بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد

بررسی تاثیر امواج الکترومغناطیسی در ناحیه UV-C بر سلول‌های زنده و بکارگیری آن در صنایع غذایی

نگارنده : فاطمه سردارآبادی

استاد راهنما:

دکتر حمید هراتی زاده

استاد مشاور:

مهندس وحید هراتی زاده

بهمن ماه ۱۳۹۷

تقدیم به

کسی که در کودکی گهواره ات را تکان می دهد و در بزرگی با دعایش دنیایت را، تقدیم به نگاه پر مهر پدر

تقدیم به ارزشمندترین دارایی زندگانیم ، پدر عزیز و مادر مهربانم که صبورانه در مسیر سخت زندگی همراهم بودند و همواره با دعایشان، بیش از پیش مرا شرمسار از خودگذشتگی و مهر و محبت خود نموده اند.

تقدیم به یکایک اعضای خانواده ام که همواره مشوق و راهنمای من در این راه بوده اند و

همه عزیزانی که در پیشبرد این پروژه یاریم نمودند.

تشکر و قدردانی

سپاس بی‌کران از بی‌کرانه رحمتش و تشکر فراوان به پاس نعمت‌های بی‌شمارش، که توفیق کسب قطره‌ای از دریای علم و دانش خود را ارزانی‌ام داشت. اگرچه، کلمات از بیان کامل قدردانی ام ناتوان اند، بر خود لازم می‌دانم از زحمات خانواده عزیزم، که علم و دانش را ارج نهاده و با ایجاد محیطی گرم و آرام، مرا در پیمودن این راه یاری نمودند، تشکر نمایم.

در گستره راه دانستن، شایسته است، قدرشناس عزیزانی باشم که با شکیبایی و همراهی به یافته‌هایم بنیان داده‌اند.

سپاس بی‌پایان خود را به استاد گرانقدرم جناب آقای پروفسور هراتی‌زاده تقدیم می‌نمایم که در پرتو راهنمایی‌های ارزنده، دقیق و صمیمانه ایشان، این پژوهش به ثمر رسید و شاگردی و کسب علم از محضر ایشان مایه مباهات اینجانب بود. همچنین، مراتب تقدیر و سپاس خود را تقدیم می‌دارم به جناب آقای مهندس هراتی‌زاده، استاد مشاور و جناب آقای دکتر بداقی، به پاس زحمات بی‌دریغ و راهنمایی و مساعدتی که در انجام پایان نامه

داشتند که بدون همراهی و راهنمایی ایشان، این امر میسر نمی شد. از اساتید محترم جناب آقای دکتر قاضی و آقای دکتر محمدی که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را متقبل شدند سپاسگزارم.

از کلیه اساتید گروه فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود که از محضر ایشان کسب علم نمودم تقدیر و تشکر فراوان دارم. همچنین از تیم تحقیق و توسعه شرکت نانوشات که در طراحی و ساخت دستگاه یاری نموده و زحمات فراوانی را متقبل شدند کمال تشکر و قدردانی را دارم. لازم می دانم که از مسئولین آزمایشگاه جناب آقای عسکری و جناب آقای شهیدی به پاس راهنمایی های صمیمانه و زحمات بی دریغ و بی منت شان تشکر نمایم. از دوستان عزیزم، خانم ها الهام هراتیان نژاد، هدی عنایتی، عادله وطن خواهان، مونا مهربانی و تمام دوستانی که ذکر نام آن ها در این جا مقدور نبوده و با همراهی و همدلی و راهنمایی های مفیدشان در این راه یاریم نمودند و لحظات خوب و خوشی را در کنار آن ها داشتم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **فاطمه سردارآبادی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **فیزیک-حالت جامد** دانشکده **فیزیک و مهندسی هسته ای** دانشگاه **صنعتی شاهرود** نویسنده پایان‌نامه **بررسی تأثیر امواج الکترومغناطیسی در ناحیه UV-C بر سلول‌های زنده و بکارگیری آن در صنایع غذایی** تحت راهنمائی جناب **آقای دکتر حمید هراتی‌زاده** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به‌نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

فیزیک علمی است که در حوزه های متنوع و وسیعی بویژه مباحث میان رشته ای مانند بیوفیزیک، فیزیک بهداشت و... کاربرد دارد. بدلیل اثرات مفید و مضر تابش الکترومغناطیسی بر زندگی بشر، بحث تأثیر امواج الکترومغناطیس بر سلول‌های زنده از اهمیت خاصی برخوردار است که بر اساس تأثیر روی بافت سالم یا سلول میکروارگانیسم، می‌تواند مفید یا مضر در نظر گرفته شود .

در این پایان نامه، ما به بررسی اثر امواج فرابنفش در ناحیه UVC بر سلول‌های زنده می پردازیم. علی‌رغم خطرات استفاده از امواج فرابنفش، توسعه دانش ما می‌تواند ابزاری در اختیار ما قراردهد تا برای بهبود شرایط زندگی، از این امواج به نحو مناسب‌تری بهره ببریم. با این نگرش، بررسی تأثیر این امواج بر باکتری‌ها، کپک‌ها و قارچ‌ها و... در مواد غذایی مطالعه می‌شود، با امید به این‌که با بکارگیری تابش UVC، تکنیک‌ها و روش‌هایی را بعنوان جایگزین مواد نگهدارنده غیر مجاز شیمیایی، در صنایع غذایی، توسعه دهیم. چون استفاده از مواد شیمیایی بعنوان نگهدارنده، طعم دهنده و رنگ دهنده در غذا آثار سوئی را بصورت بیماری‌های خطرناکی مانند سرطان، مشکلات گوارشی، ناراحتی های تنفسی و... ایجاد می کند.

کلمات کلیدی : میکروارگانیسم، UVC، سلول‌های زنده، نگهدارنده، صنایع غذایی

مقالات مستخرج از این پایان نامه

۱-سردارآبادی فاطمه، هراتی زاده حمید، هراتی زاده وحید، (۱۳۹۷)، **"بررسی تأثیر تابش فرابنفش در ناحیه UVC بر میکروارگانیسم‌های موجود در کرمفیل"**، نهمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، آبان، مؤسسه آموزش عالی مهراروند، تهران

فهرست مطالب

فصل اول : آلودگی مواد غذایی و روش‌های مقابله با آن ۱
مقدمه ۲
۱-۱ آلودگی مواد غذایی ۳
۱-۲ انواع تابش و تأثیر آن بر میکروارگانیسم‌ها ۴
۱-۲-۱ تابش مایکروویو و کاربردها ۵
۱-۲-۲ تابش گاما و کاربردها ۷
۱-۲-۳ -تابش پلاسما و کاربردها ۹
۱-۲-۴-تابش فرابنفش (UV) و کاربردها ۱۱
فصل دوم : برهم‌کنش فوتون با سلول زنده ۱۵
مقدمه ۱۶
۲-۱ مکانیزم تخریب DNA : ۱۶
۲-۲ مکانیزم‌های بازسازی DNA : ۱۸
۲-۳ تأثیر طول موج‌های مختلف UV روی باکتری‌ها ۱۸
۲-۴ تأثیر تابش UVC بر ویروس ۲۰
۲-۵ تأثیر تابش فرابنفش و نور مرئی بر اشریشیا کلی ۲۱
۲-۶ تأثیر طول موج‌های مختلف UVC در کاهش بیوفولینگ موجود در آب ۲۵
۲-۷ طراحی فیلتر باند عبورUV ۲۸
فصل سوم : پیشینه تحقیق ۳۵
۳-۱ تأثیر تابش UV روی باکتری کاسترد و کرمفیل ۳۶
۳-۲ تأثیر سیستم UVC در کاهش پاتوژن های بیمارستانی ۳۷
۳-۳ تأثیر تابش UV در بهبود زخم ۴۰
۳-۴ تأثیر تابش UV در حذف باکتری آلیسایکلوباسیلوس در آبمیوه ۴۲
۳-۵ تأثیر تابش UVC در کاهش آلودگی آب انار ۴۴

۳-۶ تأثیر تابش UV در کاهش میکروارگانیسم‌های آبمیوه...... ۴۷

۳-۷ تأثیر تابش UVC در کاهش آلودگی آب پرتقال...... ۵۰

۳-۸ مقایسه سه روش حرارتی، تابش فرابنفش و ترکیب آن‌ها در کاهش آلودگی شیر...... ۵۴

۳-۹ تأثیر تابش UV در کاهش آلودگی مرغ خام...... ۵۶

۳-۱۰ کاربرد تابش UVC در حذف آلودگی‌های انواع توت...... ۵۹

۳-۱۱ خواص ساختاری و اپتیکی لایه‌های نازکZnO ، سنتز شده به روش اسپاترینگ...... ۶۰

فصل چهارم: انجام کارهای آزمایشگاهی و بررسی تأثیرتابش UVC بر برخی مواد غذایی...۶۳

مقدمه...... ۶۴

۴-۱ ساخت سسیتم تابش UVC مورد نیاز...... ۶۴

۴-۲ تأثیر تابش بر کرمفیل و نتایج حاصل از آن...... ۶۵

۴-۳ تأثیر تابش UVC بر آب انار...... ۷۱

۴-۳-۱ تأثیر تابش UVC در کاهش میکروارگانیسم‌ها...... ۷۱

۴-۳-۲ تأثیر تابش UVC بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی...... ۷۳

۴-۳-۳ تأثیر تابش UVC بر ویتامین C...... ۷۷

۴-۴ تهیه فیلترهای اپتیکی...... ۷۹

۴-۵ نتایج...... ۸۴

۴-۶ تحقیقات آینده و پیشنهادات...... ۸۵

مراجع...... ۸۷

فهرست جداول

جدول ۱-۱ : تقسیم‌بندی طیف فرابنفش........ ۱۲

جدول ۱-۲ : انرژی پیوند کووالانسی، نوع پیوند و طول موج فوتون تابش........ ۲۴

جدول ۱-۳ : مقایسه تأثیر سه لامپ استاندارد UV........ ۳۶

جدول ۳-۲ : تأثیر شدت mj/cm^2 ۷۳/۸ بر تعداد کل APC و YM، قبل و بعد از تابش........ ۵۲

جدول ۳-۳ : میانگین تعداد میکروب شیر، قبل از تیمار........ ۵۵

جدول ۳-۴ : پارامترهای لایه نشانی ZnO به روش اسپاترینگ........ ۶۱

جدول ۴-۱ : میزان کاهش آلودگی اولیه کرمفیل تحت تأثیر شدت‌های مختلف UV........ ۶۸

جدول ۴-۲ : شدت تابش در فاصله‌های مختلف از لامپ........ ۷۰

جدول ۴-۳ : تعداد باکتری باقی مانده برای نمونه‌های شاهد و تحت تابش........ ۷۲

جدول ۴-۴ : جذب نمونه شاهد در طول موج‌های ۵۱۰ و۷۰ nm........ ۷۵

جدول ۴-۵ : جذب نمونه تحت تابش با ۵ لامپ در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ nm........ ۷۵

جدول ۴-۶ : جذب نمونه تحت تابش با ۳ لامپ در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ nm........ ۷۵

جدول ۴-۷ : میزان جذب کل برای نمونه‌های شاهد و تحت تابش........ ۷۵

جدول ۴-۸ مقدار آنتوسیانین کل برای نمونه‌های شاهد و تحت تابش........ ۷۶

جدول ۴-۹ : تجزیه واریانس اثرات پرتوتابی بر مقدار آنتوسیانین........ ۷۶

جدول ۴-۱۰ : غلظت ویتامین C در نمونه شاهد و نمونه‌های تحت تابش........ ۷۸

جدول ۴-۱۱ : تجزیه واریانس اثرات پرتوتابی بر مقدار ویتامین C........ ۷۸

جدول ۴-۱۲ شرایط لایه نشانی نمونه‌های ZnO و درصد عبور UVA، UVB و UVC از آن‌ها........ ۸۲

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ : طیف امواج الکترومغناطیسی ۴
شکل ۱-۲ : مایکروویو و اجزای آن ۵
شکل ۱-۴ : کاربرد تابش گاما در درمان تومور ۷
شکل ۱-۷ : تشکیل پلاسما ۱۰
شکل ۱-۸: ضدعفونی دندان با پلاسما ۱۰
شکل ۱-۹ : تصفیه آب با تابش UV ۱۲
شکل ۱-۱۰ : تقسیم‌بندی طیف فرابنفش ۱۲
شکل ۱-۱۱ : طیف گسیلی رایج انواع لامپ‌های UV ۱۳
شکل ۲-۱ : الف) برهم‌کنش تابش با DNA ب) تشکیل دیمر ۱۶
شکل ۲-۳ : تغییر حساسیت میکروارگانیسم‌های مختلف بر حسب طول موج تابشی ۱۷
شکل ۲-۴ : تأثیر منابع مختلف UV بر اشریشیا کلی ۱۹
شکل ۲-۵ : بازده کاهش اشریشیا کلی بر حسب طول موج ۲۰
شکل ۲-۷: نمودار تغییرات لگاریتمی سلول‌های زنده اشریشیا کلی بر حسب لگاریتم شدت تابش ۲۲
شکل ۲-۸ : طیف جذب نور مرئی و فرابنفش اشریشیا کلی ۲۴
شکل ۲-۹ : کاهش log باکتری آئروژینوزا معلق در آب، بعنوان تابعی از شارUV برای طول موج های مختلف ۲۶
شکل ۲-۱۰ : ضریب حساسیت طیفی UV $(krel)$ بعنوان تابعی از طول موج ۲۷
شکل ۲-۱۱ : دامنه امواج تابش و بازتابش در ساختار چند لایه اپتیکی ۲۸
شکل ۲-۱۲ : طیف عبور ساختار فلز-هوا-فلز و لایه جامد فلزی ۳۱
شکل ۲-۱۳ : طیف عبور فیلتر چندلایه $Al/SiO_2/Al/Sapphire$ ۳۲
شکل ۲-۱۴ : اثر ضخامت های متفاوت SIO_2 بر طیف عبور فیلتر ۳۲
شکل ۲-۱۵ : اثر تغییر ضخامت AL بر طیف عبور فیلتر ۳۳
شکل ۳-۱ : استریل تجهیزات بیمارستان با تابش UV ۳۷

شکل ۳-۲ : تأثیر سیستم UVC بر چند نوع باکتری در زمان و فواصل مختلف ۳۹
شکل ۳-۳ : کاربرد تابش UV در درمان زخم ۴۱
شکل ۳-۴ تأثیر تابش UVC و روش حرارتی در حذف باکتری آلیسایکلوباسیلوس ۴۳
شکل ۳-۵ : کاهش APC، YM و اشریشیاکلی در آب انار تابش دیده ۴۶
شکل ۳-۶ : سیستم UVC (A) مقیاس آزمایشگاهی و (B) مقیاس صنعتی ۴۷
شکل ۳-۷ : کاهش آلودگی در آب سیب بر حسب شدت تابش ۴۹
شکل ۳-۸ : کاهش آلودگی آبمیوه‌های گوآوا و آناناس ۴۹
شکل ۳-۹ : تأثیر شدت UV بر کاهش APC, YM ۵۳
شکل ۳-۱۰ : کاهش ویتامین C با افزایش شدت تابش UV ۵۳
شکل ۳-۱۱ : تأثیر تابش UVC بر ژژونی ۵۷
شکل ۳-۱۲ : تأثیر تابش UVC بر منوستیوژنز ۵۸
شکل ۳-۱۳ : تأثیر تابش UVC بر تیفی موریوم ۵۸
شکل ۳-۱۴ : کاهش MNV توت‌فرنگی، تمشک و بلوبری منجمد و تازه بر حسب زمان ۵۹
شکل ۳-۱۵: کاهشHAV توت‌فرنگی، تمشک و بلوبری منجمد و تازه بر حسب زمان ۶۰
شکل ۳-۱۶ : طیف عبور نمونه‌های ZnO روی زیرلایه کوارتز و شیشه ۶۲
شکل ۳-۱۷ : طیف XRD نمونه‌های ZnO بر روی زیرلایه شیشه، کوارتز و سیلیکون ۶۲
شکل ۴-۱ : سیستم ضدعفونی UVC ۶۴
شکل ۴-۲ : ظروف حاوی کرمفیل قبل از تابش ۶۷
شکل ۴-۳ : نمای شماتیک لامپ‌های UVC و نمونه تحت تابش ۶۷
شکل ۴-۴ : نمودار تغییرات لگاریتم تعداد کپک‌ها در سانتی متر مربع از سطح کرمفیل بر حسب تعداد لامپ‌های سیستم تابشی ۶۹
شکل ۴-۵ : نمونه‌های آب انار قبل از تابش ۷۱
شکل ۴-۶ : کشت میکروبی نمونه‌های تابش دیده ۷۱
شکل ۴-۷ : تعداد باکتری نمونه شاهد و تحت تابش با ۳ لامپ ۷۲
شکل ۴-۸ : تعداد باکتری نمونه شاهد و تحت تابش با ۵ لامپ ۷۲
شکل ۴-۹ : بافر پتاسیم کلرید(۰/۰۲۵ مولار) و سدیم استات(۰/۴ مولار) ۷۳

شکل ۴-۱۰ : لایه نشانی ZnO نمونه شماره ۱ .... ۸۰
شکل ۴-۱۱: لایه نشانی ZnO نمونه شماره ۲ .... ۸۰
شکل ۴-۱۲: لایه نشانی ZnO نمونه شماره ۳ .... ۸۱
شکل ۴-۱۳ : لایه نشانی ZnO نمونه شماره ۴ .... ۸۱
شکل ۴-۱۴ : لایه نشانی ZnO نمونه شماره۵ .... ۸۲
شکل ۴-۱۵ : لایه شفاف ZnO لایه نشانی شده به روش اسپاترینگ ۸۲

فصل اول:

آلودگی مواد غذایی و روش های

مقابله با آن

مقدمه

افزایش جمعیت و توسعه فرهنگ شهرنشینی از یک طرف و تلاش در جهت افزایش رفاه عمومی، از طریق تنوع بخشیدن به سبک زندگی و فرهنگ تغذیه از طرف دیگر، سبب شده است که تنوع و تولید مواد غذایی افزایش و نیاز به نگهداری و حمل و نقل آن به نقاط دور دست توسعه یابد.

در این میان، چالش‌های متعددی پیش روی تولید و مصرف‌کنندگان مواد غذایی وجود دارد که از جمله آن‌ها، آلودگی‌هایی است که در مراحل تولید، بسته بندی، نگهداری و حمل و نقل، وارد مواد غذایی می‌شود. برای غلبه بر این چالش‌ها، راه حل‌های متعددی پیشنهاد می‌گردد که یکی از راه‌های متداول، استفاده از مواد شیمیایی برای افزایش ماندگاری مواد غذایی است که به دلیل ساده و ارزان بودن توسعه یافته است، ولی متاسفانه آثار زیان باری را به علت استفاده غیر مجاز به همراه دارد.

دانش فیزیک می‌تواند راه حل‌هایی را برای استریلیزاسیون[۱]، پیشگیری و همچنین مقابله با آلودگی‌های ناشی از باکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها و...ارائه نماید که این روش‌ها مبتنی بر استفاده از امواج الکترومغناطیس[۲]، پلاسما[۳]، اولتراسونیک[۴]، اوزونیشن[۵]، میدان الکتریکی پالسی[۶] و... می‌باشند.

[1] Sterilization
[2] Electromagnetic waves
[3] Plasma
[4] Ultrasound
[5] Ozonation
[6] Pulsed electric field

۱-۱ آلودگی مواد غذایی

تغذیه از مواد غذایی سالم و مغذی، یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در سلامت جامعه است. با توجه به لزوم پیشگیری از بیماری‌های وابسته به تغذیه و کاهش هزینه‌های ناشی از درمان، اهمیت سلامت مواد غذایی و سرمایه گذاری در زمینه توسعه و پیشرفت صنایع غذایی کشور بیش از پیش آشکار می‌شود.

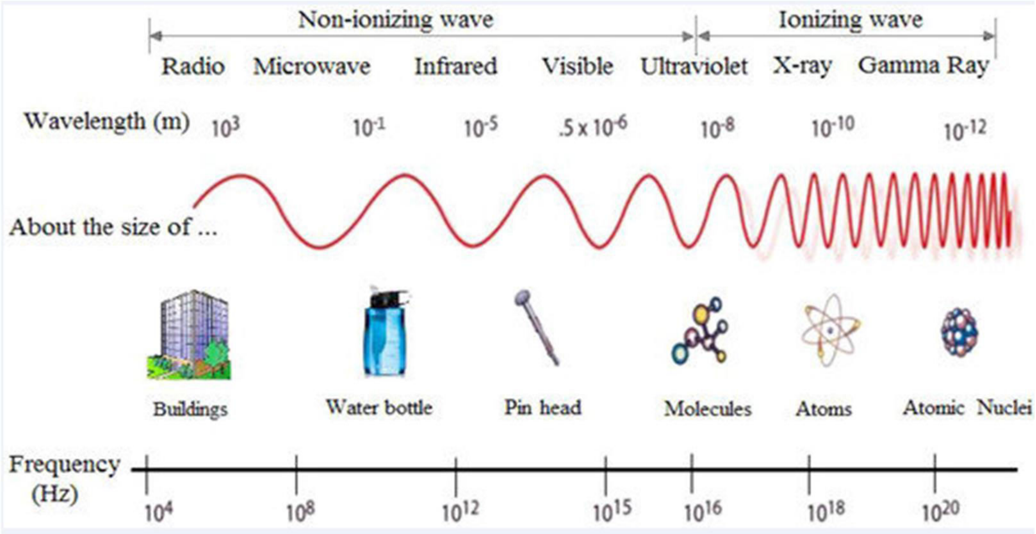
تاکنون برای کاهش آلودگی و ماندگاری بیشتر مواد غذایی از روش‌های مرسوم، مانند کنسروکردن، خشک کردن، انجماد یا روش‌های مدرن‌تر، مانند پاستوریزاسیون[1]، استریلیزاسیون و نگهدارنده‌های شیمیایی استفاده شده است. اما به دلیل اینکه، امکان آلوده شدن محصولات غذایی در خط تولید و مرحله بسته بندی بواسطه دخالت نیروی انسانی و تجهیزات و ظروف مورد استفاده وجود دارد، علیرغم بکارگیری این روش‌ها، آلودگی مواد غذایی هنوز بصورت چالشی برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان این محصولات باقی مانده است [۱].

مواد غذایی با انواع مختلفی از میکروارگانیسم[2] ها نظیر آفلاتوکسین[3]، اشریشیا کلی[4]، سالمونلا[5]، باسیلوس سرئوس[6] و ساکارومایسیس[7] و... آلوده و باعث بیماری‌های مختلفی مانند انواع سرطان‌ها، مسمومیت، عفونت، مننژیت و...می‌شوند. آفلاتوکسین به‌طور عمده، عامل آلودگی آجیل به شمار می‌رود، به‌گونه‌ای که علاوه بر ایجاد مشکلات تغذیه‌ای، صادرات محصولاتی همچون پسته را دچار مشکلات فراوانی نموده است. اشریشیا کلی آلودگی مشترک بین آبمیوه‌ها، سبزیجات و فرآورده‌های گوشتی می‌باشد و سالمونلا اغلب در مواد غذایی مانند گوجه فرنگی، مرغ و سفیده تخم مرغ رشد می‌کند [۱]. بخشی از آلودگی موجود در مواد غذایی را می‌توان با رعایت بهداشت و بخش دیگر را با

---

1 Pasteurization
2 Microorganism
3 Aflatoxin
4 Scherichiacoli
5 Salmonella
6 Bacillus cereus
7 Saccharomyces

استفاده از مواد شیمیایی یا روش‌های جدیدتری مانند پلاسما و تابش امواج الکترومغناطیسی کاهش داد. تابش الکترومغناطیسی نیز، شامل امواج رادیویی، مایکروویو[1]، فروسرخ، مرئی، فرابنفش[2] (UV)، ایکس و گاما[3] می‌باشد که به دو دسته یونیزان[4] و غیر یونیزان[5] تقسیم می‌شود، امواج یونیزان شامل آلفا، بتا، گاما و ایکس و امواج غیر یونیزان شامل مایکروویو و فرابنفش است [۱، ۲]. شکل ۱-۱، گستره امواج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد. پس از معرفی انواع تابش، کاربرد و نحوه تأثیر آن بر میکروارگانیسم‌ها بررسی خواهد شد.



شکل ۱-۱ : طیف امواج الکترومغناطیسی [۲].

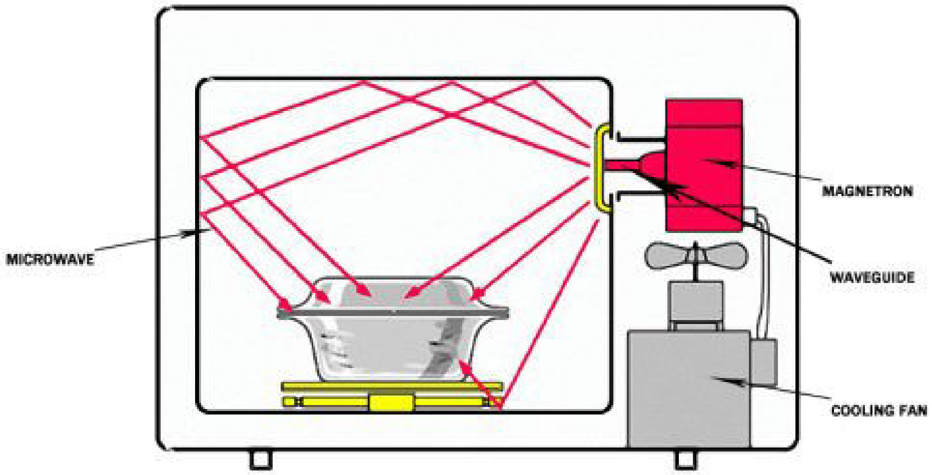
۱-۲ انواع تابش و تأثیر آن بر میکروارگانیسم‌ها

در این بخش، به بررسی نحوه تولید تابش مایکروویو، گاما، پلاسما و فرابنفش و همچنین کاربردها و معایب و مزایای آن‌ها می پردازیم.

---
1 Microwave
2 Ultraviolet
3 Gamma
4 Ionizing
5 Non-ionizing

۱-۲-۱ تابش مایکروویو و کاربردها

مگنترون[1]، قلب آون[2] مایکروویو است. میکرو موج‌ها توسط مگنترون تولید می‌شوند که خود، شامل یک جفت کاتد و آند است [۳]. شکل ۱-۲، نمای شماتیکی از مایکروویو و اجزای آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ : مایکروویو و اجزای آن [۴].

از مزایای اصلی انرژی مایکروویو، جذب مستقیم انرژی توسط ماده غذایی است که از طریق ارتعاش مولکول‌های آب در سلول‌ها، باعث گرم شدن حجمی نمونه‌ها و کم شدن مشکلاتی نظیر: زمان گرمایش طولانی، گرادیان[3] حرارتی و اتلاف انرژی می‌شود. استفاده از انرژی مایکروویو در جداسازی روغن‌های ضروری از گیاهان، گل‌ها، ادویه‌جات و تولید اسانس و عطر، باعث کوتاه‌تر شدن زمان استخراج، بالاتر رفتن کیفیت روغن و بهتر شدن خواص بویایی و آنتی‌اکسیدانی[4] می‌شود. به همین دلیل، این روش استخراج، یکی از روش‌های مقرون به صرفه در محصولات طبیعی به شمار می‌رود. کاربرد دیگر این امواج، تهیه آب آشامیدنی سالم است. استفاده از نانو لوله‌های کربنی اصلاح شده با

[1] Magnetron
[2] Oven
[3] Gradient
[4] Antioxidant

گروه‌های ۱- اکتا دکانول [1] (C18) و ترکیب آن با تـابش مـایکروویو، بـاکتری اشریشـیا کلـی در آب را به‌میزان ۱۰۰٪ کاهش می‌دهد، در صورتی که با استفاده از نانولوله به تنهـایی، ایـن کـاهش، تنهـا ۳-۵ ٪ است. این نشان می‌دهد که مایکروویو، علاوه بر کاربرد در آشپزخانه، کاربردهای وسیع دیگری نیـز دارد و به همین دلیل، مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [۵].

این تکنولوژی حتی در محیط خانه نیز، می‌توانـد ابـزار مناسـبی بـرای حـذف میکـروب باشـد. در آزمایشی، اسفنج، پارچه های نظافت و سرنگ‌های آلوده به پساب، تابش داده شدند. تابش در مـدت ۱-۲ دقیقه، تمام باکتری‌ها را به‌میزان ۹۹٪ کاهش داد، این تابش، برای ضدعفونی و بازیافت زباله‌ها نیـز، می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد [۵].

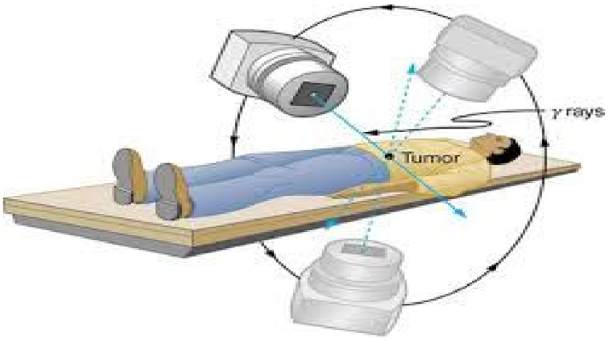
مشکل اصلی استفاده از مایکروویو، دسترسی نداشتن به دمای واقعـی اسـت. انـدازه‌گیـری دمـا در چند موقعیت، نمی‌تواند تضمین کننده توزیـع دمـایی واقعـی محصـول، در مـدت تـابش‌دهـی، باشـد. بنابراین، پیش‌بینی الگوی حرارتی مشکل است. مشکل دیگر، اعمال شرایط خاص برای حفـظ کیفیـت محصول می‌باشد. از دست‌رفتن کیفیت و مواد مغذی و یا تغییر در خـواص ظـاهری و طعـم محصـول، بستگی به عوامل زیادی مانند نوع و خواص دی‌الکتریک [2] ماده غذایی و طـرح آون دارد. تغییـر خـواص دی‌الکتریک مواد غذایی، می‌تواند الگوی حرارتی را تحت تأثیر قراردهد، در حالیکـه در روش حرارتـی، این عوامل تأثیر گذار نیستند [۶].

1 Octadecanol
2 Dielectric

۱-۲-۲ تابش گاما و کاربردها

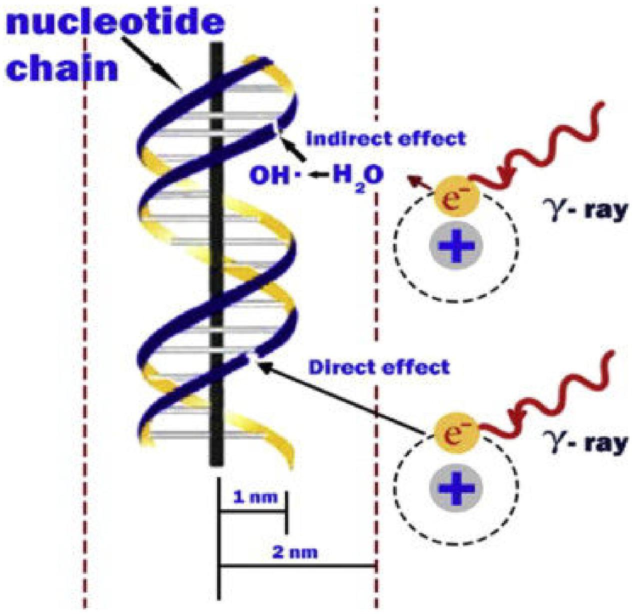
تابش گاما، تابش الکترومغناطیسی با طول موج کوتاه است که از ایزوتوپ[1] های رادیواکتیو[2] گسیل و بصورت گسترده‌ای برای ضدعفونی تجهیزات پزشکی، نگهداری مواد غذایی و فرآوری ترکیبات خونی استفاده می‌شود. شکل ۱-۳ و ۱-۴، به‌ترتیب، کاربرد تابش گاما را در جلوگیری از جوانه زدن محصولات کشاورزی و درمان تومور نشان می‌دهد [۷].

شکل۱-۳ : تأثیر تابش گاما روی مواد غذایی



شکل۱-۴ : کاربرد تابش گاما در درمان تومور

[1] Isotope
[2] Radioactive



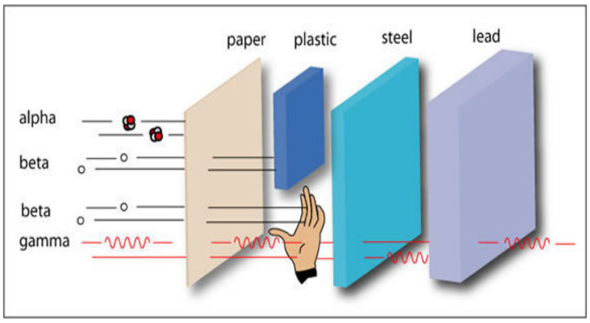
شکل ۱-۵ : تأثیر مستقیم و غیرمستقیم تابش گاما بر DNA [۸].

DNA[1] هدف اصلی تابش گاما است. در اثر برهم‌کنش پرتو گاما با اتم‌ها و مولکول‌ها، بویژه آب، رادیکال‌های آزاد[2] واکنشی تولید می‌شود. شکستن رشته‌های دوتایی DNA توسط رادیکال‌ها و از دست رفتن قابلیت تکثیر، باعث مرگ سلول می‌شود [۷]. شکل ۱-۵، تأثیر مستقیم و غیرمستقیم تابش گاما را بر DNA نشان می‌دهد.

در آزمایشی، نمونه‌های آلوده به باکتری‌های اشریشیا کلی و استافیلوکوکوس[3] تحت تابش گاما با شدت‌های ۲ و ۴ KGy[4] قرارگرفتند، این مقدار تابش، بدون تغییر در ترکیب ماده باعث حذف این دو باکتری شد. به منظور بررسی تأثیر تابش گاما برروی ویتامین E، دانه‌های آفتابگردان با شدت ۴ KGy تابش داده شدند، آنالیزها نشان داد که این تابش، اثر مخربی روی ویتامین E ندارد. همچنین تابش نمونه‌های موز با شدت‌های ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ KGy، طول عمر را به ۲۰ روز افزایش داد. مرسوم‌ترین روش تصفیه آب، استفاده از کلر است که می‌تواند منجر به تشکیل مواد شیمیایی سرطان زا شود. تابش گاما، علاوه بر از بین بردن این مواد، می‌تواند جایگزینی برای استفاده از کلر باشد. در تصفیه آب

---
[1] Deoxyribonucleic acid
[2] Free radical
[3] Staphylococcus
[4] 1 Gray = 1 J/kg

آشامیدنی، شدت تـابش KGy ۱ بـرای کنتـرل میکروبـی ml ۱۰۰ از نمونـه آلـوده بـه ۱۰۰۰ کـولنی اشریشیاکلی، مناسب است. با وجود موفقیت‌های فـراوان تـابش گاما در حـذف آلـودگی‌هـا، اسـتفاده صنعتی از آن به‌دلیل انحصار قانونی و همچنین به‌علت ضرورت حفـظ ایمنـی کـاربر و کـاهش ریسـک خطر کار با تابش گاما، توسعه نیافته است [۹]. شکل ۱-۶، عمق نفوذ بالای تابش گاما را در مقایسه بـا پرتو آلفا و بتا نشان می‌دهد.

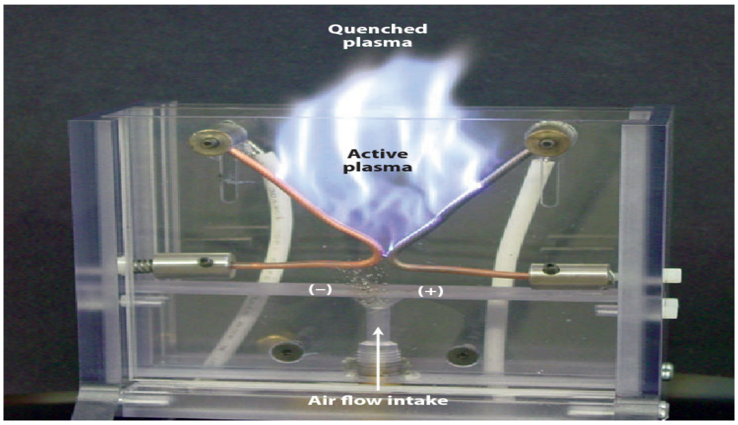


شکل ۱-۶ : عمق نفوذ بالای تابش گاما

۱-۲-۳ -تابش پلاسما و کاربردها

اصطلاح پلاسما اولین بار در سال ۱۹۲۸ توسط فیزیکدان آمریکایی ایروینـگ لانگمـویر[۱] معرفـی شـد. پلاسما گازی است که بطور جزئی یا کامل یونیده شده باشد، بـه‌عنـوان حالـت چهـارم مـاده شـناخته می‌شود و دارای طیف گسترده‌ای از ذرات شامل الکترون، یون، رادیکال، مولکول در حالت برانگیختـه[۲] یا پایه[۳] و تابش فرابنفش[۴] در ناحیه خلأ[۵] است. ایـن ذرات انـرژی کـافی را بـرای شکسـتن پیونـدهای کووالانسی دارند. پلاسما از قرارگرفتن یک گاز در میدان الکتریکی (ثابت یا متناوب) بـین دو الکتـرود و تخلیه الکتریکی تولید می‌شود [۱۰، ۱۱]. شکل ۱-۷ نحوه تشکیل پلاسما را نشان می‌دهد.

[1] Irving Langmuir
[2] Excited
[3] Ground
[4] Ultraviolet(UV)
[5] Vacuum



شکل ۱-۷ : تشکیل پلاسما [۱۲].

بطور کلی دو نوع پلاسما شناخته شده است : پلاسمای سرد[1] (NTP) و پلاسمای گرم. در پلاسمای گرم، الکترون‌ها تقریبا هم‌دمای ذرات سنگین (یون‌ها، اتم‌ها و مولکول‌های خنثی) هستند و دما به چند هزار کلوین می‌رسد. در مقابل، پلاسمای سرد در شرایطی تولید می‌شود که بیشتر انرژی به الکترون‌ها منتقل شده باشد. در این حالت، یون‌ها و ذرات خنثی انرژی ناچیزی دارند و سرد هستند. دمای ماکروسکوپیک[2] پایین، یکی از ویژگی‌های اصلی پلاسمای سرد است. از جمله کاربردهای پلاسما می‌توان به رفع آلودگی از مواد غذایی، صنایع بسته‌بندی، استریل سطوح، درمان سلول‌های سرطانی و بهبود زخم‌ها و دندان‌پزشکی اشاره نمود [۱۰، ۱۱].

شکل ۱-۸: ضدعفونی دندان با پلاسما

[1] Non thermal plasma
[2] Macroscopic

مکـانیزم تـأثیر پلاسـما بـه اینصـورت اسـت کـه در نتیجـه‌ی بمبـاران شـدید توسـط رادیکـال‌هـا، میکروارگانیسم‌ها دچار ضایعات سطحی می‌شوند و سلول قادر نیست در زمان لازم آن را ترمیم نمایـد. قابلیت پلاسما در کار با دمای پایین، کاربرد آن را برای مواد حساس بـه گرمـا مناسـب سـاخته اسـت. یکی از موادی که حرارت بالا باعث تغییر در ترکیبات شیمیایی و حذف مواد مغذی آن می‌شود، شیر و فرآورده‌های لبنی است. برای بررسی تأثیر پلاسما بر لیستریا منوستیوژنز[1] موجود در پنیر، توان ورودی ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ w و زمان تابش پلاسما ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ s در نظر گرفته شد. بـا افـزایش تـوان ورودی و زمان تابش، کاهش لگاریتمی میکروب شدت بیشتری نشان داد. به‌طـوری‌کـه بعـد از ۱۲۰ s تابش با تـوان‌هـای ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ w میکـروب‌هـا بـه‌ترتیـب بـه‌میـزان ۱/۷، ۲/۷۸، ۵/۸۲ و ۸ logCFU[2]/g کاهش یافتند [۱۰، ۱۱].

زمان مورد نیاز برای حذف ۹۰٪ میکروارگانیسم‌ها در توان‌های ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ w به‌ترتیـب ۷۱/۴۳، ۶۲/۵۰، ۱۹/۶۵و ۱۷/۲۷ s می‌باشـد. از جملـه محـدودیت‌هـا و معایـب پلاسـما مـی‌تـوان بـه اثرگذاری روی رنگ میوه، تأثیر سطحی پدیده پلاسما و قابل استفاده نبـودن بـرای آنـزیم‌هـای داخـل میوه، اشاره کرد [۱۰، ۱۱].

۱-۲-۴-تابش فرابنفش (UV) و کاربردها

استفاده از امواج UV جهت ضدعفونی کردن آب آشامیدنی و حذف میکروارگانیسم‌های پساب از سـال ۱۹۰۰ آغاز شد [۱۳]. طیف امواج فرابنفش از طول موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ nm، به ۴ ناحیه تقسیم می‌شـود، شکل ۱-۹، نمای شماتیکی از سیستم ضدعفونی آب و شکل ۱-۱۰ و جدول ۱-۱، تقسیم‌بنـدی طیـف فرابنفش و نام‌گذاری آن را نشان می‌دهد. محدوده طول موج ۲۵۰ تا ۲۷۰ nm، بیشترین تـأثیر را روی

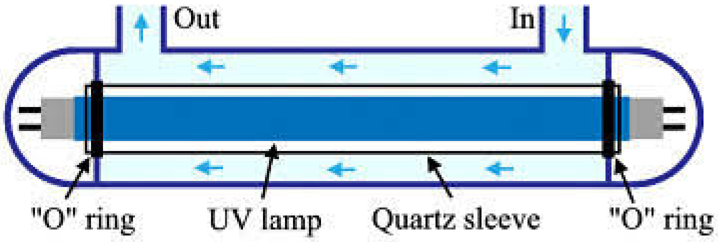
---

[1] Listeria monocytogenes
[2] Colony forming nuit

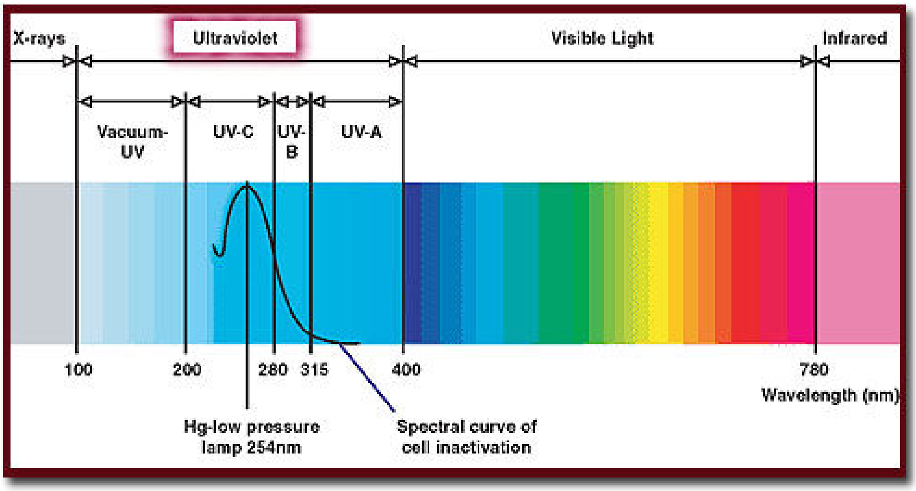
میکروارگانیسم‌ها دارد و با آسیب وارد کردن به DNA و RNA[1] و جلوگیری از تکثیر آن‌ها، باعث مرگ سلول می‌شود [۱۴].

جدول ۱-۱ : تقسیم‌بندی طیف فرابنفش [۱۴].

نام ناحیه	VUV[2]	UVC	UVB	UVA
گستره طول موج	۱۰۰ - ۲۰۰ nm	۲۰۰ - ۲۸۰ nm	۲۸۰ - ۳۱۵ nm	۳۱۵ - ۴۰۰ nm



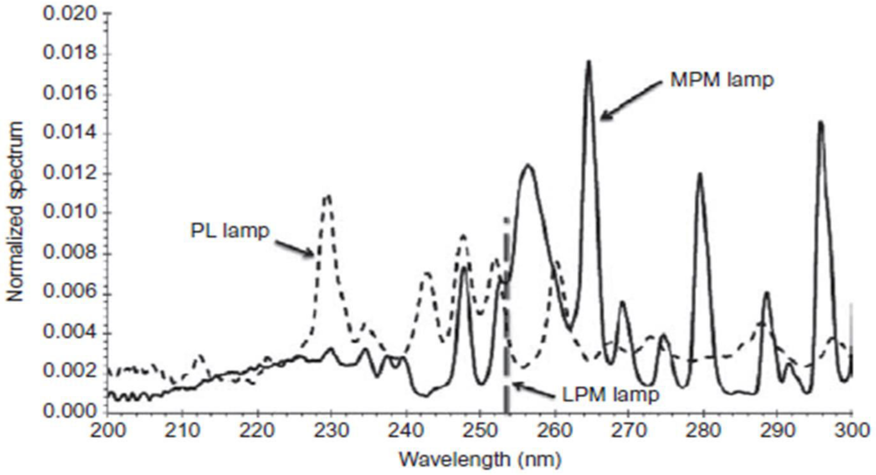
شکل ۱-۹ : تصفیه آب با تابش UV



شکل ۱-۱۰ : تقسیم‌بندی طیف فرابنفش

[1] Ribonucleic acid
[2] Vacuum UV

از جمله منابع نور فرابنفش، می‌توان لامپ‌های اکسیمر [۱]، پالس نوری [۲] (PL)، جیوه‌ای فشار پایین [۳] (LPM) و جیوه‌ای فشار متوسط [۴] (MPM) را نام برد. بیشترین خروجی لامپ‌های اکسیمر و LPM در یک طول موج و برای لامپ‌های MPM, PL در چند طول موج است. طیف گسیلی لامپ‌های MPM, PL شامل طول موج‌های ۲۰۰ تا ۳۰۰ nm و طیف گسیلی LPM در تک طول موج ۲۵۳/۷ nm می‌باشد [۱۵].



شکل ۱-۱۱ : طیف گسیلی رایج انواع لامپ‌های UV [۱۵].

تابش UV، به منظور حذف میکروارگانیسم‌ها در موارد زیادی از جمله آب، هوا، مواد غذایی، سطوح، تجهیزات پزشکی و ... کاربرد دارد. از طرفی، استفاده از مواد شیمیایی نگهدارنده در صنایع غذایی، مشکلاتی را برای سلامت مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند و فرآوری حرارتی، علاوه بر حذف آلودگی، مواد مغذی حساس به گرما را نیز از بین می‌برد. بنابراین نیاز به روش‌های ایمن‌تر، جهت رفع آلودگی از مواد غذایی و ضروری بودن حفظ مواد مغذی، سبب شده است تا تکنیک‌هایی از قبیل تابش امواج، بیش از پیش مورد توجه قرارگیرند [۱۶، ۱۷]. متأسفانه، با وجود سابقه طولانی استفاده از این روش،

---

[1] Excimer
[2] Pulsed-light
[3] Low-pressure mercury
[4] Medium-pressure mercury

در صنایع غذایی جهان، به دلیل ارزان بودن مواد افزودنی شیمیایی، تکنولوژی استفاده از تابش امـواج، در صنعت کشور ما توسعه نیافته است. در ادامه توضیحات بیشتری در مورد تأثیر UV روی سلول‌هـای زنده و کاربردهای آن داده خواهد شد.

فصل دوم:

برهم کنش فوتون با سلول زنده

مقدمه

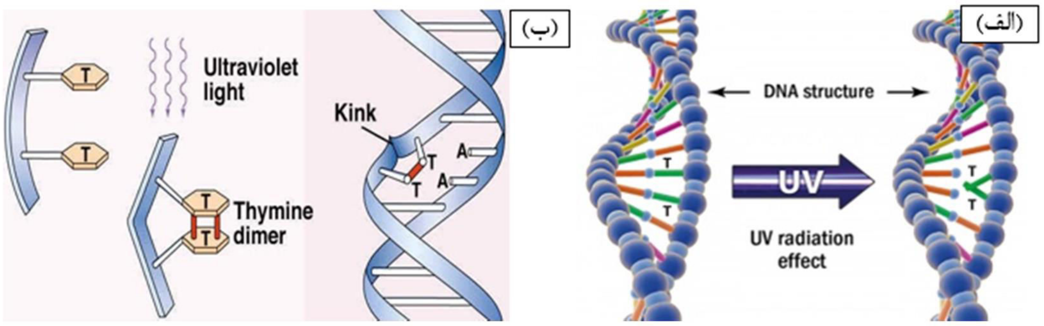
از نظر میکروبیولوژی[1]، تابش الکترومغناطیس حائز اهمیت است. مقاومت میکروارگانیسم‌های مختلف در برابر پرتو متفاوت است و بدیهی است که مبارزه با آن‌ها، چالش‌های خاص خود را دارد. باکتری‌ها، به علت داشتن ابعاد کوچک، زمان تولید کوتاه و نداشتن رنگدانه محافظ، نسبت به UV حساس هستند با این حال، مخمرها، نسبت به کپک‌ها و باکتری‌ها، در برابر تابش مقاوم‌تر هستند و کپک‌ها نیز، نسبت به باکتری‌ها (به علت اندازه بزرگتر)، مقاومت بیشتری دارند [۱، ۱۸].

۲-۱ مکانیزم تخریب DNA :

تابش به دو صورت می‌تواند باعث تخریب سلول شود :

۱- ایجاد جهش در DNA : اتصال دو تایمیدین[2] *(T)* مجاور و تشکیل تایمیدین-تایمیدین دیمریزاسیون[3] که تولید DNA را مختل و باعث تخریب سلول می‌شود.

۲- رادیولیز[4] آب : با تأثیر پرتو بر آب، هیدروژن پراکسید (H_2O_2) تولید می‌شود که اثر کشنده‌ای بر سلول‌ها دارد [۱].

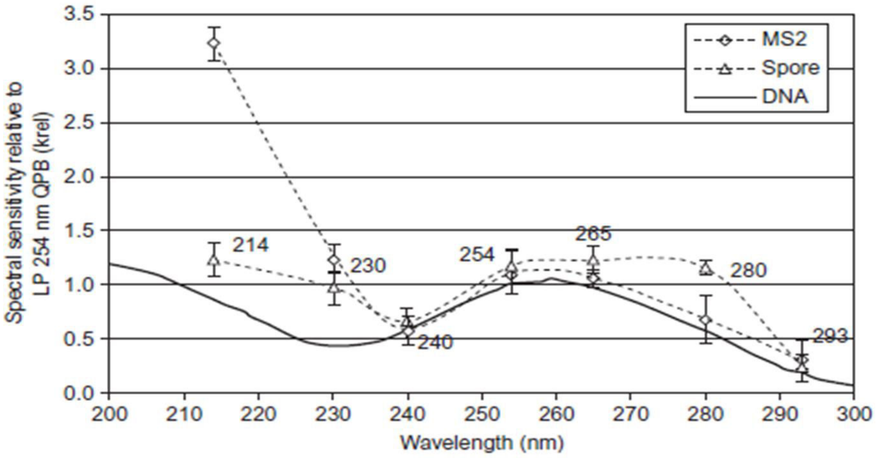


شکل ۲-۱ : الف) برهم‌کنش تابش با DNA ب) تشکیل دیمر

---

1 Microbiology
2 Thymidine
3 T-T dimerizazation
4 Radiolysis

جذب نور فرابنفش توسط DNA، منجر به اتصال نوکلئوزید[1] پایریمیدین[2] (تیمین[3] و سیتوزین[4]) های مجاور و تخریب زنجیره DNA شده و مانع از تکثیر آن می‌شود. به عبارتی تابش با تغییر شکل پیوندهای شیمیایی در DNA میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برد، این واکنش اثر فتوشیمیایی[5] نامیده می‌شود و شرط انجام آن، جذب فوتون توسط مولکول و داشتن انرژی کافی برای انجام واکنش است. چنانچه، ساختار DNA پایه پایریمیدین (بویژه تیمین) کمتری داشته باشد، مقاومت کمتری نیز دارد، ولی در نهایت، ترکیب شیمیایی دیواره سلول و ضخامت آن مقاومت نسبی میکروارگانیسم به UV را تعیین می‌نماید. بر هر میکروارگانیسم، طول موج متفاوتی نیز، اثر می‌گذارد، به عبارت دیگر، میزان حساسیت میکروارگانیسم، تابع طول موج تابشی است [۱۵، ۱۹، ۲۰، ۲۱].



شکل ۲-۳ : تغییر حساسیت میکروارگانیسم‌های مختلف بر حسب طول موج تابشی [۱۵].

[1] Nucleoside
[2] Pyrimidine
[3] Thymine
[4] Cytosine
[5] Photochemical effect

۲-۲ مکانیزم‌های بازسازی DNA :

میکروارگانیسم‌ها، آسیب وارد شده از جانب UV را، از طریق دو نوع مکانیزم جبران می‌نمایند : یک مکانیزم نیاز به نور[1] دارد، ولی مکانیزم دیگر نیاز به نور ندارد و بازسازی تاریک[2] نامیده می‌شود. مکانیزم اول در بازده حذف میکروب کاربرد مهمی دارد و در آن، پایریمیدین دیمر به ترکیبات جداگانه تجزیه می‌شود. به طور مثال میکروارگانیسم‌های غیرفعال شده در آب و مواد غذایی تابش شده با UV، درصورت رسیدن نور حین ذخیره‌سازی می‌توانند دوباره فعال شوند. در مکانیزم دوم، چند آنزیم، نوکلئوتیدهای متصل شده را برش می‌دهند. این مکانیزم، نسبت به اولی، تأثیر کمتری دارد و همیشه قادر به بازسازی کامل DNA آسیب دیده نیست [۱۵].

۲-۳ تأثیر طول موج‌های مختلف UV روی باکتری‌ها

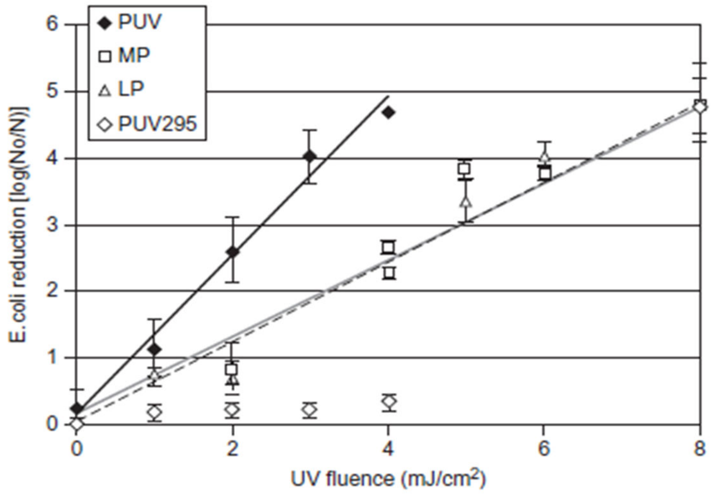
زیست مولکول‌های متفاوت (بطور مثال DNA، پروتئین و چربی‌ها) طول موج‌های متفاوتی از UV را جذب می‌کنند. به عبارت دیگر، تأثیر تابش UV و شکستن رشته DNA، وابسته به طول موج است، به‌طوری‌که، UVA کمترین تأثیر و UVC بیشترین تأثیر را بر زیست‌مولکول‌ها و میکروارگانیسم‌ها دارد. بنابراین، با استفاده از طول موج‌های کوتاه‌تر، شدت‌های پایین‌تری برای کاهش باکتری نیاز است [۱۸].

هدف اصلی تابش UV، DNA است، با اینحال، UVA با افزایش تولید اکسیژن واکنشی، علاوه بر DNA، باعث آسیب اکسیداتیو[3] به چربی‌ها و پروتئین‌ها نیز، می‌شود. با وجود اینکه میزان آسیب اکسیداتیو UVA، به متفاوت بودن حساسیت باکتری‌ها بستگی دارد، تجمع DNA های آسیب دیده، می‌تواند منجر به مرگ سلول شود. در تابش با UVB نیز، آسیب اکسیداتیو به چربی‌ها، تجمع DNA

[1] Photoreactivation
[2] Dark repair
[3] Oxidative

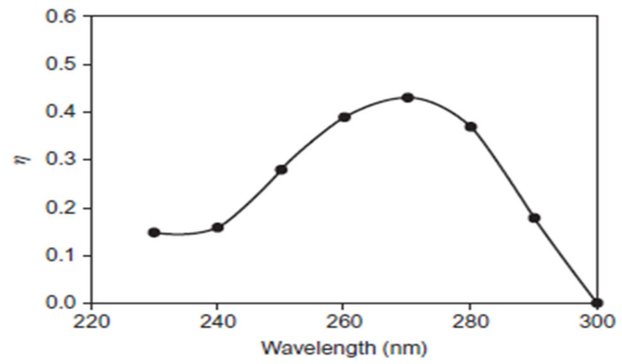
های آسیب دیده و از دست رفتن فعالیت متابولیک[1]، از دلایل اصلی نابودی سلول‌ها هستند. این نتایج نشان می‌دهند که، علاوه بر آسیب به DNA، تخریب ساختار غشاء نیز، نقش مهمی در نابودی باکتری دارد. رادیکال سوپراکساید[2] بصورت مستقیم، باعث آسیب به DNA و همچنین پیوندهای Fe-S می‌شود، واکنش یون آهن آزاد شده با H_2O_2، منجر به تشکیل رادیکال بسیار سمی هیدروکسیل[3] می‌شود که می‌تواند هر زیست مولکولی را نابود نماید. تنش اکسیداتیو ناشی از تابش UVC نیز، بطور قطعی باعث نابودی سلول می‌شود [۱۸].

در آزمایشی تأثیر لامپ‌های LPM (LP), MPM (MP) و PL(PUV295) بر اشریشیاکلی بررسی شد. نتایج این آزمایش، موثرتر بودن لامپ PL را در کاهش این باکتری، نسبت به MPM نشان داد [۱۵].



شکل ۲-۴ : تأثیر منابع مختلف UV بر اشریشیا کلی [۱۵]

[1] Metabolic
[2] Superoxide
[3] Hydroxyl



شکل ۲-۵ : بازده کاهش اشریشیا کلی بر حسب طول موج [۱۵].

یکی از روش‌های غیرفعال سازی، آسیب به ساختار سلول‌های میکروب است که در پالس‌های با انرژی بالا، رخ می‌دهد. آسیب لامپ پالسی PL به سلول‌های استافیلوکوکوس اورئوس شامل از بین رفتن دیواره سلول، نشت سلولی، انقباض غشاء سیتوپلاسمی و فروپاشی ساختار داخلی است. به طور کلی، نمودار غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها توسط UV، شامل سه قسمت است : ۱- شانه ای، ۲- خطی-لگاریتمی که در بسیاری از نمودارها دیده می‌شود، ۳-دنباله. در قسمت شانه، با وجود شروع آسیب سلولی، به دلیل نرسیدن شدت تابش به حد آستانه غیرفعال سازی، تعداد سلول‌های زنده ثابت باقی می‌ماند، قسمت خطی نمودار مربوط به بیشترین غیرفعال سازی است و وجود دنباله در نمودار می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد از جمله : ۱-وجود مواد معلقی که از میکروارگانیسم‌ها در برابر UV محافظت می‌نمایند، ۲-تجمع سلولی که باعث محافظت از سلول داخلی می‌شود، ۳-غیریکنواختی شدت نور، ۵-تفاوت در مقاومت میکروارگانیسم‌ها به UV، ۴-متفاوت بودن توانایی سلول‌ها، در بازسازی DNA آسیب دیده [۱۵].

۲-۴ تأثیر تابش UVC بر ویروس

محدوده شدت تابش در طول موج ۲۵۴ nm از ۰ تا ۳۰۰ J/m^2 درنظر گرفته شده است. در شدت‌های

پایین‌تر، تابش UVC آسیب خیلی کمی به آنتی‌بادی[1] های مونوکلونال[2] وارد می‌کند ولی برای حذف ویروس مناسب است. تابش UVC برای غیرفعال کردن انواع ویروس موثر است و یکی از علت‌های رایج تخریب آن، تشکیل سیکلوبوتان[3] پیریمیدین دیمر داخل رشته نوکلئیک اسید می‌باشد. با این‌وجود، کنترل نادرست طول موج تابشی، علاوه بر حذف ویروس، می‌تواند به پروتئین‌های جاذب UVC نیز، آسیب برساند. در اثر تابش UVC اکسیژن‌های واکنشی تولید می‌شوند که می‌توانند به واسطه اکسیداسیون آمینواسیدها، منجر به تخریب پروتئین شوند. این آسیب در طول موج‌های نزدیک به ۲۶۰ nm (پیک جذب نوکلئیک اسید) رخ می‌دهد. با این‌حال، بیشینه جذب اکثر پروتئین‌ها در طول موج ۲۸۰ nm است [۲۲].

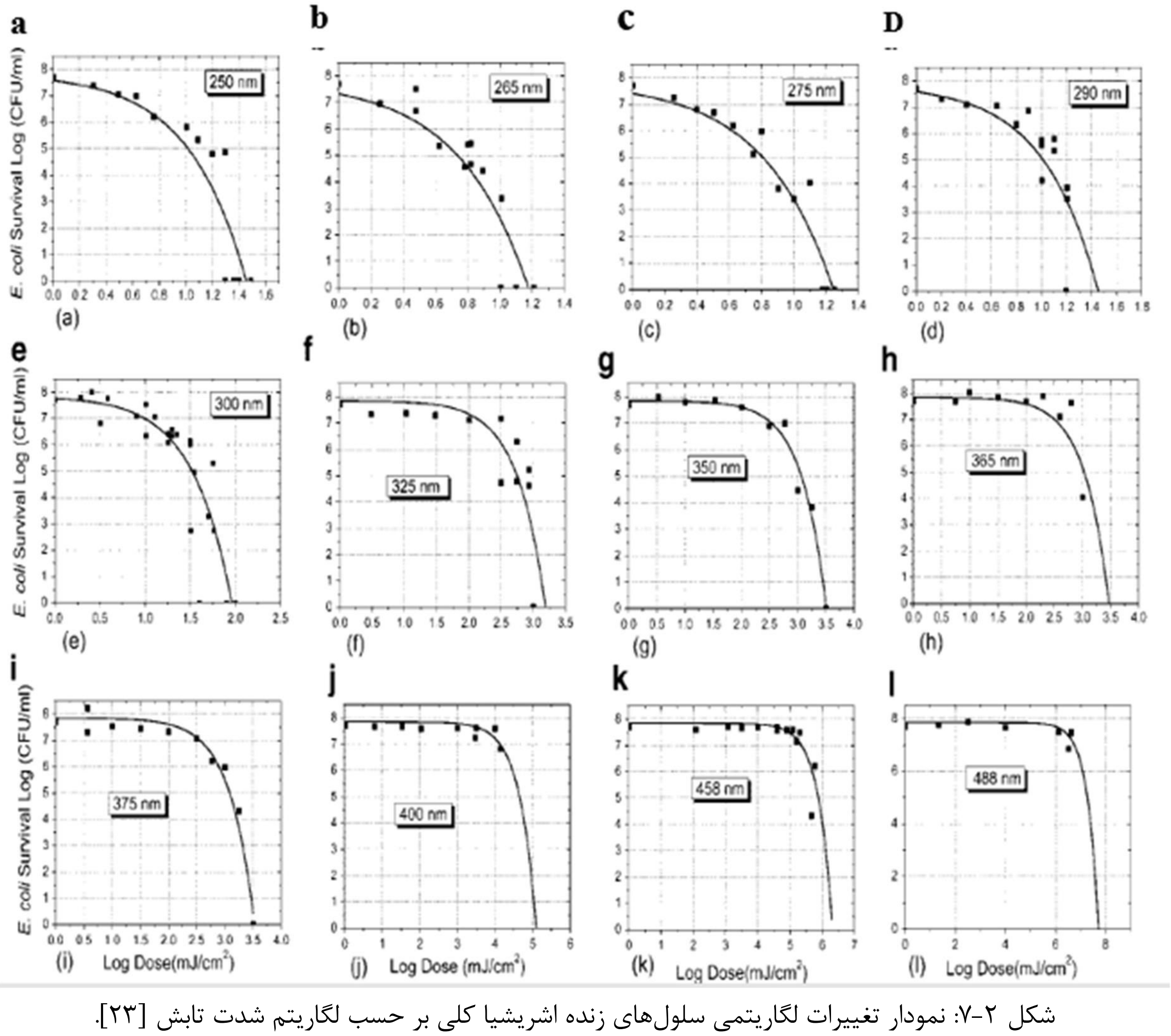
برای کاهش ویروس‌های کوچک و مقاوم به حرارت، مانند پاروو ویروس[4] یک چالش بزرگ در صنعت بیوتکنولوژی[5]، استفاده از تابش در شدت‌های پایین بمنظور حفظ پروتئین است. بنابراین شدت‌های در حدود ۵۰ یا ۲۰ J/m^2 آزمایش می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که افزودن مولکول‌های مهارکننده مانند روتین[6] می‌تواند از آسیب گونه‌های رادیکالی یا واکنشی به پروتئین، بکاهد. شدت‌های پایین‌تر UVC نیز، کیفیت محصول را چندان تحت تأثیر قرار نمی‌دهد [۲۲].

۲-۵ تأثیر تابش فرابنفش و نور مرئی بر اشریشیا کلی

در مقاله ورمئولن[7] و همکاران [۲۳]، مقدار تابش مورد نیاز برای از بین بردن یک نوع اشریشیا کلی (ATCC 25922) در محدوده طول موج بین ۲۵۰ و ۵۳۲ nm، بررسی شده است. طول موج ۲۶۵ nm بیشترین تأثیر را در حذف سلول‌های اشریشیا کلی دارد و مقدار تابش ۱/۱۷ log mj/cm^2 باعث کاهش ۱۰۰٪ آن می‌شود. در یک طول موج خاص، نسبت سلول‌های باقی مانده اشریشیا کلی با

[1] Antibody
[2] Monoclonal
[3] Cyclobutane
[4] Parvovirus
[5] Biotechnology
[6] Rutin
[7] Vermeulen

افزایش مقدار تابش، بصورت نمایی کاهش می‌یابد. در این بررسی لامپ مورد استفاده، زنونی[1] و محدوده شدت تابش نمونه، از $0/2\ mW/cm^2$ در طول موج ۲۵۰ nm تا $0/4\ mW/cm^2$ در طول موج ۴۰۰ nm است. شدت تقریبا بصورت خطی با طول موج افزایش می‌یابد و زمان تابش از ۳۰ s در کمترین طول موج تا ۱ h در بیشترین طول موج متغیر است. سلول‌های باقی مانده پس از تابش، بصورت نمودار log – log برای طول موج‌های مختلف رسم شده است [۲۳] :



شکل ۲-۷: نمودار تغییرات لگاریتمی سلول‌های زنده اشریشیا کلی بر حسب لگاریتم شدت تابش [۲۳].

[1] xenon

طول موج فوتون مورد نیاز برای شکستن یک پیوند کووالانسی خاص، از طریق روابط (۲-۱) تا (۲-۶) محاسبه می‌شود [۲۳] :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$$ (۲-۱)

$$h = 4 \cdot 1356 \times 10^{-15}\ eVs$$ (۲-۲)

$$c = 2 \cdot 99 \times 10^{17}\ \frac{nm}{s}$$ (۲-۳)

با جایگذاری روابط (۲-۲) و (۳-۲) در رابطه (۱-۲)، λ قابل محاسبه است :

$$\lambda = \frac{1239 \cdot 84}{E}$$ (۲-۴)

انرژی مورد نیاز برای شکستن پیوند کووالانسی، معمولا بصورت $\frac{kcal}{mol}$ تعریف می‌شود:

$$1\frac{kcal}{mol} = 0 \cdot 04337871\ eV\ per\ bond$$ (۲-۵)

بطور مثال برای پیوند P – O :

$$Bond\ energy\ (\frac{kcal}{mol}) = 100$$ (۲-۶)

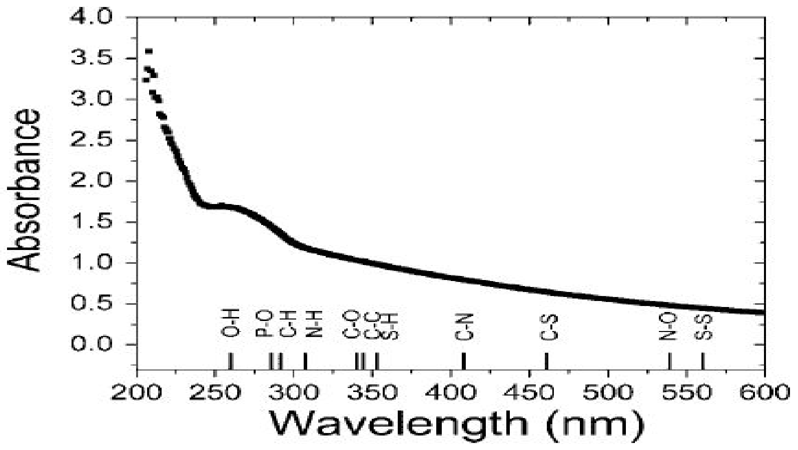
$$Bond\ energy\left(\frac{ev}{bond}\right) = 4 \cdot 3384$$ (۲-۷)

$$\lambda = \frac{1239 \cdot 84}{4 \cdot 3379} = 258 \cdot 82\ nm$$ (۲-۸)

جدول ۲-۱ انرژی پیوند کووالانسی، نوع پیوند و طول موج فوتون تابشی را برای چند پیوند نشان می‌دهد [۲۳].

جدول ۲-۱ : انرژی پیوند کووالانسی، نوع پیوند و طول موج فوتون تابش [۲۳].

نوع پیوند	انرژی پیوند (kcal/mol)	انرژی پیوند (eV/mol)	طول موج فوتون (nm)
O – H	۱۱۰	۴/۷۷۲۲	۲۵۹/۸۰
P – O	۱۰۰	۴/۳۳۸۴	۲۸۵/۸۲
C – H	۹۹	۴/۲۵۲۰	۲۹۱/۵۸
N – H	۹۳	۴/۰۳۴۷	۳۰۷/۲۹
C – O	۸۴	۳/۶۴۴۲	۳۴۰/۲۲
C – C	۸۳	۳/۶۰۰۹	۳۴۴/۳۲
S – H	۸۱	۳/۵۱۴۱	۳۵۲/۸۲
C – N	۷۰	۳/۰۳۶۹	۴۰۸/۲۶



شکل ۲-۸ : طیف جذب نور مرئی و فرابنفش اشریشیا کلی [۲۳].

بواسطه این تبدیلات درمی‌یابیم که فوتون‌های UV و مرئی، با داشتن انرژی بالا برای شکستن پیوندهای قوی و تشکیل رادیکال‌های آزاد، باعث از بین رفتن باکتری‌ها می‌شوند [۲۳].

شکل ۲-۸، طیف جذب نور مرئی و فرابنفش، در باکتری اشریشیا کلی را نشان می‌دهد. با کاهش طول موج تابش، جذب فوتون توسط اشریشیاکلی افزایش می‌یابد. نزدیک طول موج ۲۶۵ nm پیک جذب و برای طول موج‌های پایین‌تر از ۲۴۰ nm، شیب افزایشی جذب مشاهده می‌شود. در طول موج nm ۲۶۵، فوتون‌ها قادر به تخریب همه پیوندهای شیمیایی زیست‌مولکول‌ها در سلول هستند. طول

موج‌های کوتاه UV با شکستن پیوندهای قوی O – H، P – O و N – H و تشکیل رادیکال‌های آزاد پرانرژی، بیشترین اثر مخرب را روی سلول‌ها دارند. لازم به ذکر است که پیوندهای P – O بخشی از ساختار نوکلئیک اسیدها و پیوندهای هیدروژنی O – H و N – H ساختار سه‌بعدی پروتئین و DNA را حفظ می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که تابش نمونه با شدت ۱ تا ۶/۵ log m J/cm^2 و طول موج ۲۵۰ تا ۴۸۸ nm در اکثر موارد، آلودگی را بصورت نمایی تا مرتبه ۷/۸۵ کاهش می‌دهد [۲۳].

آمینواسیدها در طول موج‌های بزرگتر از ۲۴۰ nm شفاف هستند، بنابراین به مقدار ناچیزی تحت تأثیر فتوشیمی قرار می‌گیرند. کربوهیدرات‌ها نیز با وجود اینکه ۴۱٪ وزن نوکلئیک اسیدها را تشکیل می‌دهند، به دلیل شفافیت در برابر طول موج‌های بالای ۲۳۰ nm، در این محدوده واکنش فتوشیمیایی انجام نمی‌دهند. با مشخص شدن طول موج‌های مخرب باکتری و پروتئین، می‌توان به دنبال راهکاری برای حذف آلودگی‌ها بدون آسیب به مواد مغذی بود [۲۴].

۲-۶ تأثیر طول موج‌های مختلف UVC در کاهش بیوفولینگ[1] موجود در آب

بیوفولینگ به طور کلی قرارگرفتن ناخواسته میکروارگانیسم‌ها روی سطوح مختلف در نظر گرفته می‌شود و مشکل جدی بخش‌های مختلف یک سیستم آبی، شامل لوله‌کشی، سیستم توزیع آب، مراحل فیلتراسیون، تاسیسات خنک کننده و نیروگاه‌ها می‌باشد. تابش UV به علت موثر بودن در حذف کیست‌های کریپتوسپوریدیم[2]و ژیاردیا لامبلیا[3] بصورت گسترده‌ای در ضدعفونی آب استخر استفاده می‌شود [۲۵]. در مقاله لکرتز[4] و همکاران [۲۵]، منبع MP UV به همراه موازی ساز پرتو، فیلتر[5] ND و فیلتر[6] BP استفاده شده است. فیلترND با کاهش عبور نور، زمان مناسبی را برای شمارش باکتری‌های حذف شده و داشتن تعداد نقاط کافی برای رسم نمودار فراهم می‌کند و فیلترBP

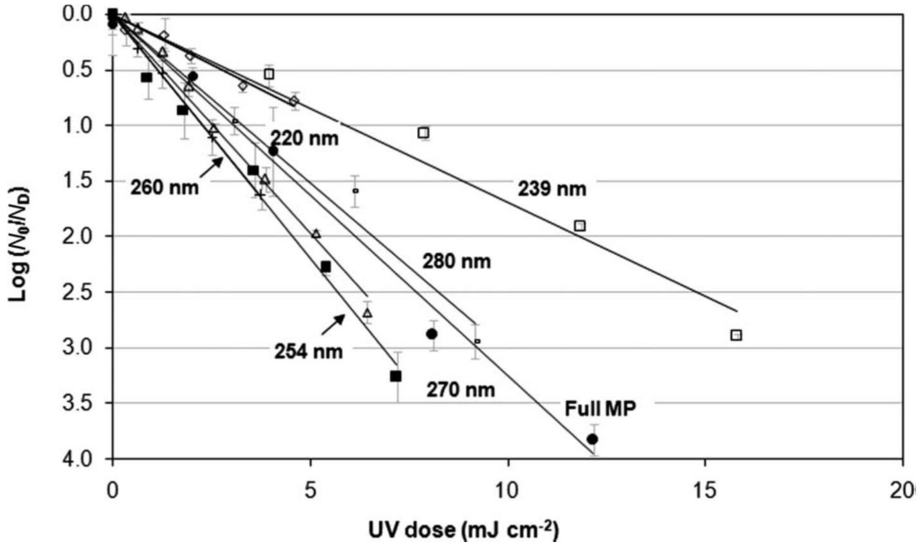
[1] Biofouling
[2] Cryptosporidium
[3] Giardia lamblia
[4] Lakretz
[5] Neutral Density
[6] Band Pass

برای عبور پهنای مشخصی از نور با مراکز طول موج ۲۲۰، ۲۳۹، ۲۵۴، ۲۷۰ و nm ۲۸۰ استفاده می‌شود. کاهش سلول باکتری سودوموناس آئروژینوزا[1] بر اثر تابش از معادله زیر پیروی می‌کند:

$$log\left(\frac{N_0}{N_D}\right) = KD \qquad (۹-۲)$$

که در آن N_0 تعداد باکتری قبل از تابش، N_D تعداد باکتری باقی‌مانده پس از میزان تابش D، K ضریب حساسیت (cm^2mj^{-1}) و D شار یا دز UV $(mj\ cm^{-2})$ می‌باشد. بدون فیلتر ND، به علت کاهش کل باکتری در مدت ۱ دقیقه، تعداد نقاط کافی برای رسم نمودار وجود ندارد. طول موج‌ها به‌ترتیب تأثیرشان روی باکتری سودوموناس آئروژینوزا به صورت زیر مرتب می‌شوند [۲۵].

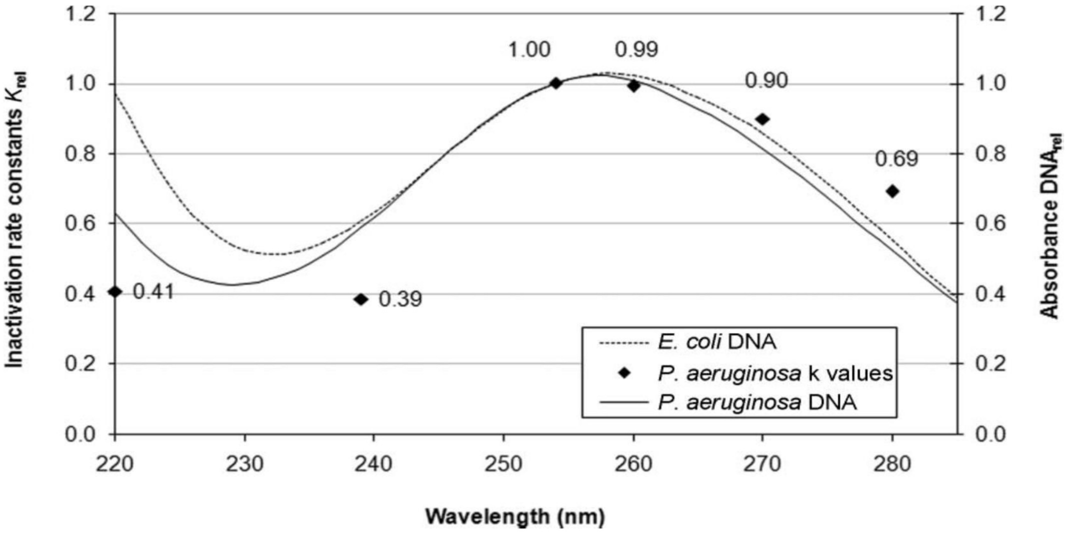
254 ~ 260 > 270 > Full MP > 280 > 220 > 239 nm



شکل ۲-۹ : کاهش log باکتری آئروژینوزا معلق در آب، بعنوان تابعی از شارUV برای طول موج‌های مختلف ◊ :nm PB ۲۲۰، □ : nm PB ۲۳۹، ■ : nm PB ۲۵۴، + : nm PB ۲۶۰، △ : nm PB ۲۷۰، - : nm PB ۲۸۰، ● : Full MP (فیلتر ND ۰/۱) [۲۵].

[1] Pseudomonas aeruginosa (P.aeruginosa)

مشاهده می‌شود که طول موج‌های بین ۲۵۴ و ۲۷۰ nm نسبت به بقیه طول موج‌ها موثرتر واقع شده اند. شکل ۱۰-۲ ضریب حساسیت طیفی UV (k_{rel}) را بعنوان تابعی از طول موج و در مقایسه با جذب DNA_{rel} باکتری سودوموناس آئروژینوزا و اشریشیاکلی نشان می‌دهد. DNA_{rel} به معنای بهنجارش به جذب DNA در ۲۵۴ nm است. مشابهت تأثیر طول موج‌های مختلف UV بر اشریشیاکلی با طیف جذبی سلول‌های DNA (سودوموناس آئروژینوزا یا اشریشیاکلی) اشاره بر این دارد که مکانیزم غیرفعال شدن سودوموناس آئروژینوز توسط UV وابسته به جذب DNA و در نتیجه وابسته به طول موج است [۲۵].



شکل ۲-۱۰ : ضریب حساسیت طیفی UV (k_{rel}) بعنوان تابعی از طول موج [۲۵].

با توجه به مطالب ذکر شده در این فصل در مورد بازه طول موجی موثر بر میکروارگانیسم‌ها و همچنین طول موج‌های مخرب مواد مغذی، بمنظور حذف آلودگی بدون آسیب به مواد مغذی، می‌توان به تابش‌دهی ویژگی انتخاب‌گری را نیز اضافه نمود، بدین صورت که با طراحی فیلتر، تنها طول موج‌های مناسب عبور داده شوند. برای ساخت این فیلترهای چندلایه می‌توان از روش‌های لایه نشانی بهره گرفت.

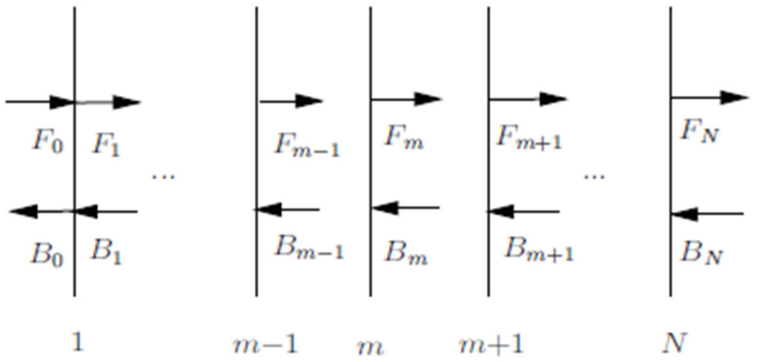
۲-۷ طراحی فیلتر باند عبور UV

در مقاله وانگ[1] و همکاران [۲۶]، علاوه بر رویکرد تحلیلی، جزئیات طیف عبور فیلتر طراحی شده، با استفاده از روش ماتریس انتقال قابل محاسبه است. بر مبنای شرایط مرزی پیوستگی میدان الکترومغناطیسی، ماتریس انتقال برای تعیین ضرایب بازتاب و عبور نور استفاده می‌شود. با توجه به ساختار چندلایه متشکل از N +1 لایه با ضریب مختلط شکست و N مرز، دامنه میدان در هر لایه با حاصلضرب ماتریس های ۲×۲ از طریق روابط (۲-۱۰) تا (۲-۱۴) قابل محاسبه است [۲۷] :

$$\begin{pmatrix} F_{m-1} \\ B_{m-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-i\delta_{m-1}} & 0 \\ 0 & e^{i\delta_{m-1}} \end{pmatrix} \times \frac{1}{t_{m-1}} \begin{pmatrix} 1 & r_{m-1,m} \\ r_{m-1,m} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_m \\ B_m \end{pmatrix} \quad (2-10)$$

$$P_{m-1} = \begin{pmatrix} e^{-i\delta_{m-1}} & 0 \\ 0 & e^{i\delta_{m-1}} \end{pmatrix} \quad (2-11)$$

$$R_{m-1} = \frac{1}{t_{m-1}} \begin{pmatrix} 1 & r_{m-1,m} \\ r_{m-1,m} & 1 \end{pmatrix} \quad (2-12)$$



شکل ۲-۱۱ : دامنه امواج تابش و بازتابش در ساختار چند لایه اپتیکی

---

[1] Wang

F و B نشان دهنده دامنه امواج رو به جلو و امواج رو به عقب و اندیس آن‌ها، نشان دهنده لایه خاصی است که نور از طریق آن عبور می‌نماید.

$$\delta_{m-1} = 2\pi k\, n_{m-1} d_{m-1} \quad (۲-۱۳)$$

δ_{m-1}، ضخامت فاز ایجاد شده بواسطه حجم m -۱ لایه است، k، نشان دهنده عدد موج و n_{m-1} و d_{m-1}، ضریب شکست و ضخامت هر لایه را نشان می‌دهد. ماتریس انتقال می‌تواند به ماتریس زیر کاهش یابد [۲۷]:

$$\begin{pmatrix} F_0 \\ B_0 \end{pmatrix} = R_{0,1}^{-1} \left[\prod_{m=1}^{N-1} P_m R_{m,m+1} \right] \begin{pmatrix} F_N \\ B_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} (F_N \quad B_N) \quad (۲-۱۴)$$

بنابراین ضریب بازتاب خالص ساختار چند لایه و متناظر با آن ضریب عبور خالص از روابط (۱۵-۲) و (۱۶-۲) محاسبه می‌شوند [۲۶]:

$$r_{0,N} = \frac{B_0}{F_0} \Big|_{B_{N=0}} = T_{21}/T_{11} \quad (۲-۱۵)$$

$$t_{0,N} = \frac{F_N}{F_0} \Big|_{B_{N=0}} = 1/T_{11} \quad (۲-۱۶)$$

به طور مثال، طراحی فیلتر چند لایه Al/SiO_2، که بر روی زیرلایه سفایر(یاقوت کبود) لایه‌نشانی شده است، بررسی می‌شود. سیلیکا و سفایر هر دو در ناحیه UV، عبور بالایی دارند و ضریب شکست آن‌ها به‌ترتیب ۱/۵۷ و ۱/۸ می‌باشد [۲۶].

Al به علت فرکانس پلاسمایی نسبتا پایین انتخاب شده است، قسمت حقیقی ضریب شکست Al، بصورت $N_{A_1}(\lambda) = a_1 \lambda^{b_1}$ و ضریب میرایی Al بصورت $k_{A1}(\lambda) = a_2 \lambda + b_2$ تعریف شده است، که در آن $a_1 = 4 \cdot 366$، $b_1 = 2 \cdot 396$، $a_2 = 12 \cdot 52$ و $b_2 = -0 \cdot 2956$ می‌باشد. در طول موج‌های بالاتر از طول موج پلاسما (۸۳ nm برای Al) نور در طول کوچکی داخل فلز منتشر می‌شود.

این مشخصه‌ی طول، عمق پوست (SD)[1] یا عمق نفوذ نامیده شده و به عنوان عمقی تعریف می‌شود که در آن شدت تابش درون فلز به $\frac{1}{e}$ مقدار اولیه در زیر سطح می‌رسد [۲۶].

$$SD = \frac{c}{2kw} = \frac{1}{4pk} \tag{۲-۱۷}$$

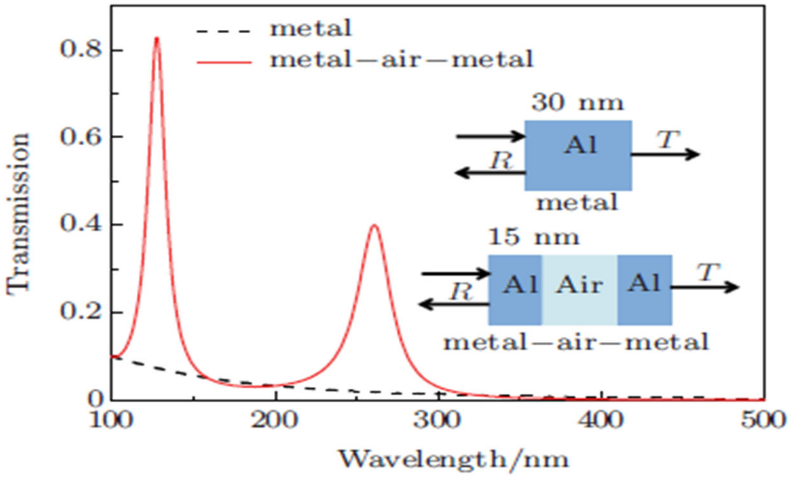
SD می‌تواند بر حسب فرکانس نور (w)، طول موج (I) و یا قسمت موهومی ضریب شکست k بیان شود. برای Al با مقادیر λ=320 nm و k=3.7 مقدار SD تقریبا ۷ nm محاسبه می‌شود. در طول موج‌های طولانی‌تر، SD به علت افزایش سریع‌تر ضریب خاموشی k، به سرعت کاهش می‌یابد. بنابراین یک لایه در حد نانومتر می‌تواند در بلاک نوری از محدوده UV تا فروسرخ موثر باشد.

با اینحال با بکارگیری ساختار دوره ای فلز-دی‌الکتریک-فلز، عبور تغییر می‌نماید. برای مثال مطابق شکل ۲-۱۲، اگر تک لایه Al به ضخامت ۳۰ nm را در نظر بگیریم، محاسبات ماتریس انتقال نشان می‌دهد که لایه Al با ضریب عبور کمتر از ۵٪ به خوبی از عبور نور جلوگیری می‌نماید. حال اگر این لایه به دو لایه ۱۵ nm که مابین آن‌ها با ۱۰۰ nm هوا پر شده است تبدیل شود، ضریب عبور در طول موج ۱۳۰ nm به ۸۰٪ و در طول موج ۲۶۰ nm به ۴۰٪ افزایش می‌یابد. طراحی فیلتر UV با لایه‌نشانی ساختار ساندویچی $Al/SiO_2/Al$ بر روی زیرلایه سفایر انجام می‌شود. بر اساس تئوری تشدید اپتیکی، منحنی طیف عبور در طول موج I، در صورتی می‌تواند پیک داشته باشد که شرایط زیر برقرار باشد [۲۶]:

$$\phi_{DM1} + \phi_{DM2} + \frac{2\pi}{\lambda} 2nD = 2m\pi \tag{۲-۱۸}$$

ϕ_{D} و ϕ_{DM2} تغییر فاز انعکاسی R(I) در فصل مشترک ۱ و ۲، $\frac{2\pi}{\lambda}2nD$ طول مسیر اپتیکی دی‌الکتریک، D ضخامت لایه دی‌الکتریک و m مرتبه تشدید است که باید بزرگتر مساوی صفر باشد. تحت شرایط نرمال تابش رابطه زیر برقرار است :

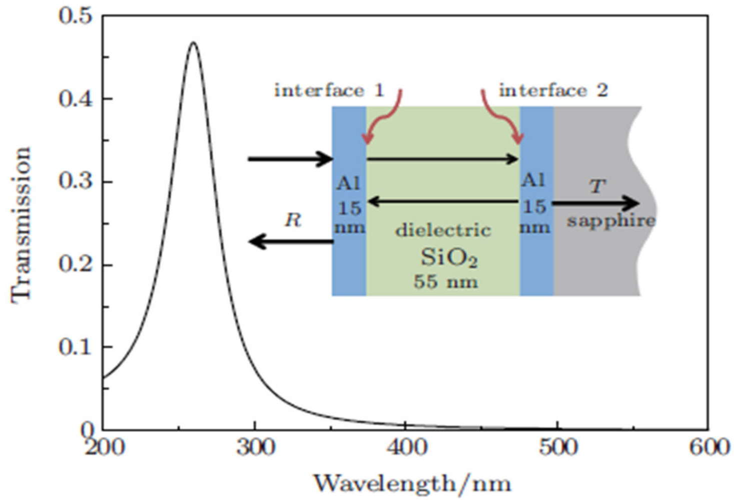
---
[1] Skin depth



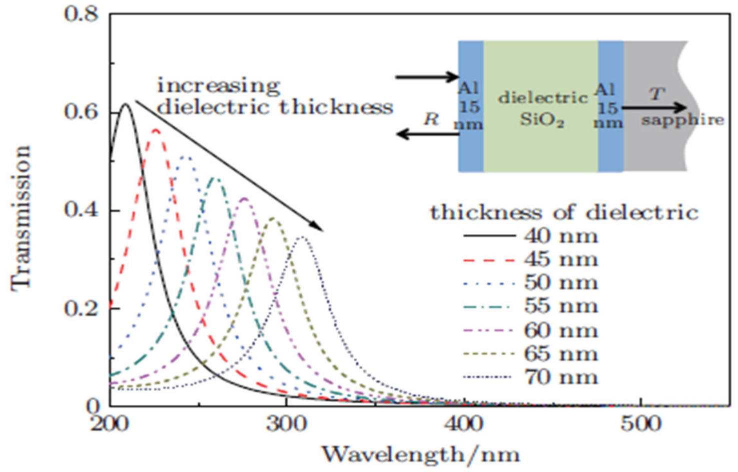
شکل ۲-۱۲ : طیف عبور ساختار فلز-هوا-فلز و لایه جامد فلزی [۲۶].

$$R(\lambda) = (n_D - n_E)/(n_D + n_E) \qquad (۲-۱۹)$$

n_D معادل ضریب شکست لایه دی‌الکتریک و n_E معادل ضریب شکست مختلط لایه فلزی و لایه بیرونی است. در اینجا لایه بیرونی در مرز ۱ هوا و در مرز ۲ سفایر است. چون ضریب شکست مختلط Al شدیدا تابع طول موج (I) می‌باشد، n_E و ϕ_{DM} هر دو به ضخامت فلز و طول موج بستگی دارند. برای طراحی فیلتر UV دارای باند عبور و نوار مرکزی (بیشینه گسیل) در طول موج ۲۶۰ nm ابتدا فرض شده است که ضخامت لایه Al برابر با ۱۵ nm باشد. در این طول موج R_1 و R_2 به‌ترتیب i ۰/۷۳۴- ۰/۳۷۱- و i ۰/۶۷۸- ۰/۴۱۴- و مجموع $\phi_{D\square}$ و ϕ_{DM2} مقدار π ۱/۳۴۹- محاسبه شد. طبق معادله (۲-۱۸) وقتی m = 0 باشد ضخامت لایه داخلی SiO_2 برابر با D = ۵۵/۸۴۵ nm می‌شود و درنهایت روش ماتریس انتقال برای محاسبه دقیق طیف عبور به صورت عددی استفاده می‌شود. همانطور که در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است، با استفاده از این روش طراحی، فیلتری با پیک عبور ۴۷٪ در ۲۶۰ nm و FWHM =۳۸ nm برای باند عبور UV حاصل می‌شود. برای طول موج‌های بالاتر از ۳۰۰ nm، عبور کمتر از ۵٪ است [۲۶].



شکل ۲-۱۳ : طیف عبور فیلتر چندلایه $Al/SiO_2/Al/Sapphire$ [۲۶].

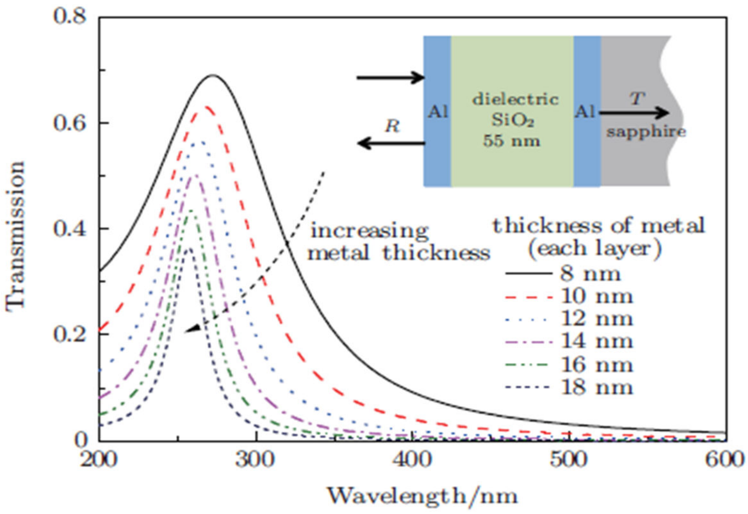


شکل ۲-۱۴ : اثر ضخامت های متفاوت SiO_2 بر طیف عبور فیلتر [۲۶].

برای بررسی اثر ضخامت دی‌الکتریک بر خواص اپتیکـی سـاختار فیلتـر $Al/SiO_2/Al/Sapphire$ مقادیر ضخامت هر دو لایه Al، برای راحتی مقایسه، ثابت و ۱۵ nm در نظر گرفته شـد. همـانطور کـه در شکل ۲-۱۴ مشاهده می‌شود در صورت افزایش ضخامت دی‌الکتریک از ۴۰ nm بـه ۷۰ nm، پیـک طول موج عبوری در فیلتر، از ۲۱۰ nm تا ۳۱۰ nm قابل تنظیم خواهد بود. در این شرایط، عبـور کلـی فیلتر ۲۷٪ کاهش می‌یابد که این کاهش را می‌توان به افزایش توان بلاک کنندگی اپتیکی لایه فلـزی، در طول موج‌های بلندتر نسبت داد. از آنجایی که لایه دی‌الکتریک ضخیم‌تر به معنـای مسـیر اپتیکـی

طولانی‌تر است، طول موج‌های طولانی‌تری نیز برای ایجاد شرایط رزونانس مورد نیاز است. علاوه بر این، با ضخیم‌تر شدن لایه دی‌الکتریک، برای m ممکن است عدد ۱، ۲، ۳ و یا مقادیر بزرگتری مناسب باشد، این به معنی مرتبه‌های بالاتر پیک رزونانس است که ممکن است در طیف UV ظاهر شود. SD نیز با افزایش طول موج کاهش می‌یابد [۲۶].

برای بررسی اثر ضخامت لایه فلزی بر عملکرد این فیلتر، ضخامت لایه دی‌الکتریک ثابت و ۵۵ nm در نظر گرفته شد که با شرایط رزونانس مرتبه صفر متناظر است. همانطور که در شکل ۲-۱۵ مشاهده می‌شود بین FWHM و بیشینه عبور، رابطه وجود دارد، در صورتی که ضخامت لایه Al از ۸ به ۱۸ nm افزایش یابد، FWHM بصورت قابل توجهی از ۱۱۶ به ۲۷ nm کاهش می‌یابد و بیشینه عبور از ۶۹٪ به ۳۷٪ می‌رسد، علاوه بر این قله طول موج به تدریج از ۲۷۲ nm به ۲۵۷ nm شیفت پیدا می‌کند. افت بیشینه عبور، با افزایش توان مسدودکنندگی لایه فلزی ضخیم‌تر، توجیه می‌شود [۲۶].



شکل ۲-۱۵ : اثر تغییر ضخامت Al بر طیف عبور فیلتر [۲۶].

فصل سوم:

پیشینه تحقیق

۳-۱ تأثیر تابش UV روی باکتری کاسترد[1] و کرمفیل[2]

کتکارت[3] و همکاران [۲۸]، روش‌های کنترل باکتری استافیلوکوکی[4] و سالمونلا را در محصولاتی مانند کاسترد و کرمفیل، بررسی نمودند. به دلیل امکان آلوده شدن کرمفیل پس از حرارت، استریل کردن روش مناسبی برای این محصول نیست، در مقابل، تابش UV در محدوده طول موجی ۲۰۰ تا ۲۹۵ nm می‌تواند جایگزین مناسبی برای این روش باشد و تحت شرایط خاصی برای نابودی کپک[5] ها و باکتری‌ها، موثر واقع شود. بررسی‌ها نشان داد که تابش نمونه‌ها در فاصله ۱۰/۱۶ cm از لامپ، بمدت ۲۳ s تا ۲۸ s، می‌تواند استافیلوکوکوس اورئوس[6] را نابود کند. در یک آزمایش، ظرف‌های حاوی حدود یک میلیون موجود زنده، طی زمان‌های متفاوتی، تحت تابش لامپ‌های مختلف قرارگرفتند و نتایج حاصل بصورت زیر گزارش شد :

جدول ۳-۱ : مقایسه تأثیر سه لامپ استاندارد UV [۲۸].

لامپ‌ها	استافیلوکوکی	سالمونلا
۱	نابودی کامل - ۲/۵ min	نابودی تقریبا کامل - ۲/۵ min
۲	تعداد کمی باقی ماند - ۲۰ min	تعداد کمی باقی ماند - ۴۵ min
۳	نابودی کامل - ۴ min	نابودی تقریبا کامل - ۸ min

لامپ شماره ۱، شامل دو تیوپ ۸۶/۳۶ cm، لامپ ۲، یک تیوپ ۱۲/۷ cm و لامپ ۳، یک تیوپ ۸۶/۳۶cm می‌باشد. لامپ ۲، گرمای قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کند در حالیکه دو لامپ دیگر، نسبتا خنک هستند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که تابش UV، برای نابودی این دو باکتری موثر واقع شده و برای استافیلوکوکی، تأثیر بیشتری نسبت به سالمونلا دارد [۲۸].

---

1 Custard
2 Cream filling
3 Cathcart
4 Staphylococci
5 Mold
6 Staphylococcus aureus

۳-۲ تأثیر سیستم UVC در کاهش پاتوژن[1] های بیمارستانی

سیستم ضدعفونی UV، یکی از تکنولوژی‌هایی است که به عنوان جایگزین روش‌های مرسوم در استریل تجهیزات بیمارستانی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکثر این سیستم‌ها از تابش UVC، با طول موج بین ۲۰۰ و ۲۷۰ nm استفاده می‌کنند. یک طول موج خاص، مانند ۲۵۴ nm می‌تواند پیوند[2] های مولکولی را از بین برده و با تخریب DNA یا RNA، باعث نابودی میکروارگانیسم شود. از جمله مزیت‌های این سیستم نسبت به روش‌های مرسوم ضدعفونی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

فعالیت ضد باکتری در مقابل طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها، زمان مورد نیاز کوتاه‌تر برای نابودی باکتری‌های گیاهی، امنیت و سازگاری با محیط زیست، بجا نگذاشتن مواد خطرناک پس از تابش، کاهش هزینه در رابطه با نیروی انسانی و مواد مصرفی و ساده بودن نصب و راه اندازی [۲۹].

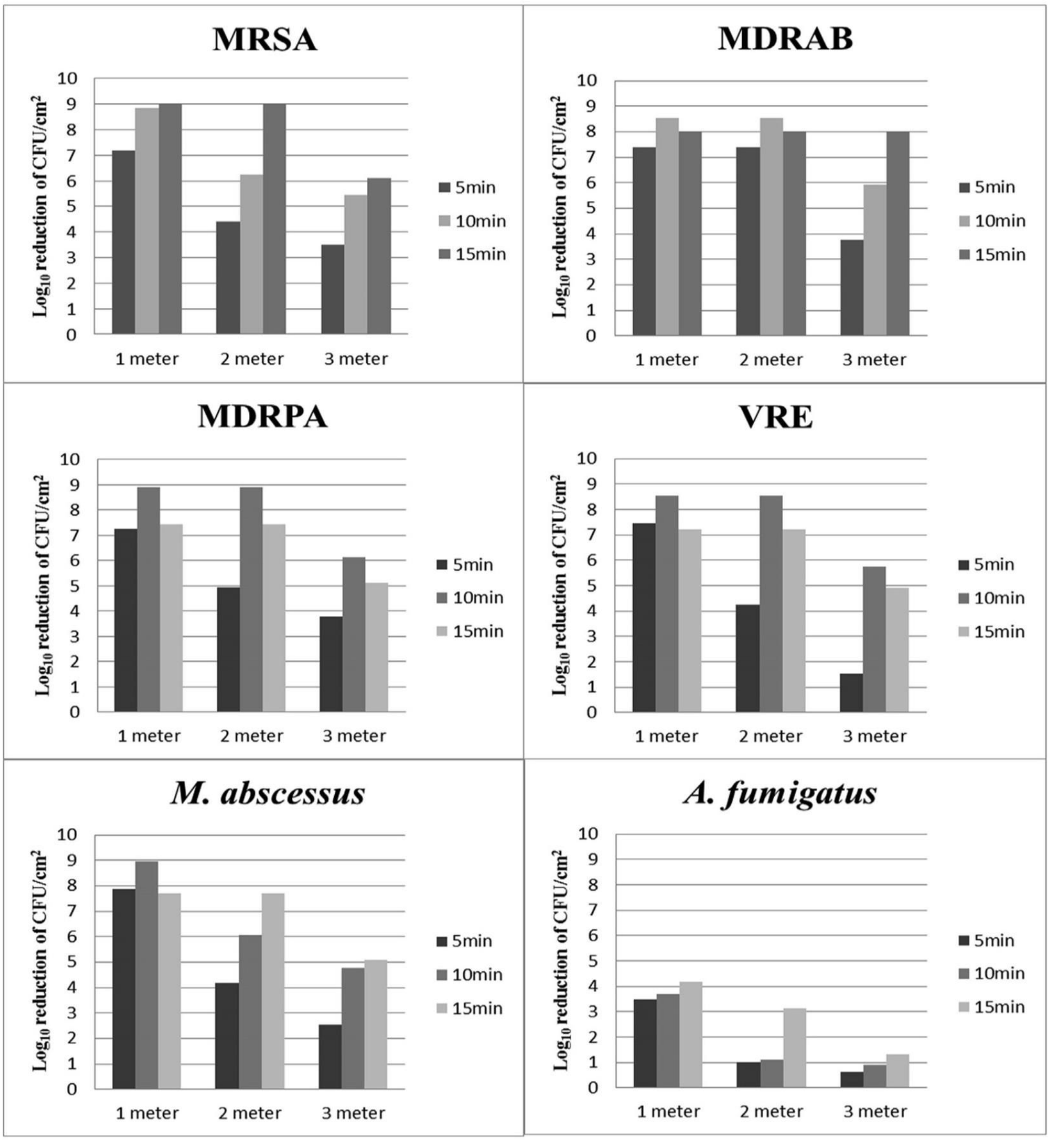
شکل ۳-۱ : استریل تجهیزات بیمارستان با تابش UV

یانگ[3] و همکاران [۲۹]، تأثیر سیستم UV را بر باکتری‌های MDRPA[4]، MDRAB[5]، VRE[6]، MRSA[7] (ATCC 33592) و مایکوباکتریوم آبسسوس[8] (ATCC 1997)، بررسی نمودند.

[1] Pathogens
[2] Bond
[3] Yang
[4] multidrug-resistant P. aeruginosa
[5] multidrug-resistant A. baumannii
[6] Vancomycin-resistant Enterococcus faecium
[7] methicillin-resistant S. aureus
[8] Mycobacterium abscessus (M.abscessus)

برای جلوگیری از آسیب، هنگام باز شدن اتفاقی درب دستگاه هایپرلایت پی ۳[1]، سنسورهایی برای قطع اتوماتیک تابش تعبیه شده است. در یک مرحله از آزمایش، دستگاه شدت $\mu W/ cm^2$ ۲۷۵۰ را در فاصله ۱، ۲ و۳ متری از ظرف‌های نمونه و در مدت زمان ۵، ۱۰و ۱۵ دقیقه اعمال می‌کند. تعداد کولنی[2] آلودگی در نمونه‌ها یکسان است. بازده تأثیر دستگاه در فاصله کمتر از نمونه و زمان تابش طولانی‌تر، بیشتر بود. در بدترین شرایط (۵ دقیقه تابش در فاصله ۳ متر) بیشتر از ۳ log_{10} کاهش در باکتری‌های گیاهی وکاهش ۱/۵ تا log_{10} ۲/۵ برای مایکوباکتریوم آبسسوس[3] و VRE حاصل شد. همچنین در فاصله ۱ متری و بدون در نظرگرفتن زمان، همه باکتری‌های مورد آزمایش، کاهش قابل توجهی نشان دادند [۲۹].

---
[1] Hyper Light P_3
[2] Colony
[3] Mycobacterium abscessus (M.abscessus)



شکل ۳-۲ : تأثیر سیستم UVC بر چند نوع باکتری در زمان و فواصل مختلف [۲۹].

در مرحله بعد، سه اتاق که قبلا بیماران ناقل MRSA، VRE و دیگر باکتری‌ها، حداقل ۷ روز در آن بستری بودند، مورد بررسی قرارگرفت. کشت‌های باکتری از چند سطح پرتماس، قبل و بعد از تابش دستگاه جمع‌آوری و مقدار متوسط کولنی‌ها نیز، قبل و بعد از تابش شمارش شدند. دستگاه در سه موقعیت مختلف در اتاق و تا حد ممکن نزدیک به سطوح پرتماس، قرار داده شد و در هر موقعیت، ۵ دقیقه تابش داشت. پس از تابش، در اغلب سطوح بجز تخت، میز کنار تخت و تلفن، ۱۰۰٪ باکتری‌ها از بین رفتند. این دستگاه با تابش در مدت زمان کمتر از ۵ دقیقه و در فاصله ۲ متری، علاوه بر

کاهش MRSA و VRE، توانست مقادیر MDRAB, MDRPA و مایکوباکتریوم آبسسوس را بیشتر از ۴ $\log_{10}$ CFU/cm^2 کاهش دهد [۲۹].

۳-۳ تأثیر تابش UV در بهبود زخم[1]

تابش UVC اثر ضد میکروبی بالایی دارد و می‌تواند بدون آسیب رساندن به بافت سالم، زخم‌های عفونی[2] و حاد را درمان کند. مفید یا مضر بودن این نوع از تابش، بستگی به طول موج و شدت آن دارد. از جمله اثرات مفید UV می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

شدت‌های پایین UVB باعث تولید ویتامین D در پوست می‌شود و شدت‌های در حد ۱۰ یا ۲۰ mJ/cm^2، می‌تواند محرک رشد مو باشد. همچنین، تابش کشت[3] های سلولی با UV، باعث فعال شدن ژن[4] هایی می‌شود که روی تقسیم سلولی اثر می‌گذارند. بنابراین قرارگرفتن در معرض UV، ممکن است علاوه بر اثرات ضد التهابی، در بهبود زخم و بازسازی پوست نیز مفید باشد. تابش UV به عنوان یک روش جایگزین برای پیشگیری و درمان بیماری‌های عفونی، بویژه بیماری‌هایی که عامل آن‌ها، پاتوژن های مقاوم به آنتی بیوتیک[5] هستند، به شمار می‌رود [۳۰].

[1] Wound care
[2] Infection
[3] Culture
[4] Gene
[5] Antibiotic

شکل ۳-۳ : کاربرد تابش UV در درمان زخم

گاپتا و همکاران [۳۰]، تأثیر تابش UVC در درمان زخم‌های عفونی، در مورد سه بیمار بررسی شده است: بیمار اول از زخم دیابت[1]، بیمار دوم از زخم وریدی[2] و بیمار سوم از یک زخم عفونی[3] با باکتری استافیلوکوکوس اورئوس مقاوم به متیسیلین (MRSA)، رنج می‌برد. هر سه بیمار بمدت ۱۸۰s تحت تابش UVC (۲۵۴ nm)، با شدت ۱۵/۵۴ mw/cm^2 قرارگرفتند. پس از تابش، روند بهبودی به اینصورت گزارش شد : علاوه بر نابودی عفونت MRSA، زخم شروع به بسته شدن نمود و رنگ پوست اطراف زخم به حالت طبیعی برگشت. در دو مورد بعدی نیز، زخم بطور کامل بسته شد [۳۰].

از مزایای استفاده از UVC بجای آنتی‌بیوتیک‌ها، علاوه بر مقرون به صرفه بودن، کوتاه‌تر بودن زمان مورد نیاز برای حذف میکروارگانیسم‌هاست. با استفاده از UVC، در کمتر از ۱ ساعت، کاهش ۲ تا ۳ لگاریتمی در میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود در حالیکه آنتی‌بیوتیک‌ها، به چندین روز زمان نیاز دارند. موثر واقع شدن انرژی UV در ایجاد تغییرات بیولوژیکی[4]، بستگی به پارامترهای تابش بستگی دارد و درمان بیماری با کمترین تابش و بیشترین تأثیر، با انتخاب طول موج مناسب صورت می‌گیرد [۳۰].

---

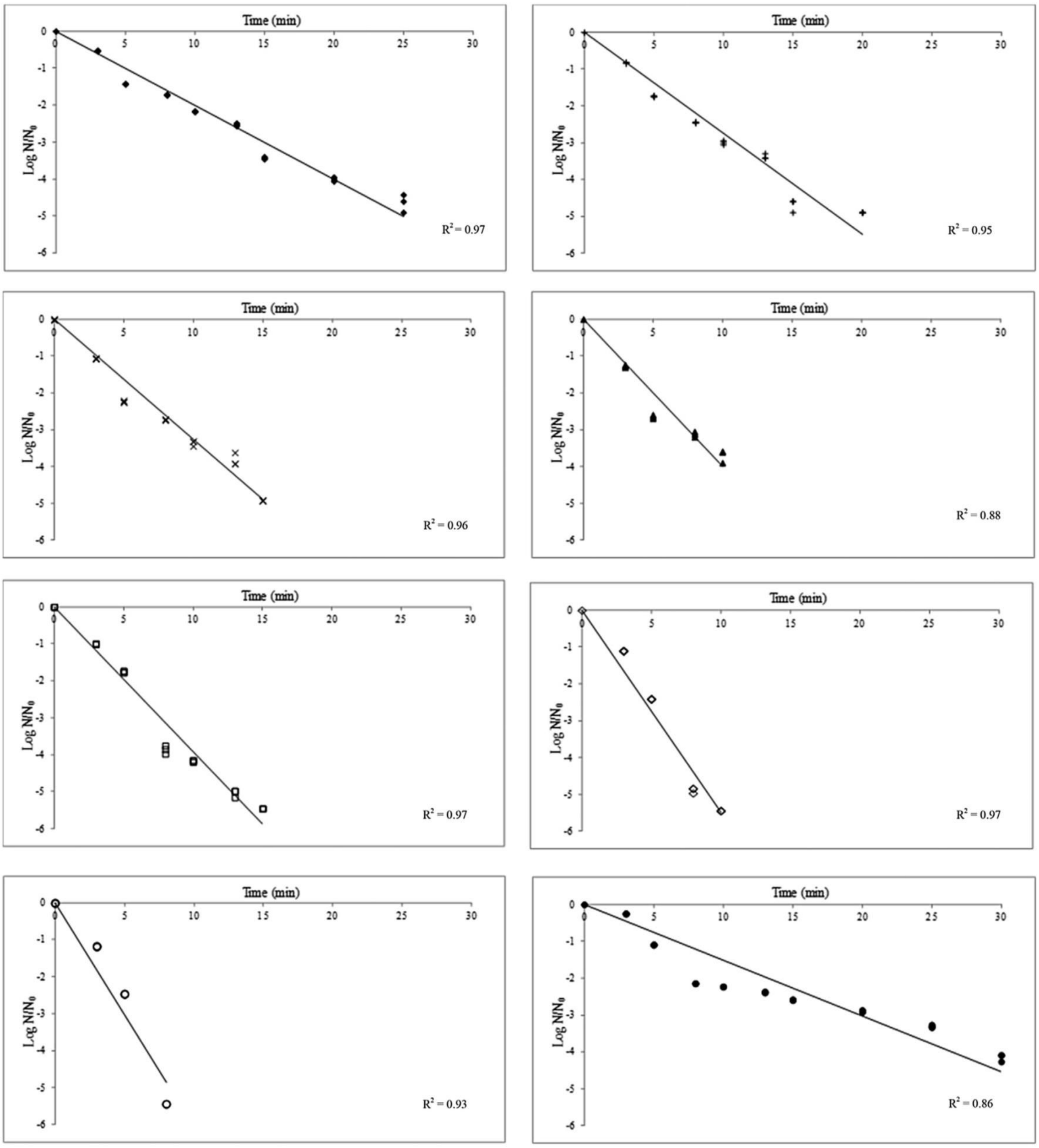
1 diabetic ulcer
2 Venous
3 Infected
4 Biological

۴-۳ تأثیر تابش UV در حذف باکتری آلیسایکلوباسیلوس[1] در آبمیوه

فرآوری حرارتی، یکی از روش‌های مرسوم برای حذف میکروارگانیسم‌ها و افزایش طول عمر مواد غذایی است، با این وجود، حرارت بالا می‌تواند مواد مغذی و عطر و طعم محصولات را تحت تأثیر قراردهد. بنابراین استفاده از روش‌های جایگزین مانند تابش، مورد توجه قرار گرفته است. تابش UVC، یک تابش غیر یونیزان[2] است و عطر و طعم و کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. تنها محدودیت آن، عمق نفوذ پایین است که برای رفع این مشکل، لایه نازکی از محصول در معرض تابش قرار می‌گیرد [۳۱].

باکتری آلیسایکلوباسیلوس قادر به زنده ماندن در فرایند پاستوریزاسیون حتی در محیط‌های اسیدی و همچنین تکثیر در دمای اتاق در مدت ذخیره‌سازی و نگهداری است. این عوامل باعث تخریب کیفیت آبمیوه می‌شوند. تریمارین[3] و همکاران [۳۱]، تابش نمونه‌های آب سیب با آلودگی اولیه ۱۰۵ CFU/ml را با ۴ لامپ UV با پیک طول موجی ۲۵۴ nm مورد بررسی قراردادند. بمنظور رسیدن به حالت پایدار، لامپ‌های UVC، ۳۰ دقیقه قبل از شروع تست، روشن شدند. فاصله نمونه از لامپ ۳۰ cm بود و برای اطمینان از توزیع یکسان شدت UV، یک همزن در ظرف آبمیوه قرار داده شد. نمونه‌های با حجم ۱ ml بمدت ۳، ۵، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۲۰ و۲۵ دقیقه در معرض تابش با شدت‌های ۰/۳۴، ۲/۵۹، ۵/۵۹، ۸/۴۵، ۱۱/۵۰ و ۱۳/۴۴ w/m^2 قرارگرفتند.

---
[1] Alicyclobacillus acidoterrestris (A. acidoterrestris)
[2] non-ionizing
[3] Tremarin



شکل ۳-۴ تأثیر تابش UVC و روش حرارتی در حذف باکتری آلیسایکلوباسیلوس. نماد ♦ مربوط به شدت ۰/۳۴ w/m، + : ۰/۸۶، × : ۲/۵۹، ▲ : ۵/۵۹، □ : ۸/۴۵، ◊ : ۱۱/۵، ○ : ۱۳/۴۴ و ● : ۹۵ °C می‌باشد [۳۱].

در بالاترین سطح شدت (۱۱/۵و $۱۳/۴۴\ w/m^2$) و در مدت ۸ دقیقه، کاهش ۸ log در باکتری حاصل شد، درصورتی که برای همین مقدار کاهش، با پایین‌ترین شدت اعمال شده ($۰/۳۴\ w/m^2$)، ۲۵ دقیقه زمان لازم است. بمنظور مقایسه، فرآوری حرارتی نیز، در دمای ۹۵ °C انجام شد. آنالیزها نشان داد که

برای کاهش باکتری، تابش UVC موثرتر است. در یک آزمایش دیگر، غیرفعال کردن اسپور[1]های آلیسایکلوباسیلوس در آبمیوه‌های سیب و انگور پاستوریزه شده، بررسی شد. آبمیوه‌ها با شدت‌های ۳/۸، ۷/۱ و ۱۳/۱ w/m^2 در مدت زمان‌های ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ دقیقه تابش داده شدند. برای آب انگور، بیشترین کاهش ۵/۵ log با شدت ۱۳/۱ w/m^2 بدست آمد و برای آب سیب، تحت همین شرایط، بیشترین کاهش ۲ log بود. این گروه تحقیقاتی، ترکیب تابش UVC با فرآوری حرارتی (s ۷۱، ۷۲ °C) را نیز، برای غیرفعال کردن اشریشیاکلی در آب خربزه و لیمو بکارگرفتند که منجر به کاهش ۶ log_{10} CFU/ml در باکتری شد. نتایج نشان داد که تابش UVC برای غیر فعال کردن اسپورهای آلیسایکلوباسیلوس موثر واقع شد و در کمترین شدت تابش شده نیز، کاهش میکروب بصورت قابل توجهی بالاتر از میزان کاهش در فرآوری حرارتی با دمای ۹۵ °C است [۳۱].

۳-۴ تأثیر تابش UVC در کاهش آلودگی آب انار

انار و عصاره آن، به دلیل داشتن مقادیر زیادی ترکیبات فنولی مانند آنتوسیانین، ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد. رنگ قرمز آب انار به علت وجود آنتوسیانین است که جزء قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان‌ها به شمار رفته و می‌تواند از بروز بیماری‌های قلبی-عروقی پیشگیری نماید. در حال حاضر، پاستوریزاسیون حرارتی رایج ترین شیوه مورد استفاده برای افزایش مدت نگهداری آبمیوه است. با اینحال استفاده از این روش می‌تواند اثرات نامطلوبی بر مواد مغذی و خواص ظاهری بویژه کیفیت رنگ آنتوسیانین موجود در آب انار داشته باشد. زیرا آنتوسیانین به راحتی تجزیه و رنگدانه‌های پلیمری قهوه‌ای رنگی تشکیل می‌دهد [۳۲].

اخیرا استفاده از تکنولوژی‌های غیر حرارتی برای تولید و عرضه محصولاتی تازه، با کیفیت و دارای مواد مغذی گسترش یافته است. تابش UVC از جمله این روش‌ها است که با داشتن خاصیت ضد میکروبی، قادر به از بین بردن میکروارگانیسم‌هایی نظیر باکتری، کپک، مخمر و ویروس می‌باشد.

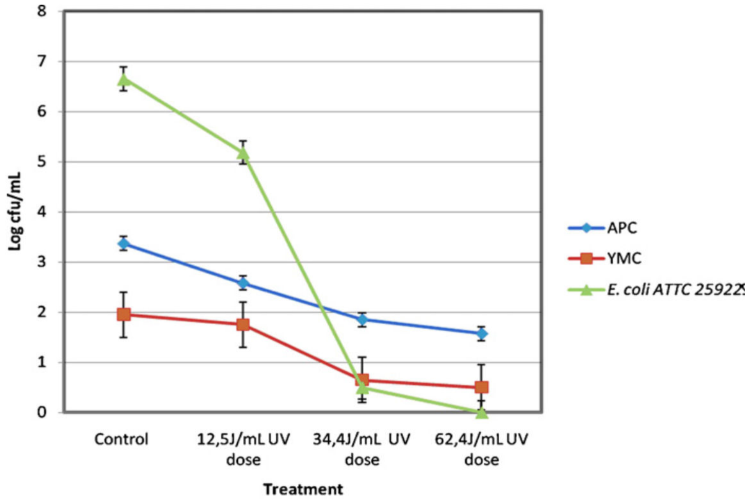
[1] Spore

اهداف پالا و همکاران [۳۲]، بررسی تأثیر تابش UVC بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنول کل و برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آب انار، مقایسه تأثیر UVC و روش حرارتی (C ° ۹۰، min ۲) بر کیفیت آبمیوه و برررسی تأثیر سیستم UVC در کاهش شمار باکتری، کپک-مخمر و اشریشیا کلی (ATCC 25922) می‌باشد.

در سیستم UV شدت تابش مورد نیاز با استفاده از ۹ لامپ (UVC(28 w, 254 nm تأمین شده است. آب انار ۵ مرتبه از راکتور UV عبور می‌کند و پس از ۱، ۳ و ۵ بار عبور، تأثیر تابش بر آن بررسی می‌شود. شدت تابش به‌ترتیب ۱۲/۴۷، ۳۷/۴۱ و J/ml ۶۲/۳۵ محاسبه شده است. در روش حرارتی، پاستوریزه شدن آب انار بمدت ۲ دقیقه در دمای C ° ۹۰ در حمام آب ترمواستاتیک انجام می‌گیرد. سپس تأثیر تابش و حرارت بر میزان آنتوسیانین، فنول و آنتی‌اکسیدان محصول بررسی می‌شود [۳۲].

نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار آنتوسیانین آب انار پس از تابش UVC با شدت‌های ۳۷/۴۱ و J/ml ۶۲/۳۵ به‌ترتیب به‌میزان ۳/۸۶% و ۸/۴% کاهش می‌یابد. در بالاترین شدت تابش (J/ml ۶۲/۴) مقدار آنتوسیانین از J/ml ۴۲۶/۲۴ قبل از تابش به J/ml ۳۹۰/۵۱ رسیده است. استفاده از روش حرارتی مقدار اولیه آنتوسیانین را به J/ml ۳۲۵/۴۷ رسانده وکاهش ۲۳/۶۴٪ را نشان می‌دهد. مقادیر pH، اسیدیته محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها پس از تابش و حرارت دادن، با مقادیر نمونه شاهد تفاوت چندانی نداشت. همچنین تغییری در خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه تحت تابش حاصل نشد [۳۲].

تابش با شدت J/ml ۶۲/۴ شمار باکتری‌ها[۱] (APC) و کپک-مخمر[۲] (YM) را از ۳/۳۷ و $\log\frac{CFU}{ml}$ ۱/۹۵ به‌میزان ۱/۸ و log ۱/۴۵ کاهش داد. کاهش بار میکروبی ممکن است بواسطه رنگ قرمز تیره آب انار تحت تأثیر قرار بگیرد. تابش نمونه آب انار آلوده به اشریشیا کلی با شدت ۳۴/۴ و J/ml ۶۲/۴، آلودگی اولیه را از $\log\frac{CFU}{ml}$ ۶/۶۵ به $\log\frac{CFU}{ml}$ ۱ کاهش داد [۳۲].



شکل ۳-۵ : کاهش APC، YM و اشریشیاکلی در آب انار تابش دیده [۳۲].

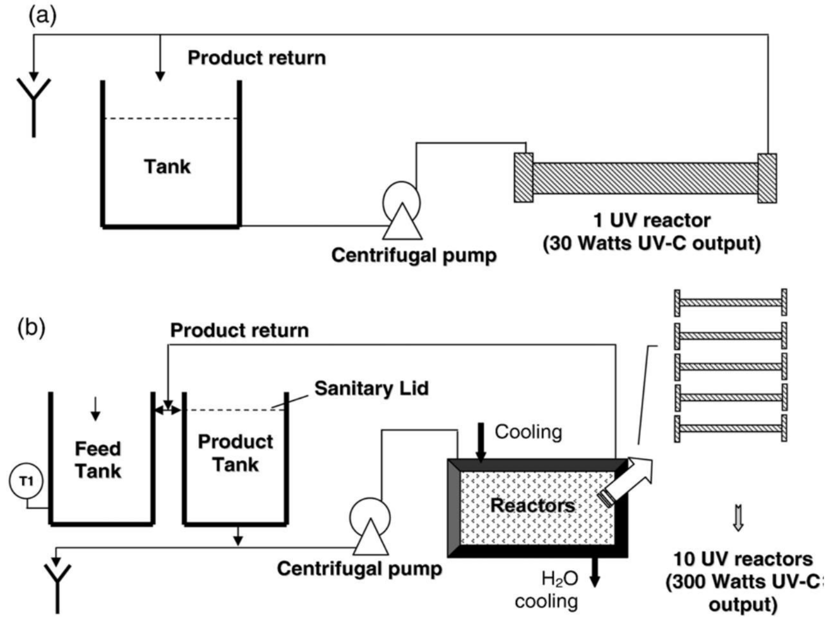
برخلاف فرآوری حرارتی، پس از تابش مقدار کل آنتوسیانین مونومریک کاهش قابل توجهی نداشت. فرآوری حرارتی، رنگ پلیمری آب انار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در صورتی که رنگ پلیمری نمونه تابش شده و نمونه شاهد، تفاوت چندانی نداشت. نتایج نشان می‌دهد که در اثر تابش، خواص فیزیکی، شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقدار کل آنتوسیانین و فنول در آب انار تغییری نکرد، همچنین طول عمر آب انار، در ذخیره‌سازی با دمای ۴ تا °C ۱۰ افزایش می‌یابد. بطور کلی، تابش UVC نسبت به فرآوری حرارتی، در حفظ کیفیت آب انار بهتر عمل می‌کند [۳۲].

---

[1] Aerobic plate count
[2] Yeast and mold

۳-۶ تأثیر تابش UV در کاهش میکروارگانیسم‌های آبمیوه

کیسر[1] و همکاران [۱۷]، تأثیر تابش UVC (طول موج ۲۵۴ nm) را بر کاهش تعداد میکروارگانیسم‌های آبمیوه‌هایی نظیر سیب، گوآوا، آناناس و میوه های گرمسیری، بررسی نمودند. هدف این مقاله تعیین شدت موثر UV و تأثیر آن در کاهش شمار باکتری وکپک-مخمر است. سیستم مورد استفاده در مقیاس آزمایشگاهی، شامل ۱ لامپ UVC (254 nm) می‌باشد که برای ۲۰ L محصول با آهنگ جریان Lh^{-1} ۴۰۰۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد. با احتساب زمان عبور ۱۸ s، شدت تابش تحویلی JL^{-1} ۲۲/۹۵ خواهد بود. طراحی سیستم در مقیاس صنعتی نیز مشابه مقیاس آزمایشگاهی است با این تفاوت که ۱۰ لامپ UV (254 nm) برای ۸۰ L محصول با آهنگ جریان ۴۰۰۰Lh^{-1} مورد آزمایش قرار می‌گیرد. زمان لازم برای عبور محصول از سیستم ۷۲ s است و شدت تابش تحویلی در این مدت معادل با Lh^{-1} ۲۳۰ می‌باشد



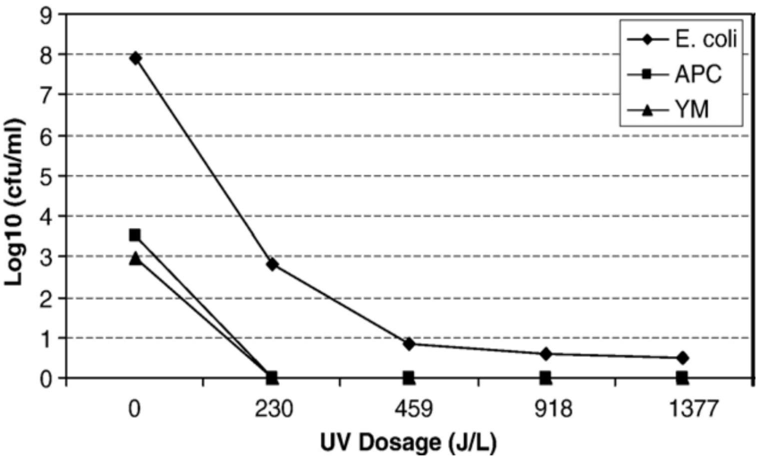
شکل ۳-۶ : سیستم UVC (a) مقیاس آزمایشگاهی و (b) مقیاس صنعتی [۱۷].

[1] Keyser

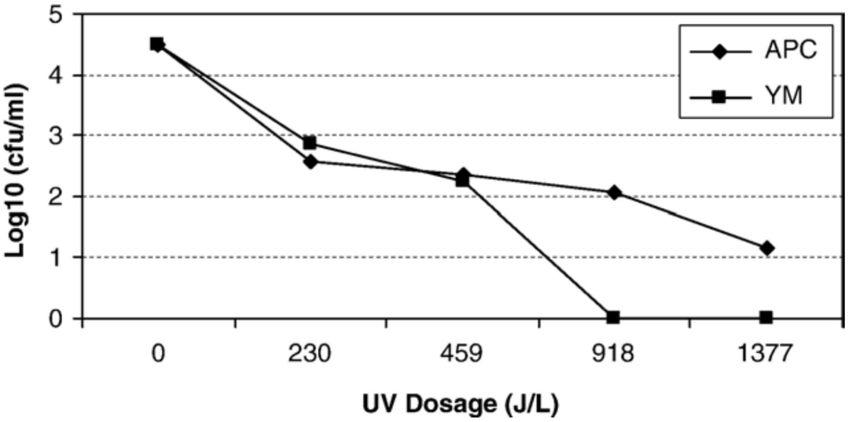
این سیستم در خط تولید مواد غذایی، همچنین در قسمت خروجی محصول نصب می‌شود و با ایجاد جریان توربولنت[1]، از چسبیدن میکروارگانیسم‌ها به یکدیگر جلوگیری می‌کند و در نتیجه با تابش بیشتر به محصول، منجر به افزایش کارآیی می‌شود. در هر دو سیستم نمونه‌های آبمیوه ۲۰ L و ۸۰L در مخزنی با دمای 8 تا ۱۰ °C قرارگرفتند و آهنگ جریان ۴۰۰۰ Lh^{-1} بوسیله پمپ کنترل شد. به علت زمان کوتاه تابش، هیچ انتقال گرمایی از لامپ‌ها به آبمیوه ثبت نشد. آبمیوه‌های گرمسیری با T_1 و T_2 نامگذاری شدند. نمونه T_1 با شدت‌های ۶۸۹، ۱۱۴۸ و ۱۶۰۷ JL^{-1} ونمونه T_2 همچنین آبمیوه گوآوا و آناناس با شدت‌های ۲۳۰، ۴۵۹، ۹۱۹ و ۱۳۷۷ JL^{-1} تابش داده شدند. پس از هر بار تابش‌دهی، نمونه ۵۰ ml از آبمیوه برای انجام آنالیزهای میکروبیولوژی برداشته می‌شود. اشریشیاکلی شایع‌ترین میکروارگانیسمی است که در آب سیب رشد می‌کند، نمونه آلوده به این میکروارگانیسم نیز، تحت تابش با شدت‌های ۲۳۰، ۴۵۹، ۹۱۸ و ۱۳۷۷ JL^{-1} قرار گرفت. پس از انجام آنالیزهای میکروبیولوژی، نتایج به شرح زیر اعلام شد [۱۷] :

تابش آب سیب با شدت ۲۳۰ JL^{-1} به‌ترتیب منجر به کاهش ۳/۵ log_{10} و ۳ log_{10} در APC و YM شد. نمونه آلوده به اشریشیاکلی نیز، بعد از تابش با شدت ۱۳۷۷ JL^{-1} کاهش ۷/۴۲ log_{10} در بار میکروبی نشان داد. در مقایسه با آبمیوه پاستوریزه شده، پس از تابش با UV هیچ تغییر رنگی مشاهده نشد.

[1] Turbulent



شکل ۳-۷ : کاهش آلودگی در آب سیب بر حسب شدت تابش [۱۷].



شکل ۳-۸ : کاهش آلودگی آبمیوه‌های گوآوا و آناناس [۱۷].

کاهش log_{10} ۳/۳۱ و log_{10} ۴/۴۸ در APC و YM برای آبمیوه‌های گوآوا و آناناس با شدت JL^{-1} ۱۳۷۷ بدست آمد، به‌طوری‌که YM بطور کامل از بین رفت. به دلیل کدر بودن آبمیوه گوآوا نسبت به آب سیب، شدت‌های بالاتری از UV برای کاهش کامل APC مورد نیاز است [۱۷].

تابش نمونه‌های T_1 و T_2 منجر به کاهش log_{10} ۰/۵۹ و log_{10} ۰/۷۲ در APC و YM شد. به دلیل پایین بودن بار میکروبی اولیه در این دو نمونه، کاهش قابل توجهی نیز حاصل نشد. در صورت

الودگی اولیه بالا یا آلوده شدن به غلظت مشخصی از میکروارگانیسم‌ها، کاهش بار میکروبی ملموس‌تر خواهد بود. ذرات معلق و فیبر موجود در آبمیوه، مانع رسیدن تابش به میکروارگانیسم‌ها می‌شود، به همین دلیل آبمیوه‌های کدر مانند گواوا به دلیل وجود فیبر زیادتر نسبت به آب سیب، برای رسیدن به‌میزان کاهش مورد نظر، به شدت‌های بالاتری نیاز دارند. نتایج بدست آمده موفقیت سیستم UV را در کاهش بار میکروبی آبمیوه‌ها نشان می‌دهد. با این وجود، بهینه‌سازی پارامترهای تابش برای آبمیوه‌های مختلف، بمنظور دستیابی به بیشترین کاهش بار میکروبی بدون تغییر طعم محصول، امری ضروری است. کاربرد تابش UVC گسترده است و کاهش بار میکروبی آبمیوه تنها یکی از کاربردهای آن می‌باشد. یکی از مهم ترین دلایل استفاده از سیستم UVC در حذف پاتوژن های مواد غذایی، کاهش میکروارگانیسم‌ها بدون استفاده از مواد نگهدارنده و افزودنی های غیر مجاز است [۱۷].

۳-۷ تأثیر تابش UVC در کاهش آلودگی آب پرتقال

تابش UV روشی برای حذف آلودگی مواد غذایی است. طول موج‌های ۲۵۰ تا ۲۸۰ nm از طیف فرابنفش، بیشترین جذب را در DNA دارند و با تغییر مواد ژنتیکی در سلول و جلوگیری از تکثیر DNA منجر به از بین رفتن باکتری، ویروس، کپک و دیگر میکروارگانیسم‌ها می‌شوند [۱۹].

کپک مخمرها، لاکتوباسیلوس، لئوکانستوک[1] و ترموفیلیک اسید[2]، از جمله رایج‌ترین میکروارگانیسم‌هایی هستند که در آب پرتقال رشد می‌کنند. ویتامین C یکی از مهم‌ترین ویتامین‌های موجود در آب پرتقال است که نقش بسزایی در سلامت انسان دارد. در صنایع غذایی برای جلوگیری از تغییر رنگ آبمیوه، همچنین به عنوان افزودنی از ویتامین C استفاده می‌شود. استفاده از

[1] Leuconostoc
[2] Thermophilic Acid

استریلیزاسیون حرارتی، همراه با حذف میکروارگانیسم‌ها، برخی از ویتامین‌ها و مواد مغذی حساس به گرما را نیز از بین می‌برد و موجب تغییر رنگ آب پرتقال می‌شود [۱۹].

ترن[1] و همکاران [۱۹]، تأثیر تابش فرابنفش بر میکروارگانیسم‌ها و ویتامین C موجود در آب پرتقال و تغییرات خواص ظاهری آن را، بررسی نمودند. سیستم UV مورد استفاده شامل یک لامپ w ۶ UV(254) به طول cm ۴۰ است که با استفاده از تیوپ شیشه‌ای به قطر mm ۵۰ و طول mm ۴۵۰ به طور عمودی قرارگرفته است و آبمیوه به دلیل جاذبه به صورت لایه نازکی در سطح داخلی شیشه جریان می‌یابد، بمنظور نفوذپذیری موثرUV ضخامت لایه آبمیوه با تنظیم آهنگ جریان، در حدود ۰/۲۱ تا mm ۰/۴۸ و معادل با جریان l/min ۰/۶کنترل می‌شود. هر مایع کدری که ضخامت کمتر از mm ۱/۶ داشته باشد، ممکن است در مقابل UV شفاف باشد. جهت جلوگیری از تماس آبمیوه با لامپ، از یک لوله کوارتز با قابلیت عبور بالای UV استفاده شده است. تغییر شدت UV، با گردش بیشتر آبمیوه در سیستم UV تامین می‌شود. میزان تخریب باکتری‌های هوازی (APC) و کپک مخمر (YM) در شدت‌های مختلف UV تفاوت قابل توجهی دارد و با روابط زیر بیان می‌شوند [۱۹] :

$$N = N_{\circ} e^{-0.025x} \quad \text{: میزان تخریب APC} \qquad (۳-۱)$$

$$N = N_{\circ} e^{-0.017x} \quad \text{: میزان تخریب YM} \qquad (۳-۲)$$

N تعداد میکروارگانیسم‌ها قبل از تابش، $N_{\circ}$ تعداد میکروارگانیسم‌های باقی مانده پس از تابش و X شدت تابش (mj/cm^2) می‌باشد. D_{10} نشان دهنده شدت تابش مورد نیاز برای تخریب ۹۰% میکروارگانیسم‌ها است. این مقدار برای APC، ۸±۸۷ mj/cm^2 و برای YM، ۱۷±۱۱۹ mj/cm^2 محاسبه شد که مقاوم‌تر بودن YM را نسبت به APC، در برابر تابش نشان می‌دهد. شدت

[1] Tran

۱۲۳ منجر به کاهش ۹۷/۸٪ در APC و ۹۴/۷٪ در YM می‌شود. تأثیر شدت mj/cm^2 ۷۳/۸ بر تعداد کل APC و YM در جدول زیر نشان داده شده است [۱۹] :

جدول ۳-۲ : تأثیر شدت mj/cm^2 ۷۳/۸ بر تعداد کل APC و YM، قبل و بعد از تابش [۱۹].

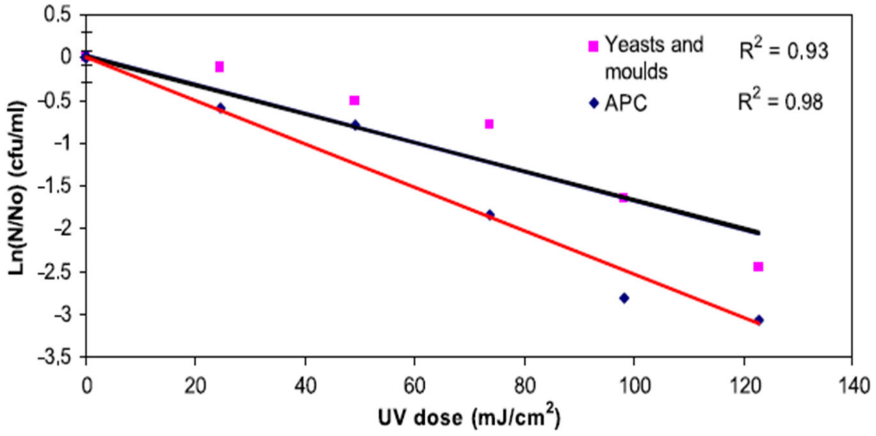
YM (cfu/ml)		APC (cfu/ml)		
آب پرتقال تابش شده (۷۳/۸ mWs/cm^2)	آب پرتقال تابش نشده	آب پرتقال تابش شده (۷۳/۸ mWs/cm^2)	آب پرتقال تابش نشده	تعداد روز نگهداری (۴° C)
۲۸۴۵±۱۰۵	۶۴۰۰±۱۶۰۰	۲۰۵۰±۴۰	۶۹۰۰±۱۵۰	۰
۲۲۰۵±۱۰۵	۷۹۰۰±۲۰۰	۱۹۰۰±۱۰۰	۴۴۷۵±۱۷۵	۲
۵۵۰۰±۵۰۰	۲۵۰۰۰±۵۰۰	۵۴۵۰±۶۵۰	۱۰۸۵۰±۵۵۰	۶
۱۹۱۵۰±۱۱۵۰	۸۸۵۰۰±۷۵۰۰	۲۱۳۵۰±۸۵۰	۳۹۱۰۰ ± ۵۰۰	۱۲

آبمیوه‌های بدون تابش و تابش شده بمدت ۲ هفته در دمای ۴° C نگهداری شدند. کاهش تعداد باکتری در ۲ روز اول، ممکن است به علت آسیب باکتری‌های مزوفیلی باشد. در اثر این شدت از تابش، طول عمر آب پرتقال از ۲ روز به بیشتر از ۵ روز افزایش یافت و با اعمال شدت‌های بالاتر، می‌تواند به بیش از این مقدار نیز، افزایش یابد. افزایش طول عمر، می‌تواند درگستردگی توزیع آبمیوه تأثیرگذار باشد که این از لحاظ اقتصادی ارزشمند است. کاهش ویتامین C در آب پرتقال بر حسب شدت تابش توسط رابطه زیر بیان می‌شود [۱۹] :

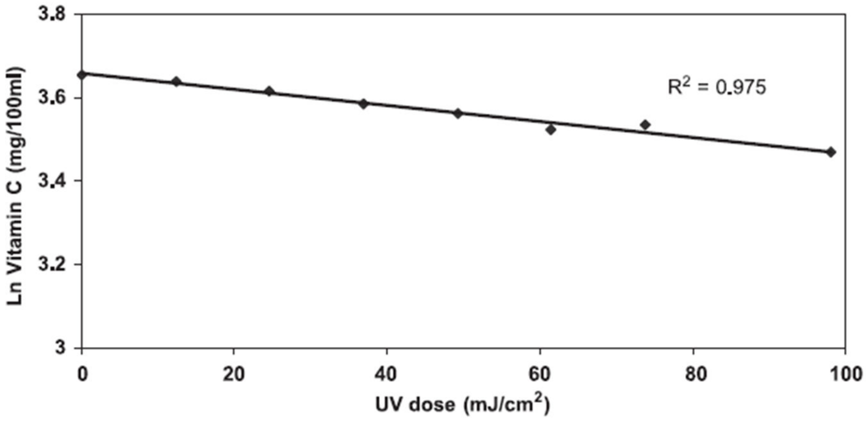
$$C = C_\circ e^{-0.0019\,X} \qquad (۳-۳)$$

C : مقدار ویتامین C ($\frac{mg}{1000\ ml}$) پس از تابش، $C_\circ$: مقدار ویتامین C قبل از تابش و X : شدت تابش (mj/cm^2). البته مقداری از کاهش ویتامین C را می‌توان به اکسیداسیون هوا نیز، نسبت داد. مقدار ویتامین C در روش حرارتی در مدت ۱۰ دقیقه، ۱۲ تا ۲۱٪ و در تابش UV با شدت mj/cm^2 ۷۳/۸

حدود ۱۲٪ کاهش می‌یابد. درصد تخریب بر واحد شدت UV (mj/cm^2) برای APC, YM و ویتامین C به‌ترتیب ۲/۰، ۲/۳۵ و ۰/۱۷۵٪ است [۱۹].



شکل ۳-۹ : تأثیر شدت UV بر کاهش APC, YM [۱۹].



شکل ۳-۱۰ : کاهش ویتامین C با افزایش شدت تابش UV [۱۹].

در شدت‌های بالای تابش UV، تنها ۱۷٪ از ویتامین C کاهش می‌یابد که مشابه استریلیزاسیون گرمایی است. انرژی مورد نیاز در ضدعفونی آب پرتقال با تابش UVC (۲۰ kwh/m^3) بسیار کمتر از انرژی لازم برای فرآوری حرارتی (۸۲ kwh/m^3) است. پس از تابش، رنگ و pH آبمیوه تغییر قابل

ملاحظه‌ای نداشت. آنزیم پکتین متیل استراز[1] موجود در آبمیوه کیفیت آن را کاهش می‌دهد. با استفاده از روش حرارتی در دمای ۷۰ °C و زمان ۲ s، فعالیت این آنزیم ۷۰٪ کاهش می‌یابد، در حالیکه تابش UV روی فعالیت این آنزیم تأثیری ندارد. نتایج این مقاله تأثیر بهینه تابش UVC را در کاهش YM, APC و افزایش طول عمر محصول نشان می‌دهد [۱۹].

۳-۸ مقایسه سه روش حرارتی، تابش فرابنفش و ترکیب آن‌ها در کاهش آلودگی شیر

سالم بودن فرآورده‌های لبنی در درجه اول به سلامت شیر مورد استفاده بستگی دارد. شیر سالم گاو بطور طبیعی حاوی $\frac{CFU}{ml}$ ۱۰۲-۱۰۳ باکتری می‌باشد، علاوه بر این تجهیزات جمع آوری شیر، ظروف مورد استفاده و محفظه های حمل و نقل نیز می‌توانند باعث آلوده شدن شیر شوند. شیر علاوه بر مستعد آلودگی بودن، خطر انتقال بیماری از حیوانات به انسان را نیز به همراه دارد و این اهمیت استفاده از روشی مناسب برای رفع آلودگی را دوچندان می‌نماید. پاستوریزاسیون حرارتی بطور مرسوم بمنظور کاهش پاتوژن های شیر استفاده می‌شود، منتها علاوه بر پاتوژن احتمال حذف مواد مغذی شیر نیز، وجود دارد [۳۳].

تابش UV با وجود عمق نفوذ پایین، قادر به حذف پاتوژن هایی است که در روش پاستوریزاسیون حرارتی از بین نمی روند. پارامترهای اصلی در تأثیرگذاری UV، شامل طول موج، شدت تابش اعمال شده و جذب شده، ویسکوزیته و میزان عبور نور UV از مایع می‌باشد. اگرچه تابش UV می‌تواند در کاهش میکروارگانیسم‌های شیر موثر باشد، البته تابش بیش از اندازه و اکسیداسیون ناشی از آن نیز، می‌تواند چالش دیگری را بوجود آورد، به همین علت ضروری است که در طراحی سیستم UV شدت تابش اعمال شده بهینه سازی شود. استفاده از تابش UV برای حذف آلودگی‌های شیر، می‌تواند به

[1] Pectin methylesterase

فرآورده‌های حاصل از آن نیز تعمیم یابد. در این مقاله استفاده از سیستم فلو توربولنت[1] UV بعنوان یک تکنولوژی مستقل یا ترکیب با پاستوریزاسیون حرارتی برای تولید پنیر در مقیاس صنعتی، در حال بررسی است [۳۳].

سیلیرز[2] و همکاران [۳۳]، تأثیر پاستوریزاسیون حرارتی (P)، تابش UV و ترکیب این دو روش (UVP) بر شیر مورد استفاده در تولید تجاری پنیر، همچنین، خواص ظاهری و بیوشیمیایی پنیر تولید شده از شیر پاستوریزه و تحت تابش را با یکدیگر مقایسه نمودند. در این بررسی، شیر پرچرب تحت ۳ تیمار[3] مختلف قرار گرفت، در تیمار اول، شیر با دمای ۷۳/۵ °C بمدت ۱۵ s حرارت داده شد، در تیمار دوم تحت تابشUV با شدت کل ۲۶/۱۲ J/l قرار گرفت و در تیمار سوم، شیر پس از تابش UV، بلافاصله با دمای ۷۳/۵ °C بمدت ۱۵ s حرارت داده شد. در تیمار دوم و سوم دمای اندازه‌گیری شده کمتر از ۶ °C بود. پس از هر تیمار نمونه‌ها تا دمای ۳۲ °C گرم شده و به ظروف پنیر هم‌دما با شیر، منتقل شدند. میانگین تعداد میکروب شیر، برحسب $\log\left(\frac{CFU}{ml}\right)$، قبل از تیمار در جدول ۳-۳ آورده شده است :

جدول ۳-۳ : میانگین تعداد میکروب شیر، قبل از تیمار [۳۳].

نوع میکروب	APC	کلی فرم	اسپور مزوفیلی هوازی (AMS)	اسپور مزوفیلی بی هوازی (ANMS)
میانگین تعداد میکروب شیر قبل از تیمار (برحسب log)	۵/۴۱	۱/۱۸	۰/۹۵	۱/۵۷

بعد از انجام ۳ تیمار ذکر شده نتایج به این صورت گزارش شد : تیمارهای شامل حرارت به طور میانگین ریبوفلاوین را ۲۱% و ویتامین B_{12} را ۳۱% کاهش دادند، در صورتیکه پس از تابش UV هیچ کاهشی مشاهده نشد. کلسترول یک چربی اشباع نشده است که تحت شرایطی امکان اکسید

[1] Turbulent flow
[2] Cilliers
[3] Treatment

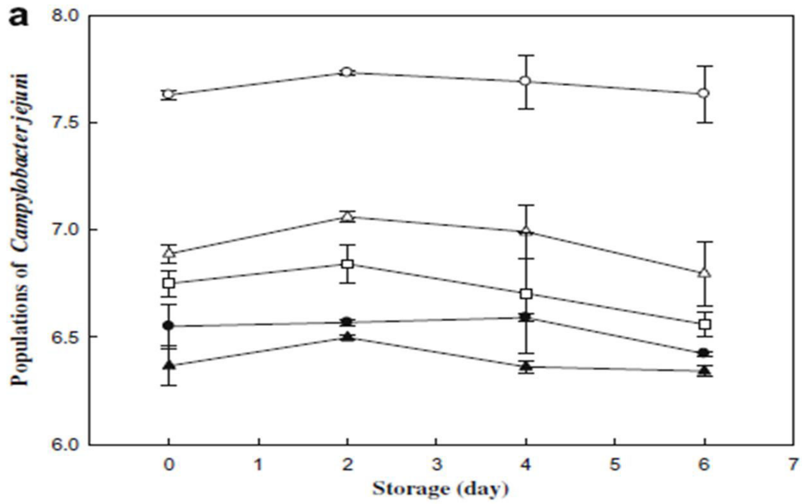
شدن دارد. کلسترول تحت تیمارهای UV و UVP در مقایسه با نمونه شاهد به‌ترتیب ۳۵/۸٪ و ۱۸/۳٪ کاهش یافت. تأثیر این ۳ تیمار بر اکثر اسیدهای چرب موجود در نمونه‌ها بررسی شد. از این نظر هیچ تفاوتی بین نمونه تیمارشده با نمونه شاهد وجود نداشت [۳۳].

نتایج نشان می‌دهد که بازده ضد میکروبی تابش UV برابر با بازده پاستوریزاسیون حرارتی است و ترکیب UV با P منجر به بیشترین کاهش log ۴/۳۱، شمار میکروارگانیسم‌های هوازی می‌شود. محدودیت‌های این تابش نیز، نظیر عمق نفوذ پایین در مایعاتی مانند شیر و تأثیر منفی روی ترکیبات ارگانیک در شدت‌های بالا، با طراحی جدید و بهینه راکتور برطرف شد. این روش مقرون‌به‌صرفه و در دسترس، علاوه بر تولید شیر سالم با طول عمر بالا و حذف مواد نگهدارنده، منجر به افزایش کیفیت محصولات ثانویه مانند پنیر می‌شود [۳۳].

۳-۹ تأثیر تابش UV در کاهش آلودگی مرغ خام

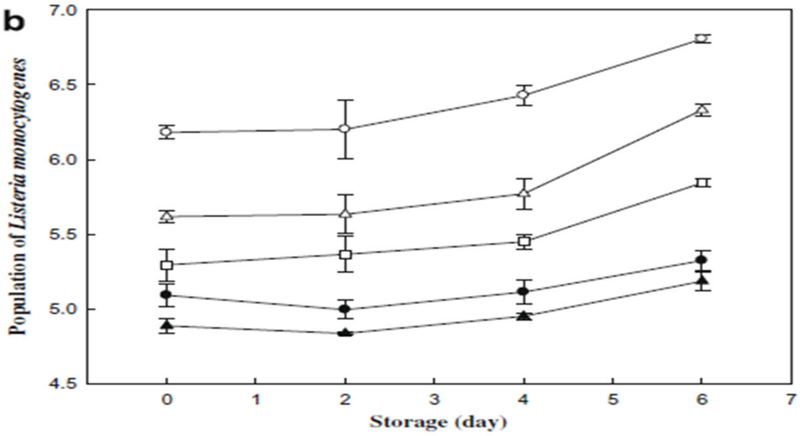
گوشت مرغ به علت ارزش غذایی و اثرات مفید آن بر سلامت انسان، در بسیاری از کشورها مصرف بالایی دارد. صرف نظر از امکان آلوده شدن مرغ در حین کشتار، پس از آن و در مراحل برش‌دادن و بسته‌بندی نیز، زمینه آلودگی وجود دارد. بعلت بروز بیماری‌های فراوان ناشی از مصرف مرغ آلوده و به منظور بهبود سلامت محصولات گوشتی از جمله مرغ، از روش‌های مختلفی مانند تابش گاما، پاستوریزاسیون آب گرم و فشار بخار، تابش مایکروویو و مواد شیمیایی استفاده شده است. این روش‌ها علاوه بر رفع آلودگی، ممکن است بافت و مواد مغذی مرغ را تحت تأثیر قراردهند و با بجاگذاشتن مواد شیمیایی، تأثیرات نامطلوبی بر سلامت انسان داشته باشند. در مقابل تابش UV، به علت هزینه پایین، نداشتن گرما و بجانذاشتن مواد شیمیایی، می‌تواند جایگزین مناسبی برای این روش‌ها باشد [۳۴].

چان[1] و همکاران [۳۴]، تأثیر تابش UV بر پاتوژن های مرغ وکیفیت آن در مدت ذخیره‌سازی را بررسی نمودند. در این بررسی، قطعات مرغ به‌میزان $log\frac{CFU}{g}$ ۶-۷ به میکروارگانیسم‌های کامپیلوباکتر ژژونی[2]، لیستریا منوستیوژنز و سالمونلا انتریکا سرووار تیفی موریوم[3] آلوده و سپس درون سیستم شامل ۶ لامپ UVC با شدت‌های ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ kj/m^2 تابش داده شدند. پس از تابش، نمونه‌ها با استفاده از ظروف پلی‌اتیلن بسته‌بندی و بمدت ۶ روز در دمای ۴±۱ $^{\circ}C$ نگهداری شدند. در شدت تابش ۵ kj/m^2 آلودگی اولیه تیفی موریوم، منوستیوژنز و ژژونی به‌ترتیب ۱/۱۹، ۱/۲۹ و ۱/۲۶ $log\frac{CFU}{g}$ کاهش یافت. pH نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های تحت تابش، افزایش بیشتری نشان داد. رنگ مرغ نیز، در اثر تابش تغییر چندانی نداشت. در اشکال ۳-۱۱ تا ۳-۱۲، برای پاتوژن های c, b, a نماد ○ : ۰ kj/m^2، Δ : ۰/۵ kj/m^2، □ : ۱ kj/m^2، ● : ۳ kj/m^2 و ▲ : ۵ kj/m^2 می‌باشد [۳۴].

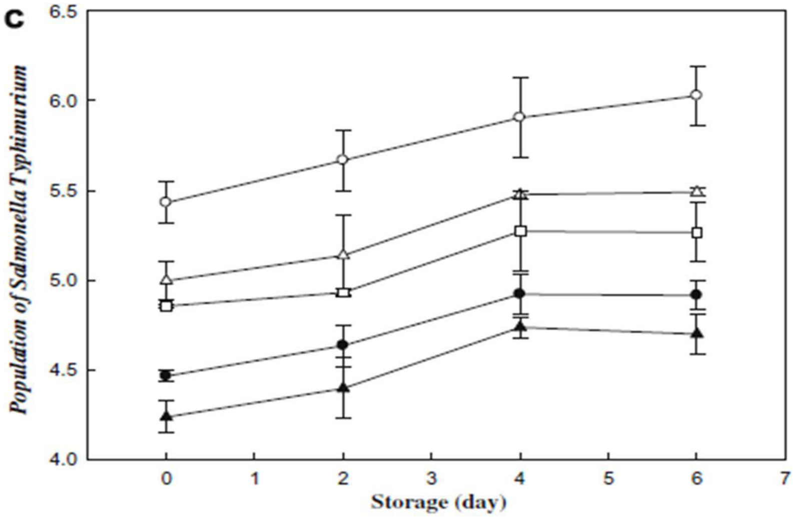


شکل ۳-۱۱ : تأثیر تابش UVC بر ژژونی [۳۴].

[1] Chun
[2] Campylobacter jejuni
[3] Salmonella enterica serovar Typhimurium



شکل ۳-۱۲ : تأثیر تابش UVC بر منوستیوژنز [۳۴].



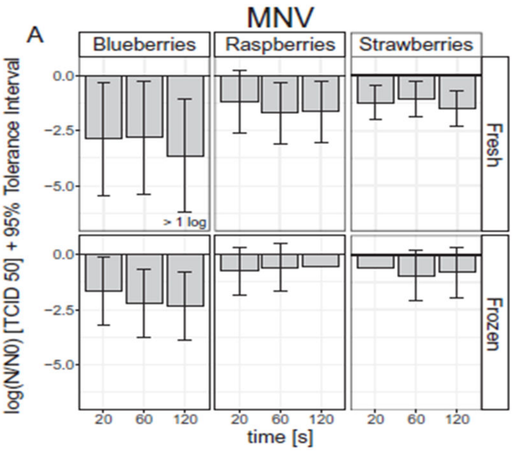
شکل ۳-۱۳ : تأثیر تابش UVC بر تیفی موریوم [۳۴].

تابش با گاما و پرتو الکترونی، تأثیرات نامطلوبی بر ظاهر، بافت و طعم گوشت مرغ دارد. در عوض تابش UVC علاوه بر کاهش پاتوژن‌های مرغ، موجب حفظ کیفیت در حین ذخیره‌سازی می‌شود. با توجه به نتایج حاصل و به دلیل ساده و کم‌هزینه بودن، استفاده از تابش UVC می‌تواند برای حذف آلودگی مرغ در مقیاس صنعتی استفاده شود [۳۴].

۳-۱۰ کاربرد تابش UVC در حذف آلودگی‌های انواع توت

بوتات[1] و همکاران [۳۵]، کاربرد تابش UVC را در حذف پاتوژن‌های تمشک، توت‌فرنگی و بلوبری بررسی نمودند. بیماری‌های مرتبط با انواع توت به دلیل وجود آلودگی‌هایی مانند ویروس هپاتیت آ (HAV)، نورو ویروس (MNV)، باکتری اشریشیا کلی و انگل سیکلوسپورا کایتانسیس[2] ایجاد می‌شود. بررسی شامل ۳ مرحله می‌باشد: ۱-ارزیابی سلامت شیمیایی توت‌های تابش شده ۲-بررسی خواص ظاهری محصول پس از تابش ۳-بررسی میزان کاهش میکروارگانیسم‌ها

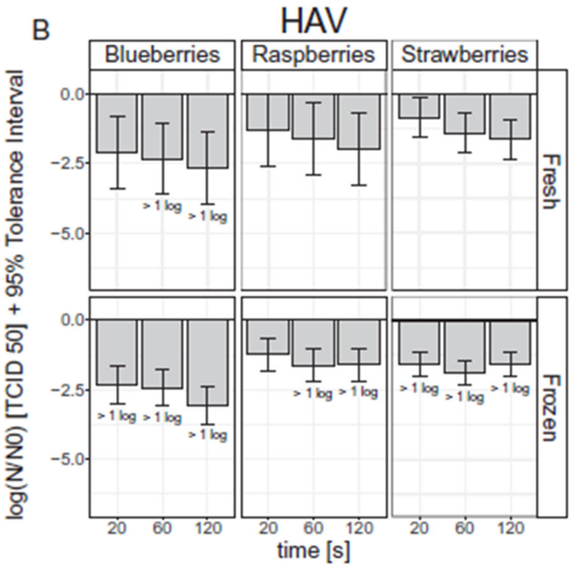
نتایج نشان داد، در صورتی که زمان تابش بیش از اندازه طولانی نباشد، هیچ تغییری در رنگ و طعم مشاهده نمی‌شود. تابش به مدت ۲۰ s با میانگین شدت $mj\ cm^{-2}$ ۲۱۲ ویروس هپاتیت آ را در ۹۵% موارد (بجز تمشک یخ زده) بیشتر از log_{10} ۱ کاهش داد، در حالیکه برای همین مقدار کاهش MNV در بلوبری، ۱۲۰ s زمان لازم است. میانگین کاهش HAV و MNV در بلوبری log_{10} ۲-۳ بیشتر از توت‌فرنگی و تمشک بود. برخلاف HAV، MNV در توت‌های تازه آسیب‌پذیرتر از توت‌های منجمد بود. مقدار سالمونلا، اشریشیاکلی (O157:H) و لیستریا منوستیوژنز در همه توت‌ها بیشتر از log_{10} ۱ کاهش نیافت [۳۵].



شکل ۳-۱۴ : کاهش MNV توت‌فرنگی، تمشک و بلوبری منجمد و تازه بر حسب زمان [۳۵].

---

[1] Butot
[2] Cyclospora caytanensis



شکل ۳-۱۵: کاهش HAV توت‌فرنگی، تمشک و بلوبری منجمد و تازه بر حسب زمان [۳۵].

این نتایج اثربخشی تابش UVC را در کاهش پاتوژن‌های ویروسی و باکتریایی نشان می‌دهد، با اینحال استفاده از آن به عنوان یک روش مستقل مناسب نیست [۳۵].

۳-۱۱ خواص ساختاری و اپتیکی لایه‌های نازک ZnO، سنتز شده به روش اسپاترینگ

ZnO از آن دسته از موادی است که، به علت گاف نواری[1] مستقیم و پهن در حدود ۳/۳۷ eV، پایداری شیمیایی و حرارتی بالا، کاربردهای فراوانی در مبدل‌های پیزوالکتریک، حسگرهای گازی و شیمیایی، دستگاه‌های امواج آکوستیک و گسیلنده‌های نور UV دارد. از جمله روش‌های مورد استفاده برای لایه نشانی ZnO، اسپاترینگ RF، اسپری پایرولیز، PVD و سل-ژل می‌باشند. از میان این روش‌ها، روش اسپاترینگ به علت قابلیت تکرارپذیری و تشکیل لایه با جهت‌گیری کاملا" مشخص، ارجحیت دارد. جهت دستیابی به خواص نانو ساختاری و اپتوالکترونیکی مطلوب، کنترل دقیق پارامترهایی نظیر، فشار

[1] Band gap

گاز اکسیژن و آرگون، زمان لایه نشانی، توان RF و دمای زیرلایه، امری ضروری است [۳۶].

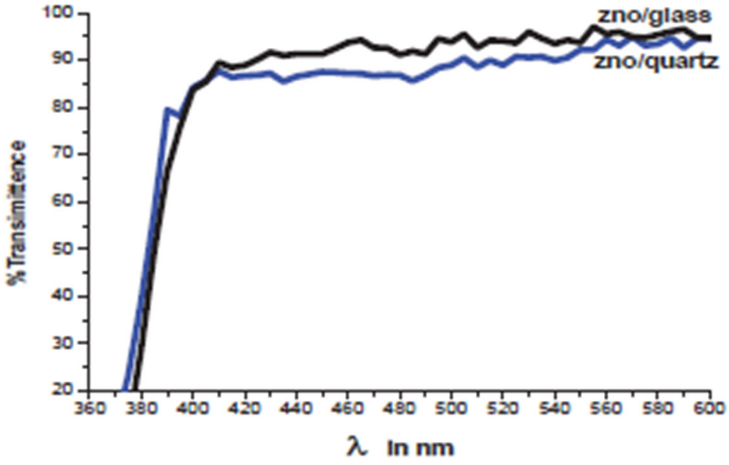
کومار[1] و همکاران [۳۶]، به بررسی اثر زیرلایه، روی خـواص اپتیکـی و سـاختاری لایـه‌هـای ZnO تولید شده با روش اسـپاترینگ مـی‌پـردازد. زیرلایـه‌هـای مـورد اسـتفاده از جـنس شیشـه، کـوارتز و سیلیکون، با استفاده از دستگاه اولتراسونیک تمیـز شـدند. لایـه نشـانی بـا اسـتفاده از هـدف ZnO بـا خلوص ۹۹% با بکارگیری پارامترهای ذکر شده در جدول ۳-۴ انجام شد:

جدول ۳-۴ : پارامترهای لایه نشانی ZnO به روش اسپاترینگ [۳۶].

ضخامت (nm)	توان اسپاترینگ (w)	دمای زیرلایه (°C)	فلوی گاز آرگون (SCCM)	فشار کاری (torr)	فشار اولیه(torr)	پارامتر لایه نشانی
100	50	دمای اتاق	80	1.2×10^{-2}	5×10^{-5}	مقدار پارامتر

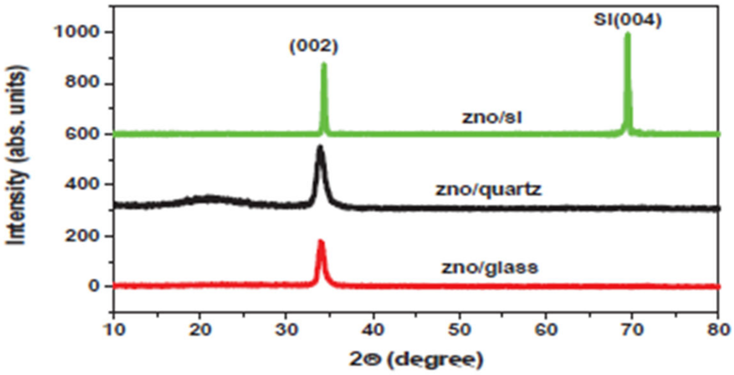
شکل ۳-۱۶ طیف عبور نمونه‌های ZnO را نشان می‌دهد. همه لایه‌ها، عبور بالایی در حدود ۹۰% در طول موج‌های ناحیه مرئی دارند. لبه جذب نزدیک nm ۳۸۰ است که در مورد زیرلایه کوارتز به سمت طول موج‌های پایین‌تر، جابجا می‌شود [۳۶].

[1] Anil kumar



شکل ۳-۱۶ : طیف عبور نمونه‌های ZnO روی زیرلایه کوارتز و شیشه [۳۶].

شکل ۳-۱۷ طیف XRD نمونه‌های ZnO بر روی زیرلایه‌های کوارتز، شیشه و سیلیکون را نشان می‌دهد. پیک پراش (۰۰۲)، نشان‌دهنده جهت‌گیری بر محور C و عمود بر زیرلایه است. زاویه پیک پراش لایه‌ها، روی زیرلایه‌های شیشه، کوارتز و سیلیکون، به‌ترتیب، ۳۴/۰۱، ۳۴/۱۷ و ۳۴/۳۱ درجه می‌باشد که در مقایسه با موقعیت پیک (۰۰۲) پودر ZnO (۳۴/°۴۲)، کاهش می‌یابد و نشان‌دهنده تنش زیاد، در مرز لایه‌های ZnO می‌باشد. لایه نشانی در دمای پایین، می‌تواند علت این تنش فشرده و زیاد باشد. در فرایند اسپاترینگ، ذرات پرانرژی نیز، با رفتن به زیر سطح ZnO و ایجاد نقص، می‌توانند منجر به تنش شوند [۳۶].



شکل ۳-۱۷ : طیف XRD نمونه‌های ZnO بر روی زیرلایه شیشه، کوارتز و سیلیکون [۳۶].

فصل چهارم:

انجام کارهای آزمایشگاهی و بررسی تأثیر تابش UVC بر برخی مواد غذایی

مقدمه

در این فصل، پس از توضیح نحوه ساخت سیستم UVS.510[1]، تأثیر تابش UVC بر ماده غذایی کرمفیل و آب انار، با استفاده از این سیستم و لایه نشانی با هدف ساخت فیلتر UV، به روش اسپاترینگ بررسی می‌شود.

۴-۱ ساخت سسیتم تابش UVC مورد نیاز

شکل ۴-۱ : سیستم ضدعفونی UVC

طراحی و ساخت سیستم UVS.510 با هدف انجام آزمایشات فوق و متشکل از اجزاء ذیل، توسط تیم تحقیق و توسعه شرکت نانوشات، صورت گرفت. این سیستم متشکل از محفظه‌ای فلزی جهت حفاظت از کاربر در مقابل تابش پرتو فرابنفش، ۵ لامپ UVC به طول cm ۴۴ و توان w ۱۳، منبع تغذیه و

[1] UV Sterilizer 510

تایمر برای کنترل زمان تابش می‌باشد. شدت تابش در این سیستم متغیر است و امکان انتخاب ۵ حالت مختلف توسط سه کلید تعبیه شده در سیستم برای کاربر وجود دارد.

جهت یکنواختی تابش، لامپ‌ها بطور متقارن در سقف محفظه نصب شدند. کلید اول مربوط به لامپ وسط، کلید دوم مربوط به دو لامپ اطراف لامپ وسط و در نهایت کلید سوم به دو لامپ باقی مانده متصل شد. با این شیوه طراحی، شدت تابش از ۱ تا ۵ لامپ قابل تنظیم است. همچنین برای جلوگیری از آسیب کاربر، به هنگام باز شدن اتفاقی درب محفظه، میکروسوئیچ تعبیه شده روی درب سیستم، بطور اتوماتیک جریان را قطع می‌کند.

فضای داخلی محفظه برای جلوگیری از انعکاس نور، به رنگ مشکی پوشش داده شد. برای کم‌کردن فاصله لامپ تا نمونه تحت تابش و تغییر ارتفاع نمونه از کف محفظه، می‌توان از جک‌های آزمایشگاهی استفاده نمود. ابعاد محفظه : ۵۵ cm × ۴۰ cm × ۴۰ cm (ارتفاع محفظه با احتساب پایه : ۴۷/۵ cm) و ارتفاع لامپ از کف محفظه، ۲۵ cm می‌باشد.

۲-۴ تأثیر تابش بر کرمفیل و نتایج حاصل از آن

کرمفیل ماده غذایی است که به عنوان پرکننده در کیک‌ها استفاده می‌شود و به دلیل حساس بودن ترکیبات آن به آلودگی، باید بلافاصله بعد از تولید، تحت خلأ[1] قرارگیرد، ولی علی رغم پیش‌بینی‌ها و ملاحظات بهداشتی در خط تولید، متاسفانه میزان آلودگی در محصول نهایی و بسته‌بندی شده قابل ملاحظه است و جهت پیشگیری از بکاربردن مواد نگهدارنده شیمیایی که عوارض جانبی نامطلوبی دارد، توصیه این پروژه به تولیدکننده محصول فوق، استفاده از سیستم تابش فرابنفش با شدت و زمان تابش قابل کنترل در مسیر تولید تا بسته بندی و حمل محصول و نیز سیستم تابش دیگری برای

[1] vacuum

تجهیزات و ظروف بسته بندی بود. نتایج تست‌های انجام شده برای کرمفیل بسیار امیدوارکننده و مثبت بود که شرح آن در ذیل آمده است.

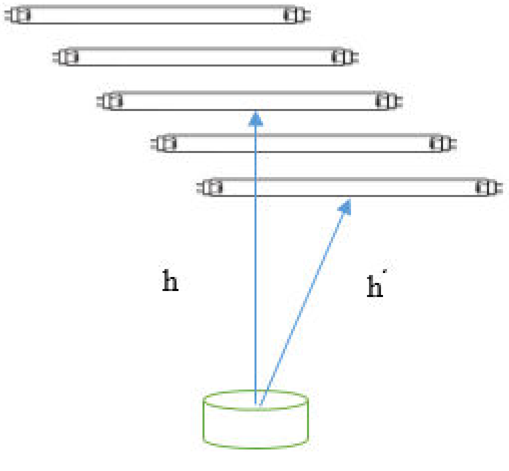
برای بررسی تأثیر تابش UVC بر روی کپک کرمفیل ۵ ظرف یکسان انتخاب و شماره گذاری شد. هر ظرف حاوی g ۱۱۰ کرمفیل دارای کپک و ارتفاع نمونه در ظرف، cm ۳ بود. علاوه بر این‌ها یک ظرف نیز به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد که تابش داده نشد. در کرمفیل، از رنگ طبیعی استفاده شده و بعد از قرارگرفتن در مقابل نور، تغییر رنگ به سفید، اتفاق می‌افتد، به همین دلیل و بمنظور تست پرش رنگ، قبل از انجام آزمایش رنگ کرمفیل، مشاهده و ثبت گردید.

با توجه به نتایج حاصل از تست‌های مختلف و شرایط مطلوب برای رسیدن به نتایج مناسب، شدت حداکثر سیستم را انتخاب و برای رسیدن به شدت یکنواخت، هر ۵ لامپ دستگاه بمدت ۱۰ دقیقه قبل از شروع تست، روشن شد و زمان تابش‌دهی بطور ثابت ۴۰ ثانیه در نظر گرفته شد.

در مرحله اول آزمایش، پارامتر متغیر، شدت تابش در نظر گرفته شد. ظرف شماره ۱ در دستگاه قرار داده شد و بعد از تنظیم زمان روی s ۴۰ سیستم با ۱ لامپ روشن شروع به کار کرد. ظرف شماره ۲ با دو لامپ روشن و به همین ترتیب، متناظر با شماره ظرف تعداد لامپ روشن تغییر کرد. آلودگی اولیه در این مرحله از آزمایش، $۱۰^{۶}$ کپک بر cm^2 بود.

شکل ۴-۲ : ظروف حاوی کرمفیل قبل از تابش

برای تست پرش رنگ، علاوه بر این ظرف‌ها، یک ظرف با شدت ۵ لامپ و بمدت ۲ دقیقه، تحت تابش قرار گرفت. آنالیزها نشان داد که در نمونه‌های تابش داده شده با ۱، ۲، ۳ و ۴ لامپ، بترتیب $۱۰^{۵}$، $۱۰^{۵}$-$۱۰^{۴}$، $۱۰^{۴}$-$۱۰^{۳}$، $۱۰^{۲}$ و در تابش با ۵ لامپ، کمتر از $۵×۱۰^{۱}$ بر cm^2 کپک باقی ماند.



شکل ۴-۳ : نمای شماتیک لامپ‌های UVC و نمونه تحت تابش

شدت تابش محاسبه شده در سطح نمونه، به صورت زیر است :

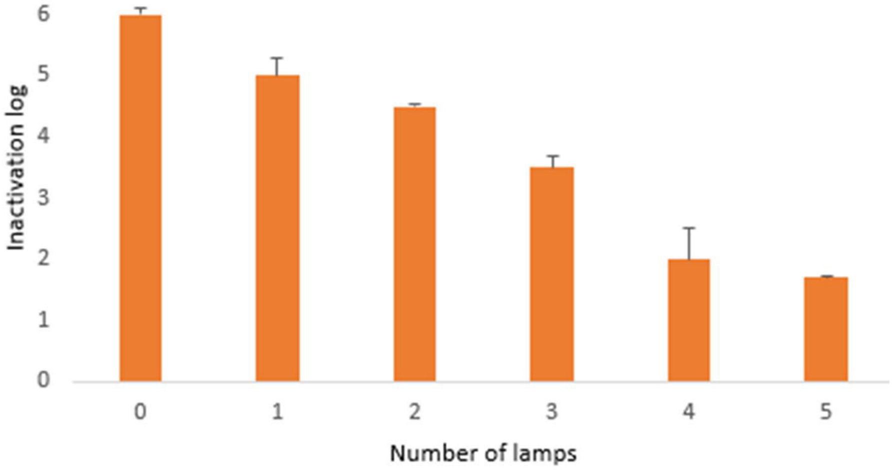
$$\int_{-l/2}^{l/2} \frac{P\,dl}{\pi h^2 l} A \cos\theta = \int_{-l/2}^{l/2} \frac{P\,dl}{\pi h^2 l} \pi r^2 \frac{h}{h'} = \frac{Pr^2}{hh'} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dl}{l} = \frac{Pr^2}{hh'} \ln(l) \qquad (۱-۴)$$

در معادله بالا، A : سطح مقطع نمونه، ، l : طول لامپ، P : توان تابشی لامپ، h : فاصله عمودی سطح نمونه از لامپ، h' : فاصله سطح نمونه از لامپ و θ : زاویه بین h' و h، در نظر گرفته شد.

جدول ۴-۱، کاهش آلودگی اولیه کرمفیل از مقدار $۱۰^{۶}$ کپک بر cm^2 را در اثر تابش ۱ تا ۵ لامپ UVC نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱ : میزان کاهش آلودگی اولیه کرمفیل تحت تأثیر شدت‌های مختلف **UV**

آلودگی باقی مانده $(\frac{کپک}{cm^2})$	شدت تابش $(\frac{j}{cm^2})$	تعداد لامپ روشن	شماره نمونه
$۱۰^{۵}$	۱۰۱/۶	۱	۱
$۱۰^{۴}$-$۱۰^{۵}$	۱۹۴/۴	۲	۲
$۱۰^{۳}$-$۱۰^{۴}$	۲۹۶/۰۹	۳	۳
$۱۰^{۲}$	۳۷۳/۳	۴	۴
کمتر از $۵×۱۰^{۱}$	۴۷۵	۵	۵



شکل ۴-۴ : نمودار تغییرات لگاریتم تعداد کپک‌ها در سانتی متر مربع از سطح کرمفیل بر حسب تعداد لامپ‌های سیستم تابشی

در مرحله بعد، میزان آلودگی اولیه در حدود $۱۰^{۸}$-$۱۰^{۷}$ کپک بر cm^2 بود. مشابه مرحله قبل ۵ ظرف شماره‌گذاری شده حاوی g ۱۱۰ کرمفیل دارای کپک به مدت s ۴۰ تحت تابش قرارگرفتند، با این تفاوت که شدت برای هر ۵ ظرف بصورت ماکزیمم با ۵ لامپ روشن در نظر گرفته شد و برای بررسی تأثیر فاصله لامپ از نمونه، ظرف‌ها در ارتفاع‌های مختلفی قرار داده شدند.

ظرف‌های شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴، بترتیب در ارتفاع‌های ۵/۵، ۱۰/۵، ۱۲ و cm ۱۳/۵ قرارگرفتند. فاصله لامپ از نمونه برای این ظرف‌ها بترتیب مقادیر ۱۶/۵، ۱۱/۵، ۱۰ و cm ۸/۵ اندازه‌گیری شد. در همه نمونه‌ها، درب ظرف‌ها بعد از تابش بسته شد. برای بررسی زمان ماندگاری، دو ظرف نمونه یکی بدون تابش و دیگری با فاصله cm ۱۰ از ۵ لامپ بمدت ۴۰ ثانیه تابش داده شد، در این آزمایش، در ظرف‌ها باز گذاشته شد.

جدول ۴-۲ : شدت تابش در فاصله‌های مختلف از لامپ

شدت تابش / فاصله لامپ از سطح نمونه	P_1 (h_1=۱۶/۵ cm) $(\frac{j}{cm^2})$	P_2 (h_2 =۱۱/۵ cm) $(\frac{j}{cm^2})$	P_3 (h_3 =۱۰ cm) $(\frac{j}{cm^2})$	P_4 (h_4 = ۸/۵ cm) $(\frac{j}{cm^2})$
$h_1^{'}$	۱۸۰/۷	۳۷۱/۹۸	۴۹۱/۹۴	۶۸۰/۹
$h_2^{'}$	۱۷۰/۴	۳۴۲/۲۲	۴۴۷/۲۲	۵۵۱/۲
$h_3^{'}$	۱۷۰/۴	۳۴۲/۲۲	۴۴۷/۲۲	۵۵۱/۲
$h_4^{'}$	۱۴۹/۰۷	۲۶۷/۳۶	۳۲۷/۹۶	۴۲۸/۷
$h_5^{'}$	۱۴۹/۰۷	۲۶۷/۳۶	۳۲۷/۹۶	۴۲۸/۷
Σ P	۸۱۹/۶	۱۵۹۱/۱۴	۲۰۴۲/۳۱	۲۶۴۰/۷

در مرحله دوم با وجود افزایش چند برابری آلودگی، برای ظرف نمونه با فاصله ۱۰ cm، بهترین نتیجه حاصل شد و تنها 10^{1} کپک باقی مانده بود. در نمونه بدون تابش، بعد از ۱۰ روز، به‌میزان 10^{3} کپک مشاهده شد، در صورتیکه نمونه تابش داده شده کپک نزد.

این آزمایش، تأثیر بسیار مهمی از تابش را به اثبات رساند و نشان داد که راه حل مناسبی برای جایگزینی مواد نگهدارنده شیمیایی وجود دارد که به‌مراتب، برای مصرف‌کنندگان مواد غذایی، ایمن‌تر و کم‌زیان‌تر است.

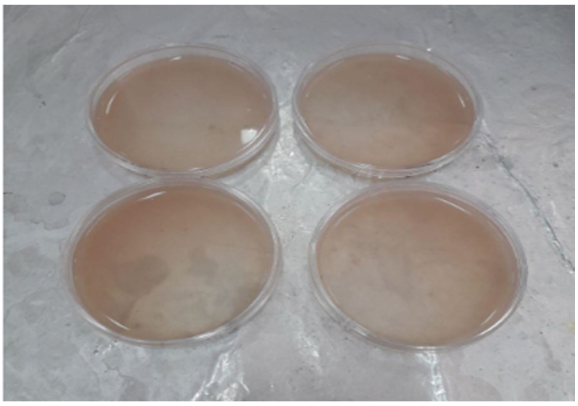
ارتفاع بهینه، بمنظور ایجاد تابش موثرتر تنظیم شد. بنا به زاویه تابش لامپ، هر چه تابش عمودی‌تر بتابد موثرتر است و هرچه ارتفاع کمتر شود نقش لامپ مرکزی زیادتر شده و تابش رسیده از لامپ‌های دیگر به شدت کم می‌شود. این تغییر ارتفاع در یک موقعیت به حالت بهینه خود می‌رسد و به معنی توان بیشینه نمی‌باشد. در فواصل کمتر و بیشتر از ارتفاع بهینه (در اینجا ۱۰ cm) ممکن است توان بالاتر تأثیر کمتری داشته باشد.

۴-۳ تأثیر تابش UVC بر آب انار

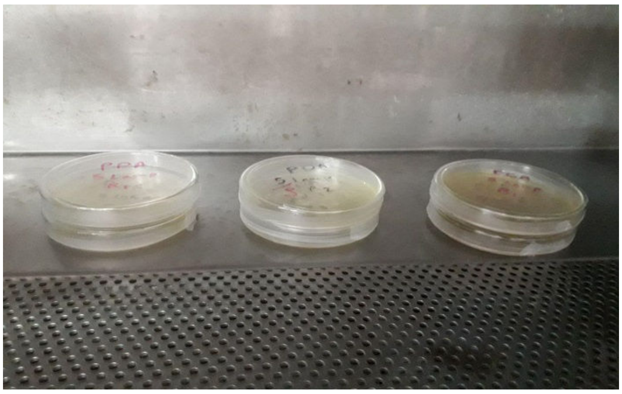
در این بخش تأثیر تابش با ۳ و ۵ لامپ UVC، در مدت ۳۰ s، بر کاهش میکروارگانیسم‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقدار آنتوسیانین آب انار، بررسی می‌شود.

۴-۳-۱ تأثیر تابش UVC در کاهش میکروارگانیسم‌ها

برای بررسی اثر تابش، بر کاهش بار میکروبی، نمونه‌های آب انار آلوده به باکتری، تحت تابش قرار گرفته و پس از انجام کشت باکتری و قرار دادن در اتوکلاو، بمدت ۲۴-۴۸ ساعت، نتایج آزمایش به شرح ذیل اعلام شد :



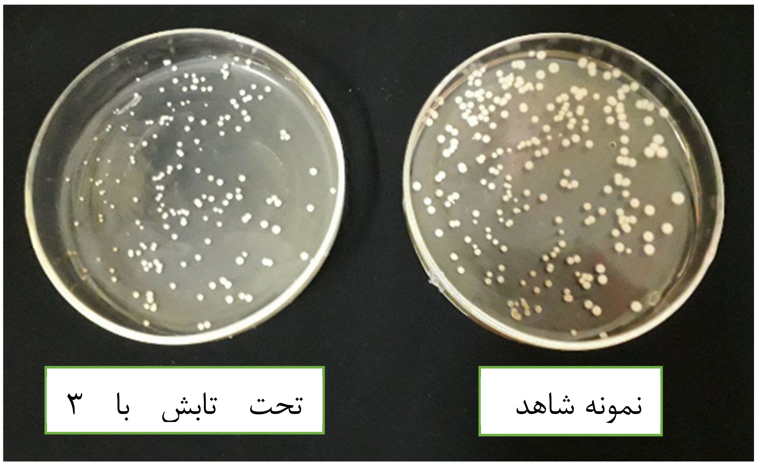
شکل ۴-۵ : نمونه‌های آب انار قبل از تابش



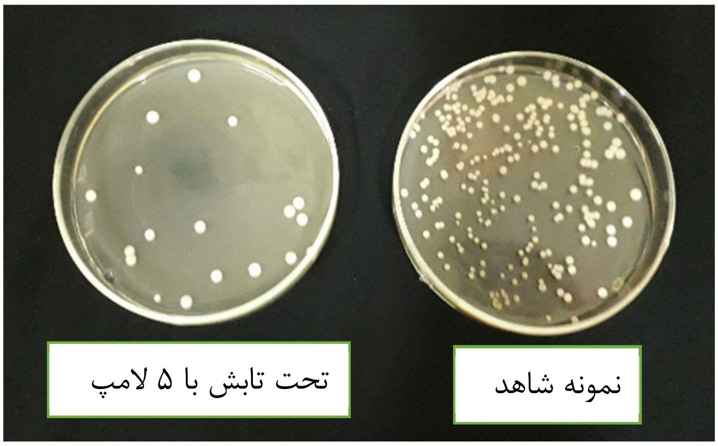
شکل ۴-۶ : کشت میکروبی نمونه‌های تابش دیده

جدول ۴-۳ : تعداد باکتری باقی مانده برای نمونه‌های شاهد و تحت تابش

تابش با ۵ لامپ	تابش با ۳ لامپ	نمونه شاهد	شرایط نمونه
۱۸	۱۹۲	۲۶۲	تعداد باکتری باقی مانده



شکل ۴-۷ : تعداد باکتری نمونه شاهد و تحت تابش با ۳ لامپ



شکل ۴-۸ : تعداد باکتری نمونه شاهد و تحت تابش با ۵ لامپ

ملاحظه شد که با افزایش شدت تابش، تعداد باکتری بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت، در شدت تابش پایین‌تر نیز، تعداد باکتری شمارش شده، بسیار کمتر از نمونه شاهد بود. نتیجه این آزمایش نشان داد که استفاده از امواج فرابنفش روش مؤثری در نگهداری و حفظ کیفیت این محصول و

بسیاری از مواد غذایی و آب میوه‌ها است.

۴-۳-۲ تأثیر تابش UVC بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی

تست فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش طیف‌سنجی، بر اساس اختلاف pH انجام شد [۳۷]. در این روش دو سیستم بافری پتاسیم کلرید (۰/۰۲۵ مولار) با pH=1 و بافر سدیم استات (۰/۴ مولار) با pHبرابر با ۴/۵ تهیه شد.

برای تهیه محلول ۲۵۰ cc از این بافرها، ۰/۴۶۵ g از پودر پتاسیم کلرید و ۳۲/۸۱۲ g از پودر سدیم را در ۲۵۰ cc آب مقطر حل نموده و با استفاده از هیتر و مگنت محلول یکنواختی تشکیل شد. پس از همگن شدن، pH محلول نیز، با استفاده از دستگاه pH متر و افزودن هیدروکلریک اسید به‌ترتیب روی عدد ۱ و ۴/۵ تنظیم شد.

شکل ۴-۹ : بافر پتاسیم کلرید(۰/۰۲۵ مولار) و سدیم استات(۰/۴ مولار)

سه نمونه انار برای داشتن ۳ تکرار در آزمایش انتخاب و g ۳۰ دانه از هر انار وزن و آبگیری شد. یک‌سوم ازعصاره هرانار را برای نمونه شاهد، تابش با ۵ لامپ و ۳ لامپ در نظر گرفته و در نهایت برای داشتن سه تکرار، ۹ نمونه حاصل شد. عصاره هر انار را به سه فالکون منتقل و ۹ فالکون حاصل را به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰، سانتریفیوژ نموده، سپس از عصاره شفاف حاصل، برای تابش‌دهی برداشته شد. ml ۳/۶ از هر کدام از بافرها را با µl ۴۰۰ از عصاره مخلوط و جذب هر یک توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، در دو طول موج ۵۱۰ و nm ۷۰۰ قرائت شد. به اینصورت که محلول عصاره و بافر در یک کووت و نمونه شاهد (برای دستگاه) حاوی ml ۳/۶ از همان بافر و µl ۴۰۰ آب در کووت دیگر قرار داده و قرائت میزان جذب، برای هر ۳ بار تکرار نمونه شاهد و نمونه‌های تحت تابش انجام شد. غلظت رنگدانه آنتوسیانین طبق فرمول زیر برحسب mg/l، معادل سیانیدین ۳-گلوکوزید بیان می‌شود :

$$\text{غلظت رنگدانه آنتوسیانین} = A \times MW \times DF \times 1000/(\varepsilon \times l) \quad (۴-۲)$$

در رابطه (۲-۴)، A میزان جذب نمونه، MW وزن مولکولی سیانیدین (g ۴۴۵/۲)، DF فاکتور رقت (حجم اولیه به حجم نهایی رقیق شده = ۰/۱)، ε ضریب مولی سیانیدین (۲۶۹۰۰)، l عرض سلول و برابر با cm ۱ است. میزان جذب A، از رابطه ذیل بدست می آید :

$$A = (A_{510} - A_{700})\, pH_1 - (A_{510} - A_{700})\, pH_{4.5} \quad (۴-۳)$$

در رابطه (۳-۴)، A_{510} و A_{700} به‌ترتیب، میزان جذب در طول موج ۵۱۰ و nm ۷۰۰ و pH_1 و $pH_{4.5}$ به‌ترتیب، نشان دهنده بافر پتاسیم کلرید و سدیم استات می‌باشد. از عبارت اول و دوم، اختلاف جذب در دو طول موج ذکر شده برای بافر پتاسیم کلرید و سدیم استات، بدست می‌آید.

در انجام محاسبات، نمونه شاهد، تحت تابش با ۵ لامپ و تحت تابش با ۳ لامپ را، به‌ترتیب T_1، T_2 و T_3 و A_P و A_S را به‌ترتیب مقدار جذب نمونه شامل بافر پتاسیم کلرید و بافر پتاسیم سدیم

استات، در نظر گرفته شد.

جدول ۴-۴ : جذب نمونه شاهد در طول موج‌های ۵۱۰ و nm ۷۰۰

A_S در ۷۰۰nm	A_S در ۵۱۰nm	A_P در nm ۷۰۰	A_P در۵۱۰nm	تکرار نمونه(T_1)
۰/۰۲۶	۰/۰۶۷	۰/۰۱۷	۰/۲۷۲	۱
۰/۰۲۹	۰/۰۷۱	۰/۰۱۲	۰/۲۲۲	۲
۰/۰۲۰	۰/۰۵۱	۰/۰۰۹	۰/۱۹۲	۳

جدول ۴-۵ : جذب نمونه تحت تابش با ۵ لامپ در طول موج‌های ۵۱۰ وnm ۷۰۰

A_S در ۷۰۰nm	A_S در ۵۱۰nm	A_P در nm ۷۰۰	A_Pدر۵۱۰nm	تکرار نمونه(T_2)
۰/۰۱۷	۰/۰۴۳	۰/۰۲۳	۰/۲۲۳	۱
۰/۰۲۸	۰/۰۷۰	۰/۰۲۰	۰/۳۱۰	۲
۰/۰۱۴	۰/۰۳۶	۰/۰۱۶	۰/۲۱۳	۳

جدول ۴-۶ : جذب نمونه تحت تابش با ۳ لامپ در طول موج‌های ۵۱۰ وnm ۷۰۰

A_S در ۷۰۰nm	A_S در ۵۱۰nm	A_P در nm ۷۰۰	A_Pدر۵۱۰nm	تکرار نمونه(T_3)
۰/۰۳۰	۰/۰۷۶	۰/۰۱۶	۰/۲۹۸	۱
۰/۰۱۴	۰/۰۴۰	۰/۰۱۲	۰/۲۴۵	۲
۰/۰۱۳	۰/۰۳۷	۰/۰۱۰	۰/۲۰۳	۳

جدول ۴-۷ : میزان جذب کل برای نمونه‌های شاهد و تحت تابش

T_3	T_2	T_1	تکرار نمونه
۰/۲۳۶	۰/۱۷۴	۰/۲۱۴	۱
۰/۲۰۷	۰/۲۴۸	۰/۱۶۸	۲
۰/۱۶۹	۰/۱۷۵	۰/۱۵۲	۳

جدول ۴-۸ مقدار آنتوسیانین کل برای نمونه‌های شاهد و تحت تابش

آنتوسیانین (mg/l)	نمونه	تکرار
۸۸/۵	T_1	۱
۷۱/۹	T_2	۱
۹۷/۶	T_3	۱
۶۹/۵	T_1	۲
۱۰۲/۶	T_2	۲
۸۵/۶	T_3	۲
۶۲/۸	T_1	۳
۷۲/۴	T_2	۳
۶۹/۹	T_3	۳

جدول ۴-۹ آنالیز داده های مربوط به آنتوسیانین، با استفاده از نرم افزار spss را نشان می‌دهد. سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵، عدم اختلاف معنی‌دار بین داده‌های قبل و بعد از اعمال تابش را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۹ : تجزیه واریانس اثرات پرتوتابی بر مقدار آنتوسیانین

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	سطح معناداری
درون گروهی	۱	۵۷۷۸۸/۰۴	۰
تیمار	۲	۹۷/۷	۰/۶
خطا	۶	۲۲۶/۳	

بدست آمدن عدد ۰/۶ برای سطح معناداری، نشان دهنده این است که اختلاف مقدار آنتوسیانین قبل و بعد از تابش معنی دار نیست و تابش UVC، اثر مخربی روی آنتوسیانین نداشته است.

۴-۳-۳ تأثیر تابش UVC بر ویتامین C

تست ویتامین C با روش مالیک[1] و سینگ[2] انجام شد [۳۸]. به اینصورت که ابتدا انار را به روش زیر هموژنیزه شد :

g ۶ متافسفریک اسید در cc ۱۰۰ آب مقطر حل نموده به cc ۱۰۰ محلول شامل g ۱۸ EDTA اضافه می‌گردد. g ۳ دانه انار و cc ۱۰ از محلول حاصل، در هاون با هم مخلوط شده و در فالکون قرار گرفت. برای هر انار سه بار این مراحل را تکرار و درنهایت ۹ فالکون، بمدت ۱۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ شد و عصاره شفاف برای انجام تست های بعدی برداشته شد.

سه ظرف، شامل ۳ نمونه آب انار در مدت ثابت s ۳۰ با ۳ لامپ و ۵ لامپ تحت تابش قرار گرفت. برای قرائت جذب نمونه در طول موج nm ۷۶۰، µl ۴۰۰ از عصاره را با µl ۲۰۰ متافسفریک اسید ۳%، µl ۲۰۰ معرف فولین (v/v ۵ : ۱) و µl ۱۲۰۰ آب مقطر مخلوط و پس از ۱۰ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ذکر شده قرائت شد. برای تهیه محلول شاهد، از همین ترکیبات استفاده و آب مقطر جایگزین آب انار شد و مقدار ویتامین C از رابطه زیر محاسبه گردید :

$$Y=0.999\,X + 0.49$$

که در آن Y میزان جذب قرائت شده و X غلظت ویتامین C بر حسب mg/100 ml می‌باشد.

[1] Malik
[2] Singh

جدول ۴-۱۰ : غلظت ویتامین **C** در نمونه شاهد و نمونه‌های تحت تابش

X(غلظت ویتامین c بر حسب mg/100 ml)	Y(میزان جذب در ۷۶۰ nm)	نمونه	تکرار
۷۱/۷۵۹	۰/۲۸۹	T_1	۱
۷۲/۰۰۹	۰/۲۹	T_2	۱
۷۷/۲۵۹	۰/۳۱۱	T_3	۱
۷۹/۵۰۹	۰/۳۲	T_1	۲
۶۶/۰۰۹	۰/۲۶۶	T_2	۲
۷۳/۲۵۹	۰/۲۹۵	T_3	۲
۵۵/۵۰۹	۰/۲۲۴	T_1	۳
۴۶/۲۵۹	۰/۱۸۷	T_2	۳
۷۱/۲۵۹	۰/۲۸۷	T_3	۳

در مورد ویتامین C نیز، آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار spss، انجام شد. جدول ۴-۱۱ نتایج این آنالیز را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۱ : تجزیه واریانس اثرات پرتوتابی بر مقدار ویتامین **C**

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	سطح معناداری
درون گروهی	۱	۴۱۷۲۹/۷	۰
تیمار	۲	۱۱۸/۷	۰/۴۰۸
خطا	۶	۱۱۳/۶	

سطح معناداری ۰/۴ برای ویتامین C، نشان می‌دهد که اختلاف مقدار این ویتامین، قبل و بعد از تابش معنی‌دار نیست و تابش UVC، اثر مخربی روی ویتامین C نداشته است.

نتایج این آزمایش، اثر مثبت تابش UVC را در کاهش باکتری و حفظ مواد مغذی نشان می‌دهد.

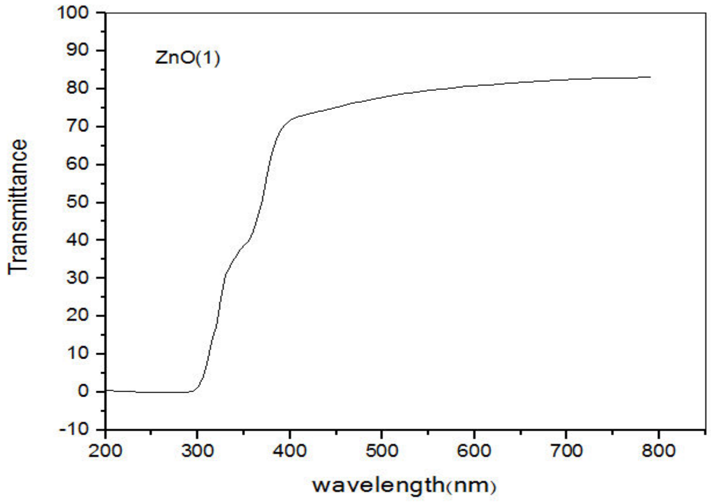
۴-۴ تهیه فیلترهای اپتیکی

به منظور حذف برخی از طول موج‌های ناحیه UVC که برای سلول هدف مضر هستند، می‌توان از فیلترهایی در این ناحیه استفاده نمود تا علاوه بر حذف میکروارگانیسم‌ها توسط تابش، به سلول سالم یا مواد مغذی آسیبی وارد نشود.

برای تهیه این فیلترها می‌توان از روش‌های لایه نشانی فیزیکی و شیمیایی بهره گرفت. اسپاترینگ یکی از روش‌های مناسب و متداول برای لایه نشانی، به منظور ساخت فیلترهای اپتیکی است. در ساخت فیلتر مورد نظر به روش اسپاترینگ، از هدف ZnO و زیرلایه شیشه استفاده شد و طیف جذب و عبور نمونه‌ها با دستگاه طیف نگار مدل (UV-Vis,1800)Shimadzo اندازه‌گیری شد.

در ادامه چند نمونه از لایه‌های ساخته شده به روش اسپاترینگ و نتایج آن‌ها را بررسی می نماییم:

پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل، P_i : فشار اولیه، P_w : فشار کاری، جریان گاز ورودی، بر حسب sccm، Power : توان دستگاه، d : ضخامت لایه و t : زمان لایه نشانی می‌باشد. جریان گاز آرگون، برای این ۵ نمونه، ۱۰ sccm در نظر گرفته شد.



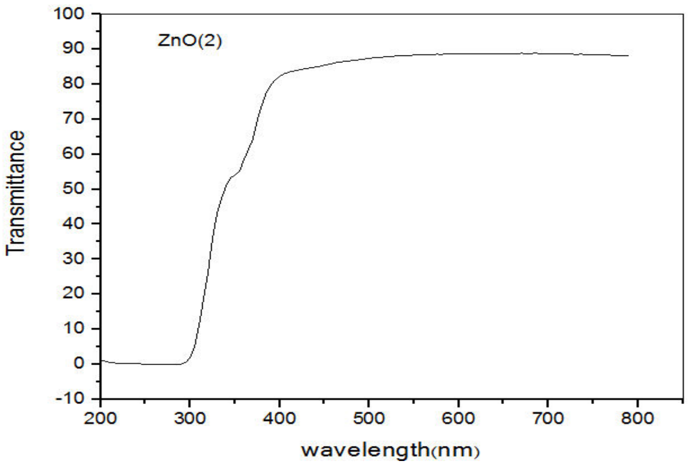
$P_{i} = 5\times 10^{-5}$ torr

P_{w}=4.7×10^{-3} torr

Power=70 w

t=1200 s

شکل ۱۰-۴ : لایه نشانی zno نمونه شماره ۱



$P_{i} = 2\times 10^{-5}$ torr

P_{w}= 4.5×10^{-3} torr

Power=70 w

t = 840 s

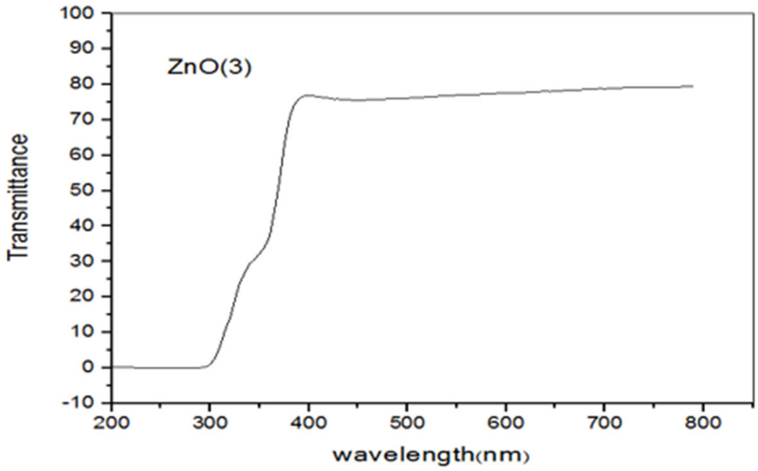
شکل ۱۱-۴: لایه نشانی zno نمونه شماره ۲

$P_i = 5\times 10^{-5}$ torr

$P_w = 4.5\times 10^{-3}$ torr

Power=70 w

t=2400 s



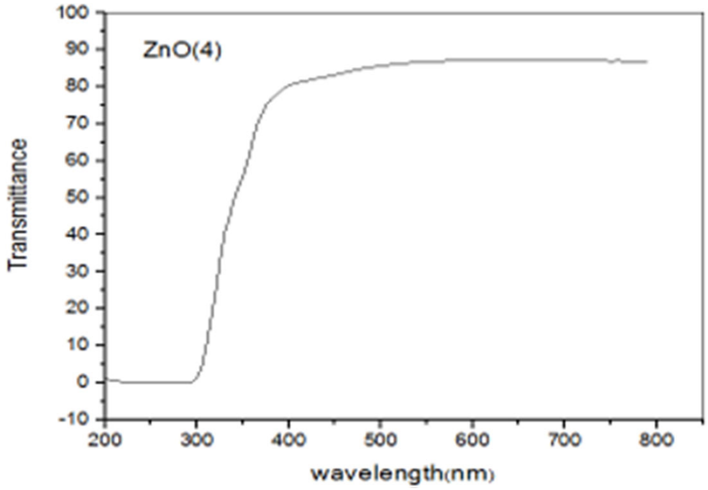
شکل ۴-۱۲: لایه نشانی zno نمونه شماره ۳

$P_i = 5\times 10^{-5}$ torr

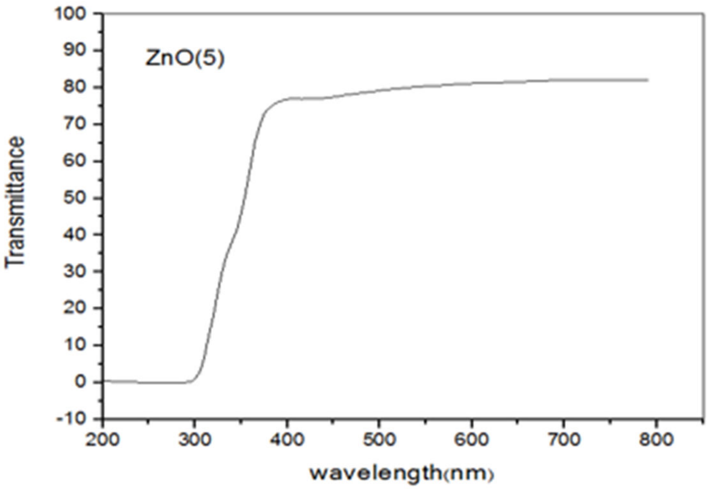
$P_w = 4\times 10^{-3}$ torr

Power=80 w

t=2709 s



شکل ۴-۱۳ : لایه نشانی zno نمونه شماره ۴



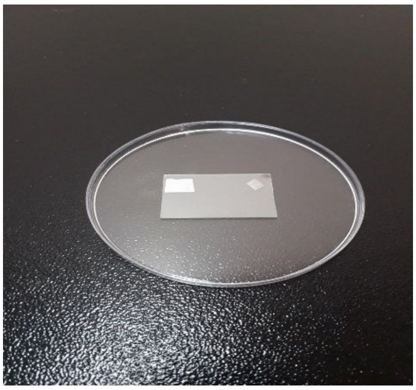
$P_i = 6\times 10^{-5}$ torr

$P_w = 4.5\times 10^{-3}$ torr

Power=83 w

t=6000 s

شکل ۴-۱۴ : لایه نشانی zno نمونه شماره۵



شکل ۴-۱۵ : لایه شفاف ZnO لایه نشانی شده به روش اسپاترینگ

جدول ۴-۱۲ شرایط لایه نشانی نمونه‌های ZnO و درصد عبور UVA، UVB و UVC از آن‌ها

شماره نمونه	درصد عبور UVA	درصد عبور UVB	درصد عبور UVC
۱	٪ ۴۵	٪ ۷/۵	۰
۲	٪ ۵۳/۵	٪ ۱۲/۵	۰
۳	٪ ۴۵/۵	٪ ۱۳	۰
۴	٪ ۵۱/۵	٪ ۲۳	۰
۵	٪ ۴۷	٪ ۱۷	۰

در جدول فوق، درصد عبور میانگین هر یک از نواحی طیف UVA، UVB و UVC محاسبه شد و با توجه به قدرت نفوذ و اثرگذاری بالاتر در طول موج‌های کوتاه‌تر، این لایه نشانی علاوه بر حذف پرتو UVC، قادر است عبور UVB را نیز تا حد زیادی کاهش دهد و در موارد نیاز مورد استفاده قرارگیرد.

با توجه به نیاز سیستم‌های مختلف برای حذف و یا عبور برخی طول موج‌های خاص، می‌توان طراحی و ساخت فیلتر اپتیکی مناسب برای هر سیستم را، به کمک ترکیب لایه‌های اکسید فلزی و لایه‌های فلزی انجام داد.

۴-۵ نتایج

با توجه به آزمایشات انجام شده و نتایج حاصل می‌توان اقدام به توسعه روش‌های حذف آلودگی از طریق تابش امواج الکترومغناطیس نموده و این فناوری به بخش صنعت معرفی کرد. در واقع با کاهش هزینه‌ها از طریق حمایت ارگان‌ها و سازمان‌های مربوطه مانند وزارت بهداشت، جهاد کشاورزی و... می‌توان صنایع غذایی را به جایگزین نمودن روش‌های ایمن‌تر مانند تابش UV، گاما و پلاسما ترغیب نمود و بدین‌وسیله استفاده از نگهدارنده‌های شیمیایی غیر مجاز در صنایع غذایی را کاهش داد. با توجه به اینکه استفاده از امواج گاما در انحصار سازمان انرژی اتمی و شرکت‌های وابسته به آن می‌باشد و تابش‌دهی با گاما در شرایط خاصی انجام می‌شود، امکان توسعه این تکنیک برای برخی از صنایع غذایی وجود ندارد، لذا تابش UVC و پلاسما در موارد زیادی گزینه مناسب‌تری است. البته لازم به ذکر است که هر کدام از این تابش‌ها مزیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارند. به عنوان یک نمونه (Case study) در خط تولید کرمفیل، نتایج این پروژه به صورت توصیه‌های ذیل پیشنهاد می‌شود :

توصیه به یک مجموعه صنایع غذایی، جهت اجرایی نمودن این تکنولوژی در کارخانه، این است که حتی الامکان تمام ظروف، خط تولید و مواد غذایی، بصورت مستقل تحت تابش بهینه و مناسب قرارگیرند. با توجه به عمق نفوذ کم UV، سیستم باید به شکلی طراحی شود که مواد غذایی در زمان تابش، همزنی شود یا توسط نازلی بشکل یک لایه نازک درآید تا تابش بصورت تقریبا یکنواخت، به تمام قسمت‌ها رسیده و حالت بهینه‌ای ایجاد شود که عوامل آلوده‌کننده، نابود و مواد مغذی حفظ شوند، بنابراین لازم است که این سیستم با طراحی بهینه در خط تولید نصب و بدون دخالت دست، مواد غذایی از زمان تولید تا بسته بندی تحت تابش قرارگیرند. در همه این موارد جهت ایمنی کاربر و حفظ سلامت، بایستی تابش‌دهی در یک مسیر پوشیده و بسته انجام گیرد.

۴-۶ تحقیقات آینده و پیشنهادات

۱-توسعه پژوهش‌های میان رشته‌ای، با رویکرد کاربری یافته های فیزیک در صنایع، کشاورزی و پزشکی، با هدف ارتقاء سلامت، کیفیت زندگی و نیز غلبه بر چالش‌های موجود در حوزه‌های نامبرده.

۲-تکنیک استفاده از تابش های الکترومغناطیس و پلاسمایی با هدف حذف مواد شیمیایی خطرناک در صنایع غذایی.

۳-تعیین طول موج‌های مفید و همچنین نامناسب تابش برای مواد مختلف موجود در صنایع غذایی و طراحی و ساخت فیلترهای اپتیکی مناسب آن.

۴-استفاده از موادی با قابلیت عبور UVC، مانند NaF, SiO_2 و... ولایه نشانی بر روی زیرلایه‌هایی نظیر کوارتز، بمنظور ساخت فیلترهای اپتیکی ذکر شده.

مراجع

[۱] مهدی زاده.م، علیپـور.م، ۱۳۷۷، **آلودگی‌های باکتریایی و قارچی مواد غذایی**، چـاپ اول، نشـر ارکان، اصفهان، ص ۱۶۴-۱۶۷

[2] Tang, J. (2015). Unlocking potentials of microwaves for food safety and quality. *Journal of food science*, *80*(8), E1776-E1793.

[3] Ahmed, J., & Ramaswamy, H. S. (2004). Microwave pasteurization and sterilization of foods. *Food Science And Technology-New York-Marcel Dekker-*, *167*, 691.

[4] Darawshe, M. F. A., Jafar, M. A., & Abdelraziq, I. R. (2014). Electric and Magnetic Field Radiation Leakage from Microwave Ovens at Homes in Palestine. *Nablus Palestine: An Najah National University, Master Thesis*.

[5] Zimmermann, K. (2017). Microwave as an emerging technology for the treatment of biohazardous waste: A mini-review. *Waste Management & Research*, *35*(5), 471-479.

[6] Zhang, H., Datta, A. K., Taub, I. A., & Doona, C. (2001). Electromagnetics, heat transfer, and thermokinetics in microwave sterilization. *AIChE journal*, *47*(9), 1957-1968.

[7] Trampuz, A., Piper, K. E., Steckelberg, J. M., & Patel, R. (2006). Effect of gamma irradiation on viability and DNA of Staphylococcus epidermidis and Escherichia coli. *Journal of Medical Microbiology*, *55*(9), 1271-1275.

[8] Desouky, O., Ding, N., & Zhou, G. (2015). Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, *8*(2), 247-254.

[9] Pricaz, M., & uta, A. C. (2015). Gamma radiation for improvements in food industry, environmental quality and healthcare. *Romanian Journal of Biophysics*, *25*(2).

[10] Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2016). Understanding the role of plasma technology in food industry. *Food and Bioprocess Technology*, *9*(5), 734-750.

[11] Scholtz, V., Pazlarova, J., Souskova, H., Khun, J., & Julak, J. (2015). Nonthermal plasma—a tool for decontamination and disinfection. *Biotechnology advances*, *33*(6), 1108-1119.

[12] Niemira, B. A. (2012). Cold plasma decontamination of foods. *Annual review of food science and technology*, *3*, 125-142.

[13] Islam, M. S., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M. J., Shade, L., ... & Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *34*, 344-351.

[14] Dai, T., Vrahas, M. S., Murray, C. K., & Hamblin, M. R. (2012). Ultraviolet C irradiation: an alternative antimicrobial approach to localized infections?. *Expert review of anti-infective therapy*, *10*(2), 185-195.

[15] Delgado, A., Kulisiewicz, L., Rauh, C., & Wiersche, A. (2012). Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods.

[16] Stoops, J., Jansen, M., Claes, J., & Van Campenhout, L. (2013). Decontamination of powdery and granular foods using Continuous Wave UV radiation in a dynamic process. *Journal of Food Engineering*, *119*(2), 254-259.

[17] Keyser, M., Műller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., & Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *9*(3), 348-354.

[18] Santos, A. L., Oliveira, V., Baptista, I., Henriques, I., Gomes, N. C., Almeida, A., ... & Cunha, Â. (2013). Wavelength dependence of biological damage induced by UV radiation on bacteria. *Archives of microbiology*, *195*(1), 63-74.

[19] Tran, M. T. T., & Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *5*(4), 495-502.

[20] Birmpa, A., Sfika, V., & Vantarakis, A. (2013). Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *International journal of food microbiology*, *167*(1), 96-102.

[21] Mullenders, L. H. (2018). Solar UV damage to cellular DNA: from mechanisms to biological effects. *Photochemical & Photobiological Sciences*, *17*(12), 1842-1852.

[22] Lorenz, C. M., Wolk, B. M., Quan, C. P., Alcala, E. W., Eng, M., McDonald, D. J., & Matthews, T. C. (2009). The effect of low intensity ultraviolet-c light on monoclonal antibodies. *Biotechnology progress*, *25*(2), 476-482.

[23] Vermeulen, N., Keeler, W. J., Nandakumar, K., & Leung, K. T. (2008). The bactericidal effect of ultraviolet and visible light on Escherichia coli. *Biotechnology and bioengineering*, *99*(3), 550-556.

[24] Smith, K. C. (1977). Ultraviolet radiation effects on molecules and cells. In *The Science of Photobiology* (pp. 113-142). Springer, Boston, MA.

[25] Lakretz, A., Ron, E. Z., & Mamane, H. (2009). Biofouling control in water by various UVC wavelengths and doses. *Biofouling*, *26*(3), 257-267.

[26] Tian-Jiao, W., Wei-Zong, X., Hai, L., Fang-Fang, R., Dun-Jun, C., Rong, Z., & You-Dou, Z. (2014). Solar-blind ultraviolet band-pass filter based on metal—Dielectric multilayer structures. *Chinese Physics B*, *23*(7), 074201.

[27] Katsidis, C. C., & Siapkas, D. I. (2002). General transfer-matrix method for optical multilayer systems with coherent, partially coherent, and incoherent interference. *Applied optics*, *41*(19), 3978-3987.

[28] Cathcart, W. H., Ryberg, R. E., & Merz, A. (1942). Staphylococci and salmonella control in foods I. Effect of ultra-violet radiation and ozone on bakery custard and cream fillings 1. *Journal of Food Science*, *7*(1), 1-9.

[29] Yang, J. H., Wu, U. I., Tai, H. M., & Sheng, W. H. (2017). Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*.

[30] Gupta, A., Avci, P., Dai, T., Huang, Y. Y., & Hamblin, M. R. (2013). Ultraviolet radiation in wound care: sterilization and stimulation. *Advances in wound care*, *2*(8), 422-437.

[31] Tremarin, A., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2017). Inactivation kinetics of Alicyclobacillus acidoterrestris in apple juice submitted to ultraviolet radiation. *Food Control*, *73*, 18-23.

[32] Pala, Ç. U., & Toklucu, A. K. (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(6), 790-795.

[33] Cilliers, F. P., Gouws, P. A., Koutchma, T., Engelbrecht, Y., Adriaanse, C., & Swart, P. (2014). A microbiological, biochemical and sensory characterisation of bovine milk treated by heat and ultraviolet (UV) light for manufacturing Cheddar cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *23*, 94-106.

[34] Chun, H. H., Kim, J. Y., Lee, B. D., Yu, D. J., & Song, K. B. (2010). Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. *Food Control*, *21*(3), 276-280.

[35] Butot, S., Cantergiani, F., Moser, M., Jean, J., Lima, A., Michot, L., ... & Zuber, S. (2018). UV-C inactivation of foodborne bacterial and viral pathogens and surrogates on fresh and frozen berries. *International journal of food microbiology*, *275*, 8-16.

[36] Kumar, G. A., Reddy, M. R., & Reddy, K. N. (2015). Structural and Optical properties of ZnO thin films grown on various substrates by RF magnetron sputtering. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 73, No. 1, p. 012133). IOP Publishing.

[37] Muanda, F. N., Soulimani, R., Diop, B., & Dicko, A. (2011). Study on chemical

composition and biological activities of essential oil and extracts from Stevia rebaudiana Bertoni leaves. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(9), 1865-1872.

[38] Malik, A. U., & Zora, S. (2005). Pre-storage application of polyamines improves shelf-life and fruit quality of mango. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *80*(3), 363-369.

Abstract

Science of physics is applied in a wide variety of fields, especially interdisciplinary topics such as biophysics, health physics, and so on. Electromagnetic radiation has beneficial and harmful effects on human life. Therefore, the discussion of the effects of electromagnetic waves on live cells has of particular importance, which can be considered beneficial or harmful based on the effect on the healthy tissue or cellular microorganisms.In this thesis, we study the effect of ultraviolet waves in the UVC region on living cells. In spite of the dangers of using ultraviolet waves, our knowledge development can provide us a tool to better utilize these waves to improve the living conditions. With this attitude, the effects of these waves on bacteria, molds and fungi, and so on, are studied in food. We can hope to develope by applying UVC radiation techniques and methods for replacing unauthorized chemicals in the food industry. Because the use of chemicals as preservatives, flavors, and dyes in the food industry creates mischief effects like dangerous diseases such as cancer, digestive problems, Respiratory problems,and so on.

Keywords: UVC, live cells, microorganism, food industry, preservative

Shahrood University of Technology

Faculty of Physics and Nuclear Engineering

M.Sc. Thesis in Solid State Physics

Investigate the Effect of UV-C Electromagnetic Waves on the Living Cells and Its Using on the Industrial Food

By: Fatemeh Sardarabadi

Supervisors:

Dr. Hamid Haratizadeh

Advisor:

Eng. Vahid Haratizadeh

January 2019