تشخیص اپتیکی میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های دارویی به کمک طیف سنجی در ناحیه مرئی

ستایش یاراحمدی[۱]، سلمان مهاجر مازندرانی[۱*]

[۱] آزمایشگاه بیوفوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۱۰
تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۸/۱۸

شاپای چاپی: ۴۹۲۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۴۹۳x-۲۵۸۸

* نویسنده مسئول
mohajer@khu.ac.ir

DOI:
۱۰.۲۲۰۳۴/jmrph.۲۰۲۶.۱۲۲۹۱۷.۰

چکیده

در این پژوهش نمونه‌های دارویی سالم و آلوده که به طور مصنوعی در آزمایشگاه تهیه شده با دو چیدمان اپتیکی بازتابی و عبوری، به منظور تشخیص نمونه سالم از آلوده پس از تابیدن نور از منبع مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در چیدمان‌های اپتیکی پس از تابش نور به نمونه‌ها مقادیری از قبیل اندازه، پهنا، مکان قله و تصاویر طیفی به دست آمد. در چیدمان عبوری پس از برازش نمودار مناسب و با تحلیل مقادیر پهنا، اندازه و مکان قله حدوداً ۱۱ نمونه دارویی که شامل پمادهای چشمی و جلدی با دو تاریخ انقضا متفاوت هستند این نتیجه حاصل شد که نمونه‌های سالم به‌طور میانگین پهنای قله آن‌ها بیشتر از نمونه‌های آلوده است. در رابطه با مکان قله‌ها، مکان قله اول در نمونه‌های سالم و آلوده تغییری نکرده است ولی مکان قله‌ی دوم در نمونه‌های آلوده تغییر(کاهش) یافته است و تاریخ انقضای متفاوت این پمادهای چشمی و جلدی روی نتایج تاثیر چشمگیری نگذاشته است. یافته‌ها نشان می‌دهند که این پژوهش می‌تواند یک روش جدید طیف سنجی در ناحیه مرئی برای تشخیص میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های دارویی باشد.

واژگان کلیدی: طیف سنجی، میکروپلاستیک، نمونه دارویی، پهنای طیفی، چیدمان اپتیکی

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در جهان دچار مشکلات مختلفی ایجاد می‌شوند که روز به روز افزایش می‌یابند. با گسترش شهر و شهرسازی زباله‌ها روی هم انباشته می‌شوند و از مشاهدات مشخص است که زباله‌ها از خارج شهر وارد فضای زندگی شهری می‌شوند [۱]. موسسه طبیعت زباله یا پسماند را به عنوان هر چیزی که رها شود تعریف می‌کند [۲].زباله‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم در نتیجه فعالیت‌های انسان در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری تولید می‌شوند[۳]. زباله‌ها بر حسب نوع استفاده، چگونگی تولید ،تاثیر آنها بر محیط اطراف و کاربرد آنها بعد از بازیافت به دسته‌های متفاوتی تقسیم می‌شوند [٤]. در بین زباله‌های شهری، پلاستیک‌ها اهمیت زیادی دارند. پلاستیک‌ها ترکیبات پلیمری مصنوعی هستند

که حاوی بسیاری از مواد شیمیایی برای افزایش کارایی هستند. بیشتر پلاستیک‌ها از منابع پتروشیمی ساخته می‌شوند که جرم مولکولی و پلاستیسیته بالایی دارند [۵]. میکروپلاستیک‌ها ذرات کوچکتر از ۵ میلی‌متر هستند و دو مسیر اصلی برای ورود آن‌ها به محیط وجود دارد. میکروپلاستیک‌های اولیه که از طریق میکروبیدها در محصولات آرایشی و بهداشتی ناشی می‌شوند [۶]. میکروبیدها ذرات ریز پلاستیکی هستند که در انواع لوازم آرایشی و محصولات مراقبت شخصی مانند خمیردندان، اسکراب‌های لایه بردار و شستشوی بدن استفاده می‌شوند [۷]. میکروپلاستیک‌های ثانویه ذرات پلاستیکی بزرگتری هستند که طریق تجزیه مکانیکی، تخریب نوری زباله‌ها یا انفجارهای ساینده مثل از بین برنده لاک تشکیل می‌شوند [۸]. ماهی‌های دریایی گاهی چنین زباله‌های پلاستیکی را مصرف می‌کنند و انسان ناخودآگاه چنین غذاهای دریایی را می‌خورد و میکروپلاستیک‌های حاوی سموم وارد جریان خون می‌شود و مستقیماً بر سلامت تاثیر می‌گذارد [۹]. با توجه به این نگرانی‌ها در مورد حضور میکروپلاستیک‌ها در مواد و فرآورده‌های مختلف، توسعه روش‌های سریع و غیرمخرب برای شناسایی و بررسی این آلاینده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. روش‌های اپتیکی و طیف‌سنجی به دلیل سرعت بالای اندازه‌گیری، نیاز کم به آماده‌سازی نمونه و امکان بررسی نمونه بدون تخریب آن، می‌توانند گزینه مناسبی برای غربالگری اولیه آلودگی‌های میکروپلاستیکی باشند. برهم‌کنش نور با ذرات و اجزای موجود در نمونه می‌تواند موجب تغییر در شدت، شکل و سایر ویژگی‌های سیگنال اپتیکی شود؛ از این رو، بررسی تغییرات ویژگی‌های طیفی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد وجود ذرات آلاینده در نمونه فراهم کند. استفاده از ناحیه مرئی طیف نیز می‌تواند امکان طراحی سامانه‌های اندازه‌گیری ساده‌تر، کم‌هزینه‌تر و قابل استفاده برای بررسی سریع نمونه‌های دارویی را فراهم سازد. بر این اساس، بررسی پاسخ اپتیکی نمونه‌های دارویی سالم و آلوده به میکروپلاستیک می‌تواند گامی در جهت توسعه یک روش غیرمخرب و سریع برای غربالگری اولیه این نوع آلودگی در فرآورده‌های دارویی باشد.

روش تحقیق

نمونه‌هایی که با روش طیف سنجی از آن‌ها تست گرفته شد،۱۱ نمونه پماد چشمی و جلدی اهدایی توسط لابراتورهای سینادارو با دو تاریخ انقضای متفاوت است. لیست نمونه‌های اهدایی به صورت زیر می‌باشد.

جدول ۱: لیست نمونه‌های دارویی

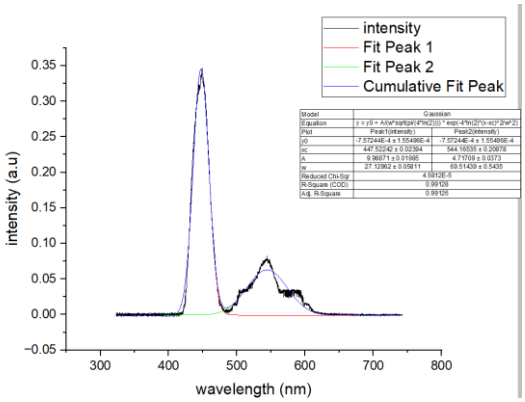
ردیف	نام نمونه	کد نمونه	تاریخ انقضا	توضیحات
۱	زیروویت	۰۰۱۱	۲۰۲۸	پماد چشمی
۱	زیروویت	۰۰۱۱B	۲۰۲۶	پماد چشمی
۲	لوبراتکس	۰۰۲۲	۲۰۲۶	پماد چشمی
۲	لوبراتکس	۰۰۲۲B	۲۰۲۸	پماد چشمی
۳	ناتری سالت	۰۰۳۳	۲۰۲۶	پماد چشمی
۳	ناتری سالت	۰۰۳۳B	۲۰۲۸	پماد چشمی
۴	ویرولیز	۰۰۴۴	۲۰۲۶	پماد چشمی
۴	ویرولیز	۰۰۴۴B	۲۰۲۸	پماد چشمی
۵	اریتلولیدین	۰۰۵۵	۲۰۲۵	پماد چشمی
۵	اریتلولیدین	۰۰۵۵B	۲۰۲۸	پماد چشمی
۶	جنتکس	۰۰۶۶	۲۰۲۸	پماد چشمی
۶	جنتکس	۰۰۶۶B	۲۰۲۶	پماد چشمی
۷	کورتینیل	۰۰۷۷	۲۰۲۶	پماد چشمی
۷	کورتینیل	۰۰۷۷B	۲۰۲۸	پماد چشمی
۸	آئروتکس	۰۰۸۸	۲۰۲۶	پماد جلدی
۸	آئروتکس	۰۰۸۸B	۲۰۲۸	پماد جلدی
۹	کاندیزول	۰۰۹۹	۲۰۲۷	پماد جلدی
۹	کاندیزول	۰۰۹۹B	۲۰۲۶	پماد جلدی
۱۰	مفنااید	۰۰۱۰۱۰	۲۰۲۸	پماد جلدی
۱۰	مفنااید	۰۰۱۰۱۰B	۲۰۲۶	پماد جلدی
۱۱	فلامکسین	۰۰۱۱۱۱	۲۰۲۶	پماد جلدی
۱۱	فلامکسین	۰۰۱۱۱۱B	۲۰۲۸	پماد جلدی

۱-۱ آماده‌سازی نمونه

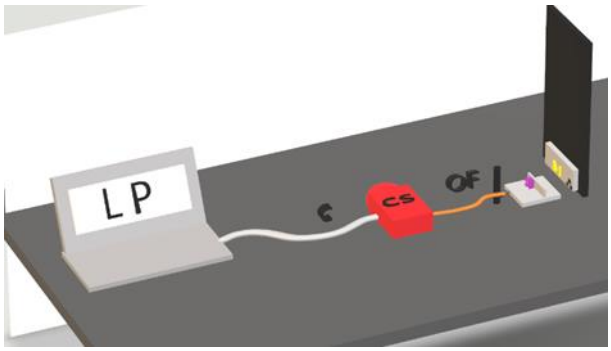
لام مورد استفاده در این پژوهش از برند سیتو پلاس (Citoplus) ، سایز۲۷ ×۲۵ و ضخامت ۱.۲ میلی‌متر است. با استفاده از قاشق یکبار مصرف ضدعفونی شده مقداری از هر نمونه دارویی را روی لام قرار داده و با قرار دادن یک لام دیگر نمونه به یک لایه نازک تبدیل می‌شود. نمونه‌های آلوده نیز به همین روش تولید می‌شوند با این تفاوت که به نمونه های سالم مقدار ۰.۰۰۲۴گرم میکروپلاستیک اضافه می‌شود(میکروپلاستیک‌ها در آزمایشگاه به وسیله فرزانگشتی تولید شده‌اند).

۲-۱ چیدمان عبوری

در این چیدمان میزان عبور نور از نمونه‌ها بررسی می‌شود. در چیدمان عبوری با کمک فیبر یک پایه برای نگه داری نمونه آماده شد. منبع نورLEDسفید قابل حمل است که پایداری شدتی این منبع با گذشت زمان در ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری و پس از اطمینان در آزمایش استفاده شده‌است. طیف الکترومغناطیس منبع نور به صورت زیر می‌باشد. نور از نمونه عبور می‌کند و به فیبر نوری وارد می‌شود. طیف دقیق نمونه‌ها و میکروپلاستیک در آشکارساز Thorlab portable fiber optical spectrometer مدلCSS spectra ثبت و توسط نرم‌افزار Thor spectra نمایش داده می‌شود و در نهایت طیف‌های عبوری توسط نرم افزار تحلیل می‌شوند.



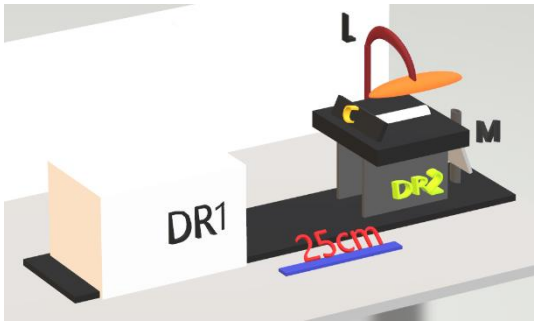
شکل ۱: طیف اپتیکی عبوری منبع نور



شکل ۲: چیدمان عبوری (لپ‌تاپ((LP، کابل(C)، آشکارساز (CS)، فیبرنوری(OF)، لام(Sl) ،تلفن همراه (M))

۳-۱چیدمان بازتابی

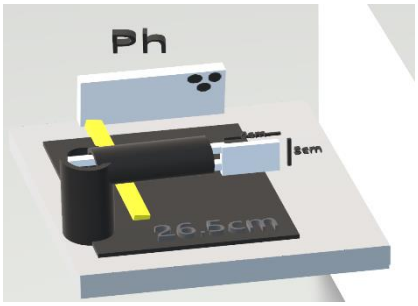
در چیدمان بازتابی نور از یک منبع نور فلورسنت (مهتابی) با تابش در ناحیه مرئی به نمونه تابیده و نور بازتاب شده از نمونه به آینه برخورد می‌کند، آینه آن را به سمت توری هدایت می‌کند و در نهایت تصویر طیفی ثبت می‌گردد. در این چیدمان به منظور کاهش نویز و ثبت تصاویر طیفی با بیش‌ترین وضوح دو اتاق تاریک طراحی شد.



شکل ۳: شماتیک چیدمان بازتابی (اتاق تاریک ۱(DR۱)، اتاق تاریک ۲(DR۲)، منبع نور(L) ،آینه (M) ،مقوا(C))

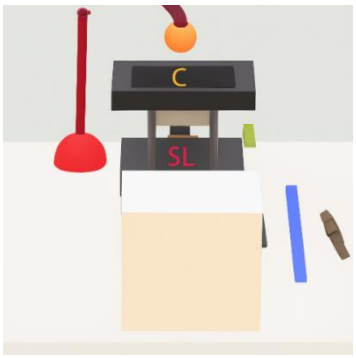
در طراحی اتاق تاریک ۱ از یک یخچال فیبری استفاده شده است که سطوح بازتابی آن توسط اسپری رنگ مشکی، سیاه گردید. برای ثبت طیف‌های بازتابی از هر نمونه از دوربین گوشی آیفون ۱۳ استفاده شد که دوربین در یخچال فیبری(اتاق تاریک) روی پایه نگهدارنده نصب و با کمک دستگاه یونولیت‌بر (Somo) یک سمت یخچال را به اندازه مساحت صفحه گوشی برش داده شد تا بتوان عکس‌ها را با

لمس کردن دکمه ثبت کرد.توری به ابعاد ۵ ×۵ سانتی متر در اتاق تاریک روی یک گیره نگهدارنده نصب شد. ارتفاع، فاصله و زاویه توری از دوربین عکاسی طوری تعیین می‌شود که طیف بازتابی از نمونه به بهترین شکل در دوربین ثبت گردد.



شکل ۴: شماتیک اتاق تاریک ۱(تلفن همراه(ph) و توری(G))

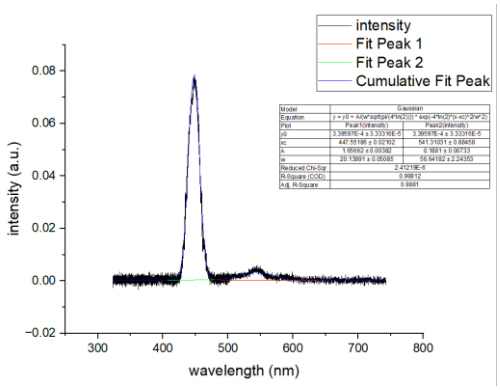
اتاق تاریک به میز اپتیکی توسط چسب‌های دو طرفه ثابت می‌شود که زاویه دوربین و فاصله دوربین نسبت به نمونه تغییر نکند. برای جلوگیری از بازتاب نور و از بین بردن نویزهای اضافی یک اتاق تاریک ۲ در اطراف نمونه با استفاده از چهار ورق یونولیتی ۵ میلی‌متر مشکی و چسب یونولیت از برند پنتر(Panther) ساخته شد. با توجه به اینکه لامپ مهتابی در کلاهک پلاستیکی قرمز رنگ قرار داشت در طیف بازتابی توری نویز ایجاد می‌کرد کلاهک از لامپ جدا شد و به طور جداگانه روی سقف مکعب ساخته شده با یونولیت‌های مشکی قرار گرفت. روی سقف مکعب با استفاده از یونولیت بر به اندازه مساحت لام بریده و لامپ روی آن قرار داده می‌شود به طوری که حداکثر نور به نمونه بتابد. نمونه روی یک پایه مکعبی با ابعاد ۶ × ۸.۵ ×۷.۵ سانتی‌متر که از مقوای مشکی بافت‌دار فابرینو ساخته شده است قرار داده می‌شود. اگر نمونه روی پایه قرار نگیرد فاصله منبع نور با نمونه خیلی زیاد می‌شود و طیف بازتابی مشاهده شده خیلی ضعیف می‌گردد و قابل تصویربرداری و تحلیل نمی‌باشد. با استفاده از یک تکه مقوای کوچک به نمونه زاویه داده شد تا بازتاب نور ازشیشه به دوربین وارد نشود. در نهایت نور بازتاب شده از نمونه به آینه می‌رسد. آینه نور را به سمت توری هدایت و دوربین عکاسی تصاویر طیفی را ثبت می‌کند.



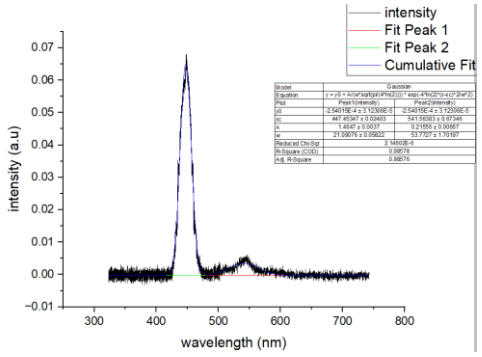
شکل ۵: شماتیک اتاق تاریک ۲ (لام(SL))

۲- یافته ها

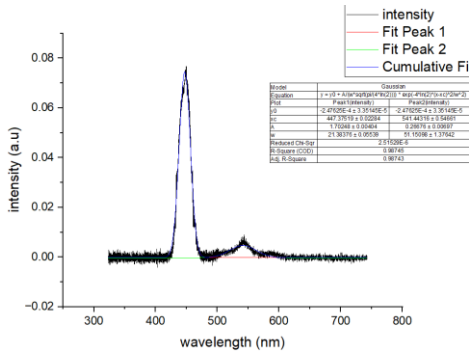
طبق چیدمان عبوری که توضیح داده شد، آشکارساز طیف اپتیکی عبوری میکروپلاستیک و هر کدام از نمونه های بهداشتی سالم و آلوده را ثبت کرده و توسط نرم افزار تحلیل داده نمودار مربوط به هر نمونه رسم ،آنالیز و پارامترهایی از قبیل مکان (x_c)، پهنا (w) و اندازه قله محاسبه شد.



شکل ۶: طیف اپتیکی عبوری میکروپلاستیک



شکل ۷: طیف اپتیکی عبوری نمونه سالم پماد چشمی ناتری‌سالت



شکل ۸: طیف اپتیکی عبوری نمونه آلوده پماد چشمی ناتری‌سالت

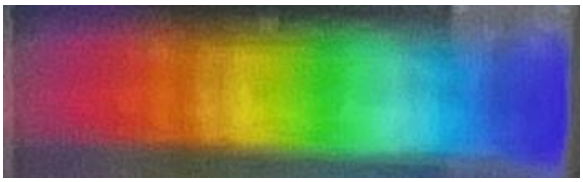
جدول داده نمونه‌های سالم و آلوده به شرح زیر می‌باشد.

جدول ۲: نتایج مکان،پهنا و اندازه قله به‌دست آمده از نرم افزار تحلیل داده

ردیف	کد نمونه	مکان قله $x_c \times ۰.۱$ nm		پهنای قله W×۰٫۰۶ nm		اندازه قله ×۰.۰۰۱	
		سالم	آلوده	سالم	آلوده	سالم	آلوده
۱	۰۰۱۱	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۵.۵	۲۱.۲	۰.۲۲۰	۰.۰۷۳
		۵۴۴.۶	۵۴۴.۱	۶۶.۱	۵۲.۳	۰.۰۳۰	۰.۰۰۴
۱	۰۰۱۱B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۵	۲۵.۷	۲۲.۲	۰.۲۳۶	۰.۱۰۰
		۵۴۳.۷	۵۴۲.۲	۶۲.۶	۳۸.۳	۰.۰۳۴	۰.۰۱۲
۲	۰۰۲۲	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۵.۹	۲۱.۹	۰.۲۵۵	۰.۰۹۰
		۵۴۲.۳	۵۴۱.۹	۵۸.۵	۴۲.۳	۰.۰۴۰	۰.۰۰۷
۲	۰۰۲۲B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۳.۹	۲۲.۱	۰.۱۱۳	۰.۱۰۰
		۵۴۱.۵	۵۴۱.۱	۴۲.۷	۳۴.۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۱
۳	۰۰۳۳	۴۴۷.۴	۴۴۷.۴	۲۱.۹	۲۱.۳	۰.۰۷۳۵	۰.۰۶۴
		۵۴۱.۵	۵۴۱.۱	۵۳.۷	۵۱.۱	۰.۰۰۶	۰.۰۰۳
۳	۰۰۳۳B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۳	۲۴.۱	۲۰.۷	۰.۱۵۸	۰.۰۳۹
		۵۴۲.۴	۵۴۲.۶	۶۴.۲	۶۰.۲	۰.۰۱۸	۰.۰۰۱
۴	۰۰۴۴	۴۴۵.۹	۴۴۷.۴	۱۸.۹	۲۱.۷	۰.۰۶۹	۰.۰۸۴
		۵۴۱.۱	۵۴۱.۹	۵۴.۶	۴۴.۶	۰.۰۰۳	۰.۰۰۶
۴	۰۰۴۴B	۴۴۷.۳	۴۴۷.۴	۱۹.۹	۲۳.۳	۰.۰۸۲	۰.۱۳۱
		۵۴۱.۳	۵۴۱.۴	۴۷.۹	۵۳.۵	۰.۰۰۴	۰.۰۱۳
۵	۰۰۵۵	۴۴۷.۶	۴۴۷.۴	۲۴.۳	۲۳.۲	۰.۱۵۸	۰.۱۳۱
		۵۴۲.۹	۵۴۱.۲	۶۴.۲	۵۰.۷	۰.۰۱۸	۰.۰۱۳
۵	۰۰۵۵B	۴۴۷.۴	۴۴۷.۳	۲۴.۳	۲۰.۹	۰.۱۵۸	۰.۰۶۳
		۵۴۱.۱	۵۴۱.۵	۶۳.۵	۵۱.۲	۰.۰۱۵	۰.۰۰۳
۶	۰۰۶۶	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۵.۱	۲۰.۹	۰.۱۹۷	۰.۰۶۳
		۵۴۵.۴	۵۴۱.۷	۶۹.۴	۵۱.۲	۰.۰۲۵	۰.۰۰۳
۶	۰۰۶۶B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۳.۹	۲۳.۸	۰.۱۴۳	۰.۰۰۱
		۵۴۲.۴	۵۴۱.۶	۶۴.۱	۶۴.۵	۰.۰۱۵	۰.۰۱۵
۷	۰۰۷۷	۴۴۷.۶	۴۴۷.۳	۲۶.۲	۲۱.۸	۰.۲۵۹	۰.۰۰۸
		۵۴۱.۵	۵۴۱.۴	۵۷.۴	۴۱.۳	۰.۰۴۳	۰.۰۰۷
۷	۰۰۷۷B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۱	۲۵.۸	۲۲.۷	۰.۲۳۵	۰.۰۹۹
		۵۴۳.۵	۵۴۲.۱	۶۲.۹	۳۷.۳	۰.۰۳۳	۰.۰۱۹
۸	۰۰۸۸	۴۴۷.۹	۴۴۷.۴	۲۱.۷	۲۰.۷	۰.۰۳۲	۰.۰۳۰
		۵۴۴.۳	۵۴۴.۳	۶۰.۷	۵۷.۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱
۸	۰۰۸۸B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۳.۵	۲۲.۶	۰.۱۲۰	۰.۰۹۴
		۵۴۱.۵	۵۴۲.۱	۴۸.۵	۳۶.۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱۰
۹	۰۰۹۹	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۳.۵	۲۳.۱	۰.۱۳۳	۰.۱۲۷
		۵۴۲.۳	۵۴۱.۲	۵۸.۴	۵۰.۳	۰.۰۱۴	۰.۰۱۴
۹	۰۰۹۹B	۴۴۷.۷	۴۴۷.۳	۲۰.۹	۲۱.۸	۰.۰۶۰	۰.۰۰۸
		۵۴۳.۶	۵۴۲.۱	۵۲.۸	۴۲.۷	۰.۰۰۴	۰.۰۰۳
۱۰	۰۰۱۰۱۰	۴۴۷.۶	۴۴۷.۴	۲۲.۵	۲۰.۷	۰.۱۰۳	۰.۰۹۹
		۵۴۲.۲	۵۴۲.۳	۳۷.۲	۳۶.۲	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸
۱۰	۰۰۱۰۱۰B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۸	۲۴.۶	۱۷.۴	۰.۰۱۸	۰.۰۰۳
		۵۴۳.۸	۵۴۰.۴	۶۵.۸	۵۷.۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱
۱۱	۰۰۱۱۱۱	۴۴۷.۶	۴۴۷.۵	۲۰.۷	۱۸.۵	۰.۰۳۹	۰.۰۰۴
		۵۴۲.۷	۵۴۱.۷	۵۶.۲	۵۱.۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱
۱۱	۰۰۱۱۱۱B	۴۴۷.۵	۴۴۷.۴	۲۲.۶	۲۰.۸	۰.۱۰۵	۰.۰۰۶
		۵۴۲.۱	۵۴۲.۵	۳۸.۲	۵۲.۲	۰.۰۱۰	۰.۰۰۱

با توجه به داده‌های جدول تفاوت نمونه سالم با آلوده در اندازه قله و پهنای نمودار است البته در مکان قله هم تفاوت کمی دیده می‌شود. به علت اینکه چیدمان عبوری بوده نور در اکثر مکان‌ها مشابه است یعنی نوری که از چراغ قوه خارج شده در حضور نمونه وارد می‌شود فقط اتفاقی که افتاده است در کنار پیک، پیک‌های دیگری هم جذب شده‌اند که قبلاً نشده‌اند. برای مثال در نمونه دارویی پماد چشمی ناتری‌سالت پهنای نمودار در قله اول ۲۱.۹ و قله دوم ۵۳.۷ نانومتر است که در نمونه آلوده پهنای نمودار به ترتیب به ۲۱.۳ و ۵۱.۱ نانومتر کاهش یافته است این یعنی در نمونه سالم اطراف آن پیک‌هایی هستند که توسط نمونه آلوده جذب شده‌اند که در نتیجه پهنا در نمونه آلوده نسبت به سالم کاهش یافته است. همچنین مقدار قله در نمونه سالم نسبت به نمونه آلوده همین روند را طی کرده است بطوریکه قله اول ۰.۰۷۳ و قله دوم ۰.۰۰۴ نانومتر به ترتیب به مقادیر ۰.۰۶۴ و ۰.۰۰۳ نانومتر کاهش یافته است.تقریبا در ۱۱ نمونه دارویی این کاهش در پهنا و مقدار قله رخ داده است با ذکر این نکته که میزان این کاهش در قله اول تقریبا کم ولی در قله دوم کاملا قابل توجه است و در مکان قله دوم هم تفاوت کمی دیده می‌شود.

در چیدمان اپتیکی بازتابی، نور بازتاب شده از نمونه‌های سالم و آلوده از توری که به عنوان قطعه پاشنده استفاده شده عبور کرده و تصویر طیفی ثبت می‌شود. بررسی تصاویر طیفی به‌دست‌آمده از نمونه‌های سالم و آلوده نشان داد که الگوی رنگی و توزیع رنگ‌ها در تصاویر طیفی این دو گروه با یکدیگر متفاوت است. به‌طور کلی، تفاوت مشاهده‌شده در رنگ و شکل الگوی طیفی نمونه‌های سالم و آلوده نشان می‌دهد که حضور آلودگی میکروپلاستیکی می‌تواند موجب تغییر در پاسخ اپتیکی نمونه شود.



شکل ۸: تصویر طیفی پماد چشمی ناتری سالت سالم



شکل ۹: تصویر طیفی پماد چشمی ناتری سالت آلوده

۳- نتیجه گیری

در این پژوهش، امکان تشخیص آلودگی میکروپلاستیکی در نمونه‌های دارویی با استفاده از دو چیدمان اپتیکی بازتابی و عبوری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، نمونه‌های دارویی سالم و نمونه‌های آلوده‌شده به میکروپلاستیک به‌صورت کنترل‌شده تهیه و پاسخ طیفی آن‌ها در ناحیه مرئی ثبت شد. در چیدمان بازتابی، تصاویر طیفی حاصل از بازتاب نور توسط یک سامانه کم‌هزینه تصویربرداری ثبت شدند. بررسی تصاویر طیفی حاصل از نمونه‌های سالم و آلوده نشان داد که الگوی رنگی و توزیع رنگ‌ها در این دو گروه با یکدیگر متفاوت است.

به‌منظور بررسی نتایج حاصل از روش بازتابی، از طیف‌سنجی عبوری نیز استفاده شد. تحلیل طیف‌های عبوری نشان داد که در اغلب نمونه‌های آلوده، پهنای قله‌ها و شدت طیفی نسبت به نمونه‌های سالم کاهش یافته است و در برخی نمونه‌ها جابه‌جایی محدودی در موقعیت قله دوم مشاهده می‌شود. این رفتار را می‌توان به حضور ذرات میکروپلاستیک و تفاوت ضریب شکست آن‌ها نسبت به محیط دارویی نسبت داد. حضور این ذرات موجب افزایش پراکندگی نور و تغییر مسیر انتشار فوتون‌ها در داخل نمونه می‌شود؛ در نتیجه بخشی از انرژی نور پیش از رسیدن به آشکارساز از مسیر اصلی منحرف شده و شدت طیفی ثبت‌شده کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تغییرات ایجادشده در جذب و پراکندگی طول‌موج‌های مختلف می‌تواند موجب کاهش پهنای مؤثر قله‌ها و تغییر جزئی در موقعیت برخی قله‌های طیفی شود. [۱۰،۱۱] نتایج به‌دست‌آمده از دو چیدمان اپتیکی نشان داد که حضور میکروپلاستیک‌ها اثر قابل اندازه‌گیری بر پاسخ طیفی نمونه‌های دارویی دارد. این نتایج با مطالعات پیشین در زمینه تشخیص اپتیکی میکروپلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های جذب و پراکندگی نور همخوانی دارد [۱۱،۱۲]. همچنین عدم مشاهده تفاوت قابل توجه میان نمونه‌های دارای تاریخ انقضای متفاوت بیانگر آن است که تغییرات طیفی مشاهده‌شده عمدتاً ناشی از حضور میکروپلاستیک‌ها بوده و تأثیر تاریخ انقضا در مقایسه با اثر آلودگی میکروپلاستیکی ناچیز است.

۴-بحث

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب طیف‌سنجی مرئی و تصویربرداری طیفی قادر است تغییرات پاسخ اپتیکی ناشی از آلودگی میکروپلاستیکی را در نمونه‌های دارویی نشان دهد. همچنین استفاده همزمان از چیدمان بازتابی و چیدمان عبوری، اطلاعات مکملی درباره تغییرات پاسخ طیفی نمونه‌های سالم و آلوده فراهم کرده است. از این رو، روش پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک روش سریع، غیرمخرب و کم‌هزینه برای غربالگری اولیه آلودگی میکروپلاستیکی در فرآورده‌های دارویی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، برای تعمیم نتایج به سایر فرآورده‌های دارویی و همچنین توسعه روش‌های کمی جهت برآورد میزان آلودگی، انجام مطالعات تکمیلی با تعداد نمونه‌های بیشتر و غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک ضروری است.[۱۳،۱۴]

روش‌های متداول شناسایی میکروپلاستیک‌ها شامل طیف‌سنجی FTIR، طیف‌سنجی Raman و تصویربرداری هایپراسپکترال هستند که هر یک مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند . FTIR و Ramanاطلاعات دقیقی درباره ساختار شیمیایی و نوع پلیمر ارائه می‌کنند، اما معمولاً به تجهیزات تخصصی و پرهزینه نیاز دارند و زمان تحلیل آن‌ها نسبتاً طولانی است [۱۴]. در مقابل، روش ارائه‌شده در این پژوهش مبتنی بر طیف‌سنجی مرئی و تصویربرداری طیفی بوده و از تجهیزات ساده‌تر و کم‌هزینه‌تری استفاده می‌کند. هرچند روش حاضر توانایی تعیین دقیق نوع پلیمر را ندارد، اما به عنوان یک ابزار غربالگری اولیه سریع، غیرمخرب و کم‌هزینه می‌تواند مکمل مناسبی برای روش‌های مرجع طیف‌سنجی باشد.

تشکر و قدردانی

شایسته است مراتب قدردانی خود را از شرکت سینادارو بابت نمونه های اهدایی و مدیر بخش تحقیقات و توسعه این شرکت سرکار خانم دکتر سارا نعمتی بابت درک اهمیت پروژه ،پشتیبانی و حمایتشان اعلام داریم.

منابع

[۱] N. K. Sharma, “How garbage dumps affect the Urban environment : a case study of Prayagraj District,” no. August, ۲۰۲۲, doi: ۱۰,۱۳۱٤۰/RG.۲,۲,۲۳۳٦٤,۰۹٦۰۳.

[۲] “https://www.tabiat.ir/page/۷۰٦۳/%D۸٪B۲٪D۸٪A۸٪D۸٪A۷٪D۹٪۸٤٪D۹٪۸۷-%DA%۸٦٪DB%۸C%D۸٪B۳٪D۸٪AA%D۸٪۹F,”

[۳] I. Priya Gupta Paryavaran Mitra Ahmedabad, Gujarat, India Aarzoo Sharma Avon Food Lab Pvt. Ltd Lawrence Road Industrial Area Delhi, “SOLID WASTE MANAGEMENT (SWM) AND ITS EFFECT ON ENVIRONMENT & HUMAN HEALT,” vol. ۹chapters.

[٤] K. Lin *et al.*, “Toward smarter management and recovery of municipal solid waste: A critical review on deep learning approaches,” *J. Clean. Prod.*, vol. ۳٤٦, p. ۱۳۰۹٤۳, ۲۰۲۲.

[٥] A. L. Andrady, “The plastic in microplastics: A review,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. ۱۱۹, no. ۱, pp. ۱۲–۲۲, ۲۰۱۷.

[٦] A. L. Andrady, “Microplastics in the marine environment,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. ٦۲, no. ۸, pp. ۱٥۹٦–۱٦۰٥, ۲۰۱۱.

[۷] C. M. Rochman, “microplastic,” sciencemag.org. [Online]. Available: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=۰٪۲C٥&q=where+are+microplastics+coming+from&oq=where+are+micropl#d=gs_qabs&t=۱۷٤۲۹۷٤٤٤۸٦۰۹&u=%۲۳p%۳DQdrVJaMr۹uYJ

[۸] O. Bajt, “From plastics to microplastics and organisms,” *FEBS Open Bio*, vol. ۱۱, no. ٤, pp. ۹٥٤–۹٦٦, ۲۰۲۱.

[۹] R. C. Hale, M. E. Seeley, M. J. La Guardia, L. Mai, and E. Y. Zeng, “A global perspective on microplastics,” *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. ۱۲٥, no. ۱, p. e۲۰۱۸JC۰۱٤۷۱۹, ۲۰۲۰.

[۱۰] Y. Zhu, Y. Li, J. Huang, Y. Zhang, Y.-W. Ho, J. K.-H. Fang, and E. Y. Lam, “Advanced Optical Imaging Technologies for Microplastics Identification: Progress and Challenges,” Advanced Photonics Research, vol. ٥, no. ۱۱, p. ۲٤۰۰۰۳۸, ۲۰۲٤, doi: ۱۰,۱۰۰۲/adpr.۲۰۲٤۰۰۰۳۸.

[۱۱] A. Faltynkova, G. Johnsen, and M. Wagner, “Hyperspectral imaging as an emerging tool to analyze microplastics: A systematic review and recommendations for future development,” Microplastics and Nanoplastics, vol. ۱, art. ۱۳, ۲۰۲۱, doi: ۱۰,۱۱۸٦/s٤۳٥۹۱-۰۲۱-۰۰۰۱٤-y.

[۱۲] J. Xu, K. V. Thomas, Z. Luo, and A. Gowen, “FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: State of the art, challenges and prospects,” TrAC Trends in Analytical Chemistry, vol. ۱۱۹, p. ۱۱٥٦۲۹, ۲۰۱۹, doi: ۱۰,۱۰۱٦/j.trac.۲۰۱۹,۱۱٥٦۲۹.

[۱۳] A. Käppler *et al.*, “Comparison of μ-ATR-FTIR spectroscopy and py-GCMS as identification tools for microplastic particles and fibers isolated from river sediments,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. ٤١٠, no. ٢١, pp. ٥٣١٣–٥٣٢٧, ٢٠١٨, doi: ١٠,١٠٠٧/s٠٠٢١٦-٠١٨-١١٨٥-٥.

[١٤] Z. Huang, B. Hu, and H. Wang, “Analytical methods for microplastics in the environment : a review,” pp. ٣٨٣–٤٠١, ٢٠٢٣, doi: ١٠,١٠٠٧/s١٠٣١١-٠٢٢-٠١٥٢٥-

٧.

JMRPh. (11)(1): 67-75, Spring & Summer, 2026

Optical detection of microplastics in pharmaceutical samples using Visible-Region spectroscopy

[1] Salman Mohajer Mazandarani*, [1] Setayesh Yarahmadi,

[1*] Biophotonics laboratory/Faculty of Physics, Kharazmi university, Karaj, Iran

Article details

Received: ۲۰۲۶/۰۱/۱۹
Accepted: ۲۰۲۶/۱۱/۰۱
Published: ۲۰۲۶/۱۱/۰۹

ISSN: ۲۵۸۸-٤۹۳x
eSSN: ۲۵۸۸-٤۸۲۱

Correspondence email:
mohajer@khu.ac.ir

DOI:
۱۰.۲۲۰۳۴/jmrph.۲۰۲۶.۱۲۲۹۱۷.۰

Abstract

In this study, healthy and artificially contaminated pharmaceutical samples prepared under laboratory conditions were investigated using two optical configurations, namely reflective and transmissive arrangements, to distinguish between healthy and contaminated samples after illumination with a light source. In the optical configurations, parameters such as peak size, peak width, peak position, and spectral images were obtained following illumination of the samples. In the transmission configuration, after fitting an appropriate curve and analyzing the peak width, peak size, and peak position, approximately ۱۱ pharmaceutical samples, including ophthalmic and topical ointments with two different expiration dates, were evaluated. The results showed that, on average, the peak width of the healthy samples was greater than that of the contaminated samples. Regarding the peak positions, the position of the first peak remained unchanged between the healthy and contaminated samples, whereas the position of the second peak shifted toward lower values in the contaminated samples. The different expiration dates of the ophthalmic and topical ointments did not have a significant effect on the results. These findings indicate that the proposed approach may serve as a novel visible-region spectroscopic method for detecting microplastics in pharmaceutical samples.

Keywords: Spectroscopy, Microplastics, Pharmaceutical samples, Spectral width, Optical configuration