دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

طراحی، ساخت و ارزیابی یک نانو حسگر و یک زیست حسگر به منظور اندازه‌گیری اسید فولیک در آرد گندم

پایان‌نامه دکتری علوم و صنایع غذایی

لیلا میرمقتدایی

اساتید راهنما

دکتر مهدی کدیور

دکتر محمد شاهدی

۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه‌ی دکتری رشته‌ی علوم و صنایع غذایی خانم لیلا میرمقتدایی

تحت عنوان

طراحی، ساخت و ارزیابی یک نانو حسگر و یک زیست حسگر به منظور اندازه گیری اسید فولیک در آرد گندم

در تاریخ ۹۱/۱۱/۲ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه	دکتر مهدی کدیور
۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه	دکتر محمد شاهدی
۳- استاد مشاور پایان نامه	دکتر علی اصغر انصافی
۴- استاد داور خارجی	دکتر مرتضی صفوی
۵- استاد داور داخلی	دکتر مهران میراولیایی
۶- استاد داور داخلی	دکتر جواد کرامت
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمدمهدی مجیدی

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش کردگار یکتایی که ذات بیکرانش آکنده از علم و دانش است و چه با سخاوت از این خوان بی‌همتا بشر را موهبتی شگرف ارزانی داشت و دریای کمالات خود را بر روی او گشود، از او می‌خواهم تا مرا شایستگی دهد تا در باقیمانده زندگی سزاوار دانشی فزون باشم.

اکنون که با یاری و عنایت خداوند این پایان‌نامه را به اتمام رساندم، تشکر و قدردانی از عزیزانی که دستم را گرفتند و یاریم نمودند بر خود لازم می‌دانم.

تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز ، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

حاصل این کار را به همسر و پسر عزیزم پشتیبانان بی قید و شرط و همیشگی‌ام، خورشیدهایی که هرگاه دنیا برایم به تاریکی می‌گرایید روشنای راهم بودند و تنها ماوای امن زندگیم، تقدیم می‌کنم. امید که سپاس کوچک مرا پذیرا باشند.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر مهدی کدیور که با دلگرمی‌ها و تشویق‌هایشان همواره راهنما و چراغ راه من بوده‌اند، سپاسگزار و متشکرم.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر شاهدی به‌خاطر تمامی زحماتشان تشکر می‌نمایم.

در طول این پروژه، جناب آقای دکتر علی‌اصغر انصافی زحمات بسیاری را متقبل شده‌اند و ساعات متمادی وقتی که بر روی این پژوهش گذاشتند، موید لطف بی‌شائبه ایشان است. از ایشان بسیار بسیار متشکرم، هر چند تشکر کلمه گویایی در اینجا به نظر نمی‌رسد. بدین وسیله از آقایان دکتر صفوی، دکتر میراولیایی و دکتر کرامت که افتخار داوری این پایان نامه را به من دادند، بی نهایت سپاسگزارم. یاد و خاطره اساتید بزرگی چون آقایان دکتر کبیر، دکتر دخانی و دکتر شکرانی را گرامی داشته و خدای را به خاطر کسب علم در محضر اساتیدی چون دکتر شیخ‌زین‌الدین، دکتر همدمی، دکتر نصیرپور و سرکار خانم دکتر سلیمانیان‌زاد سپاس می‌گویم. از کارشناسان محترم آزمایشگاه، آقای مهندس بهرامی و خانم مهندس ستاری کمال تشکر را داشته و از کادر زحمتکش آزمایشگاه آقایان دهقانی و مولایی سپاسگزارم.

از دوستان عزیزم سرکار خانم دکتر نفیسه سلطانی‌زاده و خانم‌ها نوشین میرزانصیر و هاجر شکرچی‌زاده وسایر دوستان گرامی که مدیون لطف بی‌دریغ وخالصانه‌شان در پیشبرد این پژوهش بوده و هستم، از صمیم قلب سپاس‌گزارم و برایشان بهترین آرزوها را دارم.

لیلا میرمقتدایی، بهمن ۱۳۹۱

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

آن‌ها که دوستشان دارم...

به پدر و مادر بزرگوارم، اسوه ایثار و فداکاری، به مهربان فرشتگانی که باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

به همسرم که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، به او که اسوه صبر و تحمل بوده، همدلی که با واژه ی تلاش آشنایی دارد و تلاش را تسین را می شناسد و مرا در راه رسیدن به اهداف عالی یاری می رساند.

به پسر عزیزتر از جانم، بهراد که وجودش به زندگی‌ام طراوت بخشیده است و ترنم خنده شیرینش، غم و خستگی را از خاطرم به در برده است.

به پدر و مادر همسرم،

و به برادر و خواهرانم،

به پاس همه همدلی ها و همراهی هایشان

و در پایان

به عزیزترین دوست و همراهم، سرکار خانم دکتر سلطانی زاده، که به نتیجه رسیدن زحماتم مدیون لطف، کمک و همراهی همیشگی ایشان بوده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ شیمی، خصوصیات و نقش‌های فولات ۱۰

۲-۲-۱ ساختار و نامگذاری ۱۰

۲-۲-۲ پایداری فولات ۱۱

۲-۲-۳ میزان نیاز تغذیه‌ای به فولات ۱۱

۲-۲-۴ منابع تأمین فولات ۱۲

۲-۲-۵ متابولیسم اسیدفولیک و فولات در بدن ۱۴

۲-۲-۶ دسترسی زیستی فولات ۱۶

۲-۲-۷ اثرات کمبود فولات در بدن ۱۶

۲-۲-۸ اسید فولیک و متیلاسیون داکسی ریبونوکلئیک اسید ۱۷

۲-۲-۹ کمبود فولات و نقش آن در سنتز و ترمیم داکسی ریبونوکلئیک اسید ۱۷

۲-۲-۱۰ مضرات استفاده از فولات ۱۸

۲-۳ روش‌های اندازه‌گیری فولات و اسید فولیک ۱۸

۲-۳-۱ استخراج و غیرمزدوج کردن ۱۹

۲-۳-۲ روش سنجش میکروبی ۲۱

۲-۳-۳ روش‌های کروماتوگرافی ۲۲

۲-۳-۴ اندازه‌گیری و تعیین خصوصیات ۲۲

۲-۳-۵ خالص‌سازی نمونه ۲۳

۲-۳-۶ جداسازی توسط الکتروفورز و تشخیص به روش نورتابی شیمیایی ۲۳

۲-۳-۷ روش اسپکتروفتومتری ۲۳

۲-۳-۸ استفاده از روش‌های الکتروشیمیایی ۲۴

۲-۴ حسگر ۲۴

۲-۵-۱ زیست‌حسگر چیست؟ ۲۵

۲-۵ دسته بندی زیست‌حسگرها بر اساس نوع مبدل ۲۶

۲-۵-۱ فرایندهای فارادایی ۲۸

۲-۵-۲ روش‌های الکتروشیمیایی ۳۲

۲-۶ دسته‌بندی زیست‌حسگرها بر پایه عامل بیولوژیکی ۴۳

۲-۶-۱ حسگرهای برپایه فعالیت آنزیم‌ها ۴۳

۲-۶-۲ ایمونوحسگرها ۴۳

۲-۶-۳ حسگرهای برپایه سلول ۴۴

۲-۶-۴ حسگرهای بر پایه اسیدهای نوکلئیک ۴۴
۲-۷ الکترودهای قابل استفاده در ساخت حسگرها ۴۶
۲-۷-۱ الکترودهای فلزی ۴۷
۲-۷-۲ الکترودهای کربنی ۴۸
۲-۷-۳ پلیمرهای طبیعی رسانای الکترون ۴۹
۲-۷-۴ جیوه ۴۹
۲-۷-۵ الکترودهای اصلاح‌شده ۴۹
۲-۸ نانوتکنولوژی ۵۰
۲-۸-۱ نانوذرات فلزی ۵۲
۲-۸-۲ نانوذرات اکسید فلزی ۵۵
۲-۸-۳ نانولوله‌های کربنی ۵۵
۲-۸-۴ مواد نانوکامپوزیتی ۵۶
۲-۸-۵ نانوذرات نیمه رسانا ۵۶
۲-۸-۶ نانوذرات مغناطیسی ۵۶
۲-۹ طرح‌های آزمایشی ۶۲
۲-۹-۱ روش تک عاملی ۶۲
۲-۹-۲ روش طراحی فاکتوریل ۶۲
فصل سوم:مواد و روش‌ها
۳-۱ دستگاه‌ها، وسایل و مواد مورد استفاده ۶۵
۳-۱-۱ دستگاه‌های مورد استفاده ۶۵
۳-۱-۲ مواد مورد استفاده ۶۶
۳-۲ مراحل و روش انجام کار ۶۷
۳-۲-۱ ساخت حسگر بر پایه نانوذره طلا به منظور افزایش حد تشخیص اسید فولیک ۶۷
۳-۲-۲ ساخت زیست حسگر بر پایه داکسی ریبونوکلئیک اسید به منظور افزایش انتخاب‌گری ۷۰
فصل چهارم:تفسیر داده‌ها
۴-۱ مقدمه ۷۳
۴-۲ بخش اول: اندازه‌گیری اسید فولیک با استفاده از الکترود طلای اصلاح شده با نانوذره طلا ۷۳
۴-۲-۱ بررسی پیام الکترود طلا در سود ۷۳
۴-۲-۲ تثبیت نانوذره طلا روی الکترود طلا ۷۴
۴-۲-۳ فعال‌سازی سطح الکترود اصلاح شده با نانوذرات طلا ۷۶
۴-۲-۴ تقابل اسید فولیک با الکترود طلای اصلاح شده با نانوذرات طلا پس از فعال‌سازی الکترود ۸۲
۴-۲-۵ رسم منحنی استاندارد ۸۳
۴-۲-۶ تعیین دقت و حد تشخیص ۸۴
۴-۲-۷ مطالعه مزاحمت‌ها در پاسخ‌دهی حسگر ۸۵
۴-۲-۸ مقایسه نانوحسگر طراحی شده در این تحقیق با سایر حسگرهای طراحی شده به منظور اندازه‌گیری اسیدفولیک در گذشته ۸۶
۴-۳ بخش دوم: اندازه‌گیری اسیدفولیک با استفاده از الکترود مغز مداد اصلاح شده با داکسی ریبونوکلئیک اسید ۸۸
۴-۳-۱ مقدمه ۸۸

۴-۳-۲ انتخاب مغز مداد مناسب ۸۸
۴-۳-۳ بررسی تأثیر پتانسیل و زمان فعال‌سازی الکترود بر پیام داکسی ریبونوکلئیک اسید ۸۹
۴-۳-۴ بررسی تثبیت داکسی ریبونوکلئیک اسید پس از اعمال پتانسیل در بافر استات حاوی داکسی ریبونوکلئیک اسید ۹۰
۴-۳-۵ مدل‌سازی ۹۱
۴-۳-۶ اثرپارامترهای مختلف به‌صورت تنهایی بر بزرگی پیام جریان ۹۴
۴-۳-۷ بررسی تأثیر پتانسیل تثبیت بر بزرگی پیام جریان ۹۷
۴-۳-۸ بهینه‌سازی شرایط در حین تثبیت داکسی ریبونوکلئیک اسید روی سطح الکترود ۱۰۱
۴-۳-۹ تقابل اسیدفولیک و بازهای آلی داکسی ریبونوکلئیک اسید ۱۰۲
۴-۳-۱۰ بهینه‌سازی شرایط برهمکنش اسیدفولیک و داکسی ریبونوکلئیک اسید ۱۰۲
۴-۳-۱۱ تأیید و تعیین نوع واکنش اسیدفولیک با داکسی ریبونوکلئیک اسید توسط اسپکتروفتومتری ۱۰۴
۴-۳-۱۲ رسم منحنی استاندارد ۱۰۴
۴-۳-۱۳ دقت و حدتشخیص روش ۱۰۶
۴-۳-۱۴ بررسی اثر مزاحمت‌های احتمالی ۱۰۶
۴-۳-۱۵ اندازه‌گیری اسیدفولیک در نمونه‌های واقعی ۱۰۶
۴-۳-۱۶ مقایسه زیست‌حسگر طراحی شده در این تحقیق با سایر حسگرهای طراحی شده به‌منظور اندازه‌گیری اسیدفولیک در گذشته ۱۰۷

فصل سوم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری کلی ۱۰۹
۵-۱-۱ استفاده از نانوذرات طلا در طراحی و ساخت حسگر الکتروشیمیایی ۱۱۰
۵-۱-۲ استفاده از ماده زیستی داکسی ریبونوکلئیک اسید در طراحی و ساخت حسگر الکتروشیمیایی ۱۱۱
۵-۲ پیشنهادات ۱۱۳
مراجع ۱۱۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- انواع مبدل‌های متداول در ساخت حسگرها ۲۶
جدول ٤-۱- بررسی اثر گونه‌های مزاحم در اندازه گیری ۱۰/۰ میکرو مولار از اسیدفولیک ۸۵
جدول ٤-۲- اندازه‌گیری غلظت اسیدفولیک در نمونه‌های واقعی ۸٦
جدول ٤-۳- تأثیر زمان فعال‌سازی الکترود در پتانسیل ۱/۸ ولت بر بزرگی پیام آدنین ۸۹
جدول ٤-٤- متغیرهای مستقل و تعیین حدود آن با استفاده از طرح مرکب مرکزی ۹۱
جدول ٤-۵- طرح آزمایشی استفاده شده و مقادیر به‌دست آمده از آزمایش و مقادیر پیش‌بینی شده توسط RSM ۹۲
جدول ٤-٦- آنالیز واریانس داده‌ها (ANOVA) برای تطابق دادن داده‌های به‌دست آمده با مدل رویه پاسخ ۹٤
جدول ٤-۷- مقادیر بهینه‌سازی شده توسط مدل برای فاکتورهای مختلف ۱۰۱
جدول ٤-۸- بررسی اثر مزاحمت های احتمالی در اندازه گیری ۱/۰ میکرومولار اسیدفولیک توسط الکترود مغزمداد اصلاح شده با داکسی ریبونوکلئیک اسید ۱۰٦
جدول ٤-۹- اندازه‌گیری اسیدفولیک در نمونه‌های واقعی با استفاده از زیست‌حسگر بهینه‌سازی شده ۱۰۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- قسمت‌های مختلف تشکیل دهنده یک زیست‌حسگر ۷
شکل ۲-۱- الف) دریافت فولات در کودکان، ب) دریافت فولات در بزرگسالان..... ۱۲
شکل ۲-۲- متابولیسم فولات و اسیدفولیک در انسان. در غلظت بالا اسیدفولیک وارد چرخه شده و از طریق مسیر فرعی به جای متابولیسم طبیعی فولات در بدن، وارد چرخه داکسی ریبو نوکلئیک اسید می‌شوند ۱۵
شکل ۲-۳- نگاه کلی بر فرایند استخراج اسید فولیک ۲۰
شکل ۲-٤- نگاه کلی بر فرایند جداسازی و خالص‌سازی اسید فولیک ۲۱
شکل ۲-۵- انواع انتقال جرم ۳۰
شکل ۲-٦- پروفیل‌های پتانسیل- زمان برای ولتامتری روبش خطی..... ۳٤
شکل ۲-۷- نمودار تغییر پتانسیل- زمان در ولتامتری چرخه‌ای ۳۵
شکل ۲-۸- ولتاموگرام چرخه‌ای نمونه‌ای یک سیستم برگشت‌پذیر ۳۵
شکل ۲-۹- (الف) نمودار پتانسیل اعمال شده - زمان در روش NPV، (ب) نمونه برداری جریان در طول زمان اعمال پتانسیل به الکترود ۳۷
شکل ۲-۱۰- (الف) نمودار پتانسیل- زمان در روش ولتامتری پالس تفاضلی ، (ب) نمونه برداری جریان در طول زمان اعمال پتانسیل ۳۸
شکل ۲-۱۱- پروفیل پتانسیل- زمان در روش SWV ۳۹
شکل ۲-۱۱- مدار معادل راندلز برای یک سیستم الکتروشیمیایی ٤۱
شکل ۲-۱۲- منحنی نایکوئیست به‌دست آمده از مدار معادل راندلز..... ٤۱
شکل ۲-۱۳- روش کار ایمنی سنجی الکتروشیمیایی هتروژن غیررقابتی بر اساس برچسب نانوذره طلا..... ۵۹
شکل ٤-۱- تأثیر افزودن اسیدفولیک بر پیام ناشی از اکسیداسیون الکترود طلا در سود ۷٤
شکل ٤-۲- تأثیر اصلاح کردن با نانوذرات طلا و فعال‌سازی بر پیام جریان ناشی از اکسیداسیون طلا ۷٦
شکل ٤-۳- تصاویر به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی قبل (الف) و بعد (ب) از فعالسازی ۷۷
شکل ٤-٤- مطالعات اسپکتروسکوپی امپدانس الکترو شیمیایی در الکترود طلا خام، اصلاح شده و فعال شده..... ۷۷
شکل ٤-۵- تأثیر غلظت سود بر شدت پیام جریان ناشی از اکسیداسیون الکترود طلا اصلاح شده..... ۷۸
شکل ٤-٦- تأثیر سرعت روبش بر شدت پیام جریان ناشی از اکسیداسیون الکترود طلا اصلاح شده..... ۷۹
شکل ٤-۷- تأثیر پتانسیل فعال‌سازی بر شدت پیام جریان ناشی از اکسیداسیون الکترود طلا اصلاح شده..... ۸۰
شکل ٤-۸- تأثیر زمان اعمال پتانسیل فعال‌سازی بر شدت پیام جریان ناشی از اکسیداسیون الکترود طلا اصلاح شده ۸۱
شکل ٤-۹- تأثیر زمان اعمال پتانسیل فعال‌سازی در زمان بیش از یک دقیقه بر ولتاموگرام پالس تفاضلی الکترود طلای اصلاح شده ۸۲
شکل ٤-۱۰- تأثیر اسیدفولیک بر پیام جریان حاصل از اکسیداسیون الکترود طلای اصلاح شده..... ۸۲
شکل ٤-۱۱- ساختار شیمیایی اسید فولیک ۸۳
شکل ٤-۱۲- منحنی استاندارد نشان‌دهنده رابطه اسیدفولیک و میزان کاهش جریان ۸۳

شکل ٤-١٣- تصاویر به‌دست‌آمده از توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت تأیید (الف) قبل و (ب) بعد از تثبیت داکسی ریبونوکلئیک اسید..... ٩٠
شکل ٤-١٤- بررسی اثر تغییرات pH به‌تنهایی بر بزرگی پیام جریان ٩٥
شکل ٤-١٥- بررسی اثر تغییرات غلظت داکسی ریبونوکلئیک اسید به‌تنهایی بر بزرگی پیام جریان ٩٥
شکل ٤-١٦- بررسی اثر تغییرات مدت زمان تثبیت به‌تنهایی بر بزرگی پیام جریان..... ٩٦
شکل ٤-١٧- بررسی اثر تغییرات پتانسیل تثبیت به‌تنهایی بر بزرگی پیام جریان ٩٧
شکل ٤-١٨- نمودار سطح پاسخ سه بعدی و کانتور دو بعدی بزرگی پیام آدنین در مقابل pH و غلظت داکسی ریبونوکلئیک اسید..... ٩٧
شکل ٤-١٩- نمودار سطح پاسخ سه بعدی و کانتور دو بعدی بزرگی پیام آدنین در مقابل pH و زمان تثبیت کردن..... ٩٨
شکل ٤-٢٠- نمودار سطح پاسخ سه بعدی و کانتور دو بعدی بزرگی پیام آدنین در مقابل pH و پتانسیل تثبیت کردن ٩٩
شکل ٤-٢١- نمودار سطح پاسخ سه بعدی و کانتور دو بعدی بزرگی پیام آدنین در مقابل پتانسیل تثبیت و غلظت داکسی ریبونوکلئیک اسید..... ٩٩
شکل ٤-٢٢- نمودار سطح پاسخ سه بعدی و کانتور دو بعدی بزرگی پیام آدنین در مقابل زمان و غلظت داکسی ریبونوکلئیک اسید..... ١٠٠
شکل ٤-٢٣- نمودار سطح پاسخ سه بعدی و کانتور دو بعدی بزرگی پیام آدنین در مقابل پتانسیل و زمان تثبیت ١٠١
شکل ٤-٢٤- بهینه‌سازی زمان واکنش بین اسیدفولیک و داکسی ریبونوکلئیک اسید ١٠٣
شکل ٤-٢٥- تأثیر افزودن اسیدفولیک در غلظت‌های مختلف بر پیام ناشی از جریان بازهای آلی آدنین و گوانین..... ١٠٣
شکل ٤-٢٦- طیف‌های مرئی–ماوراء بنفش داکسی ریبونوکلئیک اسید دو رشته‌ای (٢٠ میلی‌گرم بر لیتر) (.-.-.) و اسیدفولیک (١٠میکرومولار) (---) قبل و (ـــ) پس از برهمکنش با ٢٠/٠ میلی‌گرم بر لیتر داکسی ریبونوکلئیک اسید دو رشته‌ای در بافر استاتی pH=٤/٨..... ١٠٤
شکل ٤-٢٧- بررسی منحنی کالیبراسیون اسیدفولیک از طریق دنبال کردن پیام آدنین ١٠٥

چکیده

فولات یکی از مهم‌ترین ویتامین‌هایی است که نقش مهمی در سوخت‌وساز بدن انسان ایفا می‌کنند. کمبود اسیدفولیک با شیوع نقص در لوله عصبی نوزادان، بیماری‌های قلبی‌وعروقی، سرطان روده بزرگ و کم‌خونی در رابطه است. تاکنون روش‌هایی مانند کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا مجهز به تشخیص‌دهنده اسپکتروسکوپی جرمی، رنگ‌سنجی، اسپکتروسکوپی، نورتابی شیمیایی، روش‌های فلوریمتری و روش‌های میکروبی برای تشخیص اسید فولیک گزارش شده‌اند. به‌هرحال اغلب این روش‌ها به علت نیاز به روش‌های استخراج و خالص سازی مقدماتی هزینه‌بر و زمان‌بر بوده و یا تحت تأثیر مزاحمت عوامل مداخله‌گر قرار می‌گیرند، که موجب ایجاد محدودیت استفاده از آن‌ها در تجزیه مواد غذایی می‌شود. روش‌های الکتروشیمیایی، روش‌های ساده و ارزانی هستند که به مقادیر بسیار کمی نمونه برای تجزیه نیاز دارند. تا کنون مطالعاتی درباره اندازه‌گیری اسید فولیک توسط روش‌های الکتروشیمیایی انجام شده که برخی از آن‌ها فاقد حساسیت بالا و یا در بسیاری موارد فاقد انتخابگری مناسب هستند. به‌منظور افزایش حساسیت، یک روش جدید برمبنای فعال‌سازی الکترود طلای اصلاح شده با نانوذره طلا، توسط اعمال پتانسیل بالا در الکترولیت سود استفاده گردید. سپس اثر پارامترهای شیمیایی و دستگاهی مانند غلظت سود، سرعت روبش، پتانسیل فعال‌سازی و زمان اعمال پتانسیل بهینه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که غلظت ۱ مولار سود در سرعت روبش ۱۰۰ میلی‌ولت برثانیه و اعمال پتانسیل فعال‌سازی ۴/۵ ولت به‌مدت ۶۰ ثانیه بهترین پاسخ‌ها را ایجاد می‌کند. در مرحله بعد اکسیداسیون انتخابی اسیدفولیک بر روی سطح الکترود مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از این حسگر رابطه خطی مناسبی بین پیام جریان و غلظت اسیدفولیک در دامنه ۱×۱۰^{-۸} تا ۱×۱۰^{-۶} مولار مشاهده شد و حدتشخیص $۷/۵۰\times۱۰^{-۹}$ مولار به‌دست آمد. همچنین اثر مواد مداخله‌گر بر اندازه‌گیری اسید فولیک مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حساسیت و انتخابگری مناسب این حسگر نسبت به اغلب مواد مورد بررسی را نشان داد. زیست‌حسگرها دارای انتخابگری بالاتری نسبت به سایر حسگرها هستند. در مطالعه دیگری به‌منظور افزایش انتخابگری، برای اندازه‌گیری سریع اسیدفولیک از الکترود مغزمداد اصلاح شده با داکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید به‌دست آمده از اسپرم ماهی سالمون استفاده گردید. در مرحله اول pH محلول، غلظت داکسی ریبونوکلئیک اسید، زمان تثبیت و پتانسیل تثبیت در سه سطح با استفاده از روش رویه سطح پاسخ بهینه‌سازی شد. شرایط بهینه شامل pH معادل ۴/۸، غلظت داکسی ریبونوکلئیک اسید معادل ۲۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر، پتانسیل تثبیت ۰/۷ولت و زمان اعمال پتانسیل معادل ۳۰۴ ثانیه به‌دست آمد که با استفاده از این متغیرها، پیام جریان ۳/۰۴ میکروآمپر ایجاد شد. در مرحله دوم، اتصال اسیدفولیک با داکسی ریبونوکلئیک اسید تثبیت شده روی الکترود مغز مداد با دنبال کردن پیام جریان بازآلی آدنین، بررسی گردید. با استفاده از این زیست‌حسگر، غلظت اسیدفولیک در دامنه ۱ تا ۱۰ میکرومول دارای رابطه خطی با پیام جریان بود و حدتشخیص $۱/۰۶\times۱۰^{-۸}$ به‌دست آمد. علاوه براین، انحراف معیار نسبی حاصل از ۱۰ تکرار ولتامتری پالس تفاضلی برای اندازه‌گیری غلظت‌های ۲ و ۵ میکرومول از اسیدفولیک به‌ترتیب ۴/۶ و ۴/۳٪ به‌دست آمد. بررسی تأثیر مواد مزاحمت‌زای احتمالی نشان‌دهنده انتخاب‌گری بسیار خوب این زیست‌حسگر در اندازه‌گیری بود. در نهایت هر دو حسگر برای اندازه‌گیری اسیدفولیک در نمونه‌های واقعی مانند قرص اسیدفولیک، آرد گندم و اسفناج مورد استفاده قرار گرفت.

کلمات کلیدی

اسیدفولیک، الکتروشیمیایی، زیست‌حسگر، نانوذرات طلا، داکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید، حساسیت، انتخاب‌گری.