

افزایش بازدهی فتوسل های ارگانیک (باکتریورودوپسین) با استفاده از روش لانگ مویر بلادجت و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO₂)

سجاد بادپروا^۱، M.Sc.، بهروز دوستی^۲، Ph.D.، ابراهیم بادپروا^۳، Ph.D.، امین حاجی امرایی^۴، M.Sc.، امین دهقانی نژاد^۵، Ph.D.*

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم آباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، خرم آباد، ایران

۲- استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران

۳- دانشگاه علوم پزشکی لرستان، مرکز تحقیقات داروهای گیاهی، گروه انگل شناسی و قارچ شناسی، خرم آباد، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد زیست شناسی سلولی- مولکولی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم آباد، خرم آباد، ایران

۵- گروه فیزیک، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Dehghaninejad.amin@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۶

چکیده

هدف: هدف از این مطالعه تبدیل انرژی نور لامپ و خورشید به انرژی الکتریکی با تک لایه سازی پروتئین باکتریورودوپسین، ارزیابی ترکیبات مورد آزمایش (TiO₂, FTO, Br) جهت افزایش بازده فتوسل های بیولوژیک، امکان سنجی ساخت فتوسل ها جهت به کارگیری در معماری، مصارف نظامی و ساخت فتوسل بیولوژیکی بود.

مواد و روش ها: با روش بلدینگ نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر روی سطح فلئورین تین اکساید (FTO) قرار گرفت. با روش لانگ مویر بلادجت، تک لایه سازی پروتئین باکتریورودوپسین (Br) انجام و فتو آند آماده شد. سپس با یک قطره از محلول H₂PtCl₆ (۲ میلی گرم Pt در ۱ میلی لیتر اتانول) روی شیشه FTO را پوشانده و کاتد آماده شد. الکتروود فتوآند (FTO/TiO₂/Br) و الکتروود مقابل (کاتد) (FTO / Pt) به صورت ساندویچ قرار داده شدند.

نتایج: تغییرات pH وابسته به نور باعث اثبات فعالیت باکتریورودوپسین شد. توان فتوسل های تک لایه ساخته شده در این مطالعه ۰/۷μA و ولتاژ آنها ۱۹۰mV بود که با توان فتوسل های تجمع یافته (۰/۲μA)، ۰/۵ μA و با ولتاژ آنها (۱۶۵mV)، ۲۵ mV تفاوت داشتند، یعنی سلول های تک لایه نسبت به تجمع بازدهی بیشتری داشته اند.

نتیجه گیری: تکنیک لانگ مویر روشی بسیار مناسب برای تثبیت پروتئین باکتریورودوپسین به صورت تک لایه بر روی بستر حاوی نانو ذرات (دی اکسید تیتانیوم) با حفظ حداکثر فعالیت می باشد.

واژگان کلیدی: باکتریورودوپسین، فتوسل، نانو ذره دی اکسید تیتانیوم (TiO₂)، لانگ مویر بلادجت

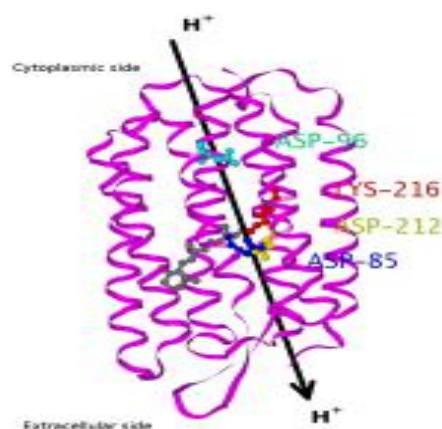
مقدمه

در سال ۱۸۷۶ میلادی ویلیام گریلز آدامز و شاگردش، ریچارد ایوانز دی، کشف کردند که جریان الکتریکی در اثر تابش نور می‌تواند در سلنیوم ایجاد شود که در ادامه داریل چاپین و کالوین فولر با اصلاح و تغییر کشف پیرسون، اولین سلول خورشیدی که قادر به تبدیل انرژی خورشیدی به توان الکتریکی بود را برای استفاده در تجهیزات الکتریکی روزمره ساختند (۱) و (۲). اما تهیه مواد برای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی موجود، دارای هزینه بسیار بالایی می‌باشد. نسل دیگری از سلول‌های فوتوولتائیک، سلول‌های رنگدانه‌ای (DSSC) که اولین بار توسط گراتزل و همکاران به دلیل هزینه پایین، محیط زیست پسند، با ساختار ساده، اختراع و مورد توجه قرار گرفته شدند و شامل لایه‌ای نازک از دی اکسید تیتانیوم و مولکول‌های رنگ آلی که در بین ذرات دی اکسید تیتانیوم قرار گرفته و الکتروولت سیال را جذب می‌کنند. با این وجود این فتوسل‌ها هنوز فاقد راندمان بالایی هستند (۳-۵).

یکی از این مولکول‌های رنگ آلی که در فتوسل‌ها کاربرد دارد پروتئین‌های فتوکروم می‌باشد. این پروتئین‌ها در فتوسنتز و حس بینایی نقش مهمی را بازی می‌کنند و به همین دلیل مطالعات زیادی بر روی عملکرد این مولکول‌ها، فعل و انفعال آن‌ها با نور و چگونگی تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی و یا سیگنال‌های فیزیولوژیک انجام گرفته است. پروتئین باکتریوردوپسین از دسته پروتئین‌های فتوکروم می‌باشد، که در سه دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این پروتئین

غشایی توسط هالوباکتری‌ها تولید می‌شود. هالوباکتریوم سالیناریوم (*Halobacterium salinarium*) یک آرکی هوازی، گرم منفی و فوق العاده نمک دوست است و در شوره زارها و نمک زارها یافت می‌شود. سطح هالوباکتریوم سالیناریوم شامل مسیرهای غشایی است که غشای ارغوانی نامیده می‌شود. مهم‌ترین پروتئین موجود در غشای ارغوانی، باکتریوردوپسین است. باکتریوردوپسین بهترین پروتئین مطالعه شده در آرکی باکتری‌هایی است که به‌طور طبیعی تحت شرایط نوردهی و هوادهی پایین رشد می‌کنند. این پروتئین یک پروتئین غشایی است که دارای هفت هلیکس موجود در عرض غشاست (۶ و ۷) و یک پروتئین کلیدی با قابلیت‌های فتوسنتزی می‌باشد. آنچه که پروتئین باکتریوردوپسین را از مواد فتوکرومیک ارگانیک و غیرارگانیک متمایز می‌سازد ساختمان کریستالی دو بعدی این پروتئین است که در مقابل تخریب‌های گرمایی و شیمیایی مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد (۸).

شبکه موجود در پروتئین باکتریوردوپسین غشای سلولی هالوباکتریوم سالیناریوم، یکی از ساده‌ترین مبدل‌های انرژی بیولوژیکی شناخته شده است (۹ و ۱۰). در طول چرخه فتوشیمیایی باکتریوردوپسین، این پروتئین هم جهت در غشای ارغوانی، پروتون را از سیتوپلاسم به فضای خارج سلولی، یک سوپه پمپ می‌کنند. چرخه‌ی فتوشیمیایی پمپ پروتون باکتریوردوپسین بیش از 10^6 بار تکرار می‌شود (شکل ۱) (۱۱ و ۱۲).



شکل ۱: باکتریوردوپسین موجود در غشای هالوباکتریوم سالیناریوم (۱۳)

به حالت تعلیق به شکل لایه‌های با ثبات بماند. برای انجام روش لانگ مویر بلاجت، یک سوسپانسیون از پروتئین باکتریوردوپسین آماده شد و به مدت ۲۵ ثانیه سونیکیت شد تا قطعات پروتئین باکتریوردوپسین به حالت تعلیق در بیایند. بعد با پخش کردن این سوسپانسیون در محلول زیر لایه اجازه داده

روش‌های گوناگونی برای تشبیت و جهت دهی فیلم نازک باکتریوردوپسین به کار گرفته شده است (۱۴-۱۶) که متداول‌ترین روش برای تشکیل تک لایه‌های آلی تکنیک لانگ مویر بلاجت می‌باشد (۱۷). مطالعات قبلی نشان می‌دهد که پروتئین باکتریوردوپسین می‌تواند در سطح بالای یک محلول

شود به مدت ۳۰ دقیقه به ثبات برسد (۱۸) که در نهایت با شروع به کار دستگاه لانگ مویر بلاذجت تک لایه‌های ایجاد شده به روی بستر جامد انتقال یابند (۱۷).
از جمله اهداف پژوهش بررسی فیلم باکتریورودوپسین تک‌لایه،

بررسی ساخت فتوسل بیولوژیک با بازده بیشتر، ارزیابی ترکیبات (TiO₂, FTO, Br) مورد آزمایش جهت افزایش بازده فتوسل‌های بیولوژیک، امکان‌سنجی ساخت فتوسل‌های جهت به‌کارگیری در معماری و مصارف نظامی.

مواد و روش‌ها

مواد و دستگاه‌ها:

جدول ۱: مشخصات مواد شیمیایی

ردیف	نام ماده	فرمول مولکولی	کمپانی
۱	نمک کلرید سدیم	NaCl	Merk
۲	نمک کلرید پتاسیم	KCl	Merk
۳	هیدروژن پراکسید	H ₂ O ₂	Merk
۴	فویل عایق		Solaronix
۵	متانول	CH ₃ OH	Merk
۶	شیشه FTO		Solaronix
۷	کلریدریک اسید	HCl	Sigma Aldrich
۸	الکترولیت تری یدید		Solaronix
۹	متانول	(CH ₃ OH)	Sigma Aldrich
۱۰	خمیر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم 20nm		Sigma Aldrich
۱۱	H ₂ PtCl ₆		Merck
۱۲	دی متیل فرم آمید (DMF)	NO ₇ H ₃ C	Sigma Aldrich
۱۳	هگزان		Sigma Aldrich
۱۴	کلرید کلسیم	CaCl ₂	Sigma Aldrich

دستگاه‌ها:

- دستگاه لانگ مویر: در این پژوهش از دستگاه -Langmuir Blodgett Trough مدل ایرمان تک استفاده شد.
- دستگاه سونیکا سیون با قدرت ۵۵Hz: در این پژوهش از دستگاه سونیکاسیون Soniprep 150 استفاده شد.
- دستگاه طیف سنجی ماورا بنفش: در این پژوهش از دستگاه Unicum UV-300 استفاده شد.
- کوره آزمایشگاهی: پارس آزمون.
- ترازو: در این پژوهش از ترازوی دیجیتال Sartorius مدل TE1242 با دقت ۰/۰۰۰۱ استفاده شد.
- دستگاه هیتر استیرر: در این پژوهش از دستگاه Heidolf مدل MR 3001 استفاده شد.
- pH متر: در این پژوهش از دستگاه pH متر WTW مدل Inolab استفاده شد.
- دستگاه مولتی‌متر: در این پژوهش HIOKI استفاده شد.

روش‌ها در ۶ مرحله انجام شد که شامل:

۱- تهیه فتوآند

تهیه لایه نازک خمیر TiO₂ (نانو ذره دی اکسید تیتانیوم) بر روی شیشه سخت، مقاوم و ارزان فلئور اکسید قلع (FTO) (۱۹) به روش بلدینگ:

از سمت رسانا FTO دو نوارچسب موازی بر روی لبه‌های صفحه شیشه‌ای به فاصله حدود ۵ میلی‌متر از هم چسبانده می‌شود. مساحت بدون پوشش وسط شیشه با خمیر TiO₂ لایه نشانی خواهد شد. لبه پوشانده شده توسط نوارچسب، ناحیه‌ای برای آب بندی‌ها و اتصالات الکتریکی در آینده خواهد شد. از مزایای دیگر نوار چسب، نگهداری صفحه شیشه بر روی میزکار است. مقداری از خمیر در نزدیکی لبه بالای شیشه‌ی FTO بین دو قطعه نوار چسب ریخته شد. با یک لام میکروسکوپ و یا یک میله شیشه‌ای، خمیر در سراسر صفحه با پشتیبانی نوار چسب بر روی هر دو طرف گسترده می‌شود. شکاف میان نوارها باید با لایه‌ای از خمیر پر شده باشد. این عمل تا زمانی که یک لایه نازک و یکنواخت ایجاد شود تکرار می‌شود (۲۰). صفحه شیشه‌ای تازه پوشش داده شده جهت تثبیت و ایجاد تخلخل در داخل کوره قرار می‌گیرد، سپس الکترودهای پوشش داده شده با خمیر TiO₂ به تدریج

ارغوانی رنگ با NaCl ۰/۱ مولار چندین بار تحت شرایط مرحله قبل شستشو داده شد. عمل شستشو تا جایی صورت گرفت که محلول رویی بی‌رنگ و رسوب ارغوانی رنگ جدا شد. سپس رسوب حاصل در آب مقطر استریل حل و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۲۲).

۳- روش انجام تکنیک لانگ مویر بلاذجت

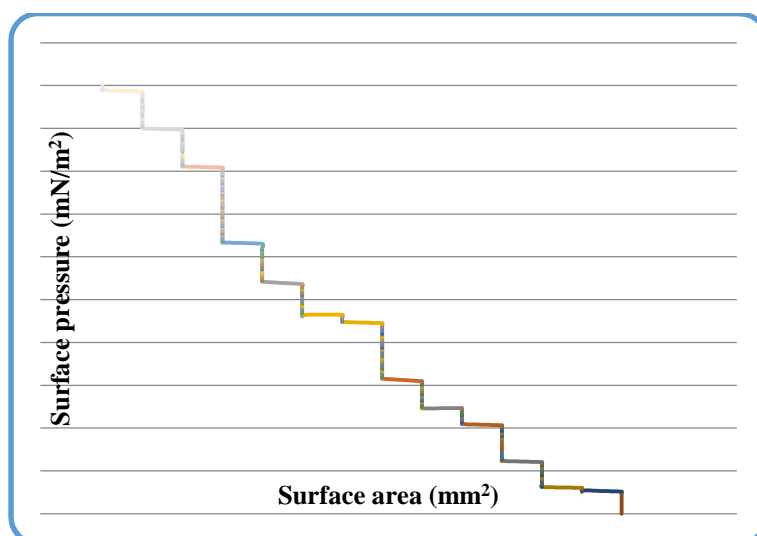
ابتدا سوسپانسیون حاوی ۳۸۰ میکرولیتر آب، ۱۲۶ میکرولیتر DMF (Dimethylformamide) (به‌عنوان ماده فرار برای بالا آوردن پروتئین مورد نظر به سطح آب)، ۹۴ میکرولیتر پروتئین باکتریورودوپسین (۰/۰۵mg/ml) را به‌مدت یک دقیقه سونیکیت و در داخل تشتک حاوی محلول (CaCl₂) (زیر لایه) با pH حدود ۵/۵ و در دمای محیط ریخته و به‌مدت یک ساعت صبر کرده تا خوب در سطح پخش شود که این مرحله را فاز گازی می‌نامند (شکل ۲) با شروع به کار دستگاه لانگ مویر بلاذجت و حرکت بازوها به سمت یکدیگر باعث افزایش فشار سطح می‌شوند، این مرحله را فاز مایع می‌نامند. با افزایش بیشتر فشار سطح به فاز مشترک جامد-مایع تبدیل می‌شود.

سرعت انتقال تک لایه بر روی بستر و جنس بستر نقش تعیین‌کننده‌ای در انتقال، جهت‌گیری و تثبیت پروتئین باکتریورودوپسین دارد. سرعت بازوها ۰/۰۵mm/s، سرعت پایین رفتن بستر ۰/۰۸mm/s و فشار سطح ۲۰mN/m² تنظیم گردید و تک لایه پروتئین باکتریورودوپسین در فاز مشترک جامد-مایع بر روی بستر جامد (FTO) انتقال یافت (۲۳)

تحت جریان هوا به دمای ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد رسیده و به‌مدت ۵ دقیقه در آن دما ماند و به‌ترتیب در ۳۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ دقیقه و در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۵ دقیقه و در نهایت، در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه در کوره حرارت داده شد (۲۱).

۲- جداسازی غشای ارغوانی حاوی باکتریورودوپسین با روش یوسل

محتویات کشت هالوباکتریوم سالی‌ناریوم به حجم یک لیتر با دور ۱۲۰۰۰g به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. رسوب سلولی در ۲۰ میلی‌لیتر محیط کشت پایه نمکی به‌حالت تعلیق درآمد. تعلیق سلولی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌حالت ساکن زیر نور ملایم مهتابی به‌مدت یک شب قرار داده شد. سپس ۳۰۰ میکرو لیتر از محلول DNase به آن افزوده شد. تعلیق سلولی تهیه شده آنزیمی داخل کسبه دیالیز که از قبل آماده شده بود ریخته شد کسبه دیالیز درون بشر ۲ لیتری حاوی NaCl ۰/۱ مولار قرار گرفت. بشر بر روی همزن در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳ روز قرار داده شد و بافر آن طی این مدت سه بار تعویض شد. در پایان دیالیز، محتویات درون کسبه دیالیز داخل فالکون ریخته شده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه و دور ۲۵۰۰g سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ دقیقه و با دور ۳۸۰۰۰g سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد محلول رویی که حاوی باکتریورودوپسین است دور ریخته شد و رسوب



شکل ۲: نمودار لانگ مویر تک لایه پروتئین باکتریورودوپسین. محلول زیر لایه، (در دمای محیط و $pH = 5/5$)

تا این مرحله شیشه FTO به عنوان فتوآند آماده شد.

۴- تهیه فتو کاتد: دو سوراخ (با قطر ۱ میلی متر) در شیشه‌ی FTO با دریل ایجاد شده است (از سمت رسانا). شیشه‌ی FTO سوراخ شده با آب و هم‌چنین با محلول هیدروکلراید ۰/۱ مولار در اتانول شستشو داده شد و در حمام استون به مدت ۱۰ دقیقه اولتراسونیکایت شد و تمیز شد. پس از بین بردن لکه‌های آلی باقی مانده، شیشه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد، سپس با یک قطره از محلول H_2PtCl_6 (۲ میلی‌گرم Pt در ۱ میلی‌لیتر اتانول) روی شیشه FTO را پوشانده و با عملیات حرارتی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، لایه نشانی Pt انجام می‌گیرد (ضخامت حدود ۵۰ میکرون) (۲۱ و ۲۴). برای تست فعالیت کاتالیستی پلاتین، یک قطره پراکسید هیدروژن در روی سطح الکتروود (محلول ۳۰ درصد در آب کافی است) ریخته می‌شود. حباب‌های ایجاد شده از سطح پلاتین نشان می‌دهد که لایه پلاتین فعال و به‌درستی شکل گرفته است (۲۵).

۵- بستن فتوسل

برای ساختن فتوسل، پلیمر آب بندی (طلق پلاستیکی) بین الکتروود فتوآند (TiO_2 , FTO, Br) و الکتروود مقابل (کاتد) (Pt/FTO) به‌صورت ساندریج قرار داده شد (۲۶). حرارت و فشار بر سر سطح فیلم پلیمر با کمک پرس داغ یا یک ابزار مشابه در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد اعمال شد. پس از چند ثانیه، پلیمر مذاب داغ باید از دو طرف به الکتروودها بچسبند. این عمل تا زمانی که تمام سطح هر دو الکتروود با ذوب فیلم پلیمر بر روی هم بچسبند تکرار می‌شود. با استفاده از یک سرنگ با فشار، محلول الکتروولیت از یک سوراخ تزریق شد. با خروج هوا از سوراخ دوم، الکتروولیت تری‌پدید لیتیم به‌داخل سلول پر شد. برای جلوگیری از نشت الکتروولیت، می‌توان مفصل‌های کوچکی از لوله سیلیکونی در نوک سرنگ قرار داد (۲۱، ۲۴ و ۲۵).

۶- روش ساخت فتوسل تجمع یافته

تمام مراحل بالا برای ساخت فتوسل تجمع یافته انجام شد به‌جز مرحله ۳ (تکنیک لانگ مویر). در این فتوسل به‌جای

استفاده از پروتئین باکتریوردوپسین تک لایه توسط دستگاه لانگ مویر، بعد از آماده کردن فتوآند آن را به‌کمک یک پنس در داخل محلول رنگدانه (باکتریوردوپسین) به مدت ۱۸ ساعت منتظر مانده تا جذب نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم شوند بعد فتوآند دو تا سه دقیقه در داخل یک ظرف تمیز و استریل که حاوی اتانول است قرار داده تا رنگدانه‌های که جذب سطح نشده اند جدا شده و درون اتانول حل شوند، بقیه مراحل مثل روش قبل انجام گرفت.

در نهایت به‌منظور بررسی عملکرد فتوسل بیولوژیک ساخته شده فوتوولتائیک در فاصله ۲۵ سانتی‌متری نور چراغ مطالعه با لامپ ۴۰w با شدت روشنایی 450 lux قرار گرفتند که نتایج آن در ادامه بررسی شده است.

نتایج

تست خلوص نمونه باکتریوردوپسین

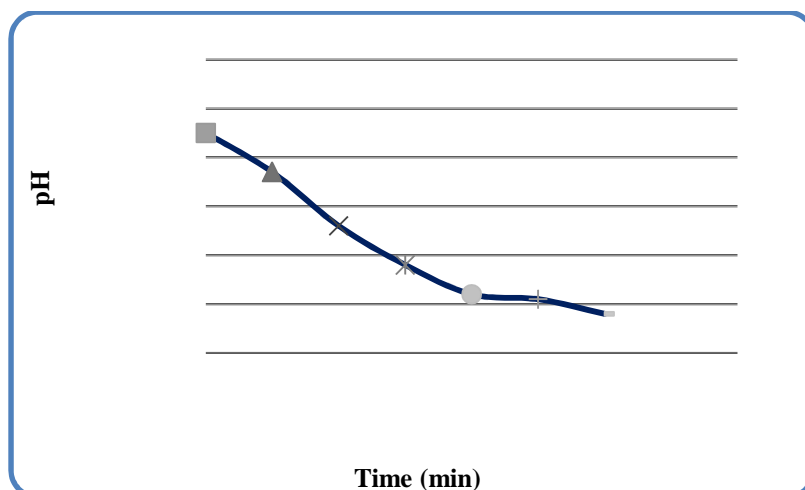
جهت سنجش میزان خلوص باکتریوردوپسین، نسبت جذب در طول موج‌های ۲۸۰ و ۵۶۰ نانومتر استفاده شد. درصد خلوص از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{BRpurity}(\%) = \frac{A_{560}/A_{280}}{0.5} \times 100 \quad (1)$$

هر چه این نسبت بیشتر باشد، میزان خلوص باکتریوردوپسین بیشتر و آلودگی با سایر پروتئین‌ها کمتر است. جذب در طول موج ۲۸۰ نانومتر مربوط به کل پروتئین‌ها و طول موج ۵۶۰ نانومتر مربوط به جذب باکتریوردوپسین است (۲۷).

تست فعالیت زیستی پروتئین باکتریوردوپسین

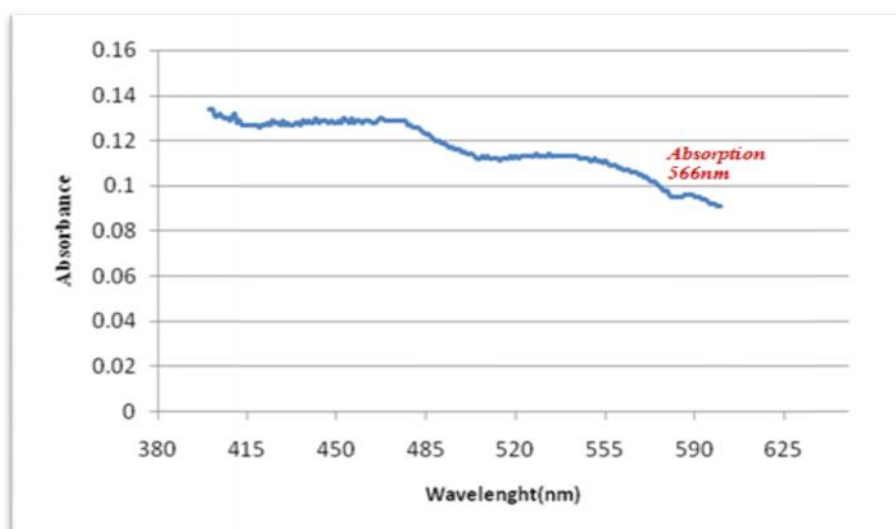
جهت اثبات فعالیت باکتریوردوپسین، تغییرات pH وابسته به نور بررسی می‌شود. زیرا باکتریوردوپسین یک پمپ پروتونی وابسته به نور است و تحت شرایط تابش نور، پروتون پمپ کرده و منجر به تغییرات pH می‌شود، برای اندازه‌گیری میزان فعالیت باکتریوردوپسین داخل غشای ارغوانی، ۰/۵ میلی‌گرم از غشای ارغوانی با سونیکاسیون به‌صورت تعلیق در آمد. قطعات معلق به مدت ۱ ساعت تیمار شدند و در معرض نوردهی قرار گرفتند و تغییرات pH توسط pH متر ثبت شد (شکل ۳) (۲۵).



شکل ۳: نمودار تغییرات pH پروتئین باکتریوردوپسین در دمای محیط

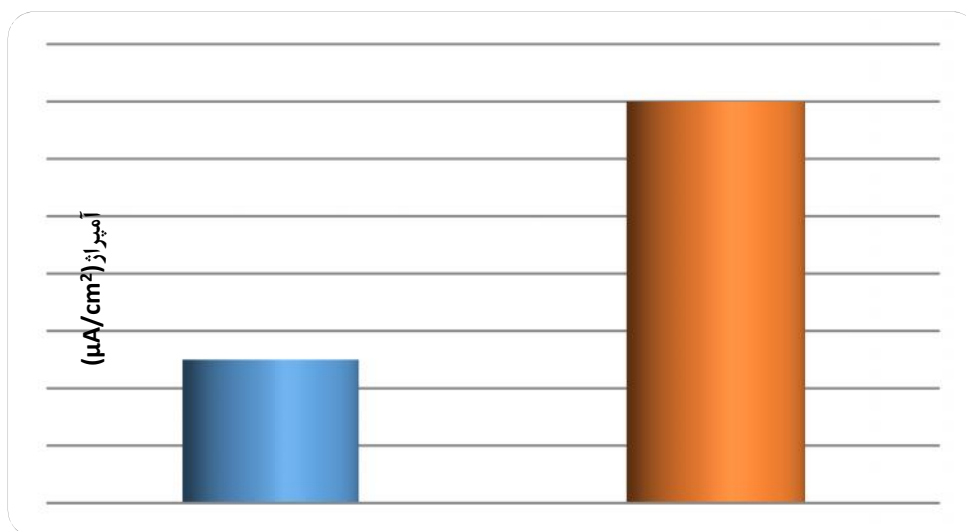
باکتریوردوپسین تک لایه ته نشین شده بر روی FTO حاوی TiO_2 که در ناحیه ۵۶۶ نانومتر جذب داشته که نشان می‌دهد پروتئین باکتریوردوپسین به صورت سالم و بدون آسیب بر روی بستر تثبیت شده و ساختار ذاتی و فتوشیمیایی شبکه پروتئین باکتریوردوپسین بر روی بستر حفظ شده است (۲۳).

بررسی صحت نمونه باکتریوردوپسین بر روی شیشه FTO با طیف سنجی در طول موج ۳۸۰ تا ۶۵۰ نانومتر پروتئین باکتریوردوپسین انرژی نور سبز (۵۰۰ تا ۶۵۰ و ماکزیمم ۵۶۸ نانومتر) را جذب و نور آبی و قرمز را منعکس کرده و به همین علت ارغوانی رنگ به نظر می‌رسد. در شکل (۴)

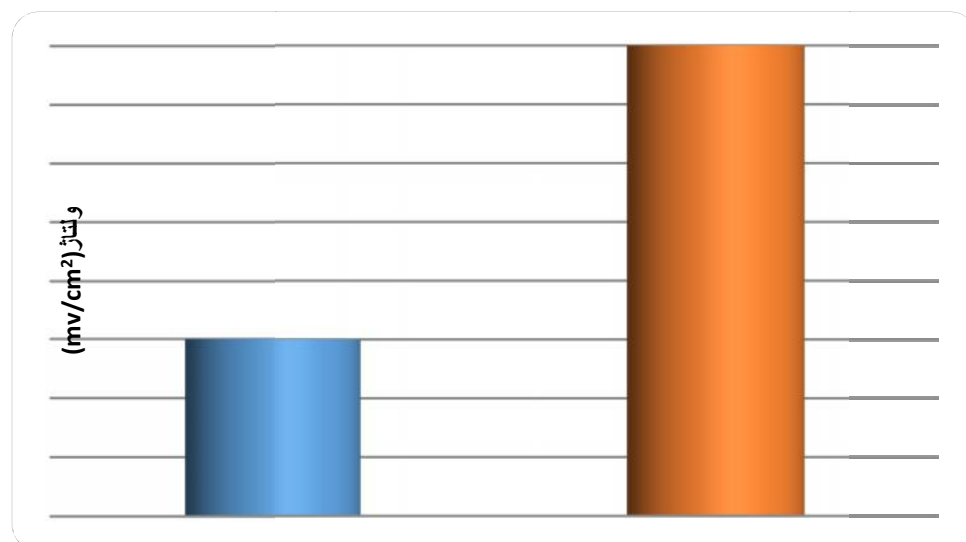


شکل ۴: طیف جذبی جذب در مقابل طول موج حاصل از پروتئین تک لایه بر روی FTO (طول موج بین ۳۸۰ تا ۶۵۰ نانومتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد)

همانطور که در شکل (۵ و ۶) مشاهده می‌کنید، توان فتوسل‌های ساخته شده با پروتئین باکتریوردوپسین تک لایه تقریباً $0.5 \mu\text{A}$ در مقایسه با پروتئین باکتریوردوپسین تجمع یافته افزایش داشته و همچنین ولتاژ فتوسل‌های ساخته شده با پروتئین باکتریوردوپسین تک لایه تقریباً 25mV در مقایسه با پروتئین باکتریوردوپسین تجمع یافته افزایش داشته است.



شکل ۵: نمودار جریان الکتریکی فتوسل های ساخته شده (فاصله ۲۵ سانتی متری نور لامپ ۴۰ وات و شدت روشنایی ۴۵۰ lux)



شکل ۶: نمودار ولتاژ فتوسل ساخته شده (فاصله ۲۵ سانتی متری نور لامپ ۴۰ وات و شدت روشنایی ۴۵۰ lux)

بحث

به حرارت، مواد شیمیایی و تخریب‌های فتوشیمیایی، همراه با ویژگی‌های مطلوب فوتوالکتریکی و فتوکرومیکی است. علاوه بر این، رابطه بین عملکرد- ساختار باکتریوردوپسین و راه‌های اصلاح ساختار باکتریوردوپسین، به شدت مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۶). مطالعه کنترل جهت‌گیری باکتریوردوپسین تک لایه گام مهمی در استفاده از چنین غشایی در پیکربندی حالت جامد دارد که از آن جمله می‌توان به کارگیری در فوتوالکتریک را مثال زد (۲۸).

سیستم‌های سیلیکونی استحکام کمتری در محیط دارند، مزیت فتوسل‌های ارگانیک باکتریوردوپسین آزمایش شده در مقایسه با سیستم‌های سیلیکونی، استحکام بیشتر آن‌ها در محیط است.

توان فتوسل‌های تک لایه در این مطالعه $0.7 \mu A$ و ولتاژ آن $190 mV$ می‌باشد که با توان فتوسل‌های تجمع یافته $0.5 \mu A$ و ولتاژ آن $(165 mV)$ ، تفاوت $25 mV$ داشته یعنی فتوسل‌های تک لایه نسبت به تجمع بازدهی بیشتری دارد که می‌تواند ناشی از تک لایه کردن پروتئین باکتریوردوپسین توسط دستگاه لانگ مویر بلاجیت و یا ناشی از حرارت‌های متوالی در دماهای مختلف باشد که با ایجاد تخلخل در خمیر TiO_2 باعث افزایش و در نتیجه توسعه بیشتر تک لایه پروتئین باکتریوردوپسین که باعث جذب نور بیشتر می‌شود، باشد. توانایی پروتئین باکتریوردوپسین برای به‌کارگیری در دستگاه‌های بیولوژیکی، ناشی از ثبات آن نسبت

پروتئین باکتریوردوپسین جزء سیستم‌های نوظهور زیستی و مواد اپتوالکتریک بسیار تجدید پذیر و پایان‌ناپذیر می‌باشند (۲۹). ولی بازدهی این سیستم‌ها (فتوسل‌های تک لایه زیستی) نسبت به فتوسل‌های سیلیکونی که جزء فتوسل‌های نسل اول بوده و هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرند کمتر است (۳۰) که از عیوب این روش محسوب می‌شود، گرچه ممکن است با انعطاف پذیری، ارزانی، فراوری آسان، سبک وزنی و سازگار با محیط زیست که از مزایای آن محسوب می‌شود (۳۱) جبران شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تک لایه کردن پروتئین باکتریوردوپسین توسط دستگاه لانگ مویر بلاذجت روی سطح شیشه FTO که حاوی TiO_2 که خود یک نیمه رسانا می‌باشد، به‌عنوان بستری مناسب برای تثبیت تک لایه‌های هم جهت پروتئین باکتریوردوپسین به‌عنوان پمپ پروتونی استفاده شد که در مقایسه با فتوسل‌های با پروتئین باکتریوردوپسین چند لایه، نشان داد که هر پروتئین مستقیماً نور بیشتری دریافت و مقاومت داخلی کاهش یافته، توان فتوسل‌های تک لایه در این مطالعه $0.7 \mu A$ و ولتاژ آن $190 mV$ می‌باشد که با توان فتوسل‌های تجمع یافته ($0.2 \mu A$)، $0.5 \mu A$ و با ولتاژ آن

تشکر و قدردانی

در پایان از دکتر سجاد جانفزا و همکاران که در انجام این تحقیق کمک و یاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

- Goetzberger A, Hebling C, Schock H-W. Photovoltaic materials, history, status and outlook. Materials Science and Engineering: R: Reports. 2003; 40(1): 1-46.
- Günes S, Neugebauer H, Sariciftci NS. Conjugated polymer-based organic solar cells. Chemical reviews. 2007; 107(4): 1324-38.
- Roman LS, Andersson MR, Yohannes T, Inganäs O. Photodiode performance and nanostructure of polythiophene/C60 blends. Advanced Materials. 1997; 9(15): 1164-8.
- Marks R, Halls J, Bradley D, Friend R, et al. The photovoltaic response in poly (p-phenylene vinylene) thin-film devices. Journal of Physics: Condensed Matter. 1994; 6(7): 1379.
- Grätzel M. Dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. 2003; 4(2): 145-53.
- Lee SY, Chang HN, Um YS, Hong SH. Bacteriorhodopsin production by cell recycle culture of Halobacterium halobium. Biotechnology letters. 1998; 20(8): 763-5.
- Lanyi JK, Luecke H. Bacteriorhodopsin. Current opinion in structural biology. 2001; 11(4): 415-9.
- Hampp N. Bacteriorhodopsin as a photochromic retinal protein for optical memories. Chemical Reviews. 2000; 100(5): 1755-76.
- Roman LS, Mammo W, Pettersson LA, Andersson MR, Inganäs O. High quantum efficiency polythiophene. Advanced Materials. 1998; 10(10): 774-7.
- Yu G, Heeger AJ. High efficiency photonic devices made with semiconducting polymers. Synthetic Metals. 1997; 85(1): 1183-6.
- Zhang L, Zeng T, Cooper K, Claus RO. High-performance photovoltaic behavior of oriented purple membrane polymer composite films. Biophysical journal. 2003; 84(4): 7-2502.
- Li Q, Stuart JA, Birge RR, Xu J, et al. Photoelectric response of polarization sensitive bacteriorhodopsin films. Biosensors and Bioelectronics. 2004; 19(8): 869-74.
- Tukiainen T. Photoelectric measurements and modeling of bacteriorhodopsin. 2008.14. Chu LK,

- electrical properties of bacteriorhodopsin Langmuir-Blodgett films. *Thin Solid Films*. 1998; 312(1): 306-12.
24. Ito S, Chen P, Comte P, Nazeeruddin MK, et al. Fabrication of screen printing pastes from TiO₂ powders for dye-sensitized solar cells. *Progress in photovoltaics: research and applications*. 2007; 15(7): 603-12.
25. Kouyama T. Bacteriorhodopsin is a powerful light-driven proton pump. *Biophysical journal*. 1987; 51(5): 839.
26. Jin Y, Honig T, Ron I, Friedman N, et al. Bacteriorhodopsin as an electronic conduction medium for biomolecular electronics. *Chemical Society Reviews*. 2008; 37(11): 2422-32.
27. Shiu PJ, Ju YH, Chen HM, Lee CK. Facile isolation of purple membrane from *Halobacterium salinarum* via aqueous-two-phase system. *Protein expression and purification*. 2013; 89(2): 219-24.
28. Ron I, Friedman N, Cahen D, Sheves M. Selective Electroless Deposition of Metal Clusters on Solid Supported Bacteriorhodopsin: Applications to Orientation Labeling and Electrical Contacts. *small*. 2008; 4(12): 2271-8.
29. Sharmoukh W, Allam NK. TiO₂ nanotube-based dye-sensitized solar cell using new photosensitizer with enhanced open-circuit voltage and fill factor. *ACS applied materials & interfaces*. 2012; 4(8): 4413-8.
30. Arango AC, Johnson LR, Bliznyuk VN, Schlesinger Z, et al. Efficient titanium oxide/conjugated polymer photovoltaics for solar energy conversion. *Advanced Materials*. 2000; 12(22): 1689-92.
31. Podzorov V, Menard E, Borissov A, Kiryukhin V, et al. Intrinsic charge transport on the surface of organic semiconductors. *Physical review letters*. 2004; 93(8): 086602.
- Yen CW, El-Sayed MA. Bacteriorhodopsin-based photo-electrochemical cell. *Biosensors and Bioelectronics*. 2010; 26(2): 620-6.
15. Li R, Cui X, Hu W, Lu Z, et al. Fabrication of oriented poly-l-lysine/bacteriorhodopsin-embedded purple membrane multilayer structure for enhanced photoelectric response. *Journal of colloid and interface science*. 2010; 344(1): 150-7.
16. Ueno S, Shibata A. Redox potential of bacteriorhodopsin in oriented purple membrane films. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2002; 23(4): 383-90.
17. Zasadzinski J, Viswanathan R, Madsen L, Garnæs J, et al. Langmuir-blodgett films. *Science-AAAS-Weekly Paper Edition-including Guide to Scientific Information*. 1994; 263(5154): 1726-38.
18. Wang JP, Li JR, De Tao P, Li XC, et al. Photoswitch based on bacteriorhodopsin Langmuir-Blodgett films. *Advanced Materials for Optics and Electronics*. 1994; 4(3): 219-24.
19. Karasawa T, Miyata Y. Electrical and optical properties of indium tin oxide thin films deposited on unheated substrates by dc reactive sputtering. *Thin Solid Films*. 1993; 223(1): 135-9.
20. Grätzel M. Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells. *Inorganic chemistry*. 2005; 44(20): 6841-51.
21. Ito S, Murakami TN, Comte P, Liska P, et al. Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%. *Thin solid films*. 2008; 516(14): 4613-9.
22. Yücel M, Zabut BM, Ero lu In, Türker L. Kinetic analysis of light induced proton dissociation and association of bacteriorhodopsin in purple membrane fragments under continuous illumination. *Journal of membrane science*. 1995; 104(1): 65-72.
23. Weetall HH, Samuelson LA. Optical and

Increase the organic photocells (bacteriorhodopsin) efficiency using Langmuir-Blodgett (LB) technique and titanium dioxide nano-particles (TiO₂)

Badparva S.M.Sc¹, Dousti B.Ph.D.², Badparva E.Ph.D.³, Haji Amraei A.M.Sc⁴.
Dehghaninejad A.Ph.D^{5*}

1. Yang Researchers and Elite Club, Khorramabad Branch. Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
2. Department of Biology, Khorramabad Branch. Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
3. Department of Parasitology and Mycology, Razi Herbal Medicines Research Center, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran
4. Postgraduate Student, Khorramabad Branch. Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
5. Department of Physics, Branch Khorramabad, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

* Email corresponding author: Dehghaninejad.amin@gmail.com

Received: 7 Dec. 2015

Accepted: 1 Nov. 2016

Abstract

Aim: The aim of this study was to convert lamp and solar energy into electrical energy with bacteriorhodopsin protein monolayer, evaluate examined compounds (TiO₂, FTO, Br) to increase the biological photocells efficiency, photocells building feasibility for use in architecture, military and biological photocells production.

Material and Methods: Titanium dioxide nano-particles were placed on the surface of a fluorine tin oxide (FTO) using Belding method. Bacteriorhodopsin (Br) monolayer was prepared by Langmuir-Blodgett (LB) technique and photo anodes were made. Then the FTO glass was covered with an H₂PtCl₆ solution drop (2 mg Pt in 1 ml EtOH), and cathode was prepared. Photo anodes electrode (FTO/TiO₂/Br) and opposite electrode (cathode) (FTO/Pt) were placed as a sandwich.

Results: Light dependent pH changes, demonstrated bacteriorhodopsin activity. The created monolayer photocells power was 0.7 μA and their voltage was 190 mV, which was different from the accumulated photocells powers (0.5 μA), 0.2 μA with its voltage (165 mV), 25 mV, indicating that monolayer cells had a better accumulated efficiency.

Conclusions: Langmuir technique is a very suitable method for bacteriorhodopsin protein stabilization as a monolayer, on the nanoparticles substrate (titanium dioxide) with maximum activity maintenance.

Keywords: Bacteriorhodopsin, photocell, titanium dioxide nanoparticles, Langmuir-Blodgett LB)