



Infrared irradiation and its effects on the contamination level and quality of dried barberry

Mahdiyeh Vafadarghasemi ¹, **Mahdi Kashaninejad** ^{*2}, Morteza Khomeiri ³, Mahdiyeh Hasani ³

1. Department of Food Science and Engineering, Baharan Higher Education Institute, Gorgan, Iran.
2. Faculty of food processing Engineering Department, Gorgan university of Agricultural sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Faculty of food science and technology, Gorgan university of Agricultural sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

Received Date:2025.10.21 Accepted Date:2026.05.20

Abstract

Microbial load and the growth of microorganisms are among the most critical factors affecting the quality of barberries. Due to the importance of barberries as a food seasoning, the objective of this study was to investigate the effect of infrared irradiation on reducing the number of *Penicillium oxalicum* spores in dried barberries and its qualitative characteristics. *Penicillium oxalicum* spores were used as an indicator of dried barberry contamination to evaluate the effect of infrared irradiation. *penicillium oxalicum* was inoculated into dried barberry samples. The samples were then treated with three infrared irradiations at three power levels (150, 250, and 375 watts) for three durations (60, 100, and 120 seconds) at two different thicknesses (1 and 1.5 cm) and two water activities (0.8 and 0.6). Sensory evaluation of the samples was also performed by assessors. In addition to the sensory evaluation and measurement of *Penicillium oxalicum* levels, moisture content and color factors (L^* , a^* , b^* and ΔE) were also measured. Results showed that infrared lamp irradiation of barberry had a significant effect on reducing *Penicillium oxalicum* to 2.9 CFU/g across all treatments, with the greatest decrease in moisture content (3.4%) observed in the sample treated with the 375-watt lamp at 120 seconds and a thickness of 1 centimeter. Additionally, the darkening of the barberry samples increased with rising lamp power, while moisture content and water activity decreased, along with a reduction in sample depth.

Key words: decontamination, sensory evaluation, infrared radiation, *Penicillium oxalicum*, barberry

* kashani@gau.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Barberry (*Berberis vulgaris*) is a strategic agricultural product in Iran, primarily cultivated in the Khorasan region. However, its high nutritional and medicinal value leads to its distribution in various local markets across the country. Despite initial drying, the product's quality during supply is often challenged by microbial contamination. In regions with higher relative humidity, such as the local markets of Gonbad-e Kavus where the samples for this study were obtained, the risk of secondary contamination and fungal growth significantly increases. *Penicillium oxalicum* has been identified as a dominant fungal contaminant in these samples. This mold not only causes physical spoilage but also produces hazardous mycotoxins that pose severe health risks, including carcinogenicity and nephrotoxicity. Traditional decontamination methods often compromise the sensitive pigments and bioactive compounds of the fruit. Therefore, infrared (IR) irradiation—a "clean," energy-efficient, and rapid technology—is investigated here as a viable alternative for decontaminating barberry while maintaining its commercial and sensory standards.

Materials and Methods

Sample Preparation and Inoculation

Dried barberry samples were purchased from local markets in Gonbad-e Kavus. Samples were cleaned, and their initial water activity (a_w) was measured and adjusted to 0.6 and 0.8 using controlled rehydration. The target pathogen, *P. oxalicum*, was isolated from contaminated fruit and identified via PCR and sequencing (showing >99% homology with NCBI Gene Bank). Samples were inoculated to a standardized load of Log 3 cfu/g.

IR Treatment and Experimental Design

Treatments were conducted in a custom-designed IR tunnel. A full factorial design was employed with the following variables:

- Lamp Power: 150, 250, and 375 W
- Treatment Time: 60, 100, and 120 s
- Sample Thickness: 1.0 and 1.5 cm
- Initial a_w : 0.6 and 0.8 The distance between the IR lamps and the sample was fixed at 20 cm. Analysis included microbial counting on PDA, color measurement ($L^*a^*b^*$ color space), and a 5-point Hedonic sensory evaluation (color, aroma, taste, texture, and overall acceptability) by 10 trained panelists. Data were analyzed using SAS software ($P < 0.05$).

Results

Inactivation of *Penicillium oxalicum* Spores

The statistical analysis revealed that infrared irradiation lamp power, treatment time, and their interactive effect were the most significant factors influencing spore inactivation ($P < 0.05$). Spore counts consistently decreased as lamp power and exposure duration increased. The maximum microbial reduction reached approximately Log 2.9 cfu/g (nearly a 3-log reduction), which was attained under the most intense processing conditions: 375 W power, 120 s duration, 1.0 cm sample thickness, and an initial water activity of 0.8. While sample thickness and initial water activity showed a numerically positive effect on inactivation, these factors were not statistically significant ($P > 0.05$).

Moisture and Color Changes

The final moisture content was significantly affected by lamp power, time, and initial water activity ($P < 0.05$). Similarly, these three variables were confirmed as significant factors influencing all three-color indices (L^* , a^* , b^*). Increased treatment intensity (higher power and longer time) led to a significant reduction in L^* (decreased lightness) and b^* (decreased yellowness), indicating a degree of thermal degradation and surface browning. However, despite these changes, the overall color change (ΔE) remained statistically non-significant in most comparison groups ($P > 0.05$), suggesting that the visual impact was within acceptable limits.

Sensory Evaluation

Lamp power proved to be the most influential factor, significantly affecting all sensory parameters ($P < 0.05$). Samples treated with the lowest power (150 W) consistently received the highest overall acceptability scores from the panelists. These samples retained their fresh-like aroma and characteristic tartness. Conversely, increasing the

water activity from 0.6 to 0.8, particularly at the 150 W power level, resulted in a significant improvement in the textural attributes of the barberry, preventing the excessive hardening often associated with thermal processing.

Discussion and Conclusion

The antimicrobial efficacy of IR irradiation is directly proportional to the delivered energy (Power $\times$ Time). The thermal kill observed in this study aligns with inactivation kinetics reported for other microbial contaminants in dried fruits. The significant reduction in L^* and b^* indices at high intensity highlights the inherent "Safety-Quality Trade-off" in thermal decontamination; excess thermal load compromises the natural aesthetics of the fruit. This dilemma was further emphasized by the sensory results: treatments most effective at microbial reduction (high power) simultaneously led to the lowest overall acceptability scores due to over-drying and texture degradation. In conclusion, IR irradiation represents an effective technology for reducing the *P. oxalicum* fungal load in dried barberry, achieving up to a 3-log reduction. While the method significantly impacts microbial safety, achieving full industrial implementation requires further optimization. A balanced set of conditions—specifically lower power levels (around 150 W) combined with adjusted water activity—ensures adequate microbial safety standards while effectively mitigating adverse effects on the sensory and color quality of this valuable fruit.

.



پرتودهی مادون قرمز و اثرات آن بر میزان آلودگی و کیفیت زرشک خشک

مهدیه وفادارقاسمی^۱، مهدی کاشانی نژاد^{۲*}، مرتضی خمیری^۳، مهدیه حسینی^۳

۱- گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی بهاران گرگان، ایران.

۲- گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰

چکیده

بار میکروبی و رشد میکروارگانیسم‌ها از مهم‌ترین عواملی هستند که بر کیفیت محصول زرشک تاثیر می‌گذارند. بعلاوه اهمیت زرشک بعنوان چاشنی غذایی هدف از این مطالعه بررسی اثر پرتودهی مادون قرمز بر کاهش تعداد اسپورهای پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم در زرشک خشک و ویژگی‌های کیفی آن بود. اسپور پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم به عنوان شاخص آلودگی زرشک خشک جهت بررسی اثر پرتودهی مادون قرمز استفاده شد. پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم به نمونه‌های خشک زرشک تلقیح شد. سپس نمونه‌ها در ۲ ضخامت ۱ و ۱/۵ cm، ۲ فعالیت آبی متفاوت ۰/۸ و ۰/۶ و همینطور در ۳ زمان ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ s توسط ۳ لامپ مادون قرمز با ۳ توان ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ w تیمار شدند. ارزیابی حسی نمونه‌ها نیز توسط ارزیاب‌ها انجام شد. همچنین علاوه بر ارزیابی حسی و اندازه‌گیری میزان پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم، رطوبت و فاکتورهای رنگی a^* ، b^* ، L^* و ΔE نیز مورد اندازه‌گیری واقع شد. نتایج نشان داد پرتودهی زرشک با لامپ مادون قرمز در همه‌ی تیمارها تاثیر معناداری بر کاهش تعداد اسپورهای پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم و همچنین رطوبت نمونه زرشک خشک دارد به طوری که بیشترین کاهش پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم $2/9 \text{ cfu/gr}$ و بیشترین کاهش رطوبت ۳/۴ درصد بود که در نمونه‌ی مربوط به لامپ ۳۷۵، زمان ۱۲۰ s و ضخامت ۱ cm مشاهده شد. همچنین افزایش تیرگی نمونه زرشک با افزایش توان لامپ و کاهش فعالیت آبی و کاهش عمق نمونه همراه بود. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از تابش مادون قرمز به عنوان یک روش غیرشیمیایی و سریع، پتانسیل بالایی در کاهش بار قارچی زرشک داشته و می‌تواند بدون نیاز به افزودنی‌های مضر، ماندگاری و ایمنی این محصول صادراتی را در فرآیندهای صنعتی بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی زدایی، ارزیابی حسی، پرتودهی با مادون قرمز، پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم، زرشک.

* kashani@gau.ac.ir

مقدمه

زرشک خشک از گیاه بربریس ولگاریس^۱ از خانواده بربریاسه می باشد (۱). این نوع از خشکبار بعد از زعفران عمده ترین محصول منطقه جنوب خراسان است که در حیات اقتصادی کشاورزان منطقه تاثیر بسزایی دارد (۲). مهم ترین مرحله از فرآوری زرشک، خشک کردن آن است (۳). خشک کردن زرشک از رشد میکروارگانیسم ها می کاهد، اما آن ها را به میزان کافی غیرفعال نمی کند و در نهایت امکان وجود میکروارگانیسم ها در محصول وجود دارد (۴). یکی از گونه های مهم موجود در زرشک خشک پنی سیلیوم^۲ است. بعضی از گونه های آن از نقطه نظر صنایع غذایی و دارویی مهم بوده و بعضاً بیماری زا هستند. مایکوتوکسین هایی مانند پاتولین از گونه های پنی سیلیوم تولید می شوند که می توانند دلیل ایجاد سرطان در انسان باشد. گونه های مختلف پنی سیلیوم جز قارچ های آلرژی زا شناخته می شوند و عامل مهم در ایجاد آسم هستند (۵). جز مسئله آلودگی و بیماری هایی که می تواند ناشی شود، زرشک خشک از جمله خشکبار صادراتی ایران و محصول غیرنفتی و با ارزش است. یافتن روش هایی به منظور ضدعفونی این محصول راه را برای صادرات آن هموار می کند (۶).

با توجه به مشکلات مطرح شده، یافتن راه حل مناسب برای ضدعفونی زرشک امری ضروری محسوب می شود. امروزه روش های مختلف نگهداری مواد غذایی از قبیل مواد شیمیایی، دوددهی و پرتودهی به عنوان روش های حفظ مواد غذایی استفاده می شود (۷). با این حال کیفیت محصول در بیشتر روش های نگهداری، هم زمان با کاهش موثر عوامل بیماری زا کاهش می یابد (۸). به عنوان مثال دود گوگرد از روش های متداول ضدعفونی خشکبار است که تنفس غلظت

غیرمجاز آن انسان را دچار مسمومیت می کند (۹). بنابراین باید در روش ضدعفونی محصولات خشک بازنگری شود یا روش جدیدی برای کاهش آلودگی خشکبار تعریف گردد. استفاده از روش نوین و پاک می تواند زمان را کوتاه و انرژی مصرفی را کاهش دهد و هم کیفیت محصول نهایی و سلامت میکروبی آن را تضمین کند (۱۰). یکی از روش های نوین و پاک که در عین حال مواد غذایی را با کیفیت بالا و ایمن می سازد، پرتودهی مادون قرمز است که روش کارآمد به کارگیری گرما در مقایسه با حرارت دهی معمولی است؛ زیرا موجب کاهش انرژی تا ۲۴۵ درصد می شود (۸). این در حالی است که اگر نسبت به ضدعفونی زرشک خشک بی توجهی شود، صادرات زرشک که در مقایسه با سایر محصولات تولیدی در خراسان جنوبی از نظر رشد اقتصادی، از جایگاه بهتری برخوردار است، رکود می کند؛ چرا که کاهش کیفیت از نظر میکروبی و ظاهری، جز عوامل موثر بر صادرات این محصول است (۱۱). مطالعه روی خشکباری مثل بادام که بوسیله پرتو مادون قرمز مورد پرتودهی قرار گرفت نشان از گستره دمایی ۹۰ و ۸۰ C° بود که مادون قرمز آن را ایجاد کرد و به ترتیب به کاهش ۵ تا ۴ لگاریتمی پدیوکوکوس^۳ انجامید. همچنین پونه تلقیح شده با باسیلوس سرئوس^۴ را با مادون قرمز مورد مطالعه قرار دادند و اثر آن را بر فعالیت آبی و رنگ و مقدار میکروارگانیسم ارزیابی کردند که با کاهش ۵/۶ لگاریتمی این میکروارگانیسم رو به رو شدند اما مقدار رنگ و فعالیت آبی ثابت باقی ماند (۱۱).

فعالیت آبی، بار میکروبی و رشد میکروارگانیسم ها و فعالیت آنزیمی و تغییر رنگ حاصل از اکسیداسیون مهم ترین عواملی هستند که بر کیفیت محصول زرشک تاثیر می گذارند (۳). اما کمتر به این موضوعات در زمینه های پژوهشی پرداخته شده است. بنابراین هدف از این بررسی اثر تغییرات همزمان

³ *Pediococcus*⁴ *Bacillus cereus*¹ *Berberis vulgaris*² *Penicillium*

توان لامپ مادون قرمز (۱۵۰، ۲۵۰، ۳۷۵) و عمق نمونه ۱ و ۱/۵ cm، زمان ۱۲۰، ۱۰۰، ۶۰ s و همینطور فعالیت آبی بود.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه زرشک

زرشک خشک شده از گیاه بربریس ولگاریس از خانواده بربریس از بازار محلی گنبد کاووس خریداری شد (۱۲) و تا قبل از آزمایش در بسته‌های پلی اتیلن تیره مقاوم به رطوبت بسته بندی و در دمای 7°C در یخچال نگهداری شد. به منظور اندازه گیری رطوبت برای نمونه‌ها، قبل و بعد از تیمار از استاندارد اندازه گیری رطوبت خشکبار به روش آون هوای داغ (105°C و زمان ۵ h) استفاده شد (۱۳).

اندازه گیری رنگ زرشک

جهت اندازه گیری رنگ پتری دیش‌های حاوی نمونه به منظور اندازه گیری رنگ زرشک قبل و بعد از پرتو دهی در محفظه مناسب و روی صفحه سفید قرار داده شد و تصویربرداری با استفاده از دوربین دیجیتال ۱۲ مگاپیکسل انجام گرفت. از تصاویر گرفته شده توسط نرم افزار ایمیج جی و برنامه موجود در پلاگین آن، تصاویر از فضای رنگی RGB به XYZ و سپس به a^* ، L^* ، b^* و با استفاده از روش دو مرحله‌ای تبدیل گردیدند. سپس به کمک نرم افزار ایمیج جی تصاویر مورد پردازش قرار گرفتند (۱۴).

اندازه گیری و تنظیم فعالیت آبی زرشک

همچنین اندازه گیری فعالیت آبی نمونه‌های زرشک توسط دستگاه aw متر انجام شد (۱۲). افزایش فعالیت آبی به ۰/۸ اصلاح شد، نیمی از زرشک‌های خریداری شده به مدت ۱۵ min در آب مقطر استریل غوطه‌ور و جهت تنظیم aw به مدت یک هفته در کیسه‌های پلی اتیلن مقاوم به رطوبت در یخچال نگهداری شدند و پس از رسیدن به شرایط پایا، فعالیت آبی آن‌ها توسط دستگاه aw متر اندازه گیری شد.

جداسازی و شناسایی کپک پنی‌سیلیوم از زرشک

در ادامه جهت جداسازی میکروارگانیسم غالب در نمونه زرشک خشک به صورت تصادفی توسط پنس استریل به محیط کشت پوتیتودکستروز آگار^۱ منتقل گردید و سپس نمونه‌ها در دمای 25°C انکوبه گذاری شدند. پس از سه روز اطراف زرشک‌ها قارچ‌هایی که از نظر ظاهر یعنی رنگ ریشه، اسپور و رنگ کلنی شبیه پنی‌سیلیوم بودند جداسازی و به محیط کشت جدید پوتیتودکستروز آگار منتقل شدند و بعد از انکوبه گذاری مجدد به مدت ۵ روز کپک خالص سازی شده، رشد کرده و برای مطالعات بعدی به یخچال 4°C انتقال داده شد.

استخراج DNA از میسیلیوم کپکی

از کشت سه روزه قارچ پنی‌سیلیوم در محیط کشت سبب زمینی دکستروز آگار قطعاتی به داخل محیط مایع سبب زمینی دکستروز انتقال و بعد از ۵ روز گرمخانه گذاری در انکوباتور شیکردار در دمای 25°C میسیلیوم‌های آن جمع و به وسیله کویدن در هاون استیل توسط ازت مایع به صورت پودر آماده شدند. ۵۰ تا ۷۰ mg از پودر به میکروتیوب منتقل شده و $600\ \mu\text{L}$ بافر استخراج گرم شده (۲ CTAB درصد، ۱۰۰ mmol Tris HCl، $\text{pH}=8$ ، ۲۰ mmol EDTA، ۲۰ mmol NaCl، ۱/۴ mol PVP، ۳ درصد، بتامر کاپتو اتانول ۰/۲ درصد) به آن اضافه شد سپس در 65°C به مدت ۴۵ min حرارت داده شد. $400\ \mu\text{L}$ کلروفرم-ایزواکیل الکل به نسبت ۲۴ به ۱ اضافه شده و به مدت ۱۰ min با چرخاندن تیوب مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ min در ۱۲۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. فاز رویی (حدود $200\ \mu\text{L}$) برداشته و به تیوب جدید منتقل شد. دو سوم حجم ایزوپروپانول سرد به آن اضافه شده و در فریزر به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شد و به مدت ۱۰ min با دور ۱۳۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. اتانول تخلیه شده و $70\ \mu\text{L}$ آب دیونیزه به پلیت حاصله در انتهای تیوب اضافه شد و این ترکیب به مدت یک شب در 4°C نگهداری شد. جهت تعیین کمیت و کیفیت DNA استخراج شده از اسپکتوفتومتر با طول موج و نسبت جذب nm

¹ Potato dextrose agar

۲۶۰/۲۸۰ استفاده و واکنش زنجیره‌ای پلی مرارز ۱ طبق برنامه دمایی زیر و پرایمرهای ITS4 و ITS5 انجام گرفت (۱۵).

ITS4: TCCTCCGCTTATTGATATGC

ITS5: GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG

محصول PCR روی ژل آگارز ۱/۵ درصد رنگ شده با اتیدیوم بروماید در دستگاه الکتروفورز با ولتاژ ۸۵ V به مدت دو ساعت الکتروفورز شد. محاسبه وزن ملکول قطعات تکثیر شده با استفاده از نشانگر kplus DNA ladder 600 pb تعیین و ژل الکتروفورز توسط دستگاه آشکارساز زیر نور ماوراء بنفش عکس برداری شد (۱۶).

تعیین توالی و مقایسه توالی‌ها

جهت تعیین توالی ژن‌های حاصل از رشد جدایه و واکنش‌های زنجیره‌ای پلی مرارز به شرکت ماکرون کره ارسال گردید. با کمک برنامه بلاست^۲ توالی حاصل با توالی موجود در بانک ژن (NCBI) مقایسه شد. جدایه توالی با موارد موجود در سایت بانک اطلاعات ژنتیک (NCBI) بیش از ۹۹ درصد مشابهت نشان داد و بعنوان گونه پنی‌سیلیوم اگزالیکوم شناسایی شد (۱۷).

تهیه سوسپانسیون اسپور قارچ

پنی‌سیلیوم اگزالیکوم بر روی محیط کشت پوتیتودکستروز آگار کشت و جداسازی اسپورها توسط محلول توین ۰/۰۵ درصد که به محیط کشت حاوی اسپور منتقل شده بود، صورت گرفت. سپس رقت‌های اعشاری مناسب تهیه و به چاهک‌های لام هموسایتومتر منتقل و توسط میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی ۴۰ مشاهده شد (۲). از محلول اولیه اسپور قارچ مذکور به میکروتیوپ‌ها انتقال داده و در میکروسانتریفوژ قرار داده شد. بعد از اتمام سانتریفوژ، اسپورکف میکروتیوپ‌ها جمع شده و محلول مایع در سطح بالای اسپورها قرار گرفت (۱۸). از اسپور جمع شده در کف میکروتیوپ‌ها که با لام هموسایتومتر شمارش شد و تعداد

کلنی 8 Log cfu/gr بود، رقیق‌سازی انجام گرفت به طوری که نهایتاً در هر گرم سوسپانسیون اسپور، 10^3 اسپور پنی‌سیلیوم اگزالیکوم باقی ماند.

آماده‌سازی زرشک قبل از پرتودهی

زرشک‌ها به مدت یک دقیقه در الکل، استریل و ۲ بار با آب مقطر آب‌کشی شدند و در پلیت‌های استریل توسط کاغذ صافی، آب اضافه زرشک‌ها قرار گرفته شد. جهت اطمینان از ضدعفونی کامل، زرشک در محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار و پلیت کانت آگار ۳ کشت شد (۱۹).

سپس از رقت 10^3 به نمونه زرشک تلقیح شد. بعد از تلقیح برای حضور از اطمینان تقریبی رقت $0/001$ در زرشک خشک، کشت در محیط‌های سیب‌زمینی دکستروز آگار و پلیت کانت آگار انجام شد. به این شکل که 10 gr از نمونه زرشک تلقیح شده به 90 ml محلول رینگر اضافه شد و بعد از انکوبه‌گذاری شد (۱۲).

پرتودهی

جهت پرتودهی از یک محفظه‌ی تونل حامل مادون قرمز استفاده شد. لامپ‌های مورد استفاده مادون قرمز در توان‌های ۳۷۵، ۲۵۰ و ۱۵۰ w بودند. فاصله لامپ و نمونه در این تونل 20 cm و دهانه این تونل به اندازه دهانه پلیت حاوی نمونه در نظر گرفته شد. ضخامت نمونه‌ها ۱ و $1/5 \text{ cm}$ و زمان پرتودهی ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ s در نظر گرفته شد. محل اتصال لامپ به درون تونل به صورتی آماده شد که بتوان لامپ را به شبکه برق متصل کرد.

پتری‌دیش‌های حاوی زرشک خشک تلقیح شده با پنی‌سیلیوم اگزالیکوم که حاوی نمونه زرشک بودند تهیه و در زمان‌های ذکر شده توسط لامپ‌های نام برده در

^۲ -Blast

^۳ - Plate Count Agar

^۱ -Polymerase Chain Reaction

دانکن انجام شد. در این تحقیق مقدار P کوچکتر از $0/05$ ($P < 0/05$) معنی دار در نظر گرفته شد.

نتایج

طبق نتایج حاصل جدایه توالی با موارد موجود در سایت بانک اطلاعات ژنتیک (NCBI) بیش از ۹۹ درصد مشابهت نشان داد و به عنوان گونه پنی سیلیوم *اگزالیکوم* شناسایی شد.

تاثیر مادون قرمز بر غیرفعال سازی اسپورهای پنی سیلیوم *اگزالیکوم*

آنالیزهای آماری نشان داد، توان لامپ مادون قرمز، زمان فرآیند و اثر متقابل آنها، تاثیر معناداری بر نابودی اسپور پنی سیلیوم *اگزالیکوم* داشتند ($P < 0/05$). این در حالی بود که با افزایش زمان و توان لامپ، تعداد پنی سیلیوم *اگزالیکوم* کاهش یافت. اما افزایش ضخامت و فعالیت آبی نمونه های زرشک باعث کاهش معنی دار در تعداد اسپورها نشدند ($P < 0/05$). در نمودار ۱ و ۲ تعداد اسپورهای پنی سیلیوم *اگزالیکوم* در مقابل زمان، توان لامپ، فعالیت آبی و ضخامت مورد بررسی قرار گرفت که نشان دهنده این موضوع است که با افزایش زمان، میزان پنی سیلیوم *اگزالیکوم* کاهش بیشتری پیدا می کند.

ضخامت های ۱/۵ cm و ۱ و فعالیت آبی ۰/۸ و ۰/۶ در معرض پرتو مادون قرمز قرار گرفتند (۴).

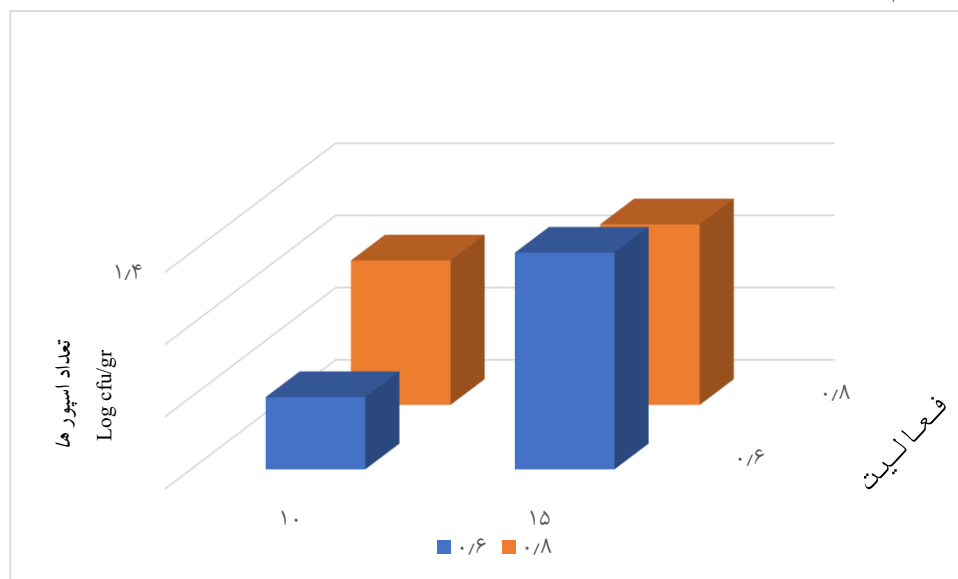
آزمون های بعد از پرتو دهی

جهت شمارش تعداد میکروارگانیسم ها در نمونه های استریل، نمونه آغشته به اسپور کپک پنی سیلیوم *اگزالیکوم* و نمونه تیمار شده با مادون قرمز از روش کشت سطحی استفاده شد. به این صورت ۱۰ gr از هر نمونه وزن و به صورت جداگانه در ارلنی حاوی ۹۰ ml محلول رینگر انتقال داده شد. رقت ۰/۰۰۱ در محیط کشت پوتیتود کستروز آگار کشت داده شد. نهایتاً پتری دیش های کشت شده در دمای 25°C ، ۵ تا ۷ روز انکوبه گذاری و تعداد کلنی ها شمارش شد (۱۲).

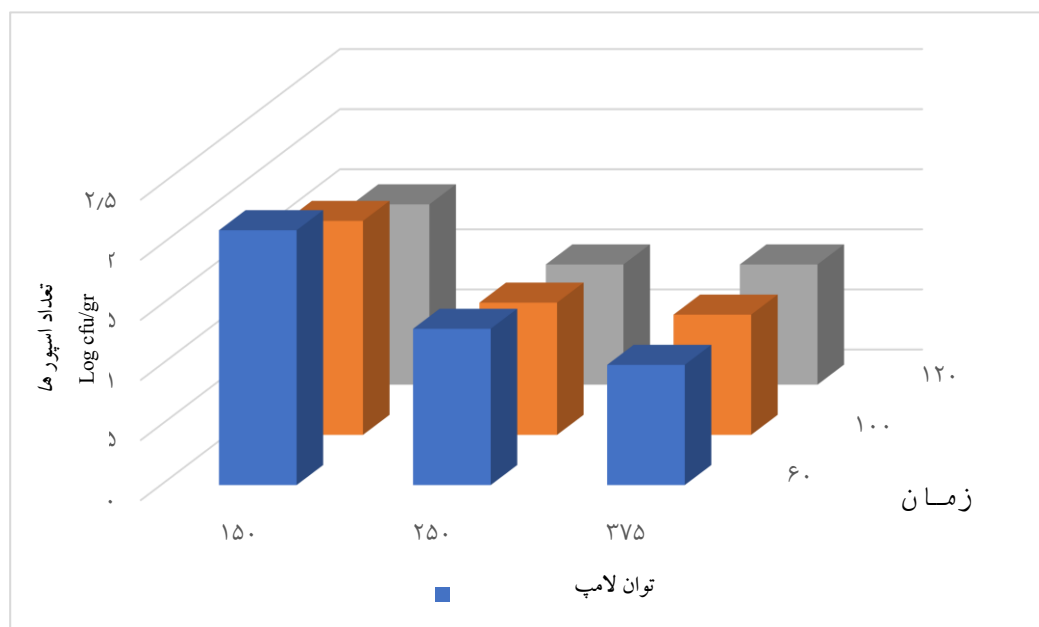
ارزیابی خصوصیات حسی شامل رنگ، بو، مزه، بافت و ارزیابی کمی زرشک پرتو داده شده توسط مادون قرمز، با استفاده از آزمون هدونیک ۵ نقطه ای انجام شد. این آزمون توسط ۱۰ پانلسیت آموزش دیده برای هر نمونه زرشک پرتو داده شده انجام شد (۲۰).

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایشات در کلیه مراحل با ۳ بار تکرار انجام و آنالیز آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین با آزمون



شکل ۱- اثر متقابل ضخامت و فعالیت آبی نمونه زرشک در حین پرتو دهی به پنی سیلیوم *اگزالیکوم*

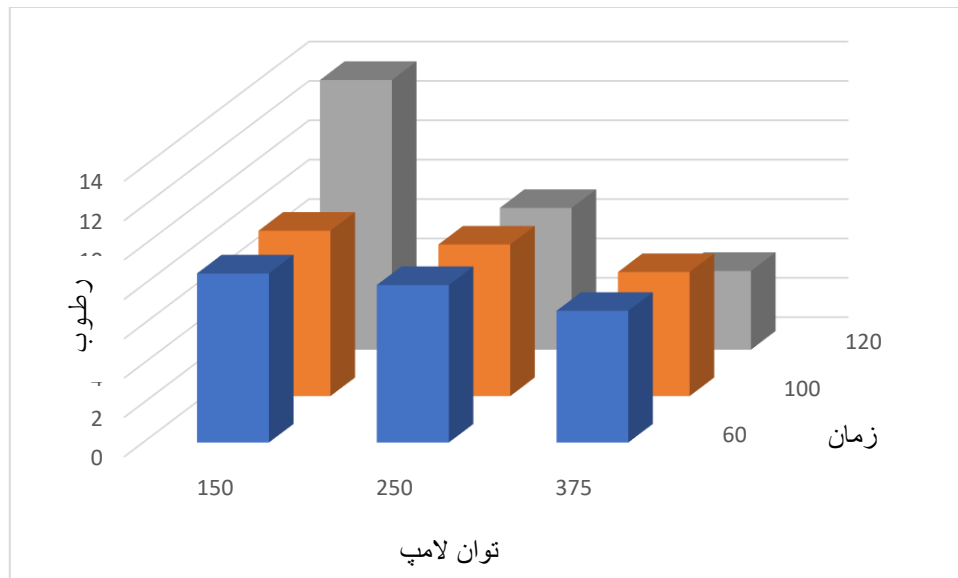


شکل ۲- اثر متقابل توان لامپ مادون قرمز و زمان پرتو دهی به پنی سیلیوم اگزالیکوم

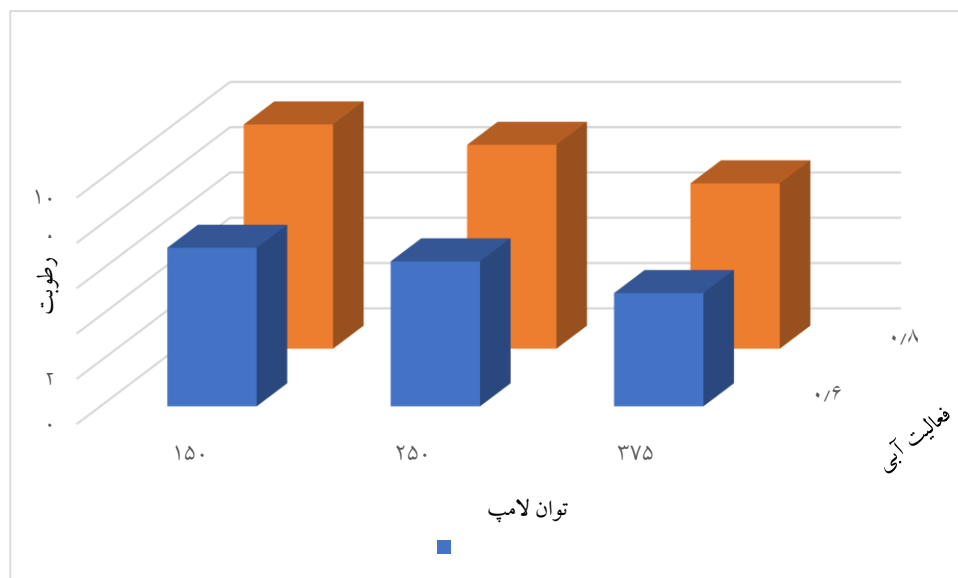
تأثیر پارامترهای فرآیند مادون قرمز بر رطوبت زرشک پرتو دهی شده

نتایج حاصل از بررسی رطوبت زرشک‌های پرتو دهی شده با مادون قرمز نشان داد، تغییرات توان لامپ مادون قرمز ۱۵۰ به ۳۷۵ W و فعالیت آبی اثر معنی داری بر رطوبت زرشک

داشتند ($P < 0.05$). اما زمان پرتو دهی، ضخامت نمونه اثر معنی داری بر میزان رطوبت زرشک پرتو دهی نداشتند ($P > 0.05$). طوری که فعالیت آبی و لامپ مادون قرمز بیشترین تأثیر را در پارامتر رطوبت دارند و در اغلب سطوح، با تغییراتی در پارامتر، میزان رطوبت زرشک تغییر کرده است.



شکل ۳- اثر متقابل توان لامپ مادون قرمز و زمان پرتو دهی به رطوبت زرشک



شکل ۴- اثر متقابل توان لامپ مادون قرمز و فعالیت آبی زرشک به رطوبت

۲۵۰ و ۳۷۵ W در اثر متقابل با سایر فاکتورها مثل توان، زمان و فعالیت آبی هیچ گونه اثر معنی داری از خود نشان نداد.

تأثیر مادون قرمز بر شاخص های رنگ (L^* , b^* , a^*) و ΔE

تغییرات فاکتور b^* در زرشک

شاخص b^* نشان دهنده طیف آبی زرد و بین ۶۰- (آبی) و ۶۰+ (زرد) (۲۱). نتایج حاصل از این پژوهش (جدول ۱) نشان داد افزایش توان لامپ مادون قرمز، افزایش زمان پرتو دهی و کاهش فعالیت آبی بر فاکتور b^* اثر گذار و باعث

تغییرات شاخص a^*

با توجه به نتایج حاصل (جدول ۱) بیشترین عامل مؤثر در پارامتر a^* لامپ مادون قرمز، زمان فرآیند و فعالیت آبی بود و پارامتر ضخامت تأثیر کمتری نسبت به سایر فاکتورها بر نمونه داشت. در واقع لامپ ۱۵۰ W بدون اثر معنی دار و لامپ

کاهش معنی دار در ($P < 0/05$) این فاکتور شد. همچنین تغییر ضخامت زرشک بر b^* اثر معنی دار نداشت ($P < 0/05$).

فاکتور L^*

همچنین فاکتور L^* این فاکتور نیز همانند b^* با افزایش دو فاکتور توان لامپ مادون قرمز و زمان پرتودهی و همچنین کاهش فعالیت دارای اثر معنی دار ($P < 0/05$) شد. این در حالی بود که تغییر ضخامت اثری بر این فاکتور نداشت ($P < 0/05$).

ΔE نمونه های زرشک

جدول ۱- آنالیز کلیه تیمارها و مقایسه پارامترهای a^* ، b^* ، L^* ، ΔE ، پذیرش کلی، بافت، مزه، بو، رنگ زرشک با نمونه شاهد

تیمار	زمان	نمونه های	فعالیت آبی	نمونه های	بافت	a^*	b^*	L^*	ΔE	بافت	مزه	بو	رنگ
۰	۰	۱۰	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۶۰	۱۰	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۰	۱۰	۰/۸	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۵	۱۵	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۵	۱۵	۰/۸	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۰۰	۱۰	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۰	۱۰	۰/۸	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۵	۱۵	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۵	۱۵	۰/۸	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۲۰	۱۰	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۰	۱۰	۰/۸	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd
۱۵	۱۵	۰/۶	۲/۹ ^۱	۷/۵ ^۱ kl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰/۱a	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd	۴/۶cd

۴/۸fgh	۴/۸def	۴/۸def	۴/۹fg	۴/۸cd	۰/۸۵bcd	۱۵/۰۱m	۹/۸fm	۲/۱۵bc	۶۶opq	۱/۶۵fgh	۰/۸	۱۵	
								۱	۹				
۴/۹gh	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۵g	۴/۹cd	۱/۲rde	۱/۸۹fgh	۰/۳fghij	۲/۴۶cd	۷/۳fghi	۱/۹abcde	۰/۶	۱۰	۶۰
						۲	۹	۱	۶	۱			
۴/۹gh	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۵g	۵d	۱/۵۶def	۱۴/۳fl	۹/۶l	۲/۴۸cd	۹/۱n	۱/۱abcde	۰/۸	۱۰	
								۱					
۴/۹gh	۴/۸def	۴/۸def	۵g	۴/۹cd	۱/۶vdefg	۱/۸۹fgh	۹/۰vghij	۲/۳۸cd	۷/۳fghi	۴/۸abcde	۰/۶	۱۵	
						۲		۱	۶	۱			
۴/۹gh	۴/۹ef	۴/۹ef	۵g	۵d	۱/۵۶def	۱۴/۳al	۹/۳۴k	۲/۵۱cd	۳/۶nop	۱/۵cdef	۰/۸	۱۵	
								۱	۹				
۴/۴cdefg	۳/۸bcdef	۳/۸bcdef	۵cdefg	۴/۶cd	۲/۳rgh	۱۲/۴۲e	۰/۴fghij	۲۱/۶۶d	۶/۲۶def	۱/۲abcde	۰/۶	۱۰	۱۰۰
	۴	۴	۴				۹						
۴/۴cdefg	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۴/۷defg	۴/۷cd	۲/۴phi	۱۳/۷vij	۹/۴۱kl	۲۲/۴۰e	۹/۱n	۱>abcd	۰/۸	۱۰	
۲/abcde	۳/۷abc	۳/۸bcde	۴/۳cde	۴/۴bc	۲/۱۶fgh	۱۲/۶۰ef	۹/۰۸ghij	۲۱/۸۳d	۶/۴۶efg	۱/۳abcde	۰/۶	۱۵	
۴		۴											
۴/۳bcdef	۳/۷abc	۴/۶bcdef	۵cdefg	۴/۶cd	۲/۴ghi	۱/۸۵ijk	۹/۲۱ijk	۲۲/۳۵e	۹/۱۶no	۱abcde	۰/۸	۱۵	
			۴			۳							
۲/abcde	۳/۷bcde	۴/۲abcd	۴/۲cd	۴ab	۳/۰۶ijkl	۱۱/۹۰d	۰/۹efgh	۲۲/۲۸e	۶/۰۳cde	۱>ab	۰/۶	۱۰	۱۲۰
۴							۸						
۲/abcde	۴/۳cdef	۴/۸bcdef	۴/۲cd	۴/۴bc	۲/۸۶hijk	۱۳/۵۹i	۹/۱۵hijk	۲۲/۷۴ef	۸/۳m	۱>a	۰/۸	۱۰	
۴		۴											
۴abc	۳/۷bcde	۴/۱abc	۴/۲cd	۴ab	۳/۲۳jklm	۱۱/۸۵d	۰/۹defghi	۲۲/۵۳ef	۶/۰۶cde	۱>abcd	۰/۶	۱۵	
							۸						
۲/abcde	۴/۱cdef	۴/۸bcdef	۴/۲cd	۴/۴bc	۲/۸hij	۱۳/۶vi	۰/۵fghij	۲۲/۷۲ef	۸/۵۶m	۱>abc	۰/۸	۱۵	
۴		۴					۹						
۴/۱abcd	۳/۴abc	۴/۶bcdef	۴/۱bc	۴/۶cd	۳/۷lmno	۱۱/۳۵c	۸/۷۲cde	۲/۲۲gh	۵/۷۳c	۱>abc	۰/۶	۱۰	۶۰
								۳					
۲/abcde	۳/۴abc	۴/۶bcdef	۴/۴cdef	۴/۹cd	۴/۷klmn	۱۳/۰۸gh	۸/۷۲cde	۲۲/۷۳ef	۷/۵۳jkl	۱>abc	۰/۸	۱۰	
۴					۳								
۲/abcde	۳/۴abc	۴/۶bcdef	۴/۶cdefg	۴/۹cd	۴/۰۴nop	۱۱/۳۸c	۸/۸۱def	۲/۲۷gh	۵/۷۶cd	۱>abc	۰/۶	۱۵	
۴			۴					۳					
۲/abcde	۳/۴abc	۴/۶bcdef	۴/۶cdefg	۴/۹cd	۳/۲۶jklm	۱۳/۲۰h	۰/۸۴defg	۲۲/۷۴ef	۷/۷۶l	۱>abc	۰/۸	۱۵	
۴			۴				۸						
۲/abcde	۳/۲ab	۴/۶bcdef	۴/۱bc	۴/۹cd	۳/۸۳mno	۱/۱۵abc	۸/۳۹ab	۲/۲۷gh	۵/۰۶b	۱>a	۰/۶	۱۰	۱۰۰
۴						۱		۳					
۲/abcde	۳/۶abc	۴/۷cdef	۴/۳cde	۴/۹cd	۵/۲jklmn	۱۲/۸۵fg	۸/۵۴bc	۲۳/۰۱fg	۷/۲۶ijkl	۱>a	۰/۸	۱۰	
۴					۳/								
۲/abcde	۴/۷cdef	۴/۷cdef	۴/۱bc	۴/۹cd	۴/۳۶op	۱۱/۲۲bc	۸/۳۹ab	۲/۴۲gh	۵/۰۶b	۱>a	۰/۶	۱۵	
۴								۳					
۵cdefgh	۴/۷cdef	۴/۷cdef	۴/۳cde	۴/۹cd	۳/۶۳lmn	۱۳/۰۱gh	۸/۵۲bc	۲۲/۹۷fg	۷/۷kl	۱>a	۰/۸	۱۵	
۴/													

۱۵۰

۱۷۰

۳/۷a	۴ab	۴ab	۳/۴a	۳/۸a	۴/۷p	۱۰/۸۹a	۸/۱۷a	۲۳/۵۶h	۴/۱a	۱>a	۰/۶	۱۰	۱۲۰
۴abc	۴ab	۴ab	۳/۶ab	۳/۹a	۵۶klmn	۱۲/۷۶fg	۸/۳۸ab	۲۳/۵۶gh	۵۶efgh	۱>a	۰/۸	۱۰	
					۳			۳	۶				
۳/۸ab	۳/۹a	۳/۹a	۳/۶ab	۳/۹a	۴/۷p	۱۰/۹۴ab	۸/۲۲a	۲۳/۶۶h	۴/۲۳a	۱>a	۰/۶	۱۵	
۳/۷a	۴ab	۴ab	۳/۶ab	۳/۷a	۳/۹۳mno	۱/۹۰fgh	۸/۶۱bcd	۲۳/۱gh	۷/۰۶ij	۱>a	۰/۸	۱۵	
					۲			۳					

بحث و نتیجه گیری

تأثیر تابش مادون قرمز به مواد غذایی به علت انعکاس، جذب، عبور، تفرق اشعه بوده و عمق نفوذ و تبدیل انرژی تابشی به شکل گرما درون محصول اشعه دیده به طول موج مادون قرمز، ترکیب ماده غذایی، فعالیت آبی و ضخامت محصول وابسته است (۲۳). با توجه به نتایج پژوهش حاضر تغییرهای زمان، توان لامپ، ضخامت نمونه و همینطور فعالیت آبی زرشک مورد بررسی قرار گرفت که توان لامپ مادون قرمز و زمان پرتودهی در اکثر موارد به طور موثری بر کاهش پنیسیلیوم/گزلایکوم موثر بوده است و سایر عوامل نیز اثرات مشخصی بر سایر فاکتورها اعمال کرده اند.

این در حالی است که یوشینو و همکاران در مطالعه ای چند میکروارگانیزم را در محیط کشت سیب زمینی دکستروز آگار در معرض پرتو مادون قرمز قرار دادند. گونه های پنیسیلیوم با کاهش ضخامت نمونه در دما و زمان کمتر از تعدادشان کاسته شد و با افزایش ضخامت و دما، زمان بیشتری جهت کاهش بار میکروبی نیاز داشتند. این مطلب در مورد گونه های بوتریتیس سنیر^۱ و گونه های کلادوسپوریوم^۲ نیز صادق بود (۳۲). در تحقیق حاضر از گونه پنیسیلیوم با کاهش ضخامت نمونه، دما و زمان کمتر کاسته شد هر چند ضخامت اثر معنی داری بر تعداد اسپور پنیسیلیوم/گزلایکوم نداشت اما دما و زمان به طور معنی دار اثر بخش بودند.

در پژوهش دیگری جان بر روی اثر پرتودهی مادون قرمز بر غیرفعال سازی آسپژیلوس نایجر^۳ و فوزاریوم پرولیفراتوم^۴ در بلغور ذرت را مطالعه کرد. این در حالی بود که کاهش

اثر پرتودهی مادون قرمز بر ویژگی های حسی نمونه زرشک

بو و رنگ زرشک

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه های زرشک به وسیله ارزیاب ها نشان داد بو و رنگ زرشک به شکل معنی داری با افزایش توان لامپ مادون قرمز تغییر یافته و نمونه های تیمار شده با لامپ ۱۵۰ W بیشترین امتیاز را از ارزیاب ها گرفتند، این در حالی بود که با افزایش توان در همه تیمارها امتیاز دریافتی توسط ارزیاب ها کاهش یافت ($P < 0/05$). ضخامت بالاتر و فعالیت آبی بیشتر نیز مقدار غیرقابل توجه امتیاز بالاتری از سایر نمونه ها دریافت کردند ($P < 0/05$).

بافت زرشک

عوامل توان و زمان و اثر متقابل آنها به شکل معنی داری بر ویژگی های بافتی نمونه های زرشک اثر داشتند. همچنین با ارزیابی های انجام شده افزایش فعالیت آبی از ۰/۶ به ۰/۸ به شکل معنی دار در توان ۱۵۰ W، باعث بهبود ویژگی های بافت زرشک گردید.

ارزیابی حسی

نتایج آنالیز آماری (جدول ۱) در بررسی پذیرش کلی زرشک نشان داد ارزیاب ها در کلیه تیمارهای لامپ ۱۵۰ و نیمی از تیمارهای لامپ ۲۵۰ W تغییری نسبت به نمونه شاهد احساس نکردند.

³ *Aspergillus niger*

⁴ *Fusarium proliferatum*

¹ *Botrytis cinerea*

² *Cladosporium*

تقریبی ۲ لگاریتمی *آسپرژیلوس نایجر* با ۵ min تیمار به دست آمد (۲۵). مطالعات بر روی اسپور تلقیح شده بر روی زرشک خشک نیز نشان دهنده کاهش تقریبی ۳ لگاریتمی از پنی سیلیوم/اگزالیکوم بر روی نمونه زرشک با توان ۳۷۵ W و در زمان ۱۲۰ S بود. همینطور مطالعه بر روی خشکباری مثل بادام که به وسیله‌ی مادون قرمز پرتو دهی شده بود نیز تا دمای 110°C گرما دیده و در 90°C به مدت ۱۰ min نگهداری شده این عمل منجر به کاهش بیش از ۵/۵ لگاریتمی پدیوکوکوس در مغز بادام شد (۴). در پژوهش دیگری آلودگی سطحی پوسته تخم مرغ تلقیح شده با ای کلای ۱ که مقاومت آن شبیه *سالمونلا آنترا تیدیس*^۲ بود، در برابر پرتو مادون قرمز با دمای 180°C تا ۳۵۰ مورد فرآیند قرار گرفت. پرتو دهی در دمای 250°C به مدت ۱۱۰ S منجر به کاهش سیکل لگاریتمی ۳/۳۷ cfu/gr شد که ایجاد دنا تورا سیون آلومین و اثر نامطلوب بود (۲۶).

شاو نندی و همکاران از تابش مادون قرمز برای غیر فعال سازی *باسیلیوس سرئوس* موجود در هل استفاده کردند. توان لامپ‌های مادون قرمز ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ W، فاصله از منبع تشعشع ۵، ۱۰ و ۱۵ Cm در نظر گرفته شد. بیشترین کاهش *باسیلیوس سرئوس* پس از ۸ min تابش مادون قرمز در توان ۳۰۰ W و در فاصله ۱۵ cm اتفاق افتاد. همینطور مقدار فاکتور a^* در ۲۰۰ W و فاصله ۱۰ cm و تابش ۱۰ min بیشترین تغییر را داشت. اما به طور کلی پرتو دهی با مادون قرمز می‌تواند بدون تغییر شدید، کیفیت دانه‌های هل را حفظ کند (۲۷). در تحقیق حاضر نیز بیشترین کاهش اسپور پنی سیلیوم/اگزالیکوم در ۳۷۵ W لامپ مادون قرمز اتفاق افتاد که افزایش فاکتور زمان نیز بر آن اثر گذار بود. مطابق با تحقیق شاو نندی و همکاران، زرشک تلقیح شده با اسپور پنی سیلیوم/اگزالیکوم از نظر فاکتور a^* به طور معنادار تغییر داشت و به طور کلی می‌توان گفت پرتو دهی با لامپ مادون قرمز اثر نامطلوب زیادی بر کیفیت زرشک خشک نداشت. همینطور مینو و همکاران بر روی سویه‌های *آسپرژیلوس فلاووس*^۳ و

آسپرژیلوس نایجر دو سویه اصلی مرتبط با ماش کار کردند (۲۸). پرتو دهی با مادون قرمز منجر به مهار کامل این قارچ شد و هیچ تاثیر منفی بر خواص بیوشیمیایی و فیزیکی ماش نداشت.

تعیین عمق نفوذ پرتو مادون قرمز به عنوان تابعی از طول موج، نتایج متفاوتی را نشان داده است. به طور مثال اسکولد برنر و همکاران بیان کردند عمق نفوذ پرتوهای مادون قرمز در درون مواد غذایی در طول موج‌های کوتاه در مقایسه با طول موج‌های بلند بیشتر است (۱۹). در حالیکه سالگناک و همکاران بیان کردند عمق نفوذ مادون قرمز به ویژه در مواد متخلخل چندان تابع طول موج نیست (۲۷). همینطور نتایج تحقیقات اردغدو و همکاران نشان داد افزایش فعالیت آبی پودر فلفل قرمز و دانه فلفل سیاه باعث افزایش عمق پرتو مادون قرمز تابیده شده از منبعی با لامپ ۳۰۰۰ W شد (۲۹). در پژوهش حاضر نیز با اینکه بین ۲ فعالیت آبی اثر معنی داری از نظر عمق نفوذ وجود نداشت اما به کاهش میزان اسپورهای پنی سیلیوم/اگزالیکوم انجامید. پن و همکاران مقدار آب موجود در مواد غذایی را عامل موثری در فرآیند مواد غذایی با مادون قرمز دانسته و بیان کردند جذب انرژی مادون قرمز توسط مواد غذایی تابعی از قطر آب موجود در آنهاست (۳۰). نتایج حاصل از این پژوهش نیز نشان داد اثر متقابل زمان پرتو دهی و فعالیت آبی نمونه‌های زرشک بر غیر فعال سازی اسپورهای پنی سیلیوم/اگزالیکوم موثر است اما اثر معنی داری در آن دیده نشد ($P > 0.05$). به این معنی که با افزایش فعالیت آبی و زمان فرآیند پرتو دهی، غیر فعال سازی اسپورها افزایش یافت.

در واقع طبق تحقیقات دسو و همکاران عمق نفوذ پرتو می‌تواند تابعی از مقدار رطوبت، دمای ماده و ویژگی های فیزیکی ماده غذایی باشد (۳۱).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بیشترین اسپور قارچی آلوده کننده نمونه زرشک مورد پژوهش مربوط به پنی سیلیوم

³ *Aspergillus flavus*

¹ *E. coli*

² *Salmonella enteritidis*

۳ فاکتور a^* ، b^* ، L^* موثر و ضخامت تأثیری بر این فاکتور نداشت.

نتایج آزمون ارزیابی حسی نیز نشان داد که توان لامپ مادون قرمز بر همه پارامترهای رنگ، بو، مزه، بافت و پذیرش کل موثر و ضخامت و فعالیت آبی بر پارامترهای مذکور اثر نامطلوبی نداشته است. زمان فرآیند نیز بر رنگ بدون اثر، بر بو، بافت و پذیرش کلی در برخی زمان‌ها اثرگذار و در برخی بدون اثر مشاهده شد. به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده و می‌توان بیان نمود پرتودهی با لامپ مادون قرمز در کاهش بار میکروبی نمونه زرشک تأثیرگذار بوده در حالی که اثر نامطلوبی بر کیفیت آن نداشته است. می‌توان جهت آلودگی‌زدایی سایر مواد غذایی نیز از آن استفاده مطلوب کرد. اما استفاده از آن نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه بهینه‌سازی شرایط فرآیند (زمان، توان لامپ، فعالیت آبی و ضخامت نمونه و ...) به منظور جلوگیری از کاهش ویژگی‌های مطلوب کیفی در این محصول ارزشمند گیاهی دارد.

و پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم بیشترین گونه را در بین این جنس داشت. ارزیابی کاهش تعداد اسپورهای پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم توسط پرتودهی با مادون قرمز نشان داد افزایش توان لامپ مادون قرمز، زمان تیمار و اثر متقابل آنها تأثیر معناداری بر کاهش اسپورها دارد. این در حالی است که کاهش ضخامت و افزایش فعالیت آبی نمونه‌ها اگر چه باعث کاهش بیشتر تعداد اسپورهای پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم گردیدند، اما تأثیرات آنها معنی دار نبود.

بیشترین کاهش پنی‌سیلیوم/اگزالیکوم در حدود $\log \text{cfu/gr}$ ۲/۹ بدست آمد که مربوط به نمونه‌های تیمار شده با لامپ توان ۳۷۵ W، زمان فرآیند ۱۲۰ S، ضخامت ۱۰ ml و فعالیت آبی ۰/۸ بود. همینطور در بررسی تغییرات رطوبت می‌توان نتیجه گرفت که توان، زمان و فعالیت آبی اثر موثر بر رطوبت گذاشتند در حالی که ضخامت نمونه اثر زیادی بر رطوبت نداشت. همچنین نتایج بدست آمده از ارزیابی رنگ نمونه‌های تیمار شده زرشک با پرتو مادون قرمز گویای این مساله بود که توان لامپ، زمان و همینطور فعالیت آبی بر هر

منابع

1. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Barberry - Specifications and test methods. ISIRI Standard No. 3337. 1st Revision, Tehran; 2021. [In Persian]
2. Golmohammadi F, Motamed M. A viewpoint toward farm management and importance of barberry in sustainable rural livelihood in desert regions in East of Iran. *Afr J Plant Sci*. 2012; 6(8): 213-221.
3. Hasani B, Ayvaz M, Sharifi A. Investigation and comparison of traditional and industrial methods of drying barberry. *Food Ind Conf (New Tech, Qual Control and Food Packag)*. 2011; Tehran. [In Persian]
4. Uchino T, Hamanaka D, Wenzhong H. Inactivation of microorganisms on wheat grain by using infrared irradiation. *J Food Compos Anal*. 2008; 2: 128-135.
5. Sabokbar A, Bakhtiari A, Saghazadeh M. Comparison of the frequency of allergenic band patterns in *Alternata* and *Aspergillus* fungi. *World Microbes J*. 2014; 3: 225-232. [In Persian]
6. Afshar S. Comparison of decontamination of dried fruits (plums, raisins and berries) by microwave and sulfurization methods. *J Agric Eng Res*. 2006; 7(28): 1-12. [In Persian]
7. Yousefian H, Ahmadi A. A review on the application of radiation science in the food industry. 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization of Iran. 2013; Mashhad. [In Persian]
8. Kashani Nejad M, Mohammadi N, Hasani S. Infrared heating for food and agricultural processing (Translation). Tehran: University of Tehran Press; 2015. [In Persian]
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Code of practice for disinfection of dried fruits and pulses (Fumigation). ISIRI Standard No. 2339. Tehran; 1983. [In Persian]
10. Ganjeh M. Novel applications of infrared heating in the food industry. 20th National Congress on Food Science and Technology. 2011; Tehran: Sharif University of Technology. [In Persian]
11. Eliasson L, Libander P, Lovenklev S. Infrared decontamination of oregano: Effects on *Bacillus cereus* spores, water activity, color and volatile compounds. *J Food Sci*. 2014; 79(2): 235-244.
12. Menu M, Galet S, Mishra S. Impact of infrared treatment on quality and fungal decontamination of mung bean (*Vigna radiata* L.) inoculated with *Aspergillus* spp. *J Sci Food Agric*. 2018; 98(7): 2770-2776.
13. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Dried fruits - Determination of moisture content - Hot air oven method. ISIRI Standard No. 672. Tehran; 1996. [In Persian]
14. Farhanaki A, Askari H, Mesbahi G. Color changes analysis of fresh dates during cabinet drying using digital imaging method. *J Food Sci Technol*. 2009; 2: 43-52. [In Persian]
15. Karazhiyan R, Habibi B, Yavarmanesh M. Comparison of optimized DNA extraction method from *Aspergillus*, *Penicillium* and *Rhizopus* molds in tomato paste. *J Food Sci Technol*. 2017; 14(68): 115-124. [In Persian]
16. Sharifinia K, Zare R, Zamanizadeh H. Phylogeny and genetic diversity of the *Fusarium graminearum* species complex associated with *Fusarium* head blight of wheat in Moghan plain. *Rostaniha*. 2017; 18(1): 33-49. [In Persian]
17. Akbarian MJ, Khomeiri M, Sadeghi A. Identification of yeasts isolated from Iranian indigenous sourdoughs using PCR technique. *J Food Sci Technol*. 2017; 14(62): 57-67. [In Persian]
18. Khorasanchi N, Peighambaroust H, Golshan-Tafti A. Evaluation of liquid sourdough containing *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus reuteri* starters in preventing fungal spoilage of bread. *J Food Res*. 2011; 21(3): 392-400. [In Persian]
19. Baert K, Devlieghere F, Steite H, et al. The effect of inoculum size on the growth of *Penicillium expansum* in apples. *Food Microbiol*. 2008; 25(2): 212-217.
20. Latifinia S, Javanmard Dakheli M, Mohammadi Navchi A. Application of starch foam containing cinnamon essential

- oil to prevent mold growth in packaged bread. *J Food Res.* 2014; 24(3): 439-451. [In Persian]
21. Driscoll RH, Madamba PS. Modelling the browning kinetics of garlic. *J Food Eng.* 1994; 23(2): 66-71.
 22. Ghanbarzadeh B, Tahmasebipour M, Dehghannia J. Modeling of color changes during drying of grapes pre-treated with ultrasound and carboxymethyl cellulose and investigation of its sensory properties. *Modern Food Sci Technol.* 2014; 2(1): 61-79. [In Persian]
 23. Salagnac P, Glouannec P, Lecharpentier D. Numerical modeling of heat and mass transfer in porous medium during combined hot air and infrared drying. *Int J Heat Mass Transf.* 2004; 47(19): 4479-4489.
 24. Staack N, Ahrne L, Borch E. Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder. *J Food Eng.* 2008; 86(1): 17-24.
 25. Javadzadeh M. Effect of different methods harvesting, drying and harvest time on losses seedless barberry (*Berberis vulgaris* L.). *Int J Farm Allied Sci.* 2012; 1(1): 20-25.
 26. Alkaya G, Erdogdu F, Halkman A, Ekiz H. Surface decontamination of whole-shell eggs using far-infrared radiation. *Food Bioprod Process.* 2016; 98: 275-282.
 27. Pan Z, Atungulu G. Infrared heating for food and agricultural processing. 1st ed. New York: CRC Press; 2011.
 28. Jun S, Irudayaraj J. A dynamic fungal inactivation approach using selective infrared heating. *Appl Eng Agric.* 2003; 19(5): 1407-1412.
 29. Erdogdu SB, Eliasson L, Erdogdu F, Isaksson S, Ahrne L. Experimental determination of penetration depths of various spice commodities under infrared radiation. *J Food Eng.* 2015; 161: 75-81.
 30. Motamed Rezaei O, Jahani M, Khodadadi M. A survey of fungal contamination associated with barberry (*Berberis SPP.*) in Iran. *Am J Plant Sci.* 2013; 4: 1594-1596.
 31. Dessev T, Jury V, Le-Bail A. The effect of moisture content on short infrared absorptivity of bread dough. *J Food Eng.* 2011; 104(4): 571-576.
 32. Uchino T, Tanaka F, Trivittayasil V. Investigation of deactivation of mold conidia by infrared heating in a model-based approach. *J Food Eng.* 2011; 104: 565-570.