مقادیر زیادی گاز با چگالی انرژی بالا در طول عملیات طولانی مدت است . علاوه بر این ، فرآیندهای تولید متان معمولاً منجر به اثرات زیست محیطی کمتری



می شوند که به توانایی آنها در مدیریت موثر جریان های زباله آلی متنوع و پر بار نسبت داده می شود. سیستم های تخمیر نوری برای تولید هیدروژن و متان، از هم افزایی نور و میکروارگانیسم ها برای تبدیل سوبسترا های آلی به سوخت های زیستی ارزشمند استفاده می کنند، اگر چه آنها براساس اصول تمایزی با مزایا و چالش های منحصر به فرد عمل می کنند. هیدروژن تولید شده از طریق تخمیر نوری به دلیل پتانسیل آن در کاهش انتشار و مزایای اقتصادی آن، برجسته است. در مقابل متان تولید شده از تخمیر نوری، تطبیق پذیر و کارایی بیشتری در استفاده از بستر و بازیابی انرژی ارائه می دهد و آن را برای مدیریت پسماند در مقیاس بزرگ و تولید انرژی تجدید پذیر عملی تر می کند. این فرآیند های تخمیر نوری در کنار هم، به خوبی با اصول شیمی سبز، از جمله بازیابی منابع، ارزش گذاری پسماند و تولید تجدیدپذیر، همسو هستند و چشم انداز های قابل توجهی را برای دستیابی به پایداری زیست محیطی در عین مصرف و تصیفه پسماند های کم ارزش نشان می دهند. با ادغام این اصول، تخمیر نوری یک فناوری امیدوارکننده برای تولید انرژی پاک تر و پایدارتر از پسماند و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی در طول فرآیندهای تولید انرژی زیستی ارائه می دهد [6].

۵- نتیجه گیری و چشم انداز

این بررسی، پتانسیل کاوش در فناوری تخمیر نوری برای تولید بیوهیدروژن و بیومتان از فاضلاب و زباله های زیستی را برجسته می کند و بر فرآیند ها، مکانیسم ها و مزایای پایداری آنها تاکید دارد. تولید بیوهیدروژن به دلیل باکتری های فتوسنتزی، راندمان قابل توجهی در استفاده از نور و تبدیل سریع سوبسترا ارائه می دهد، در حالی که تولید بیومتان به تعاملات هم افزایی بین باکتری های فتوسنتزی و آرکی های متانوژن متکی است و خروجی انرژی پایدار و مداومی را فراهم می کند. فرآیندهای تولید بیوانرژی، تولید انرژی تجدیدپذیر را با تصفیه زباله ترکیب می کنند و با اهداف پایداری جهانی همسو هستند. تحقیقات آینده باید بر بهبود سیستم های توزیع نور متناسب با طیف جذبی باکتری های فتوسنتز کننده، بهینه سازی طراحی فتوبیوراکتور برای افزایش نفوذ نور و توسعه مواد یا فناوری های جدید برای دستیابی به توزیع یکنواخت تر نور در کل محیط کشت متمرکز شود. ادغام تخمیر نوری با سایر بیوتکنولوژی ها، مانند سیستم های بازیابی مواد مغذی، می تواند راندمان کلی را بیشتر بهبود بخشد. بهبود تولید متان نیازمند تنظیم دقیق پارامترهای عملیاتی مانند



شدت نور دما، PH، است، زیرا این پارامترهای عملیاتی امکان افزایش فعالیت میکروبی را فراهم می کنند. کشت همزمان باکتری های فتوسنتزکننده با آرکی های متان ساز، اعمال مهندسی ژنتیک و بررسی مواد فوتوکاتالیستی می تواند افزایش بیشتر تخریب بستر و همچنین بازده تشکیل انرژی زیستی را فراهم کنند. تولید انتخابی بیوهیدروژن یا بیومتان به ترکیبات فاضلاب و تقاضای انرژی بستگی دارد. هیدروژن برای کاربردهای مرتبط با انرژی پاک ایده آل است و به بسترهای به راحتی تجدید پذیر نیاز دارد. در حالی که تولید متان می تواند از بسترهای پیچیده استفاده کند، متان تولید شده را می توان در زیر ساخت های بیوگاز موجود برای گرمایش و تولید برق استفاده کرد. فناوری تخمیر نوری پتانسیل تحول آفرینی برای تحقق مزایای دو گانه دارد: تولید انرژی تجدیدپذیر و تصفیه پایدار پساب. با پرداختن به چالش های فعلی از طریق مهندسی میکروبی نوآورانه، طراحی راکتور و ادغام فرآیند، فناوری تخمیر نوری به طور قابل توجهی به حوزه های چالش برانگیز بازیابی منابع و انتقال انرژی پاک کمک خواهد کرد. همانطور که انتظار می رود، پذیرش گسترده فناوری تخمیر نوری راه را برای دستیابی به یک اقتصاد زیستی پایدار و دایره ای و زنجیر وار هموار خواهد کرد.

تقدیر و تشکر فراوان از سازمان پژوهشگاه استاندارد که زمینه ای مناسب و بهینه در راستای ارائه نظرات، پیشنهادات و چالش ها یی در اختیار نسل جوان سرزمین عزیزمان ایران مهیا داشته است.

منابع:

- 1.Dandan Xie;Lingfen Kong.;Jiehua H.;Heng Li;and Yuanpeng Wang;A Comparative review of biohydrogen and biomethane production from biowaste through photo-fermentation.2024,10,36
- 2.Hadj Saadoun, J.; Bertani, G.; Levante, A.; Vezzosi, F.; Ricci, A.; Bernini, V.; Lazzi, C. Fermentation of Agri-Food Waste: A Promising Route for the Production of Aroma Compounds. Foods 2021, 10, 707. [CrossRef] [PubMed]



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



3. andSerkos A.Haroutounian 2 Institute of Technology of Agricultural Products, Hellenic Agricultural Organization—DIMITRA (ELGO—DIMITRA), Sof. Venizelou 1, 14123 Athens, Greece; dimarap@elgo.gr

4.Laboratory Nutritional Physiology & Feeding, Department of Animal Science, Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855 Athens, Greece; sehar@aua.gr Correspondence: christosiliopoulos@aua.gr; Tel.: +30-2102845940

5.Díaz AB, Alvarado O, de Ory I et al (2013) Valorization of grape pomace and orange peels: improved production of hydrolytic enzymes for the clarification of orange juice. Food Bioprocess 91:580–586. doi:10.1016/j.fbp.2013.01.007 47.

6. Pe´rez-Rodríguez N, Oliveira F, Pe´rez-Bibbins B et al (2014) Optimization of xylanase production by filamentous fungi in solid-state fermentation and scale-up to horizontal tube bioreactor. Appl Biochem Biotechnol 173:803–825. doi:10.1007/s12010-014-0895-1