

بررسی تأثیر استفاده از نانوترکیب‌های بسیاری تیتانیم دی‌اکسید بر ویژگی‌های بسته‌بندی ظروف نوشیدنی پلی‌اتیلن ترفتالات

مجید خانی^۱، مهدی پردل^{۲*}، ابوالقاسم داوودنیا^۳ و افشین توسلی فرشه^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه شیمی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۲. دانشیار گروه شیمی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۳. استاد گروه شیمی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۴. استادیار گروه کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

دریافت: مهر ۱۴۰۳ بازنگری: مهر ۱۴۰۳ پذیرش: مهر ۱۴۰۳

 <https://doi.org/10.30495/JACR1.1403.1044864>

چکیده

در این پژوهش، نانوترکیب بسیار با استفاده از نانوذره‌های تیتانیم اکسید به‌روش مخلوط‌سازی مذاب ساخته شد. پری‌فرم‌های ۳۲ گرمی شاهد و حاوی نانوذره‌های تیتانیم اکسید در سه رنگ ساخته و تبدیل به بطری و در نهایت با نوشیدنی بلوبری پر شد. بطری‌ها در یک بازه زمانی ۳ ماهه در برابر نور خورشید قرار گرفت و تأثیر استفاده از نانوترکیب بر ویژگی‌های بسته‌بندی بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد با گذشت ۱۵ روز در برابر نور خورشید، رنگ نوشیدنی بلوبری در بطری‌های بدون نانوذره‌های تیتانیم اکسید به‌طور کامل بی‌رنگ شد و این تغییر رنگ در همه بطری‌های شفاف، آبی و قهوه‌ای رخ داد. در حالی‌که در بطری‌های حاوی ۱ درصد نانوذره‌های تیتانیم اکسید، تغییر رنگ مشاهده نشد و با گذشت ۳ ماه، رنگ نوشیدنی بلوبری همچنان آبی باقی ماند. تصویرهای میکروسکوپ الکترونی توزیع نانوذره‌های تیتانیم اکسید در بطری‌های حاوی ۱ درصد نانوذره‌ها را نشان داد. بررسی جداره بطری‌های تولیدشده با طیف‌نورسنجی، توزیع و کارکرد مناسب نانوذره‌ها را در جذب پرتوهای فرابنفش نشان داد. طیف‌های FTIR نمونه بطری‌های شاهد و حاوی نانوذره‌های تیتانیم اکسید در رنگ‌های متفاوت نشان داد هیچ برهم‌کنش شیمیایی ویژه‌ای که منجر به ایجاد یا حذف گروه عاملی جدید شود، انجام نشده و برهم‌کنش بین نانوذره‌ها و ترکیب‌های پت در همه نمونه‌ها بیشتر از نوع فیزیکی بوده است. بررسی مقدار کاهش گاز کربن دی‌اکسید حل‌شده در بطری‌ها نشان داد که میزان کاهش گاز در بطری‌های حاوی نانوذره‌ها کمتر از بطری‌های شاهد بوده است.

واژه‌های کلیدی: نانوترکیب بسیاری، نانوذره‌های تیتانیم اکسید، پری‌فرم، طیف‌نورسنجی.

مقدمه

بسیار پلی اتیلن ترفتالات (پت) (PET^۱) در ایران برای تولید انواع بطری‌های نوشیدنی استفاده می‌شود. علت رشد استفاده از این بسیار در تولید بطری‌های نوشیدنی را می‌توان وزن کم، قیمت مناسب و مقاومت به نسبت مناسب در برابر دما و نفوذ و خروج گاز دانست. پت یک زنجیره بزرگ بسیار متعلق به خانواده پلی استرها است. پت از ترکیب‌های واسطه ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول، که هر دو از مشتق‌های اولیه مواد نفتی است، تشکیل شده است. این ترکیب در خالص‌ترین حالت به صورت ماده‌ای شبه شیشه‌ای و بی شکل است و تحت نفوذ مستقیم افزودنی‌ها، اصلاح می‌شود و به صورت بلوری در می‌آید. بلورینگی، بیشتر با عملیات گرمایی بسیار مذاب، به دست می‌آید. بسته‌بندی‌های ساخته شده از آن مانند سایر بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌بایست نفوذپذیری بسیار کمی را به نسبت به نور، اکسیژن و سایر عوامل تاثیرگذار بر محتویات بسته‌بندی را داشته باشد. نفوذپذیری کمتر نسبت به عوامل متفاوت بیرونی به معنی ماندگاری بیشتر مواد غذایی و جلوگیری از تغییرهای کیفی محتویات بسته‌بندی است [۱].

امروزه کاربرد علوم شیمی و بسیار و استفاده از ترکیب‌های متفاوت بسیار در بهبود کیفیت بسته‌بندی‌های صنایع غذایی توسعه زیادی پیدا کرده است. در کنار کاربرد انواع بسیار در بسته‌بندی، استفاده از افزودنی‌های بسیار برای ایجاد ویژگی‌های مناسب‌تر گسترش زیادی یافته است. استفاده از انواع روان کننده‌ها، آنتی اکسیدانت‌ها و افزودنی‌های پادفرابنفش، بیشتر با هدف بهبود شبکه بسیار است که در نهایت موجب ارتقا کیفیت بسته‌بندی بسیاری می‌شود [۲]. استفاده مناسب و صحیح از یک بسیار که حاوی افزودنی‌های موثر باشد، می‌تواند کیفیت و تازگی فراورده را تضمین کند [۳]. نور خورشید یکی از عامل‌های مخرب بسته‌بندی پلی اتیلن ترفتالات است. ساختار پلاستیک به شکل طبیعی تحت تاثیر گرما و پرتو UV است

[۴]. پرتو فرابنفش برحسب طول موج به سه گروه UVA، UVB و UVC تقسیم می‌شوند [۵]. UVC کوتاهترین و UVA بلندترین طول موج را دارد. هر چه طول موج پرتوها کوتاه‌تر باشد، مقدار تخریب آنها بیشتر است [۶]. بیشتر UVA و UVC در جو با ازن، بخار آب، اکسیژن و کربن دی اکسید جذب می‌شوند [۷]. بنابراین، مواد غیرآلی، موجودات زنده و محیط، بیشتر در برابر پرتو UVB هستند [۸] و در نتیجه تماس بیش از حد با UVB پیوندهای مولکولی پلاستیک‌ها شکسته و پلاستیک‌ها تخریب می‌شوند. پرتوهای خورشیدی، به طور طبیعی شامل نور مرئی، گرما، پرتوهای فرابنفش هستند [۹]. پرتو فرابنفش خورشید آسیب‌های چون تخریب، تغییر رنگ (زرد شدگی)، پوسته پوسته شدن، و تا حدودی کاهش مقاومت مکانیکی در بسته‌بندی پلاستیکی ایجاد می‌کند [۱۰]. ساختار پلاستیک به شکل طبیعی تحت تاثیر گرما و پرتو UV است [۴].

پلی اتیلن ترفتالات به طور معمول برای بسته‌بندی آب معدنی، نوشابه، ماءالشعیر و روغن‌های خوراکی استفاده می‌شود [۱۱]. از طرفی ورود و خروج گاز در نوشیدنی‌های گازدار، تحت تاثیر ساختار بلوری بستر بسیار است. این ساختار با تغییر مقدار مواد افزودنی در بسیار، تغییر می‌کند. از آنجایی که نفوذپذیری یکی از مهم‌ترین واکنش‌ها بین نوشیدنی گازدار و بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات است، مقاومت این بسیار در برابر ورود و خروج گاز کربن دی اکسید به علت نقش حیاتی این گاز در طعم‌دهی مطلوب به نوشیدنی و جلوگیری از تخمیر و فساد آن، نقش بسزایی دارد [۱۲].

هدف از این پژوهش، تولید ترکیب‌های بسیار پایه پت و نانوذره‌های تیتانیم اکسید و بررسی تاثیر این افزودنی بر بهبود کارکرد نوری بسته‌بندی پت حاوی نوشیدنی بود. بطری‌های پت در رنگ‌های متفاوت شفاف، آبی و قهوه‌ای حاوی مواد پادفرابنفش ساخته و ویژگی نوری آن با بطری‌های بدون نانومواد تیتانیم اکسید مقایسه شد. ریخت‌شناسی و توزیع نانوذره‌ها در شبکه بسیار پت با میکروسکوپ الکترونی بررسی

^۱. Polyethylene terephthalate (PET)

بررسی تأثیر استفاده از نانوترکیب‌های بسپاری تیتانیوم دی اکسید ...

شد. همچنین، آزمون‌های قرارگیری در برابر خورشید و بررسی پیوندهای مولکولی ساختار سطحی با طیف‌سنجی FTIR انجام گرفت. مقدار گاز CO₂ حل‌شده در نوشیدنی بلوبری موجود در بطری‌های با و بدون نانوذره‌ها در یک بازه زمانی ۲ ماهه اندازه‌گیری و تأثیر نانوذره‌ها در سرعت ازدست‌رفتن CO₂ در نوشیدنی در زمان انبارداری مشخص شد.

جدول ۲ ایستگاه‌های دمایی تنظیم‌شده در رانشگر

ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵
دما (°C)	۲۲۵	۲۴۰	۲۵۵	۲۶۵	۲۶۰

گرانول پت و نانوذره‌های تیتانیوم اکسید و پاداکسند با درصد وزنی بیان‌شده در جدول ۱، توزین و بسته‌بندی و در داخل یک آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، این مواد از آن خارج و در یک مخلوط‌کن سریع به مدت ۱۰ دقیقه شدند. پس‌از آن، مخلوط به داخل قیف تغذیه رانشگر هدایت و پس از مخلوط‌سازی و عبور از حمام آب، با یک دستگاه گرانول‌ساز تبدیل به گرانول شدند. سرعت ماریپیچ‌ها در ۹۰ دور تنظیم شد و درجه گازگیری نیز باز شد. گرانول‌های تولیدشده دوباره بسته‌بندی و برای ساخت پری‌فرم در وزن‌های متفاوت طبق جدول ۳ به یک کارخانه منتقل شدند.

ساخت پری‌فرم‌های شفاف و رنگی پادفرابنفش

با هدف تولید پری‌فرم‌های نوشیدنی شفاف و رنگی از یک دستگاه تزریق پلاستیک واقع در یک شرکت صنعتی استفاده شد. دستگاه تزریق ساخت شرکت نستال^۶ سوئیس بود. قالب استفاده در دستگاه برای تولید پری‌فرم‌های ۳۲ گرمی و دمای خروجی ایستگاه آخر تزریق ۲۸۸ درجه سلسیوس تنظیم شد. فشار تزریق ۴۵۰ بار تنظیم و در هر سیکل تزریق سیزده ثانیه‌ای، ۹۶ عدد پری‌فرم ۳۲ گرمی تولید شد. دمای سردشدن در قالب، ۱۰ درجه سلسیوس بود. پری‌فرم‌های شاهد بدون نانوذره به‌صورت شفاف، قهوه‌ای و آبی ساخته شدند. برای

بخش تجربی

ساخت نانوترکیب پادفرابنفش

برای ساخت نانوترکیب پادفرابنفش برپایه پت از روش مخلوط‌سازی مذاب به کمک رانشگر^۱ استفاده شد. گرانول‌های پت از شرکت پتروشیمی تندگویان تهیه شد. دمای ذوب این گرانول‌ها 249 ± 3 درجه سلسیوس و گران‌روی ذاتی^۲ آن dl/g ۰/۷۳ است. نانوماده تیتانیوم اکسید استفاده‌شده در این پژوهش با نام تجاری یواس-نانو^۳ و از نوع روتایل^۴ بود. این ماده از نظر فیزیکی پودری سفید رنگ بود. برای بهبود ویژگی گرمایی ترکیب از یک پاداکسند فنلی با کد تجاری ۱۰۱۰ استفاده شد. از نظر فیزیکی پودری سفید رنگ با چگالی $1.15 g/cm^3$ و دمای ذوب ۱۱۰ تا ۱۲۵ درجه سلسیوس بود. همه مواد استفاده‌شده در این پژوهش دارای استاندارد تماس با مواد غذایی بودند. درصد وزنی مواد استفاده شده برای تولید بطری‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ درصد وزنی مواد استفاده‌شده در تولید بطری‌ها

گرانول پت	پاداکسند	نانوذره‌های تیتانیوم اکسید
۹۴	۱	۵

^۱. Extruder

^۲. Intrinsic viscosity

^۳. Us-Nano

^۴. Rutile

^۵. Collin brabender

^۶. Netstal

نانومتر برپایه استاندارد ASTM 1003-00 بررسی شد. طیف‌سنجی FTIR با دستگاه Thermo Nicolet مدل AVATAR 370 FTIR (USA) در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. اندازه‌گیری مقدار گاز کربن دی‌اکسید حل‌شده درون بطری‌ها در یک بازه زمانی ۲ ماهه با کمک دستگاه گازسنج Anton Paar مدل CboxQC موجود در آزمایشگاه کنترل کیفیت یک شرکت تولیدی انجام شد.

نتیجه‌ها و بحث

آزمون‌های UV در دستگاه و در زیر نور خورشید

بطری‌های نوشیدنی بلوبری شاهد و حاوی نانوذره‌های تیتانیم اکسید برای بررسی تاثیر نور خورشید، در یک بازه زمانی ۳ ماهه در برابر نور خورشید و نور شبیه‌سازی‌شده، قرار داده شد. نور شبیه‌سازی‌شده با یک لامپ UV فیلیپس (Tuv 15w / G15T8) ایجاد شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رنگ نوشیدنی بطری‌های شفاف، قهوه‌ای و آبی فاقد نانوذره‌های تیتانیم اکسید، با گذشت ۱۰ روز در برابر نور خورشید، تغییر کرده است، به‌گونه‌ای که با گذشت ۱۵ روز در برابر نور خورشید، رنگ نوشیدنی بلوبری به‌طور کامل بی‌رنگ شد. این تغییر رنگ نوشیدنی در همه بطری‌های شفاف، آبی و قهوه‌ای اتفاق افتاد. در حالی که در نمونه‌های حاوی نانوذره‌های تیتانیم اکسید، تغییر رنگ رخ نداد و با گذشت ۲ هفته رنگ نوشیدنی بلوبری همچنان آبی باقی ماند. نتیجه‌های مشابهی در مورد بطری‌های قرارگرفته در دستگاه مشاهده شد و رنگ نوشیدنی بلوبری در همه بطری‌های شاهد پس از ۷ روز بی‌رنگ شد، ولی در نمونه‌های حاوی نانوذره‌ها همچنان آبی باقی ماند.

ساخت پری‌فرم‌های پادفرابنفش، دستگاه پیمانه‌کردن^۱ پی‌یووان^۲ به‌کارگرفته شد و به مقدار ۱ درصد برای نانوذره‌ها در همه نمونه‌ها تنظیم شد. پری‌فرم‌های تولیدشده برپایه جدول ۳ برای تولید بطری پت به یک شرکت تولیدی منتقل شد و به کمک دستگاه قالب‌گیری دمشی سیدل^۳ فرانسه در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و فشار ۴۰ بار تبدیل به بطری شد. بطری‌های ساخته‌شده با فراورده نوشیدنی بلوبری پر و در نهایت دربندی شد.

جدول ۳ پری‌فرم و بطری‌های شاهد و حاوی نانوذره‌های تیتانیم اکسید

وزن پری‌فرم (گرم)	رنگ بطری	مواد پادفرابنفش (درصد)	حجم بطری بادشده (میلی‌لیتر)
۳۲	شفاف	۰	۱۵۰۰
		۱	
۳۲	آبی	۰	۱۵۰۰
		۱	
۳۲	قهوه‌ای	۰	۱۵۰۰
		۱	

بطری‌های شاهد و رنگی حاوی نانوذره‌های تیتانیم اکسید و بدون نانوذره برای طیف‌نورسنجی فرابنفش، ریخت‌شناسی، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) و تعیین مقدار گاز کربن دی‌اکسید حل‌شده، به آزمایشگاه یک شرکت تولیدی منتقل شد. برای بررسی پراکنش نانوذره‌های تیتانیم اکسید، یک میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (Republic TEACAN, MIRAI Czech) در ولتاژ ۵ kV و دامنه ۲۰۰ نانومتر تا ۱ میکرومتر به‌کارگرفته شد. از جداره بطری‌های دارای نانوذره‌ها و شاهد نمونه‌هایی با ابعاد ۱۰ در ۲۵ میلی‌متر تهیه و عبور نور از این نمونه‌ها به کمک یک طیف‌نورسنج UV-Vis (Shimazu uv 1800 Japan) در دامنه ۲۰۰ تا ۸۰۰

^۱. Dosing

^۲. Piovan

^۳. Cidel

بررسی تأثیر استفاده از نانوترکیب‌های بسپاری تیتانیوم دی اکسید ...

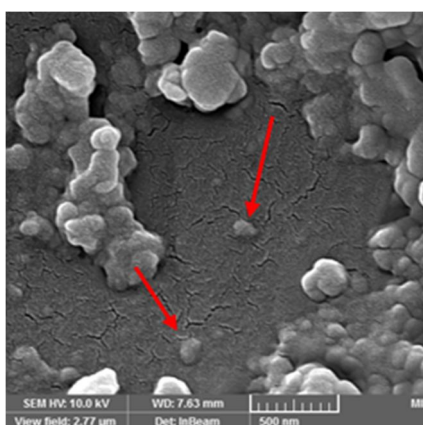


شکل ۱ بطری‌های قرارگرفته در برابر نور خورشید و تغییر رنگ به‌دست‌آمده (نوشیدنی بطری‌های دارای نانوذره به رنگ آبی پر رنگ باقی مانده که با علامت ★ مشخص شده است).

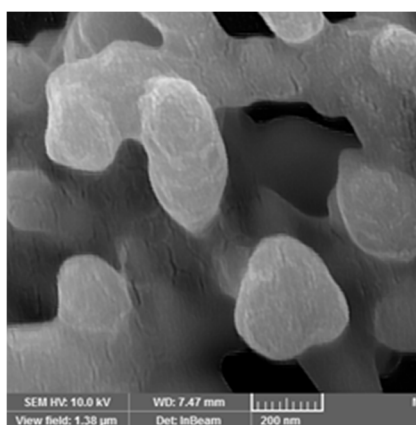
بطری‌های شاهد قابل مشاهده و در شکل ۲-ب، نانوذره‌ها در نمونه حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید، افزون بر شبکه بسپاری، قابل تشخیص است.

ریخت‌شناسی بطری‌های شاهد و دارای نانوذره

تصویرهای میکروسکوپ الکترونی نمونه بطری‌های شاهد و حاوی ۱ درصد نانوذره در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در شکل ۲-الف، شبکه بسپار



ب



الف

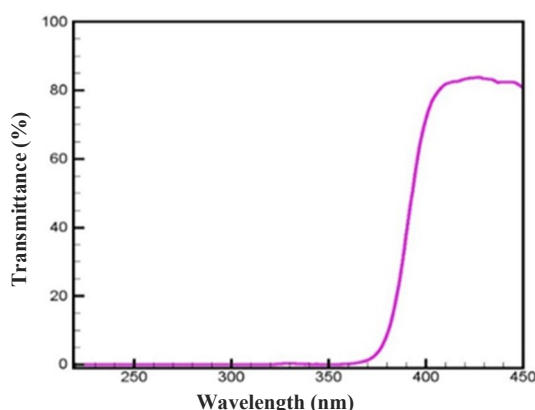
شکل ۲ پراکنش نانوذره‌های تیتانیوم اکسید در جداره بطری‌های بدون نانوذره (الف) و با نانوذره (ب)

به نمونه حاوی نانوذره‌ها ظرفیت جذب پرتو فرابنفش کمتری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در نمونه شاهد (سمت راست) تا طول موج ۳۱۰ نانومتر هیچ فرایند جذب و نشری صورت نگرفته است، درحالی‌که در نمونه‌های

طیف‌نورسنجی/فرابنفش

شکل ۳ طیف‌های فرابنفش نمونه‌های متفاوت بطری پت بی‌رنگ شاهد و نمونه بی‌رنگ حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید را نشان می‌دهد. بر پایه این شکل، نمونه بی‌رنگ شاهد نسبت

۳۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر و بیشینه عبور در طول موج ۳۵۰ نانومتر (λ_{max}) و برای نمونه حاوی نانوذره (سمت چپ) گستره عبور در طول موج‌های ۳۷۰ تا ۴۰۰ نانومتر و بیشینه عبور در طول موج ۴۰۰ نانومتر (λ_{max}) صورت گرفته است.

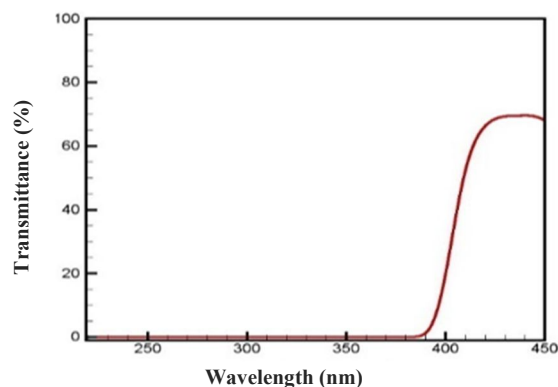
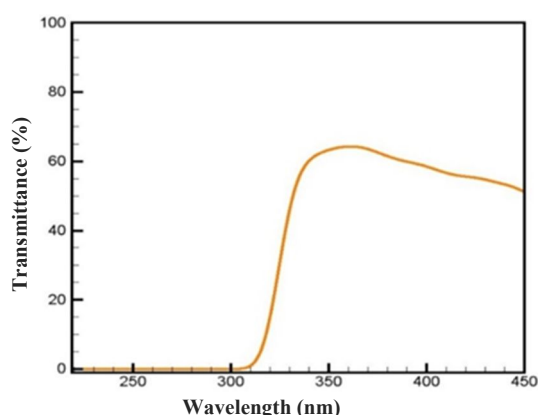


شکل ۳ طیف‌های UV مربوط به پت‌های شفاف شاهد (سمت راست) و پادفرابنفش (سمت چپ)

مشاهده می‌شود. نمونه بطری حاوی نانوماده تا طول موج ۳۹۰ نانومتر هیچ فرایند عبوری را نشان نمی‌دهد و گستره عبور نور در طول موج‌های ۳۹۰ تا ۴۰۰ نانومتر است.

شکل ۵ عبور نور از جداره نمونه‌های پت قهوه‌ای شاهد و حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید را نشان می‌دهد. در نمونه شاهد تا طول موج ۳۲۰ نانومتر هیچ فرایند عبوری صورت نگرفته است. گستره عبور نور در طول موج‌های ۳۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر و بیشینه عبور در طول موج ۳۴۰ نانومتر (λ_{max}) است، در صورتی که نمونه‌های حاوی نانوذره‌ها تا طول موج ۴۰۰ نانومتر هیچ عبور نوری را از خود نشان نمی‌دهند که بیانگر ویژگی پادفرابنفش آن‌ها است.

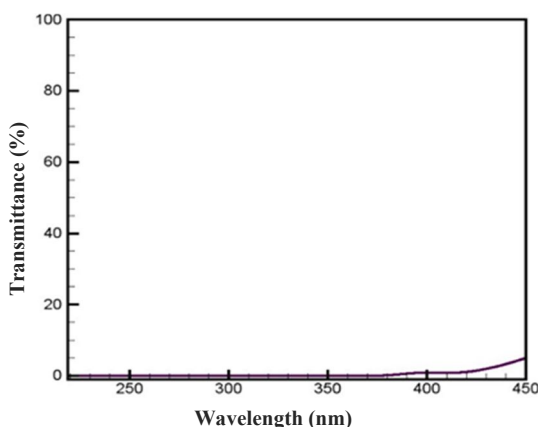
حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید (سمت چپ) تا طول موج ۳۷۰ نانومتر عبور رخ نداده و فرایند عبور پرتو از جداره، از طول موج ۳۷۰ نانومتر به بالاتر رخ داده است که نشان‌دهنده تاثیر نانوذره‌های افزوده‌شده در جذب پرتوهای UV است. همچنین، گستره عبور نور در نمونه شاهد (سمت راست) در طول موج‌های



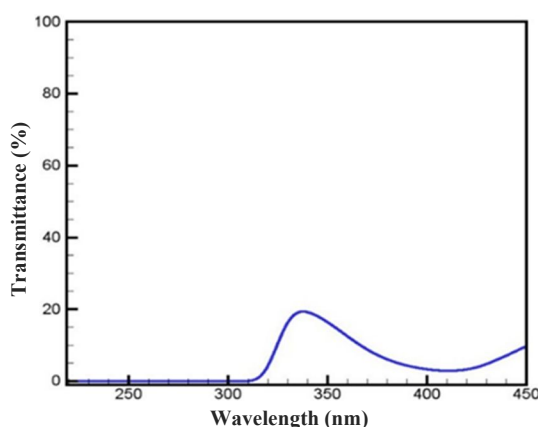
شکل ۴ عبور نور از جداره بطری‌های آبی حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید

شکل ۴ عبور نور از جداره بطری‌های آبی حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید را نشان می‌دهد. همان‌طور که

بررسی تأثیر استفاده از نانوترکیب‌های بسپاری تیتانیوم دی اکسید ...



شکل ۵ طیف‌های UV پت‌های قهوه‌ای شاهد (سمت راست) و پادفرابنفش (سمت چپ)



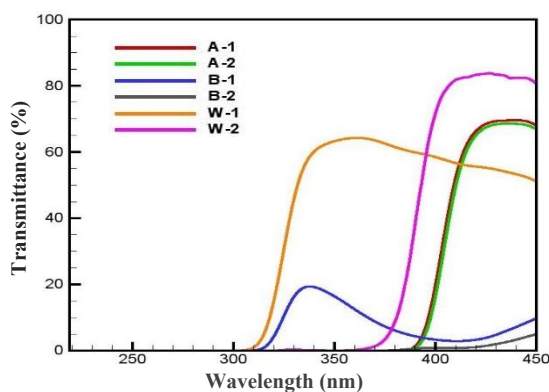
پادفرابنفش را می‌توان در بطری‌های قهوه‌ای حاوی ۱ درصد نانوذره‌های تیتانیوم اکسید مشاهده کرد.

شکل ۶ طیف‌های کلی نمونه‌های شاهد حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید به عنوان ماده پادفرابنفش را نشان می‌دهد.

طیف‌سنجی FTIR

برای بررسی برهم‌کنش فیزیکی یا شیمیایی ماده پادفرابنفش با ترکیب‌های PET، طیف‌های FTIR نمونه‌های بطری PET شاهد و حاوی نانوماده تیتانیوم اکسید در رنگ‌های آبی و قهوه‌ای و بی‌رنگ (شکل‌های ۷ تا ۹) بررسی شد.

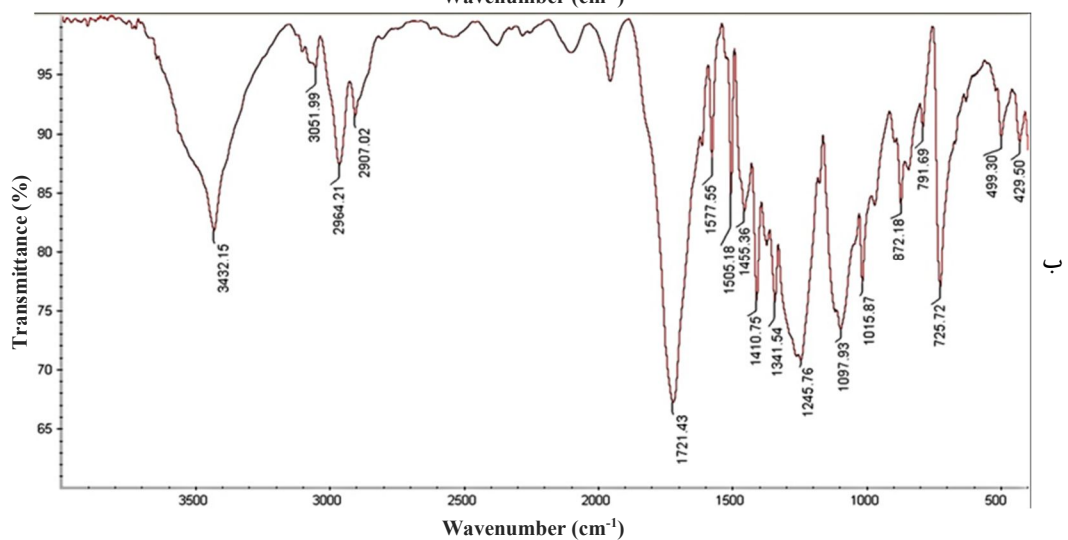
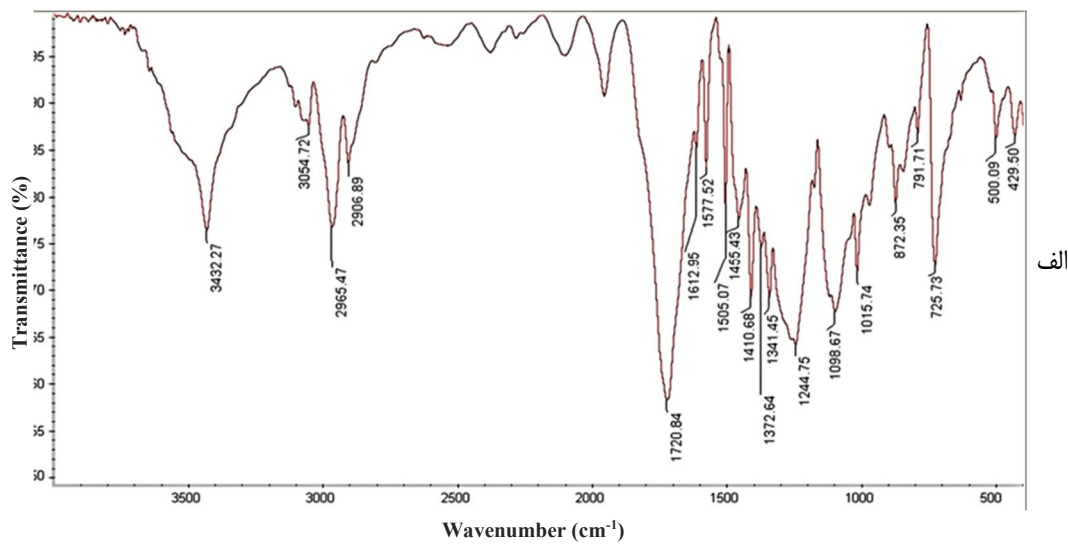
جدول ۴ نوارهای مهم مربوط به پیوندهای اصلی در بسپار پت شاهد و پت پادفرابنفش را در بطری‌های متفاوت نشان می‌دهد. نتیجه‌های به‌دست آمده نشان داد که برهم‌کنش شیمیایی بین نانوذره‌های تیتانیوم اکسید و ترکیب‌های پت در همه نمونه‌ها که منجر به ایجاد یا حذف گروه عاملی جدید شود، انجام نشده بود. به بیان دیگر، برهم‌کنش‌ها بیشتر از نوع فیزیکی بود. هرچند که در نمونه‌های حاوی ۱ درصد نانوماده، یک نوار جدید در 600 cm^{-1} مشاهده شد که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل حضور نانوذره‌های تیتانیوم اکسید در مقایسه با نمونه‌های بدون نانوذره‌ها است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نانوذره‌ها به شکل فیزیکی در بستر پلی‌استری به دام افتاده‌اند و نمی‌توانند برهم‌کنش شیمیایی داشته باشند. این نتیجه‌ها مشابه نتیجه‌های کریبی و همکارانش در سال ۲۰۱۸ است [۱۳].



شکل ۶ طیف‌های کلی UV مربوط به همه نمونه‌ها

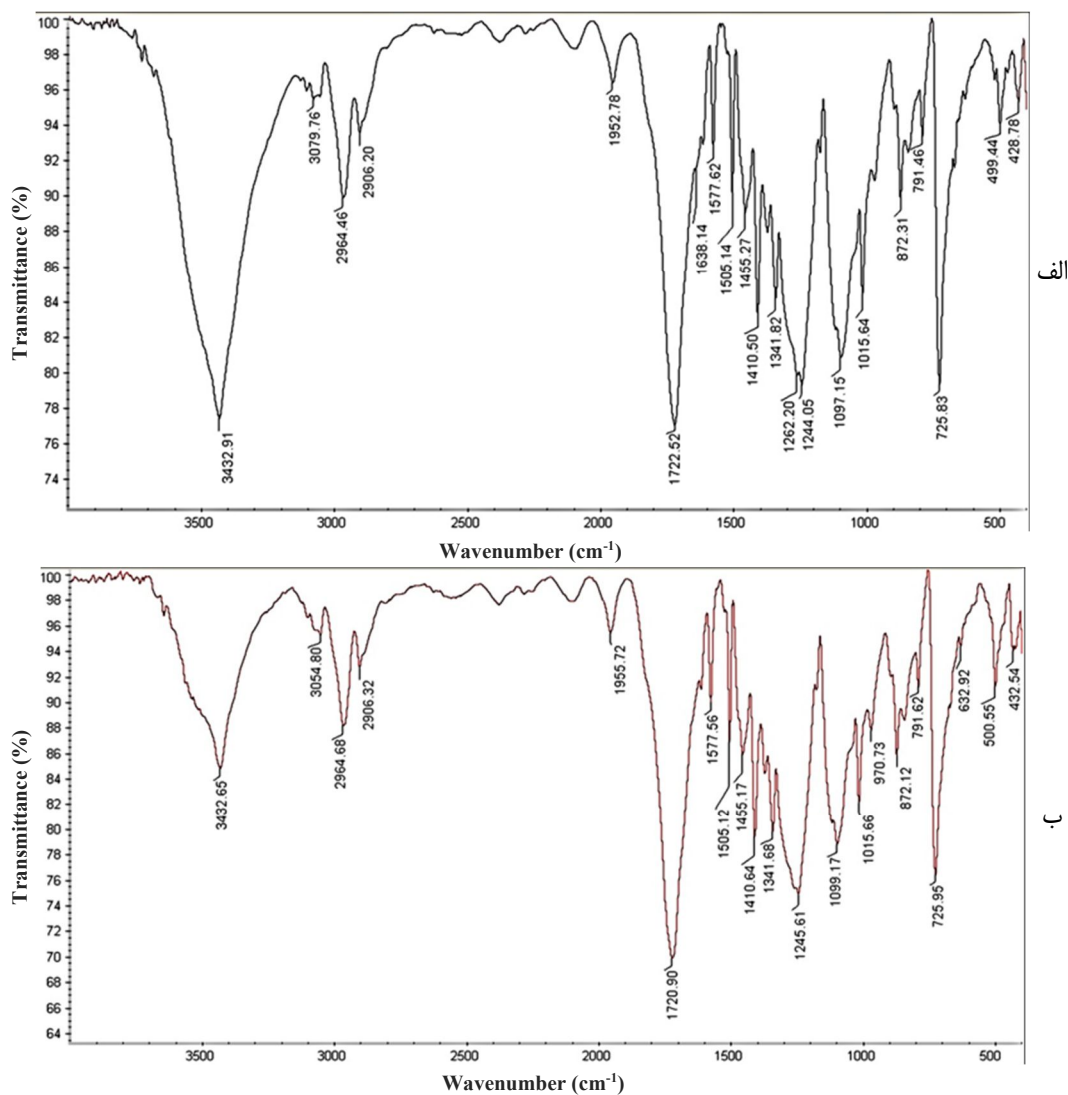
(کد A مربوط به پت بی‌رنگ، کد B مربوط به پت قهوه‌ای و کد W مربوط به پت شفاف است. عدد ۱ مربوط به نمونه شاهد و عدد ۲ مربوط به نمونه‌های پادفرابنفش است.)

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، بیشترین عبور نور مربوط به نمونه شفاف بدون نانوذره‌های تیتانیوم اکسید است و کمترین مقدار عبور نور مربوط به بطری‌های قهوه‌ای حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید است. بنابراین، بیشترین ویژگی

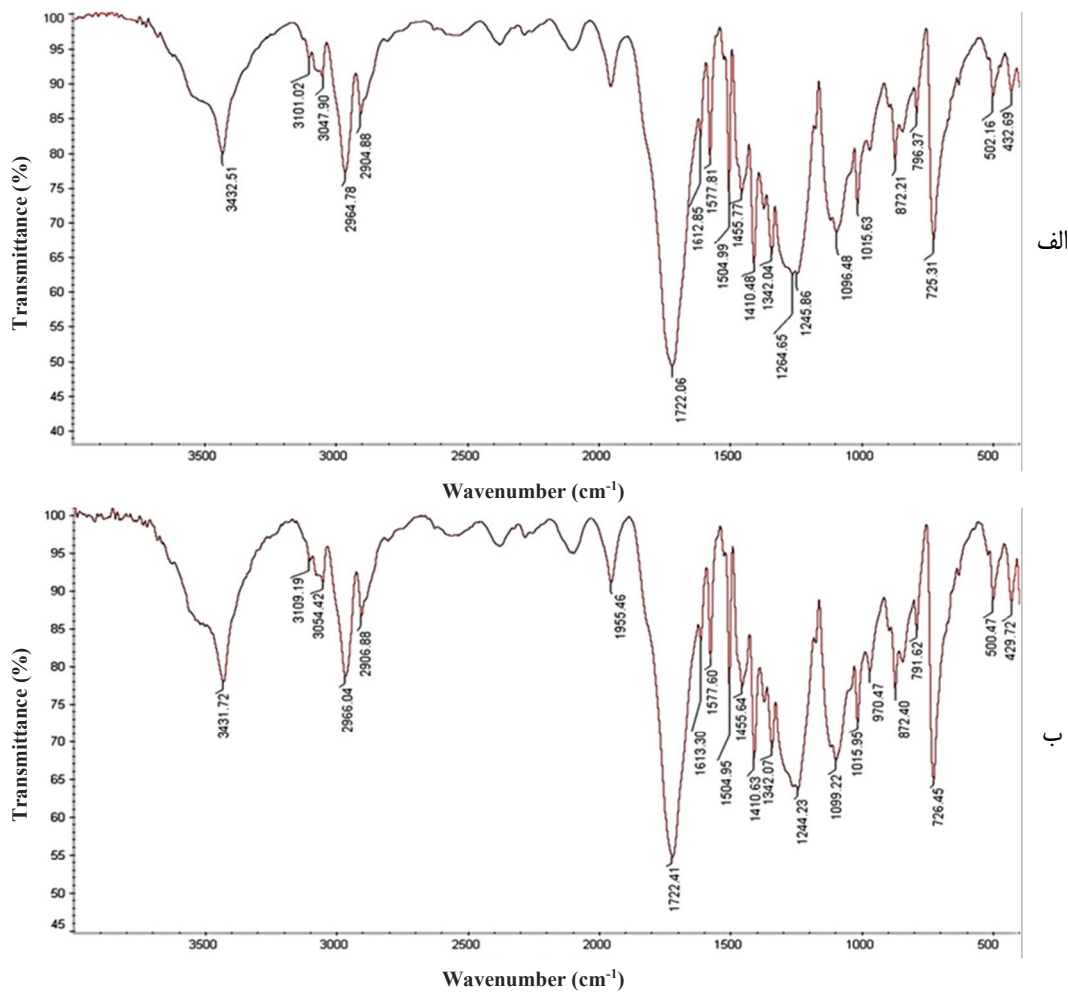


شکل ۷ طیف‌های FTIR پت‌های شفاف شاهد (الف) و پادفرابنفش (ب)

بررسی تأثیر استفاده از نانوترکیب‌های بسپاری تیتانیوم دی اکسید ...



شکل ۸ طیف‌های FTIR بطری‌های آبی شاهد (الف) و پادفرانفش (ب)



شکل ۹ طیف‌های FTIR بطری‌های قهوه‌ای شاهد (الف) و پادفرابنفش (ب)

بررسی تأثیر استفاده از نانوترکیب‌های بسپاری تیتانیم دی اکسید ...

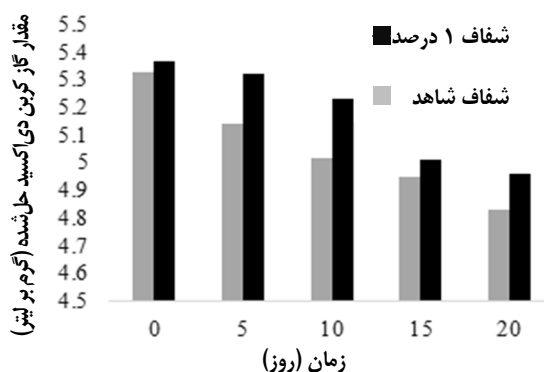
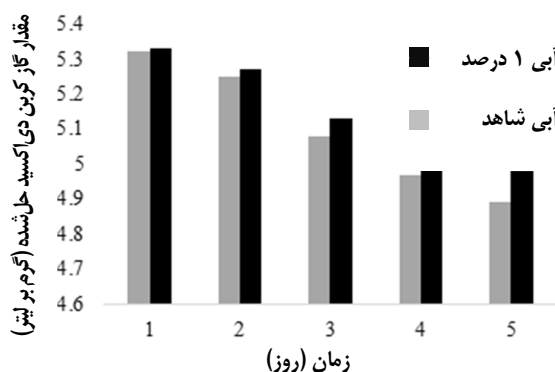
جدول ۴ نوارهای مهم مربوط به پیوندهای اصلی در طیف‌های FTIR بسپار پت شاهد و پت پادفرابنفش

عدد موج (cm^{-1})				گروه عاملی
پت قهوه‌ای پادفرابنفش	پت آبی پادفرابنفش	پت شفاف پادفرابنفش	پت شفاف شاهد	
۳۴۳۱	۳۴۳۲	۳۴۳۲	۳۴۳۲	گروه هیدروکسیل O-H
۳۰۵۴	۳۰۵۴	۳۰۵۱	۳۰۵۴	CH= های آروماتیک
۲۹۰۶ و ۲۹۶۶	۲۹۰۶ و ۲۹۶۴	۲۹۰۷ و ۲۹۶۴	۲۹۰۶ و ۲۹۶۵	C-H های آلیفاتیک C_2 (کششی متقارن و نامتقارن)
۱۷۲۲	۱۷۲۰	۱۷۲۱	۱۷۲۰	کربونیل C=O استری
۱۵۷۷ و ۱۴۱۰ و ۱۵۰۴	۱۵۷۷ و ۱۴۱۰ و ۱۵۰۵	۱۵۷۷ و ۱۵۰۵ و ۱۴۱۰	۱۵۷۷ و ۱۵۰۵ و ۱۴۱۰	C=C حلقه آروماتیک
۱۴۵۵	۱۴۵۵	۱۴۵۵	۱۴۵۵	CH ₂ خارج صفحه
۱۳۴۴ و ۱۳۴۲	۱۳۴۵ و ۱۳۴۱	۱۳۴۵ و ۱۳۴۱	۱۳۴۴ و ۱۳۴۱	C-O
۱۰۹۹ و ۱۰۱۵	۱۰۹۹ و ۱۰۱۵	۱۰۹۷ و ۱۰۱۵	۱۰۹۸ و ۱۰۱۵	C-O الکلی
۷۲۶	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵	C-Cl

دربندی و با پارافین و فویل آلومینیومی به‌طور کامل بسته‌شده بود، می‌توان نتیجه گرفت که خروج گاز از دیواره بطری‌ها رخ داده است. همچنین، کاهش گاز حل‌شده در بطری‌های حاوی نانوذره‌ها کمتر از بطری‌های بدون آن‌ها است که علت آن می‌تواند وجود موانع فیزیکی بیشتر در بستر بسپار باشد که موجب تقویت سطح داخلی بسپار شده است. روند کاهشی مقدار گاز کربن دی‌اکسید در همه نمونه‌ها در رنگ‌های متفاوت مشاهده شد.

مقدار گاز CO_2 حل شده در بطری‌ها

شکل ۱۰ نمودار تغییرهای مقدار گاز کربن دی‌اکسید حل‌شده در انواع بطری‌های ساخته‌شده را در مدت ۲ ماه نگهداری آن‌ها در شرایط یکسان انبارداری، نشان می‌دهد. اندازه‌گیری‌های به‌دست‌آمده میانگین ۳ بار تکرار از هر نوع بطری در زمان آزمون، است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، افزایش زمان انبارداری موجب کاهش مقدار کربن دی‌اکسید حل‌شده در نوشیدنی شده است و از آنجایی که در هنگام انبارداری بطری‌های نوشیدنی



شکل ۱۰ تغییرهای مقدار گاز کربن دی‌اکسید حل‌شده در نوشیدنی بلوبری بر حسب زمان در بطری‌های متفاوت

نتیجه گیری

موجب بهبود نگهداری گاز کربن دی اکسید در بطری‌ها طی زمان انبارداری شد. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده، به طور کلی با نانوذره‌های تیتانیوم اکسید می‌توان بطری‌هایی تولید کرد که مقاومت بیشتری نسبت به عبور نور UV داشته باشند و محتویات نوشیدنی داخل را در زمان ماندگاری بالاتری نگهداری کنند بدون اینکه ویژگی فیزیکی و نوری و طعم فرآورده از بین برود.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد قدردانی و تشکر را دارند.

در این پژوهش نانوترکیب بسیار بر پایه بسیار پت با روش مخلوط‌سازی مذاب و با نانوذره‌های تیتانیوم تهیه و در ساخت پری‌فرم و بطری نوشیدنی استفاده شد. هدف از این پژوهش، تولید بطری‌های نوشیدنی با ویژگی نوری ویژه بود. نتیجه ریخت‌شناسی توزیع ذره‌ها در شبکه بسیار، نشان داد که می‌توان با این روش بطری‌هایی با توزیع ذره‌های یکنواخت در رنگ‌های متفاوت تولید کرد. نتیجه‌های طیف‌نورسنجی از بطری‌های تولید شده نشان داد که بطری‌های شفاف و رنگی حاوی نانوذره‌های تیتانیوم اکسید، ظرفیت عبور نور بالاتری را نسبت به بطری‌های شفاف و رنگی شاهد داشتند که نشان‌دهنده کارکرد مناسب نانوذره‌ها در جذب UV است. وجود نانوذره‌های تیتانیوم اکسید در جداره بطری‌ها

مراجع

- [1] Robertson GL. Food packaging: Principles and practice [Internet]. New York: Marcel Dekker; 1993.
- [2] Almeida S, Ozkan S, Gonçalves D, Paulo I, Queirós CSGP, Ferreira O, Bordado J, Galhano dos Santos R. A brief evaluation of antioxidants, antistatics, and plasticizers additives from natural sources for polymers Fformulation. *Polymers*. 2023;15(1):6. doi:10.3390/polym15010006
- [3] Sajid MU, Bicer Y. Nanofluids as solar spectrum splitters: A critical review. *Solar Energy*. 2020;207:979-1032. doi:10.1016/j.solener.2020.07.009
- [4] Wayman C, Niemann H. The fate of plastic in the ocean environment - a minireview. *Environ Sci Process Impacts*. 2021;23(2):198-212. doi:10.1039/D0EM00446D
- [5] Luo YR. Why is the human visual system sensitive only to light of wavelengths from approximately 760 to 380 nm? *Biophys Chem*. 2000;83(3):179-84. doi:10.1016/S0301-4622(99)00137-4
- [6] Tang X, Yang T, Yu D, Xiong H, Zhang S. Current insights and future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin. *Journal of Environment International*. 2024;185:108535. doi:10.1016/j.envint.2024.108535
- [7] Aaron JJ, Efremova A, Snezana. Purines, Pyrimidines, and Nucleotides. *Chemical Engineering*. 2014; 12: 393-402. doi:10.1016/B978-0-12-409547-2.10971-0
- [8] Liu K, Zhao J, Yang L, Guan M, Yuan L, Geng Y. Protective effects of calbindin-D28K on the UVB radiation-induced apoptosis of human lens epithelial cells. *International Journal of Molecular Medicine*. 2020;45(6): 1793-1802. doi:10.3892/ijmm.2020.4552
- [9] Buch J, Hammond B. Photobiomodulation of the visual system and human health. *Int J Mol Sci*. 2020;21(21):8020. doi:10.3390/ijms21218020
- [10] Liu GL, Zhu DW, Liao SJ, Ren LY, Cui JZ, Zhou WB. Solid-phase photocatalytic degradation of polyethylene-goethite composite film under UV-light irradiation. *J Hazard Mater*. 2009;172(2-3):1424-9. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.08.008.

- [11] Mutsuga M, Tojima T, Kawamura Y, Tanamoto K. Survey of formaldehyde, acetaldehyde and oligomers in polyethylene terephthalate food-packaging materials. Food Addit Contam. 2005;22(8):783-9. **doi: 10.1080/02652030500157593**
- [12] Moosavi, S. Study on the variations in the physico-mechanical properties of PET bottles during shelf-life of carbonated beverages and its effect on permeation of CO₂. Iranian Journal of Polymer Science and Technology. 2004;17(6):343-339. **doi: 10.22063/jipst.2004.474**
- [13] Karimi A, Izadan H, Khoddami A, Hosseini SA. Modifying the surface of poly(ethylene terephthalate) nanofibrous materials by alkaline treatment and TiO₂ nanoparticles. Journal of Industrial Textiles. 2018;47(8):1944-1958. **doi: 10.1177/1528083717716164**