Food Hygiene, Vol. 14, No. 54, Summer 2024

"Research article" **DOI: 10.71876/jfh.2024.1126133**

The effect of ultraviolet radiation on pathogenic microorganisms in milk, traditional fruit juice, and drinking water

Noosh Abadi, R.[1], Hashemi, S. M[2*]

1. Graduated in food hygiene, Department of Food Hygiene, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
2. Research Center of Nutrition and Organic Products (R.C.N.O.P), Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
*Corresponding Author: majidhashemi54@gmail.com
(Received: 2024/8/11 Accepted: 2024/12/11)

Abstract

Due to the growing demand for healthier products, non-thermal technologies, such as ultraviolet (UV) radiation, have been studied as alternative methods for food and water treatment. The present research investigated the effect of UV rays on bacteria inoculated into milk, fruit juice, and drinking water. The samples were sterilized before inoculating *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, and *Listeria monocytogenes*. The inoculated samples were then exposed to UV radiation. Treatment durations of 30, 60, and 120 seconds were applied. Statistically significant ($p < 0.05$) differences in bacterial reductions were observed across the different exposure times. The highest contamination was found in the first dilution of apple juice for *E. coli* (13.66 ± 1.11 log CFU/ml), while the lowest contamination was found in the fourth dilution of milk for *S. aureus* (0.26 ± 0.01 log CFU/ml). The 30-second UV treatment for milk, water, and apple juice reduced *E. coli* by 30-40%; the 60-second treatment reduced *E. coli* by 60-70%; and the 120-second treatment reduced *E. coli* by 100% in water and milk. In apple juice (first dilution), the 120-second UV exposure reduced *E. coli* by 97%, with a 100% reduction observed in the remaining dilutions. The 30-second UV treatment reduced *Salmonella* by 30% in milk, water, and apple juice; the 60-second treatment resulted in a 75% reduction; and the 120-second treatment achieved a 100% reduction. Similarly, the 30-second UV exposure caused a 40% reduction in *Listeria monocytogenes*; in 60 seconds, the reduction was 80%, and in 120 seconds, it reached 100%. For *S. aureus*, the 30-second treatment caused a 70% reduction in milk, water, and apple juice, while 60 and 120 seconds of exposure resulted in a 100% reduction. In conclusion, the results indicate that UV radiation, when accurately directed at liquids, effectively reduces bacterial contamination in milk, fruit juice, and drinking water.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, Ultraviolet radiation

«مقاله پژوهشی» DOI: 10.71876/jfh.2024.1126133

تأثیر اشعه فرابنفش بر میکروارگانیسم‌های پاتوژن در شیر، آب میوه و آب شرب

تأثیر ضدباکتریایی اشعه فرابنفش

رضا نوش‌آبادی[۱]، سیدمجید هاشمی[۲*]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بهداشت مواد غذایی، گروه بهداشت مواد غذایی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

۲- مرکز تحقیقات تغذیه و محصولات ارگانیک، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: majidhashemi54@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۱ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۹/۲۱)

چکیده

به‌دلیل افزایش تقاضای محصولات سالم‌تر، فناوری‌های غیرحرارتی مانند اشعه فرابنفش مورد مطالعه قرارگرفته‌اند. پژوهش حاضر به بررسی اثر اشعه فرابنفش بر باکتری‌های تلقیح‌شده به شیر، آب‌میوه و آب‌شرب پرداخت. نمونه‌ها قبل از تلقیح *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* استریل شدند. نمونه‌ها تلقیح و از دستگاه تابش اشعه عبور داده‌شدند. مدت زمان ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه تابش مستمر اعمال شد. در مدت‌زمان ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه اختلاف آماری معنی‌داری در نمونه‌ها مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). بالاترین آلودگی رقت اول در آب سیب مربوط به *اشرشیاکلی* ۱/۱۱±۱۳/۶۶ و کمترین آلودگی را رقت چهارم در شیر برای *استافیلوکوکوس اورئوس* ۰/۰۱ ± ۰/۲۶ بود (log CFU/mL). تیمار ۳۰ ثانیه‌ای شیر، آب و آب سیب باعث کاهش ۳۰-۴۰ درصد، ۶۰ ثانیه کاهش ۶۰-۷۰ درصد و ۱۲۰ ثانیه در آب و شیر کاهش ۱۰۰ درصد تعداد *اشرشیاکلی* شد. تابش ۱۲۰ ثانیه اشعه در آب سیب (رقت اول) ۹۷ درصد *اشرشیاکلی* را کاهش داد و در باقی رقت‌ها کاهش ۱۰۰ درصد بود. تیمار ۳۰ ثانیه‌ای شیر، آب و آب سیب باعث کاهش ۳۰ درصد، در ۶۰ ثانیه کاهش ۷۵ درصد و در ۱۲۰ ثانیه کاهش ۱۰۰ درصدی تعداد *سالمونلا* شد. تیمار ۳۰ ثانیه‌ای شیر، آب و آب سیب باعث کاهش ۴۰ درصدی، ۶۰ ثانیه، کاهش ۸۰ درصدی و ۱۲۰ ثانیه، کاهش ۱۰۰ درصدی تعداد *لیستریا مونوسیتوژنز* شد. تیمار ۳۰ ثانیه‌ای شیر، آب و آب سیب، باعث کاهش ۷۰ درصدی، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه، کاهش ۱۰۰ درصدی تعداد *استافیلوکوکوس اورئوس* شد. نتایج نشان داد چنانچه اشعه به‌صورت دقیق به مایعات تابیده شود، تأثیر مثبتی در کاهش آلودگی دارد.

واژه‌های کلیدی: *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *لیستریا مونوسیتوژنز*، اشعه فرابنفش

مقدمه

از مهم‌ترین روش‌های مؤثر برای جلوگیری از گسترش بیماری‌های میکروبی غیرفعال کردن باکتری‌ها و ویروس‌های مضر با استفاده از اشعه ماوراءبنفش است. نور UV (فرابنفش) ممکن است راه‌حل ارزان و مؤثری ارائه دهد. مکانیسم‌های زیربنایی اثرات ضد میکروبی اشعه ماوراءبنفش به‌طور کامل شناخته‌نشده است؛ بنابراین بسیاری از محققین گزارش داده‌اند که تشکیل دایمرهای پیریمیدین (۶-۴) پیریمیدون و سیکلوبوتان پیریمیدین پس از قرار گرفتن در معرض نور، DNA و RNA میکروبی را مختل می‌کند و از تکثیر جلوگیری می‌کند. تأثیر اشعه فرابنفش به‌شدت به نوع میکروارگانیسم و شرایط عملیاتی بستگی دارد، یعنی طول‌موج فرابنفش، شدت طول‌موج و زمان تابش، و تابعی از برخی شرایط محیطی (به‌عنوان مثال، دما و رطوبت نسبی) است (Mansur *et al.*, 2023).

نور فرابنفش نوار کوچکی از تابش الکترومغناطیسی موجود در طبیعت را اشغال می‌کند. بین نور مرئی و اشعه ایکس قرار دارد و دارای طول‌موج بین ۱۰ تا ۴۰۰ نانومتر است. طیف نور فرابنفش فرکانس‌هایی دارد که برای انسان نامرئی و برای برخی از پرندگان و حشرات قابل‌مشاهده است. از آن‌جایی که این فرکانس‌ها بالاتر از فرکانس‌هایی هستند که چشم انسان به‌عنوان رنگ بنفش تشخیص می‌دهد، آن‌ها را فرابنفش می‌نامند (Bernard *et al.*, 2019). مطابق استاندارد ایزو (شماره ۲۱۳۸۴) محدوده طول‌موج‌های فرابنفش (Ultraviolet/ فرابنفش) مورد استفاده در آزمایش‌ها بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر قرار دارد و به سه بخش A، B و C تقسیم می‌شود. نوع C (۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر) که در نور خورشید یافت می‌شود، به‌طور کامل در قسمت‌های بالایی و میانی جو توسط ازن و اکسیژن مولکولی جذب می‌شود، حاوی امواج فرابنفش کوتاه است و دامنه میکروب‌کش نامیده می‌شود، زیرا به‌طور مؤثر میکروارگانیسم‌ها را غیرفعال می‌کند. تابش نور فرابنفش موج‌کوتاه به دلیل هزینه‌های نگهداری و نصب کم، حداقل مصرف انرژی و حفظ مواد غذایی بدون برخی اثرات نامطلوب عملیات حرارتی، مزایای تکنولوژیکی را ارائه می‌دهد (Turner *et al.*, 2020).

جنس *اشرشیا* فراوان‌ترین ارگانیسم هوازی-بی-هوازی اختیاری موجود در روده و مدفوع است و شامل ۵ گونه است که *اشرشیاکلی* با اهمیت‌ترین گونه آن است. یکی از شایع‌ترین سروتیپ‌های این باکتری‌ها *اشرشیاکلی* فرصت‌طلب است، اغلب تیپ‌های این باکتری در روده بیماری‌زا نیستند، ولی برخی از تیپ‌های آن می‌توانند ایجاد اسهال کنند؛ بنابراین وجود آن در مواد غذایی ممنوع است (Heidarzadi *et al.*, 2021). *سالمونلا* از خانواده آنتروباکتریاسه‌ها بوده که گرم منفی هستند و توانایی تخمیر گلوکز در ۳۷ درجه سلسیوس را داشته و ۲۵۰۰ سروتیپ مختلف از این باکتری شناسایی‌شده است (Heidarzadi *et al.*, 2021).

*لیستریا*ها از باکتری‌های گرم‌مثبت غیراسپورزا، از خانواده لاکتوباسیلاسه و راسته یوباکتریاها هستند و از منشأهای مختلفی ازجمله خاک، آب، گیاهان، مدفوع، سبزیجات در حال پوسیدگی، گوشت، غذاهای دریایی، محصولات لبنی و ناقلان بدون علامت انسانی و حیوانی یافت می‌شوند. *لیستریا*ها هوازی و بی‌هوازی اختیاری هستند که شامل ده گونه متفاوت بوده و در میان آن‌ها

لیستریا مونوسیتوژنز و *لیستریا ایوانوئی* بیماری‌زا هستند (Hain *et al.*, 2007).

استافیلوکوکوس اورئوس باکتری گرم مثبت بوده که توانایی تولید توکسین مقاوم به حرارت را دارد و سبب اسهال و استفراغ می‌شود. این باکتری رقابت کننده ضعیفی در مقایسه با سایر میکروارگانیسم‌ها است و در حضور سایر باکتری‌ها، توانایی رشد خود را از دست داده؛ اما وجود نشاسته و پروتئین رشد این باکتری را تشویق می‌کنند. دمای مناسب رشد ۱۶/۸ تا ۴۶/۶ بوده و در این محدوده دمایی بیشترین خطر تولید توکسین را دارد (Woudstra *et al.*, 2023).

آب‌میوه و شیر به دلیل دارا بودن بخش عمده‌ای از مواد مغذی، از نیازهای روزمره هستند. روش‌های حرارتی که برای بهبود وضعیت بهداشتی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد سبب افزایش عمر مفید آن‌ها می‌شود. بااین‌حال، چنین تکنیک‌هایی بر خواص تغذیه‌ای، فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارگانولپتیکی مواد غذایی تأثیر منفی می‌گذارد؛ بنابراین برای غلبه بر این اثرات، جایگزینی با روش‌های غیرحرارتی انتخاب مناسبی است (Mansur *et al.*, 2023). در همین راستا مطالعات متفاوتی در خصوص تاثیر اشعه فرابنفش در مورد نابودی و حتی مقاومت برخی میکروارگانیسم‌ها وجود دارد. به عنوان مثال پژوهشی با هدف نابودی میکروارگانیسم‌های پاتوژن (۲۰۱۹) انجام شد، و گزارش شد اشعه فرابنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر، سبب نابودی کامل *اشرشیاکلی ATCC 25922* و *سالمونلا انتریکا* در آب‌میوه گردید (Gopisetty *et al.*, 2018). در پژوهش دیگر تاثیرات قابل ملاحظه‌ای روی کاهش *ساکارومایسس سرویزیه* در اثر تابش اشعه فرابنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر، وجود نداشت، در حالی که باعث کاهش بار *اشرشیاکلی* O157H7 شد (Gómez-Sánchez *et al.*, 2020). این مطالعه با تمرکز بر روی اثر اشعه فرابنفش بر *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در شیر، آب‌شرب و آب‌میوه انجام شد.

مواد و روش‌ها

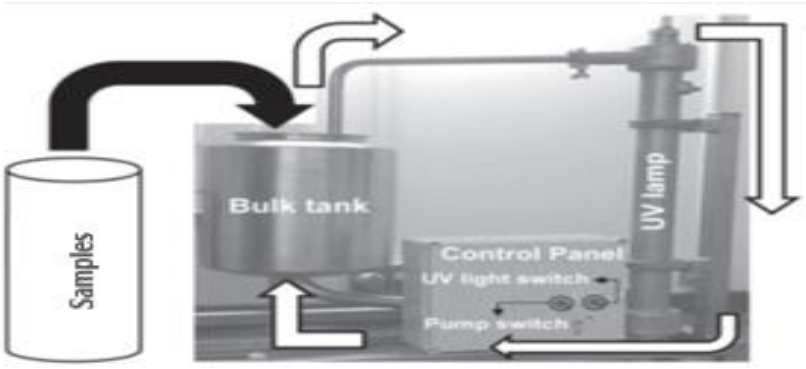
- آماده‌سازی نمونه‌ها

ابتدا شیر خام، آب‌شرب و آب سیب تهیه گردید و از هر نمونه میزان ۵۰۰ میلی‌لیتر داخل ظروف مخصوص قرار داده شده و بدون در نظر گرفتن بار میکروبی جهت استریلیزاسیون به اتوکلاو انتقال داده‌شدند. سپس مقدار مشخصی (معادل 10^5 سلول در هر میلی لیتر) از باکتری‌های *اشرشیاکلی* (ATCC ۲۵۹۲۲)، *سالمونلا تایفی موریوم* (ATCC ۱۴۰۲۸)، *استافیلوکوکوس اورئوس* (ATCC ۲۹۷۳۷) و *لیستریا مونوسیتوژنز* (ATCC ۱۹۱۱۴)، خریداری شده از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران اضافه شد. به منظور تهیه رقت‌های مورد نیاز آزمایش، از محلول رینگر استفاده شد. برای تهیه محلول رینگر به ازای هر ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر از یک قرص رینگر استفاده شد، سپس در شیشه‌های نه میلی‌لیتری تقسیم شدند. لوله حاوی نمونه آلوده شده به باکتری، رقت یک را تشکیل داد. سپس نمونه‌های حاوی آب سیب، شیر و آب آلوده را به مدت ۲۴ ساعت برای رشد *اشرشیاکلی* و *سالمونلا* در دمای ۳۷ درجه سلسیوس (Heidarzadi *et al.*, 2021)، برای رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* در دمای ۳۵ درجه سلسیوس (Lloyd *et al.*, 2021) و برای رشد

لیستریا مونوسیتوژنز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس (Kalinin *et al.*, 2023) در گرمخانه قرار گرفتند. لوله‌های کدر نشان دهنده‌ی رشد باکتری‌های مورد نظر بود. از محلول اولیه رقت‌های ۰/۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۰۱ تهیه شد.

-تابش اشعه

بلافاصله پس از تائید وجود باکتری‌های تلقیح‌شده در شیر، آب و آب سیب (به واسطه کدر شدن لوله‌ها) نمونه‌های از دستگاه تابش فرابنفش (ساخت شرکت پارس یووی، مدل 1X) با طول موج ۲۵۴ نانومتر عبور داده شده و جمعیت باکتری‌ها، مطابق استاندارد ایران شمارش شدند. دستگاه آزمایش شده شامل یک واحد جریان مداوم نور فرابنفش (UVC)، با توربولاتورهای ساخته شده از فولاد ضد زنگ، یک واحد پمپ برای سیالات (سرعت جریان ۶۵ لیتر در دقیقه، پمپ ۲۳۰ ولت با قطع کننده ۲۰ آمپر) و ۱ ماژول لامپ فرابنفش (۴۵ J/cm2؛ ابعاد: ۶۱۰ میلی‌متر عرض، ۱۶۶۵ میلی‌متر طول و ۵۰۰ میلی‌متر عمق) بود. لامپ فرابنفش در یک لوله کوارتز شفاف قرار داده شد تا مایعات در معرض نور فرابنفش قرار گیرند (شکل ۱).



شکل (۱)-دستگاه تابش فرابنفش که برای آزمایشات استفاده شد. فلش‌های سفید نشان دهنده مسیر جریان مداوم سیالات از طریق لامپ UV و بازگشت به مخزن حجیم هنگام روشن شدن پمپ هستند (Pereira *et al.*, 2014)

-روش شمارش *اشرشیاکلی*

برای شمارش *اشرشیاکلی* در محیط کشت Agar EMB (Eosin Methylene Blue agar)(Merck, Germany) کشت داده شد و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها گرمخانه‌گذاری و سپس شمارش شدند (ISIRI, 2946/2007).

-روش شمارش *سالمونلا*

برای شمارش سالمونلا در محیط کشت SS Agar (Salmonella Shigella Agar)(Merck, Germany) کشت داده شد و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها گرمخانه‌گذاری و سپس شمارش شدند (ISIRI, 1810/2009).

-روش شمارش *استافیلوکوکوس اورئوس*

برای شمارش استافیلوکوکوس اورئوس در محیط کشت برد پارکر آگار (Baird-Parker agar) (Costantino, Italian) کشت داده شد و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها گرمخانه گذاری و سپس شمارش شدند (ISIRI, 1194/2008).

-روش شمارش *لیستریا مونوسیتوژنز*

برای شمارش لیستریا مونوسیتوژنز در محیط کشت Palcam Agar (میرمدیا، ایران) کشت داده شد و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نمونه-ها گرمخانه‌گذاری و سپس شمارش شدند (ISIRI, 8035/2010). چهار تکرار برای هر سویه باکتری انجام شد و برای این کار مدت زمان‌های صفر (گروه کنترل)، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه تابش مستمر اعمال شد (Bais *et al.*, 2019).

-ارزیابی‌های آماری

شمارش میکروبی (CFU/mL) برای تجزیه‌وتحلیل آماری به واحدهای لگاریتمی تبدیل شد. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و آزمون ANOVA یک‌طرفه به همراه آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. همچنین سطح معنی‌داری در این پژوهش کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از تابش اشعه‌ی فرابنفش به‌منظور کاهش میانگین آلودگی به *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در شیر در مدت ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه طی رقت‌های متوالی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد ($p<0/05$). بالاترین میانگین آلودگی به *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* مربوط به رقت ۱ در زمان ۳۰ ثانیه به ترتیب با میزان (log CFU/mL) ۷/۰۴ ± ۱/۱۹، (log CFU/mL) ۶/۳۴ ± ۱/۱۱، (log CFU/mL) ۲/۱۳ ± ۰/۱۱ و (log CFU/mL) ۱/۸۸ ± ۰/۲۳ بود. همچنین شروع بیشترین میزان نابودی مربوط به رقت‌های پنج در زمان ۳۰ ثانیه بود. نتایج نشان داد که باکتری‌های گرم مثبت *لیستریا مونوسیتوژنز* و *استافیلوکوکوس اورئوس* کمترین مقاومت را نسبت به اشعه‌دهی داشتند و باکتری‌های *اشرشیاکلی* و *سالمونلا* بیشترین مقاومت را نسبت به سایر میکروارگانیسم‌ها داشتند. (جدول ۱).

جدول (۱)- نتایج تابش اشعه فرابنفش بر میانگین آلودگی باکتریایی در شیر (log CFU/mL)

باکتری	زمان / رقت	۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۶۰ ثانیه	۱۲۰ ثانیه
اشرشیاکلی	۱ (۱)	۱۱/۱۴ ± ۱/۰۷^{a}	۷/۰۴ ± ۱/۱۹^{a}	۳/۲۸ ± ۱/۳۹^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۸/۵۲ ± ۰/۰۱^{b}	۵/۱۸ ± ۰/۶۱^{b}	۲/۹۹ ± ۰/۸۸^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۷/۶۶ ± ۰/۱۷^{c}	۴/۷۱ ± ۰/۵۶^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۵/۴۴ ± ۰/۱۴^{c}	۳/۴۷ ± ۰/۰۴^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۳/۳۲ ± ۰/۱۲^{d}	۲/۰۹ ± ۰/۰۲^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
سالمونلا	۱ (۱)	۹/۰۵ ± ۰/۱۸^{a}	۶/۳۴ ± ۱/۱۱^{a}	۳/۴۱ ± ۱/۱۲^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۷/۳۱ ± ۰/۶۸^{b}	۴/۵۱ ± ۰/۷۹^{b}	۲/۵۴ ± ۰/۶۸^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۵/۰۱ ± ۰/۵۵^{c}	۳/۰۵ ± ۰/۶۵^{c}	۱/۰۷ ± ۰/۰۷^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۵/۰۲ ± ۰/۴۰^{c}	۲/۱۹ ± ۰/۲۰^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۲/۰۲ ± ۰/۰۴^{d}	۱/۸۲ ± ۰/۱۴^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
لیستریا مونوسیتوژنز	۱ (۱)	۷/۰۶ ± ۱/۰۳^{a}	۴/۳۷ ± ۱/۰۹^{a}	۱/۴۱ ± ۰/۲۹^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۴/۵۱ ± ۰/۳۱^{b}	۲/۶۶ ± ۰/۷۱^{b}	۰/۰۴ ± ۰/۰۱^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۳/۰۳ ± ۰/۰۱^{c}	۲/۱۳ ± ۰/۱۱^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۱/۹۷ ± ۰/۲۹^{c}	۱/۰۷ ± ۰/۰۹^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۰/۴۴ ± ۰/۰۳^{d}	۰/۱۰ ± ۰/۰۲^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
استافیلوکوکوس اورئوس	۱ (۱)	۲/۹۲ ± ۰/۲۲^{a}	۱/۸۸ ± ۰/۲۳^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۳/۰۷ ± ۰/۱۸^{b}	۱/۲۱ ± ۰/۰۸^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۱/۰۹ ± ۰/۰۷^{c}	۰/۸۷ ± ۰/۰۵^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۰/۲۶ ± ۰/۰۱^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰

اختلاف آماری بین نمونه‌ها ازنظر غلظت با آزمون دانکن اندازه‌گیری شد. میانگین‌ها با حروف غیر متشابه اختلاف معنی‌دار باهم دارند. (میانگین ± انحراف استاندارد)

طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۲)، بالاترین میانگین آلودگی به *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در آب، مربوط به رقت ۱ در زمان ۳۰ ثانیه به ترتیب با میزان (log CFU/mL) ۹/۱۷ ± ۱/۲۵، (log CFU/mL) ۱/۱۷ ± ۷/۵۴، (log CFU/mL) ۴/۷۷ ± ۱/۲۹ و (log CFU/mL) ۱/۳۷ ± ۰/۲۲ بود. همچنین شروع بیشترین میزان نابودی مربوط به رقت‌های چهار در زمان ۳۰ ثانیه بود.

جدول (۲)- نتایج تابش اشعه فرابنفش بر میانگین آلودگی باکتریایی در آب (log CFU/mL)

باکتری	زمان / رقت	۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۶۰ ثانیه	۱۲۰ ثانیه
اشرشیاکلی	۱ (۱)	۱۳/۰۹ ± ۱/۳۲^{a}	۹/۱۷ ± ۱/۲۵^{a}	۵/۴۱ ± ۱/۷۵^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۹/۵۱ ± ۱/۰۵^{b}	۷/۸۴ ± ۱/۳۱^{b}	۳/۷۸ ± ۰/۹۸^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۸/۰۸ ± ۰/۸۶^{c}	۵/۳۸ ± ۰/۶۶^{c}	۱/۱۵ ± ۰/۰۶^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۴/۸۱ ± ۰/۷۱^{d}	۳/۹۷ ± ۰/۳۴^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۳/۱۲ ± ۰/۱۷^{d}	۲/۰۲ ± ۰/۰۳^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
سالمونلا	۱ (۱)	۱۰/۱۹ ± ۱/۰۸^{a}	۷/۵۴ ± ۱/۱۷^{a}	۲/۱۲ ± ۱/۱۰^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۸/۳۲ ± ۰/۱۹^{b}	۵/۵۲ ± ۰/۳۹^{b}	۱/۴۱ ± ۰/۶۱^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۵/۵۲ ± ۱/۰۴^{c}	۳/۶۱ ± ۰/۴۴^{c}	۰/۸۳ ± ۰/۰۴^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۴/۰۱ ± ۰/۱۱^{c}	۲/۷۳ ± ۰/۲۱^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۲/۰۲ ± ۰/۰۴^{d}	۱/۰۴ ± ۰/۱۳^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
لیستریا مونوسیتوژنز	۱ (۱)	۷/۹۶ ± ۱/۱۳^{a}	۴/۷۷ ± ۱/۲۹^{a}	۱/۳۲ ± ۰/۳۱^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۵/۰۱ ± ۰/۳۷^{b}	۳/۴۳ ± ۰/۵۳^{b}	۰/۱۷ ± ۰/۰۱^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۴/۰۱ ± ۰/۰۷^{c}	۲/۰۵ ± ۰/۱۶^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۳/۱۷ ± ۰/۱۱^{c}	۱/۱۹ ± ۰/۰۸^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۲/۰۵ ± ۰/۰۲^{d}	۰/۶۴ ± ۰/۰۲^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
استافیلوکوکوس اورئوس	۱ (۱)	۳/۵۵ ± ۰/۸۲^{a}	۱/۳۷ ± ۰/۲۲^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۲/۶۲ ± ۰/۱۵^{b}	۱/۰۱ ± ۰/۰۸^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۱/۴۲ ± ۰/۰۳^{c}	۰/۴۷ ± ۰/۰۳^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۰/۸۱ ± ۰/۰۱^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰

اختلاف آماری بین نمونه‌ها ازنظر غلظت با آزمون دانکن اندازه‌گیری شد. میانگین‌ها با حروف غیر متشابه اختلاف معنی‌دار باهم دارند. (میانگین ± انحراف استاندارد)

طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۳)، بالاترین میانگین آلودگی به *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در آب سیب، مربوط به رقت ۱ در زمان ۳۰ ثانیه به ترتیب با میزان (log CFU/mL) ۹/۴۸ ± ۱/۱۶ (log CFU/mL)، (log CFU/mL) ۸/۰۷ ± ۱/۱۸ (log CFU/mL) ۶/۵۳ ± ۱/۱۹ و (log CFU/mL) ۱/۰۷ ± ۰/۱۲ بود. همچنین شروع بیشترین

میزان نابودی مربوط به رقت‌های پنج در زمـان ۳۰ ثانیـه بود.

جدول (۳)- نتایج تابش اشعه فرابنفش بر میانگین آلودگی باکتریایی در آب سیب (log CFU/mL)

باکتری	زمان / رقت	۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۶۰ ثانیه	۱۲۰ ثانیه
اشرشیاکلی	۱ (۱)	۱۳/۶۶ ± ۱/۱۱^{a}	۹/۴۸ ± ۱/۱۶^{a}	۶/۵۲ ± ۱/۶۵^{a}	۰/۶۷ ± ۰/۰۲^{a}
	۲ (۰/۱)	۱۱/۰۳ ± ۱/۰۱^{a}	۸/۵۳ ± ۱/۲۱^{a}	۵/۲۹ ± ۰/۷۸^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{b}
	۳ (۰/۰۱)	۹/۵۴ ± ۰/۴۴^{b}	۶/۴۱ ± ۰/۷۴^{b}	۴/۲۵ ± ۰/۳۶^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۷/۳۳ ± ۰/۶۱^{c}	۴/۲۹ ± ۰/۴۴^{c}	۲/۱۲ ± ۰/۲۷^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۵/۰۳ ± ۰/۱۱^{d}	۲/۸۳ ± ۰/۴۱^{d}	۱/۰۸ ± ۰/۰۴^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
سالمونلا	۱ (۱)	۱۱/۸۹ ± ۱/۲۸^{a}	۸/۰۷ ± ۱/۱۸^{a}	۲/۶۱ ± ۱/۱۹^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۹/۷۴ ± ۰/۹۹^{a}	۶/۹۴ ± ۰/۸۹^{a}	۱/۸۶ ± ۰/۷۴^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۷/۰۷ ± ۰/۳۹^{b}	۴/۵۳ ± ۰/۷۴^{b}	۱/۰۱ ± ۰/۱۴^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۵/۰۳ ± ۰/۲۱^{c}	۲/۸۱ ± ۰/۴۱^{c}	۰/۴۷ ± ۰/۰۵^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۳/۰۸ ± ۰/۱۶^{c}	۱/۳۸ ± ۰/۱۷^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{d}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
لیستریا مونوسیتوژنز	۱ (۱)	۱۰/۴۴ ± ۱/۳۹^{a}	۶/۵۳ ± ۱/۱۹^{a}	۱/۸۲ ± ۰/۵۱^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۷/۹۱ ± ۰/۴۹^{a}	۵/۷۳ ± ۰/۲۹^{a}	۱/۰۷ ± ۰/۲۱^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۶/۰۱ ± ۰/۶۰^{b}	۴/۱۵ ± ۰/۱۰^{b}	۰/۴۹ ± ۰/۰۳^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۴/۶۳ ± ۰/۷۸^{c}	۲/۹۴ ± ۰/۳۸^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۲/۸۱ ± ۰/۲۱^{c}	۱/۶۴ ± ۰/۱۱^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
استافیلوکوکوس اورئوس	۱ (۱)	۳/۷۵ ± ۰/۳۲^{a}	۱/۰۷ ± ۰/۱۲^{a}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۲ (۰/۱)	۱/۰۴ ± ۰/۱۸^{b}	۰/۶۱ ± ۰/۰۸^{b}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۳ (۰/۰۱)	۰/۳۱ ± ۰/۰۱^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^{c}	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۴ (۰/۰۰۱)	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
	۵ (۰/۰۰۰۱)	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰

اختلاف آماری بین نمونه‌ها ازنظر غلظت با آزمون دانکن اندازه‌گیری شد. میانگین‌ها با حروف غیر متشابه اختلاف معنی‌دار باهم دارند. (میانگین ± انحراف استاندارد)

مطابق جداول ۱، ۲ و ۳، در هیچ‌کدام از رقت‌هـای متوالی در زمان ۱۲۰ ثانیه تابش اشعه فـرابنفش آلـودگی بـــه بـــاکتری *ســـالمونلا*، *لیســـتریا مونوســـیتوژنز* و *اسـتافیلوکوکوس اورئـوس* در شـیر و آب و آب سـیب

مشاهده نشد. باکتری *اشرشیاکلی* تنها در رقت اول زمان ۱۲۰ ثانیه تابش اشعه در آب سیب (۰/۰۲ ± ۰/۶۷) مشاهده شد.

تیمار شیر، آب و آب سیب در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *اشرشیاکلی* باعث کاهش ۴۰-۳۰ درصدی بار میکروبی، در مدت‌زمان ۶۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *اشرشیاکلی* باعث کاهش ۶۰-۷۰ درصدی بار میکروبی و در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه در آب و شیر باعث کاهش ۱۰۰ درصدی بار میکروبی شد. تابش ۱۲۰ ثانیه اشعه فرابنفش در آب سیب (رقت اول) توانست ۹۷ درصد از بار میکروبی *اشرشیاکلی* را کاهش دهد و در باقی رقت‌ها میزان کاهش بار میکروبی ۱۰۰ درصد بود. تیمار شیر، آب و آب سیب در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *سالمونلا* باعث کاهش ۳۰ درصدی بار میکروبی، در مدت‌زمان ۶۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *سالمونلا* باعث کاهش ۷۵ درصدی بار میکروبی و در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه باعث کاهش ۱۰۰ درصدی بار میکروبی شد. تیمار شیر، آب و آب سیب در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *لیستریا مونوسیتوژنز* باعث کاهش ۴۰ درصدی بار میکروبی، در مدت‌زمان ۶۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *لیستریا مونوسیتوژنز* باعث کاهش ۸۰ درصدی بار میکروبی و در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه باعث کاهش ۱۰۰ درصدی بار میکروبی شد. تیمار شیر، آب و آب سیب در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* باعث کاهش ۷۰ درصدی بار میکروبی، در مدت‌زمان ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه در رقت‌های مختلف باکتری باعث کاهش ۱۰۰ درصدی بار میکروبی شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تابش اشعه‌ی فرابنفش به‌منظور کاهش میانگین آلودگی به *اشرشیاکلی*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* در شیر، آب سیب و آب در مدت ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ ثانیه طی رقت‌های متوالی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. به‌این‌ترتیب در تمامی نمونه‌ها، بالاترین میانگین آلودگی مربوط به رقت اول در مدت ۳۰ ثانیه بود. در پژوهش حاضر افزایش زمان تیمارها به‌طور مؤثری سبب کاهش بار میکروبی توسط پرتو فرابنفش شد؛ در همین راستا، پژوهشی باهدف کاهش بار آلودگی به *اشرشیاکلی* در آب سیب انجام گرفت و گزارش دادند که پرتو فرابنفش سبب کاهش معنی‌داری در میزان آلودگی به سویه‌های *اشرشیاکلی* شد (Usaga *et al.*, 2016). پژوهشی باهدف بررسی تأثیر ضدعفونی‌کنندگی پرتو فرابنفش بر *اشرشیاکلی* ATCC 25922 انجام گرفت که سبب غیرفعال شدن *اشرشیاکلی* ATCC 25922 شد (Ramesh *et al.*, 2018). مطالعه‌ای باهدف تأثیر اشعه فرابنفش روی کاهش آلودگی *سالمونلا تایفی‌موریوم* در آب‌میوه انجام گرفت که گزارش دادند بیشترین میزان کشندگی مربوط به زمان ۱۲۰ ثانیه بود و بین مدت‌زمان تابش اشعه ماوراءبنفش و کاهش بار میکروبی آب‌میوه رابطه معنی‌داری وجود داشت (Mehrabi and Rahimi, 2022). پژوهشی باهدف غیر فعال‌سازی *اشرشیاکلی*، *سالمونلا* و *لیستریا مونوسیتوژنز* تحت تیمارهای مختلف نور ماوراءبنفش انجام شد که سبب نابودی کامل باکتری‌ها شد (Nicolau-Lapeña *et al.*, 2022)، نتایج مطالعات نامبرده با پژوهش حاضر مطابقت دارد. در نتایج پژوهش حاضر *اشرشیاکلی* ATCC 25922

مقاوم‌ترین باکتری نسبت به پرتودهی بود. مقاومت این سویه *اشرشیاکلی* در پژوهش‌های دیگر (Graca *et al.*, 2013, Ramesh *et al.*, 2018) نیز وجود داشت.

یکی از اهداف پاستوریزاسیون سردِ شیر، توسط روش‌های غیرحرارتی، کاهش طعم پختگی است. همچنین برای به حداقل رساندن خطر بیماری‌های ناشی از مواد غذایی مرتبط با محصولات لبنی، فن‌آوری‌های جدید برای اطمینان از ایمنی میکروبیولوژیکی و افزایش ماندگاری محصولات با حداقل اثرات مضر فرآوری موردمطالعه قرارگرفته است (Delorme *et al.*, 2020). پژوهشی باهدف نابودی *سالمونلا تایفی‌موریوم*، *اشرشیاکلی*، *لیستریا مونوسیتوژنز* و *استافیلوکوکوس اورئوس* تلقیح‌شده در شیر استریل شده انجام گرفت که تعداد *سالمونلا تایفی موریوم*، *لیستریا مونوسیتوژنز*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیاکلی* به ترتیب نزدیک به ۲، ۲/۵، ۲,۵ و ۳ بار لگاریتمی کاهش داشتند (Atik and Gumus, 2021). پژوهشی باهدف کاهش آلودگی *استافیلوکوکوس اورئوس* تلقیح‌شده به شیر خام انجام شد که گزارش دادند اشعه فرابنفش سبب نابودی آن شد (Krishnamurthy *et al.*, 2007) که با پژوهش حاضر هم‌راستا است.

اگرچه کیفیت آب آشامیدنی برای سلامت انسان بسیار مهم است، اما استفاده گسترده از ضدعفونی کلر منجر به تشکیل باکتری‌های مقاوم به کلر می‌شود که سلامت انسان را به‌طورجدی تهدید می‌کند. حذف پاتوژن‌های باکتریایی از آب با استفاده از نور فرابنفش یک فناوری حیاتی ازنظر بهداشتی است. پژوهشی باهدف حذف *اشرشیاکلی* و *باسیلوس سرئوس* مقاوم به کلر صورت گرفت که نتایج نشان داد که غلظت *اشرشیاکلی* ۴ بار لگاریتمی و *باسیلوس سرئوس* مقاوم به کلر ۲ بار لگاریتمی کاهش یافت (Zeng *et al.*, 2020). پژوهشی باهدف تأثیر اشعه فرابنفش روی کاهش *اشرشیاکلی O157:H7* تلقیح‌شده به آب آشامیدنی انجام شد و نتایج نشان داد ۶ بار لگاریتمی کاهش یافت و آب آشامیدنی ایمن گردید (Sommer *et al.*, 2000). مطالعه‌ای باهدف تابش اشعه Uv-LED روی نابودی میکروارگانیسم‌های پاتوژن، گزارش دادند این روش قادر به غیرفعال کردن باکتری‌های *اشرشیاکلی انتروپاتوژن*، *ویبریو پاراهمولیتیکوس*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سالمونلا انتریکا* بود (Mori *et al.*, 2007).

اثرات ضد میکروبی اشعه فرابنفش به میزان پرتو تابیده‌شده و به فاصله از منبع تابش بستگی دارد و هر چه میزان پرتو بالا بوده و مسافت کمتر باشد، تعداد سلول‌های میکروبی نابودشده، افزایش می‌یابد. محدودیت اصلی در استفاده از این اشعه، قدرت نفوذ ضعیف آن است و باوجود عبور این پرتو از هوای بدون غبار و آب صاف قادر به نفوذ از شیشه معمولی، بسیاری از پلاستیک‌ها، محلول‌های کدر و لایه‌های نازک چربی نیست. از اشعه ماورا بنفش برای گندزدایی آب آشامیدنی نیز استفاده می‌کنند. بیشترین اثر کشندگی در دامنه طول‌موج ۲۶۰ نانومتر حاصل می‌شود، که مربوط به جذب شدید انرژی، توسط بازهای آلی موجود در اسید نوکلئیک است. اشعه فرابنفش برای اکثر انواع میکروارگانیسم‌های موجود در هوا، آب یا روی سطوح سخت کشنده است. غیرفعال شدن سلول‌ها بر اساس آسیب اسید نوکلئیک در اثر نور فرابنفش است، بنابراین میکروارگانیسم‌ها نمی‌توانند بیشتر تکثیر شوند. اسید نوکلئیک یا دئوکسی ریبونوکلئیک اسید (DNA) یا اسید

ریبونوکلئیک (RNA) است. اکثر سلول‌ها دارای هسته ای هستند که از DNA دو رشته‌ای تشکیل‌شده است. DNA حاوی اطلاعات لازم برای سنتز ریبوزومی، انتقال و RNA پیام‌رسان است که همگی در فرآیندهای متابولیکی سنتز در سلول نقش دارند. بااین‌حال در مطالعه حاضر ثابت شد که افزایش زمان پرتودهی بر کاهش تعداد میکروارگانیسم‌ها مؤثر است. به‌طورکلی، غیرفعال سازی باکتری‌ها عمدتاً به دلیل آسیب دیواره سلولی، غشاء، آنزیم‌های داخل سلولی است (Walkling-Ribeiro et al., 2008).

اسیدهای نوکلئیک نور فرابنفش را از ۲۰۰ تا ۳۱۰ نانومتر جذب می‌کنند. اشعه فرابنفش جذب‌شده باعث شکستن برخی از پیوندها و تشکیل دایمرهای پیریمیدین می‌شود که پیوند بین جفت‌های مجاور تیمین یا سیتوزین پیریمیدین روی همان رشته DNA یا RNA هستند. این دیمرها از تکثیر سلول‌ها جلوگیری می‌کنند، بنابراین میکروارگانیسم‌ها غیرفعال می‌شوند و نمی‌توانند تکثیر شوند. برخی از آسیب‌های اسید نوکلئیک را می‌توان با مکانیسم‌های آنزیمی در داخل سلول ترمیم کرد. بنابراین میکروارگانیسم‌ها می‌توانند خود را با استفاده از مکانیسم ترمیم نور به نام فعال‌سازی نوری یا مکانیسم ترمیم تاریکی، ترمیم کنند. پس از فعال شدن مجدد، میکروارگانیسم‌ها دوباره قادر به ایجاد بیماری می‌شوند. درنتیجه، درمان با اشعه ماوراءبنفش باید دوز کافی از نور فرابنفش را فراهم کند تا اطمینان حاصل شود که اسید نوکلئیک فراتر از مرحله‌ای که می‌تواند ترمیم شود آسیب‌دیده است. مطابق با نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان از اشعه فرابنفش جهت کاهش آلودگی باکتریایی مواد غذایی همچون شیر، آب و آب-میوه استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آزمایشگاه بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی شهرکرد، که نهایت همکاری در انجام این پروژه را داشتند تشکر به عمل می‌آید.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- Atik, A. and Gumus, T. (2021). The effect of different doses of UV-C treatment on microbiological quality of bovine milk. LWT, 136(2): 110-122.
- Bais, A. F., Bernhard, G., McKenzie, R. L., Aucamp, P. J., Young, P. J., Ilyas, M., et al. (2019). Ozone–climate interactions and effects on solar ultraviolet radiation. Photochemical & Photobiological Sciences, 18(3):602-640.
- Bernard, J. J., Gallo, R.L. and Krutmann, J. (2019). Photoimmunology: how ultraviolet radiation affects the immune system. Nature Reviews Immunology, 19 (5):688-701.
- Delorme, M. M., Guimaraes, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., et al. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. Trends in Food Science & Technology, 102(2):146-154.

- Gomezsanchez, D.L., Antonio, O., Lopez-diaz, A.S., Palou, E., Lopez-malo, A. and Ramirez-Corana, N. (2020). Performance of combined technologies for the inactivation of Saccharomyces cerevisiae and Escherichia coli in pomegranate juice: The effects of a continuous-flow UV-Microwave system. Journal of Food Process Engineering, 43(5):135-150.
- Gopistty, V.V.S., Patras, A., Kilonzo-Nthenge, A., Yannam, S., Bansode, R.R., Sages, M., et al. (2018). Impact of UV-C irradiation on the quality, safety, and cytotoxicity of cranberry-flavored water using a novel continuous flow UV system. LWT, 95(7):230-239.
- Graca, A., Salazar, M., Quintas, C. and Nunes, C. (2013). Low dose UV-C illumination as an eco-innovative disinfection system on minimally processed apples. Postharvest Biology and Technology, 85(1):1-7.
- Hain, T., Chatterjee, S.S., Ghal, R., Kuenne, C.T., Billion, A., Steineg, C., et al. (2007). Pathogenomics of Listeria spp. International Journal of Medical Microbiology, 297(14):541-557.
- Heidarzadi, M.A., Rahnama, M., Alipoureskandani, M., Saadati, D. and Afsharimoghadam, A. (2021). Salmonella and Escherichia coli contamination in samosas presented in Sistan and Baluchestan province and antibiotic resistance of isolates. Food Hygiene, 11(2):81-90.[In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2007). Search and distinguish method of E. coli, 2nd Revision, ISIRI NO. 2946. [In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2009). Search and distinguish method of Salmonella, 2nd Revision, ISIRI NO. 1810. [In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2008). Search and distinguish method of Staphylococcus aureus, 2nd Revision, ISIRI NO. 1194. [In Persian]
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (ISIRI), (2010). Search and distinguish method of Staphylococcus aureus, 1st Revision, ISIRI NO. 8035. [In Persian]
- Kalvinin, E.V., Chalenko, Y.M., Kezimana, P., Stanishevskyi, Y.M. and Ermolaeva, S.A. (2023). Combination of growth conditions and InlB-specific dot-immunoassay for rapid detection of Listeria monocytogenes in raw milk. Journal of Dairy Science, 106(19):1638-1649.
- Krishnamurthy, K., Demirci, A. and Irudayaraj, J. (2007). Inactivation of Staphylococcus aureus in milk using flow-through pulsed UV-light treatment system. Journal of Food Science, 72(7):233-239.
- Lioyd, E.C., Martin, E.T., Dillman, N., Nagel, J., Chang, R., Gandhi, T.N., et al. (2021). Impact of a best practice advisory for pediatric patients with Staphylococcus aureus bacteremia. Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society, 10(2):282-288.
- Mansur, A.R., Lee, H.S. and Lee, C.J. (2023). A review of the efficacy of ultraviolet c irradiation for decontamination of pathogenic and spoilage microorganisms in fruit juices. Journal of Microbiology and Biotechnology, 33(8):419-428.
- Mehrabi, E. and Rahimi, E. (2022). Evaluating the Effect of Ultraviolet Radiation on the Total Number of Microbes in Apple Juice, Grape Juice, and Orange Juice at Different Times of Radiation. Journal of Alternative Veterinary Medicine, 3(2):12-20.
- Mori, M., Hamamoto, A., Takahashi, A., Nakano, M., Wakikawa, N., Tachibana, S., et al. (2007). Development of a new water sterilization device with a 365 nm UV-LED. Medical & biological engineering & computing, 45(15):1237-1241.
- Nicolau-Lapeña, I., Colás-Medà, P., Viñas, I. and Alegre, I. (2022). Inactivation of Escherichia coli, Salmonella enterica, and Listeria monocytogenes on apple peel and apple juice by ultraviolet C light treatments with two irradiation devices. International Journal of Food Microbiology, 364(4):109-125.
- Pereira, R.V., Bicalho, M.L., Machado, V.S., Lima, S., Teixeira, A.G., Warnick, L.D., et al. (2014). Evaluation of the effects of ultraviolet light on bacterial contaminants inoculated into whole milk and colostrum, and on colostrum immunoglobulin G. Journal of Dairy Science, 97(5):2866-2875.

- Ramesh, T., Yaparatne, S., Tripp, C.P., Nayak, B. and Amirbahman, A. (2018). Ultraviolet light-assisted photocatalytic disinfection of Escherichia coli and its effects on the quality attributes of white grape juice. Food and Bioprocess Technology, 11(21):2242-2252.
- Sommer, R., Lhotsky, M., Haider, T., and Cabaj, A . (2000). UV inactivation, liquid-holding recovery, and photoreactivation of Escherichia coli O157 and other pathogenic Escherichia coli strains in water. Journal of Food Protection, 63(12):1015-1020.
- Turner, J., Igoe, D., Parisi, A.V., McGonigle, A.J., Amar, A. and Wainwright, L. (2020). A review on the ability of smartphones to detect ultraviolet (UV) radiation and their potential to be used in UV research and for public education purposes. Science of the Total Environment, 706(5):135-148.
- Usaga, J., Acosta, Ó., Churey, J.J., Padilla-Zakour, O.I., and Worobo, R.W. (2016). UV tolerance of spoilage microorganisms and acid-shocked and acid-adapted Escherichia coli in apple juice treated with a commercial UV juice-processing unit. Journal of Food Protection, 79(3):294-298.
- Walking-ribeiro, M., Noci, F., Croni, D., Riener, J., Lying, J. and Morgan, D. (2008). Reduction of Staphylococcus aureus and quality changes in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre-heating, and pulsed electric fields. Journal of Food Engineering, 89(17):267-273.
- Woudstra, S., Wente, N., Zhang, Y., Leimbach, S., Gussmann, M.K., Kirkeby, C., et al. (2023). Strain diversity and infection durations of Staphylococcus spp. and Streptococcus spp. causing intramammary infections in dairy cows. Journal of Dairy Science, 106(24):4214-4231.
- Zeing, W., Jin, W., Cao, S., Zhou, X., Wang, C., Jiang, Q., et al. (2020). Inactivation of chlorine-resistant bacterial spores in drinking water using UV irradiation, UV/Hydrogen peroxide, and UV/Peroxymonosulfate: Efficiency and mechanism. Journal of Cleaner Production, 243(18): 118-126.