Journal of Applied Microbiology in Food Industry (Volume 12 – Issue 2) … Pages 75 to 91

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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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 (aw) 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 aw: 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 (**Δ**E) 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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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.

.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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

مهدیه وفادارقاسمی[۱]، **مهدی کاشانی نژاد**[۲]*،مرتضی خمیری[۳]، مهدیه حسنی[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. بعلت 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* ۲/۹ *cfu*/gr و بیشترین کاهش رطوبت ۳/۴ درصد بود که در نمونه‌ی مربوط به لامپ ۳۷۵، زمان ۱۲۰s 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: آلودگی‌زدایی، ارزیابی حسی، پرتودهی با مادون قرمز، *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم*، زرشک.

* kashani@gau.ac.ir

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

مقدمه

زرشک خشک از گیاه بربریس ولگاریس[1] از خانواده بربریاسه می‌باشد (۱). این نوع از خشکبار بعد از زعفران عمده‌ترین محصول منطقه‌ی جنوب خراسان است که در حیات اقتصادی کشاورزان منطقه تاثیر بسزایی دارد (۲). مهم‌ترین مرحله از فرآوری زرشک، خشک کردن آن است (۳). خشک کردن زرشک از رشد میکروارگانیسم‌ها می‌کاهد، اما آن‌ها را به میزان کافی غیرفعال نمی‌کند و در نهایت امکان وجود میکرواگانیسم‌ها در محصول وجود دارد (۴). یکی از گونه‌های مهم موجود در زرشک خشک *پنی‌سیلیوم*[2] است. بعضی از گونه‌های آن از نقطه نظر صنایع غذایی و دارویی مهم بوده و بعضاً بیماری‌زا هستند. مایکوتوکسین‌هایی مانند پاتولین از گونه‌های *پنی‌سیلیوم* تولید می‌شوند که می‌توانند دلیل ایجاد سرطان در انسان باشد. گونه‌های مختلف *پنی‌سیلیوم* جز قارچ‌های آلرژی‌زا شناخته می‌شوند و عامل مهم در ایجاد آسم هستند (۵). جز مسئله آلودگی و بیماری‌هایی که می‌تواند ناشی شود، زرشک خشک از جمله خشکبار صادراتی ایران و محصول غیرنفتی و با ارزش است. یافتن روش‌هایی به منظور ضدعفونی این محصول راه را برای صادرات آن هموار می‌کند (۶).

با توجه به مشکلات مطرح شده، یافتن راه حل مناسب برای ضدعفونی زرشک امری ضروری محسوب می‌شود. امروزه روش‌های مختلف نگهداری مواد غذایی از قبیل مواد شیمیایی، دوددهی و پرتودهی به عنوان روش‌های حفظ مواد غذایی استفاده می‌شود (۷). با این حال کیفیت محصول در بیشتر روش‌های نگهداری، هم زمان با کاهش موثر عوامل بیماری‌زا کاهش می‌یابد (۸). به عنوان مثال دود گوگرد از روش‌های متداول ضدعفونی خشکبار است که تنفس غلظت غیرمجاز آن انسان را دچار مسمومیت می‌کند (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 می‌تواند زمان را کوتاه و انرژی مصرفی را کاهش دهد و هم کیفیت محصول نهایی و سلامت میکروبی آن را تضمین کند (۱۰). یکی از روش‌های نوین و پاک که در عین حال مواد غذایی را با کیفیت بالا و ایمن می‌سازد، پرتودهی مادون قرمز است که روش کارآمد به کارگیری گرما در مقایسه با حرارت دهی معمولی است؛ زیرا موجب کاهش انرژی تا ۲۴۵ درصد می‌شود (۸). این در حالی است که اگر نسبت به ضدعفونی زرشک خشک بی‌توجهی شود، صادرات زرشک که در مقایسه با سایر محصولات تولیدی در خراسان جنوبی از نظر رشد اقتصادی، از جایگاه بهتری برخوردار است، رکود می‌کند؛ 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 C° ۸۰ بود که مادون قرمز آن را ایجاد کرد و به ترتیب به کاهش ۵ تا ۴ لگاریتمی پدیوکوکوس[3] انجامید. همچنین پونه تلقیح شده با باسیلوس سرئوس[4] 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 میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیمی و تغییر رنگ حاصل از اکسیداسیون مهم‌ترین عواملی هستند که بر کیفیت محصول زرشک تاثیر می‌گذارند (۳). اما کمتر به این موضوعات در زمینه‌های پژوهشی پرداخته شده است. بنابراین هدف از این بررسی اثر تغییرات همزمان

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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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 بربریاسه از بازار محلی گنبدکاووس خریداری شد (۱۲) و تا قبل از آزمایش در بسته‌های پلی‌اتیلن تیره مقاوم به رطوبت بسته بندی و در دمای ۷ °C در یخچال نگهداری شد. به منظور اندازه‌گیری رطوبت برای نمونه‌ها، قبل و بعد از تیمار از استاندارد اندازه‌گیری رطوبت خشکبار به روش آون هوای داغ (۱۰۵ C° و زمان ۵ h) استفاده شد (۱۳).

اندازه‌گیری رنگ زرشک

جهت اندازه‌گیری رنگ پتری‌دیش‌های حاوی نمونه به منظور اندازه‌گیری رنگ زرشک قبل و بعد از پرتودهی 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 ایمیج‌جی و برنامه موجود در پلاگین آن، تصاویر از فضای رنگی RGB به XYZ و سپس به b^*، L^*، a^* و با استفاده از روش دو مرحله‌ای تبدیل گردیدند. سپس به کمک نرم‌افزار ایمیج‌جی تصاویر مورد پردازش قرار گرفتند (۱۴).

اندازه‌گیری و تنظیم فعالیت آبی زرشک

همچنین اندازه‌گیری 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 min ۱۵ در آب مقطر استریل غوطه‌ور و جهت تنظیم aw به مدت یک هفته در کیسه‌های پلی‌اتیلن مقاوم به رطوبت در یخچال نگهداری شدند و پس از رسیدن به شرایط پایا، فعالیت آبی آن‌ها توسط دستگاه aw متر اندازه‌گیری 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 پوتیتودکستروزآگار[1] منتقل گردید و سپس نمونه‌ها در دمای ۲۵ °C انکوبه‌گذاری شدند. پس از سه روز اطراف زرشک‌ها قارچ‌هایی که از نظر ظاهر یعنی رنگ ریسه، اسپور و رنگ کلنی شبیه *پنی‌سیلیوم* بودند جداسازی و به محیط کشت جدید پوتیتودکستروزآگار منتقل شدند و بعد از انکوبه‌گذاری مجدد به مدت ۵ روز کپک خالص‌سازی شده، رشد کرده و برای مطالعات بعدی به یخچال ۴ °C انتقال داده شد.

استخراج DNA از میسیلیوم کپکی

از کشت سه روزه قارچ *پنی‌سیلیوم* در محیط کشت سیب زمینی دکستروز آگار قطعاتی به داخل محیط مایع سیب زمینی دکستروز انتقال و بعد از ۵ روز گرمخانه‌گذاری در انکوباتور شیکردار در دمای ۲۵ °C میسیلیوم‌های آن جمع و به وسیله کوبیدن در هاون استیل توسط ازت مایع به صورت پودر آماده شدند. ۵۰ تا ۷۰ mg از پودر به میکروتیوپ منتقل شده و ۶۰۰ µL بافر استخراج گرم شده (CTAB ۲ درصد، ۱۰۰ mmol Tris HCl (ph=8)، ۲۰ mmol EDTA، NACL ۱/۴ mol، PVP ۳ درصد، بتامر کاپتو اتانول ۰/۲ درصد) به آن اضافه شد سپس در ۶۵ °C به مدت ۴۵ min حرارت داده شد. ۴۰۰ µL کلروفوم-ایزوآمیل الکل به نسبت ۲۴ به ۱ اضافه شده و به مدت ۱۰ min با چرخاندن تیوپ مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ min در ۱۲۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. فاز رویی (حدود ۲۰۰ µL) برداشته و به تیوپ جدید منتقل شد. دو سوم حجم ایزوپروپرانول سرد به آن اضافه شده و در فریزر به مدت ۳۰ دقیقه نگهدرای شد و به مدت ۱۰ min با دور ۱۳۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. اتانول تخلیه شده و ۷۰ µL آب دیونیزه به پلیت حاصله در انتهای تیوپ اضافه شد و این ترکیب به مدت یک شب در ۴ °C نگهداری شد. جهت تعیین کمیت و کیفیت DNA استخراج شده از اسپکتوفتومتر با طول موج و نسبت جذب nm

[1] Potato dextrose agar

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

۲۶۰/۲۸۰ استفاده و واکنش زنجیره‌ای پلی مراز[1] طبق برنامه دمایی زیر و پرایمرهای ITS4 و ITSS انجام گرفت (۱۵).

ITS4: TCCTCCGCTTATTGATATGC

ITSS: GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG

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

تعیین توالی و مقایسه توالی‌ها

جهت تعیین توالی ژن‌های حاصل از رشد جدایه و واکنش‌های زنجیره‌ای پلی‌مراز به شرکت ماکرون کره ارسال گردید. با کمک برنامه بلاست[2] 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 پوتیتودکستروزآگار 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 هموساتیومتر منتقل و توسط میکروسکوپ با بزرگ نمایی 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 Log cfu/gr ۸ 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 سیب‌زمینی‌دکستروزآگار و پلیت‌کانت‌آگار[3] کشت شد (۱۹).

سپس از رقت 10^3 به نمونه زرشک تلقیح شد. بعد از تلقیح برای حضور از اطمینان تقریبی رقت ۰/۰۰۱ در زرشک خشک، کشت در محیط‌های سیب‌زمینی‌دکستروز آگار و پلیت‌کانت‌آگار انجام شد. به این شکل که ۱۰ gr از نمونه زرشک تلقیح شده به ml ۹۰ 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 ۲۰ cm و دهانه این تونل به اندازه دهانه پلیت حاوی نمونه در نظر گرفته شد. ضخامت نمونه‌ها ۱ و ۱/۵ 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

[1] -Polymerase Chain Reaction

[2] -Blast

[3] - Plate Count Agar

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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

آزمون‌های بعد از پرتودهی

جهت شمارش تعداد میکروارگانیسم‌ها در نمونه‌های استریل، نمونه آغشته به اسپور کپک *پنی‌سیلیوم 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 ml ۹۰ محلول رینگر انتقال داده شد. رقت ۰/۰۰۱ در محیط کشت پوتیتودکستروزآگار کشت داده شد. نهایتا پتری‌دیش‌های کشت شده در دمای ۲۵ °C ، ۵ تا ۷ روز انکوبه‌گذاری و تعداد کلنی‌ها 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 نقطه‌ای انجام شد. این آزمون توسط ۱۰ پانلیست آموزش دیده برای هر نمونه زرشک پرتو داده شده انجام شد (۲۰).

تجزیه و تحلیل آماری

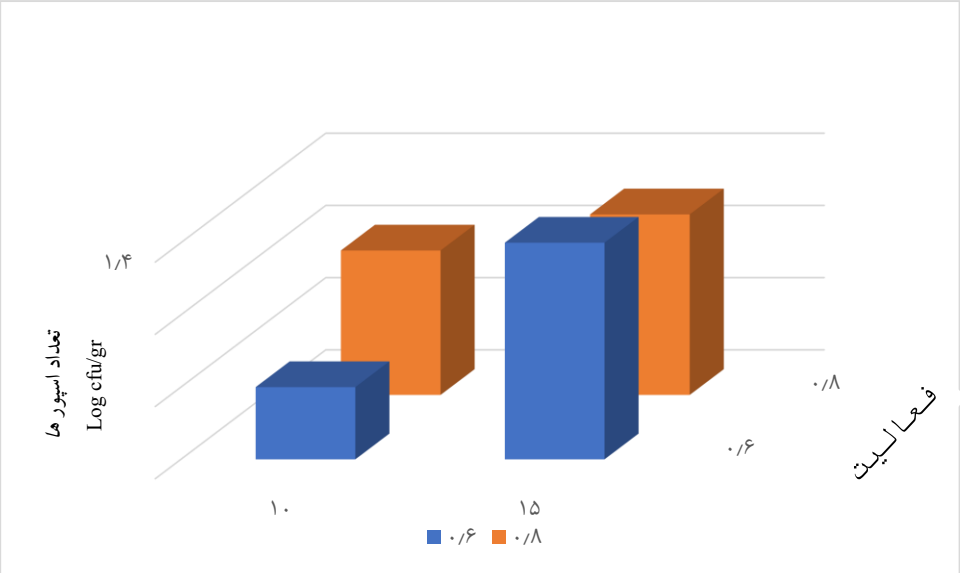
آزمایشات در کلیه مراحل با ۳ بار تکرار انجام و آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین با آزمون دانکن انجام شد. در این تحقیق مقدار P کوچکتر از ۰/۰۵ (P< ۰/۰۵) معنی‌دار در نظر گرفته شد.

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 *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* شناسایی شد.

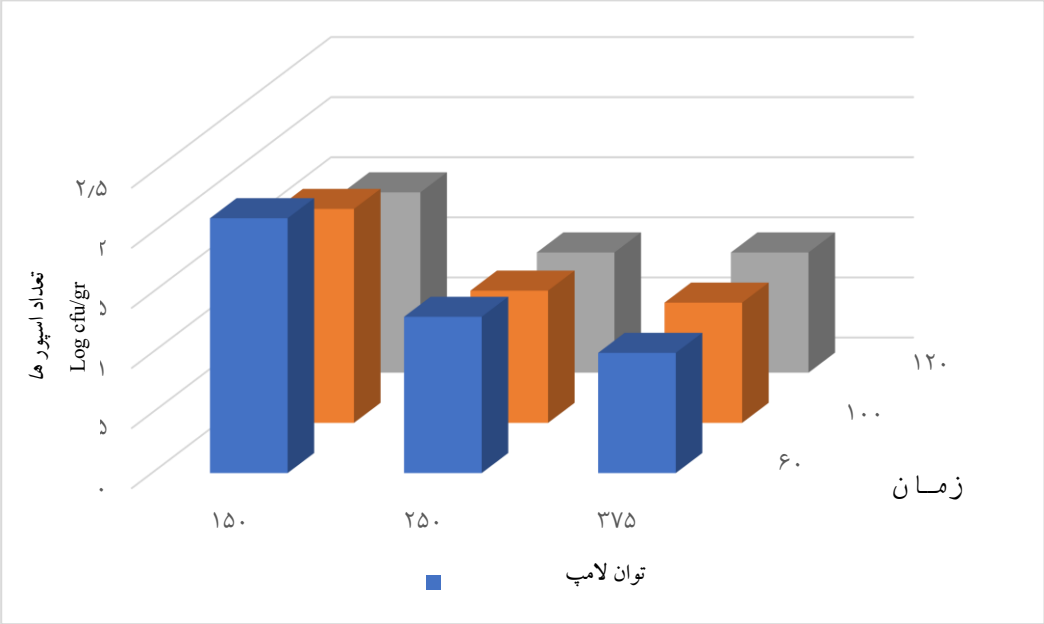
تاثیر مادون قرمز بر غیرفعال‌سازی اسپورهای *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم*

آنالیزهای آماری نشان داد، توان لامپ مادون قرمز، زمان فرآیند و اثر متقابل آنها، تاثیر معناداری بر نابودی اسپور *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* داشتند (P < ۰/۰۵). این در حالی بود که با افزایش زمان و توان لامپ، تعداد *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* کاهش یافت. اما افزایش ضخامت و فعالیت آبی نمونه‌های زرشک باعث کاهش معنی‌دار در تعداد اسپورها نشدند (P< ۰/۰۵). در نمودار ۱و ۲ تعداد اسپورهای *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* در مقابل زمان، توان لامپ، فعالیت آبی و ضخامت مورد بررسی قرار گرفت که نشان دهنده‌ی این موضوع است که با افزایش زمان، میزان *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* کاهش بیشتری پیدا می کند.



شکل ۱- اثر متقابل ضخامت و فعالیت آبی نمونه زرشک در حین پرتودهی به *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم*

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

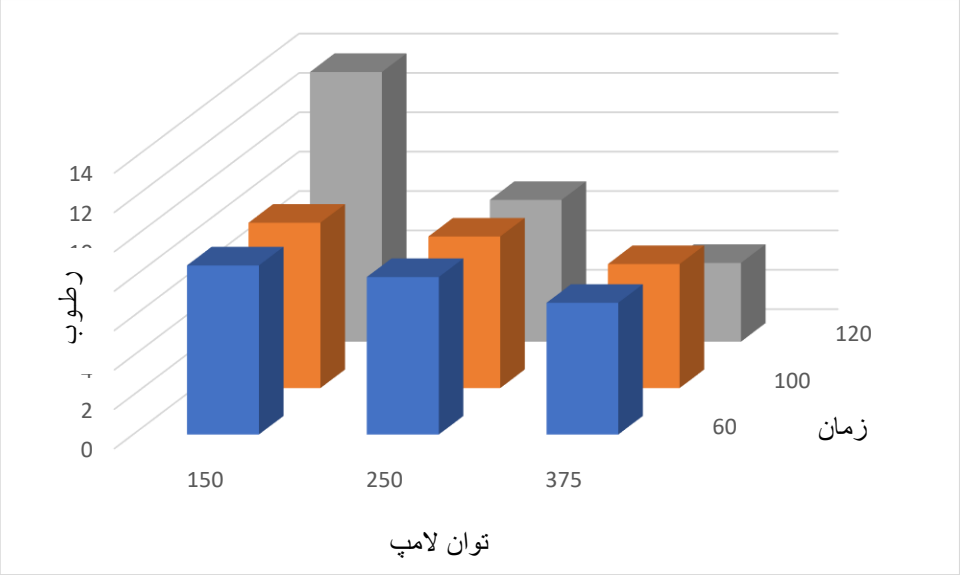


شکل ۲- اثر متقابل توان لامپ مادون‌قرمز و زمان پرتودهی به *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم*

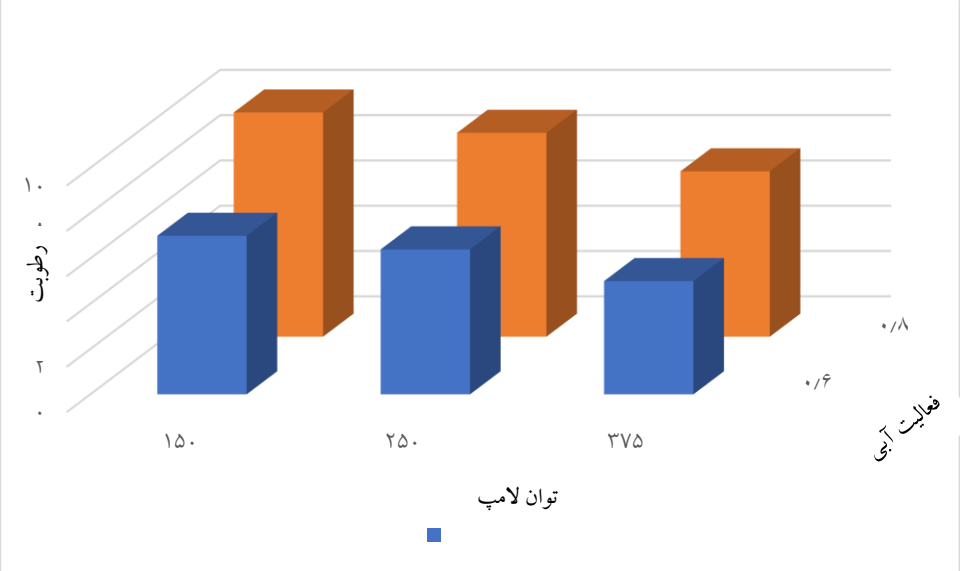
تاثیر پارامترهای فرآیند مادون قرمز بر رطوبت زرشک پرتودهی شده

نتایج حاصل از بررسی رطوبت زرشک‌های پرتودهی شده با مادون قرمز نشان داد، تغییرات توان لامپ مادون قرمز ۱۵۰ به ۳۷۵ W و فعالیت آبی اثر معنی‌داری بر رطوبت زرشک داشتند (P< ۰/۰۵). اما زمان پرتودهی، ضخامت نمونه اثر معنی‌داری بر میزان رطوبت زرشک پرتودهی نداشتند (P>۰/۰۵). طوری که فعالیت آبی و لامپ مادون قرمز بیشترین تاثیر را در پارامتر رطوبت دارند و در اغلب سطوح، با تغییراتی در پارامتر، میزان رطوبت زرشک تغییر کرده است.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]



شکل۳- اثر متقابل توان لامپ مادون‌قرمز و زمان پرتودهی به رطوبت زرشک



شکل٤- اثر متقابل توان لامپ مادون‌قرمز و فعالیت آبی زرشک به رطوبت

تاثیر مادون قرمز بر شاخص‌های رنگ (a*، b*، L* و ΔE)

تغییرات شاخص a*

با توجه به نتایج حاصل (جدول۱) بیشترین عامل موثر در پارامتر a* لامپ مادون قرمز، زمان فرآیند و فعالیت آبی بود و پارامتر ضخامت تاثیر کمتری نسبت به سایر فاکتورها بر نمونه داشت. در واقع لامپ ۱۵۰ W بدون اثر معنی‌دار و لامپ ۲۵۰ و ۳۷۵ W در اثر متقابل با سایر فاکتورها مثل توان، زمان و فعالیت آبی هیچ گونه اثر معنی‌داری از خود نشان نداد.

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 (جدول۱) نشان داد افزایش توان لامپ مادون قرمز، افزایش زمان پرتودهی و کاهش فعالیت آبی بر فاکتور b* اثرگذار و باعث

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

کاهش معنی‌دار در (P< ۰/۰۵) این فاکتور شد. همچنین تغییر ضخامت زرشک بر b* اثر معنی‌دار نداشت (P< ۰/۰۵).

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 معنی‌دار (P< ۰/۰۵) شد. این در حالی بود که تغییر ضخامت اثری بر این فاکتور نداشت (۰/۰۵ >P).

ΔE نمونه‌های زرشک

ΔE میزان تغییر رنگ کلی نمونه‌ها یا میزان تیره شدن ماده غذایی را بعد از فرآیند در مقایسه با قبل از آن نشان می‌دهد (۲۲). نتایج حاصل از اندازه‌گیری این پارامتر نشان داد با افزایش توان لامپ مادون قرمز افزایش زمان ۶۰ به ۱۰۰ تغییرات معنی‌دار نبود اما در S ۱۲۰ نسبت به شاهد تغییرات معنی‌دار بوده است. می‌توان گفت کمترین اثر در زمان ۶۰ و لامپ ۱۵۰ و بیشترین اثر در s ۱۲۰ و لامپ W ۳۷۵ بوده است در جدول شماره ۱ آنالیز کلیه تغییرات رنگ زرشک قابل مشاهده است. از طرفی تغییرات نتوانست به طور قابل توجهی در رنگ کلی زرشک تغییر ایجاد کند (p< ۰/۰۵).

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

لامپ	زمان	ضخامت	فعالیت آبی	اسپورهای پنی سیلیوم	رطوبت بر پایه	a*	b*	L*	ΔE	بافت	مزه	بو	رنگ	پذیرش کلی
۰		۱۰	۰/۶	۲/۹^{l}	۷/۵jkl	۲۰/۴۵a	۹/۲۸jk	۱۴/۲۶l	۰a	۵d	۵g	۵f	۵g	۵h
۶۰		۱۰	۰/۶	۲^{ijk}	۷/۲ijk	۲۰/۳۱a	۹/۱۷hijk	۱۴/۲۲l	۰/۲۹abc	۴/۶cd	/۶cdefg ۴	۴/۶bcdef	۴/۶efg	۴/۶defgh
		۱۰	۰/۸	۱/۹۸^{hijk}	۱۰/۰۶q	۲/۰۶bc ۱	۱۰/۰۱m	۱۵/۶۴n	۰/۱۶ab	۴/۶cd	/۶cdefg ۴	۴/۶bcdef	۴/۶efg	۴/۶defgh
		۱۵	۰/۶	۲/۳^{k}	۷/۱ij	۲۰/۳۳a	۹/۲۴jk	۱۴/۸۳l	۰/۱۸ab	۴/۶cd	/۶cdefg ۴	/۵abcdef ۴	۴/۵efg	۴/۶defgh
		۱۵	۰/۸	۲/۲^{jk}	۱۰q	۲/۰۷bc ۱	۱۰/۰۱m	۱۵/۷۱n	۰/۰۸a	۴/۷cd	۴/۷defg	۴/۶bcdef	۴/۶efg	۴/۷efgh
۱۰۰		۱۰	۰/۶	۱/۷^{ghi}	۷/۰۳hij	۲۰/۵۱a	۹/۱۷hijk	۱۴/۱۶kl	۰/۲۵abc	۵d	۵g	۴/۶bcdef	۴/۴defg	۴/۸fgh
۱۲۰		۱۰	۰/۸	۱/۶۵^{fgh}	۹/۷۶pq	۲/۱۳bc ۱	۹/۹۹m	۱۵/۶۲n	۰/۲۶abc	۵d	۵g	۴/۷cdef	۴/۶efg	۴/۸fgh
		۱۵	۰/۶	۱/۹^{hij}	۷/۱۳ij	۲/۷۶ab ۰	۹/۲۴jk	۱/۰۹jkl ۴	۰/۳۷abc	۵d	۵g	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۴/۸fgh
		۱۵	۰/۸	۱/۸^{hij}	۹/۸۶pq	۲/۱۰bc ۱	۱۰m	۱۵/۵۴n	۰/۲۵abc	۵d	۵g	۴/۸def	۴/۸def	۴/۸fgh
		۱۰	۰/۶	۱/۶^{efgi}	/۷۶fghi ۶	۲/۱۲bc ۱	۹/۱۷hijk	۱۳/۶۳i	۰/۹۶cd	۴/۶cd	۴/۸efg	۴/۸def	۴/۸def	۴/۸fgh
		۱۰	۰/۸	۱/۵۵^{defg}	۹/۴nop	۲/۱۳bc ۱	۹/۸۹m	۱۴/۸۴m	۰/۹۶cd	۴/۷cd	۴/۸efg	۴/۸def	۴/۸def	۴/۸fgh
		۱۵	۰/۶	۱/۶۵^{fgh}	۶/۸۶ghi	۲/۱۶bc ۱	۹/۱۹ijk	۱۳/۶۶i	۰/۹۳cd	۴/۷cd	۴/۸efg	۴/۸def	۴/۸def	۴/۷efgh

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

		۱۵	۰/۸	۱/۶۵^{fgh}	/۶۶opq ۹	۲/۱۵bc ۱	۹/۸۴m	۱۵/۰۱m	۰/۸۵bcd	۴/۸cd	۴/۹fg	۴/۸def	۴/۸def	۴/۸fgh
۲۵۰	۶۰	۱۰	۰/۶	/۱۹^{abcde} ۱	/۷۳fghi ۶	۲/۴۶cd ۱	/۰۳fghij ۹	۱/۸۹fgh ۲	۱/۲۳de	۴/۹cd	۵g	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۴/۹gh
		۱۰	۰/۸	۱/۱^{abcde}	۹/۱n	۲/۴۸cd ۱	۹/۶l	۱۴/۳۴l	۱/۵۶def	۵d	۵g	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۴/۹gh
		۱۵	۰/۶	/۴۸^{abcdef} ۱	/۷۳fghi ۶	۲/۳۸cd ۱	۹/۰۷ghij	۱/۸۹fgh ۲	۱/۶۷efg	۴/۹cd	۵g	۴/۸def	۴/۸def	۴/۹gh
		۱۵	۰/۸	۱/۵^{cdef}	/۳۶nop ۹	۲//۵۱cd ۱	۹/۳۴k	۱۴/۳۸l	۱/۵۶def	۵d	۵g	۴/۹ef	۴/۹ef	۴/۹gh
	۱۰۰	۱۰	۰/۶	۱/۲^{abcde}	۶/۲۶def	۲۱/۶۶d	/۰۴fghij ۹	۱۲/۴۲e	۲/۳۳gh	۴/۶cd	/۵cdefg ۴	/۳abcdef ۴	/۳abcdef ۴	۴/۴cdefg
		۱۰	۰/۸	۱>^{abcd}	۹/۱n	۲۲/۴۰e	۹/۴۱kl	۱۳/۷۷ij	۲/۴۶hi	۴/۷cd	۴/۷defg	۴/۶bcdef	۴/۶bcdef	۴/۴cdefg
		۱۵	۰/۶	۱/۳^{abcde}	۶/۴۶efg	۲۱/۸۳d	۹/۰۸ghij	۱۲/۶۰ef	۲/۱۶fgh	۴/۴bc	۴/۳cde	/۳abcde ۴	۳/۷abc	/۲abcde ۴
		۱۰	۰/۸	۱^{abcde}	۹/۱۶no	۲۲/۳۵e	۹/۲۱ijk	۱/۸۵ijk ۳	۲/۴ghi	۴/۶cd	/۵cdefg ۴	۴/۶bcdef	۳/۷abc	۴/۳bcdef
	۱۲۰	۱۰	۰/۶	۱>^{ab}	۶/۰۳cde	۲۲/۲۸e	/۹۱efgh ۸	۱۱/۹۰d	۳/۰۶ijkl	۴ab	۴/۲cd	۴/۲abcd	۳/۹bcde	/۲abcde ۴
		۱۰	۰/۸	۱>^{a}	۸/۳m	۲۲/۷۴ef	۹/۱۵hijk	۱۳/۵۹i	۲/۸۶hijk	۴/۴bc	۴/۲cd	/۴abcdef ۴	۴/۳cdef	/۲abcde ۴
		۱۵	۰/۶	۱>^{abcd}	۶/۰۶cde	۲۲/۵۳ef	/۹۵efghi ۸	۱۱/۸۵d	۳/۲۳jklm	۴ab	۴/۲cd	۴/۱abc	۳/۹bcde	۴abc
		۱۵	۰/۸	۱>^{abc}	۸/۵۶m	۲۲/۷۲ef	/۰۵fghij ۹	۱۳/۶vi	۲/۸hij	۴/۴bc	۴/۲cd	/۴abcdef ۴	۴/۱cdef	/۲abcde ۴
۳۷۵	۶۰	۱۰	۰/۶	۱>^{abc}	۵/۷۳c	۲/۲۲gh ۳	۸/۷۲cde	۱۱/۳۵c	۳/۷lmno	۴/۶cd	۴/۱bc	۴/۶bcdef	۴/۴abc	۴/۱abcd
		۱۰	۰/۸	۱>^{abc}	۷/۵۳jkl	۲۲/۷۳ef	۸/۷۳cde	۱۳/۰۸gh	/۴jklmn ۳	۴/۹cd	۴/۴cdef	۴/۶bcdef	۳/۴abc	/۲abcde ۴
		۱۵	۰/۶	۱>^{abc}	۵/۷۶cd	۲/۲۷gh ۳	۸/۸۱def	۱۱/۳۸c	۴/۰۴nop	۴/۹cd	/۶cdefg ۴	۴/۶bcdef	۳/۴abc	/۲abcde ۴
		۱۵	۰/۸	۱>^{abc}	۷/۷۶l	۲۲/۷۴ef	/۸۴defg ۸	۱۳/۲۰h	۳/۲۶jklm	۴/۹cd	/۶cdefg ۴	۴/۶bcdef	۳/۴abc	/۲abcde ۴
	۱۰۰	۱۰	۰/۶	۱>^{a}	۵/۰۶b	۲/۳۷gh ۳	۸/۳۹ab	۱/۱۵abc ۱	۳/۸۳mno	۴/۹cd	۴/۱bc	۴/۶bcdef	۳/۲ab	/۲abcde ۴
		۱۰	۰/۸	۱>^{a}	۷/۲۶ijkl	۲۳/۰۱fg	۸/۵۴bc	۱۲/۸۵fg	۵۳jklmn ۳/	۴/۹cd	۴/۳cde	۴/۷cdef	۳/۶abc	/۲abcde ۴
		۱۵	۰/۶	۱>^{a}	۵/۰۶b	۲/۴۲gh ۳	۸/۳۹ab	۱۱/۲۲bc	۴/۳۶op	۴/۹cd	۴/۱bc	۴/۷cdef	۴/۷cdef	/۲abcde ۴
		۱۵	۰/۸	۱>^{a}	۷/۷kl	۲۲/۹۷fg	۸/۵۲bc	۱۳/۰۱gh	۳/۶۳lmn	۴/۹cd	۴/۳cde	۴/۷cdef	۴/۷cdef	۵cdefgh ۴/

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

۱۲۰	۱۰	۰/۶	۱>[a]	۴/۱a	۲۳/۵۶h	۸/۱۷a	۱۰/۸۹a	۴/۷p	۳/۸a	۳/۴a	۴ab	۴ab	۳/۷a
	۱۰	۰/۸	۱>[a]	/۵۳efgh ۶	۲/۳۵gh ۳	۸/۳۸ab	۱۲/۷۶fg	/۵۶klmn ۳	۳/۹a	۳/۶ab	۴ab	۴ab	۴abc
	۱۵	۰/۶	۱>[a]	۴/۲۳a	۲۳/۶۶h	۸/۲۲a	۱۰/۹۴ab	۴/۷p	۳/۹a	۳/۶ab	۳/۹a	۳/۹a	۳/۸ab
	۱۵	۰/۸	۱>[a]	۷/۰۶ij	۲/۳۱gh ۳	۸/۶۱bcd	۱/۹۰fgh ۲	۳/۹۳mno	۳/۷a	۳/۶ab	۴ab	۴ab	۳/۷a

اثر پرتودهی مادون قرمز بر ویژگی‌های حسی نمونه زرشک

بو و رنگ زرشک

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های زرشک به وسیله ارزیاب‌ها نشان داد بو و رنگ زرشک به شکل معنی‌داری با افزایش توان لامپ مادون قرمز تغییر یافته و نمونه‌های تیمار شده با لامپ W ۱۵۰ بیشترین امتیاز را از ارزیاب‌ها گرفتند، این در حالی بود که با افزایش توان در همه تیمارها امتیاز دریافتی توسط ارزیاب‌ها کاهش یافت (P< ۰/۰۵). ضخامت بالاتر و فعالیت آبی بیشتر نیز مقدار غیرقابل توجه امتیاز بالاتری از سایر نمونه‌ها دریافت کردند (P< ۰/۰۵).

بافت زرشک

عوامل توان و زمان و اثر متقابل آنها به شکل معنی‌داری بر ویژگی‌های بافتی نمونه‌های زرشک اثر داشتند. همچنین با ارزیابی‌های انجام شده افزایش فعالیت آبی از ۰/۶ به ۰/۸ به شکل معنی‌دار در توان W ۱۵۰، باعث بهبود ویژگی‌های بافت زرشک گردید.

ارزیابی حسی

نتایج آنالیز آماری (جدول۱) در بررسی پذیرش کلی زرشک نشان داد ارزیاب‌ها در کلیه تیمارهای لامپ ۱۵۰ و نیمی از تیمارهای لامپW ۲۵۰ تغییری نسبت به نمونه شاهد احساس نکردند.

بحث و نتیجه‌گیری

تاثیر 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 اگزالیکوم* موثر بوده است و سایر عوامل نیز اثرات مشخصی بر سایر فاکتورها اعمال کرده‌اند.

این در حالی است که یوشینو و همکاران در مطالعه‌ای چند میکروارگانیسم را در محیط کشت سیب‌زمینی‌دکستروزآگار در معرض پرتو مادون قرمز قرار دادند. گونه‌های *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 گونه‌های *بوتریتیس‌سنیرا*[1] و گونه‌های *کلادسپوریوم*[2] نیز صادق بود (۳۲). در تحقیق حاضر از گونه *پنی‌سیلیوم* با کاهش ضخامت نمونه، دما و زمان کمتر کاسته شد هر چند ضخامت اثر معنی‌داری بر تعداد اسپور *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* نداشت اما دما و زمان به طور معنی‌دار اثر بخش بودند.

در پژوهش دیگری جان بر روی اثر پرتودهی مادون قرمز بر غیرفعال‌سازی *آسپرژیلوس نایجر*[3] و *فوزاریوم پرولیفراتوم*[4] در بلغور ذرت را مطالعه کرد. این در حالی بود که کاهش

[1] *Botrytis cinerea*
2 *Cladosporium*

[3] *Aspergillus niger*
[4] *Fusarium proliferatum*

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

تقریبی ۲ لگاریتمی *آسپرژیلویس نایجر* با min ۵ تیمار به دست آمد (۲۵). مطالعات بر روی اسپور تلقیح شده بر روی زرشک خشک نیز نشان دهنده‌ی کاهش تقریبی ۳ لگاریتمی از *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* بر روی نمونه زرشک با توان W ۳۷۵ و در زمان S ۱۲۰ بود. همینطور مطالعه بر روی خشکباری مثل بادام که به وسیله‌ی مادون قرمز پرتودهی شده بود نیز تا دمای C° ۱۱۰ گرما دیده و در C° ۹۰ به مدت min ۱۰ نگهداری شده این عمل منجر به کاهش بیش از ۵/۵ لگاریتمی *پدیوکوکوس* در مغز بادام شد (۴). در پژوهش دیگری آلودگی سطحی پوسته تخم‌مرغ تلقیح شده با ای‌کلای[1] که مقاومت آن شبیه *سالمونلا آنتراتیدس*[2] بود، در برابر پرتو مادون قرمز با دمای C° ۱۸۰ تا ۳۵۰ مورد فرآیند قرار گرفت. پرتودهی در دمای C° ۲۵۰ به مدت S ۱۱۰ منجر به کاهش سیکل لگاریتمی cfu/gr ۳/۳۷ شد که ایجاد دناتوراسیون آلبومین و اثر نامطلوب بود (۲۶).

شاوندی و همکاران از تابش مادون قرمز برای غیرفعال‌سازی *باسیلیوس سرئوس* موجود در هل استفاده کردند. توان لامپ‌های مادون‌قرمز ۱۰۰، ۲۰۰ و W ۳۰۰ ، فاصله از منبع تشعشع ۵، ۱۰ و Cm ۱۵ در نظر گرفته شد. بیشترین کاهش *باسیلوس سرئوس* پس از min ۸ تابش مادون قرمز در توان W ۳۰۰ و در فاصله ی cm ۱۵ اتفاق افتاد. همینطور مقدار فاکتور a* در W ۲۰۰ و فاصله‌ی cm ۱۰ و تابش min ۱۰ بیشترین تغییر را داشت. اما به طور کلی پرتودهی با مادون قرمز می‌تواند بدون تغییر شدید، کیفیت دانه‌های هل را حفظ کند (۲۷). در تحقیق حاضر نیز بیشترین کاهش اسپور *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* در W ۳۷۵ لامپ مادون قرمز اتفاق افتاد که افزایش فاکتور زمان نیز بر آن اثرگذار بود. مطابق با تحقیق شاوندی و همکاران، زرشک تلقیح شده با اسپور *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* از نظر فاکتور a* به طور معنادار تغییر داشت و به طور کلی می‌توان گفت پرتودهی با لامپ مادون قرمز اثر نامطلوب زیادی بر کیفیت زرشک خشک نداشت. همینطور مینو و همکاران بر روی سویه‌های *آسپرژیلوس فلاووس*[3] و *آسپرژیلوس نایجر* دو سویه اصلی مرتبط با ماش کار کردند (۲۸). پرتودهی 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 w ۳۰۰۰ شد (۲۹). در پژوهش حاضر نیز با اینکه بین ۲ فعالیت‌آبی اثر معنی‌داری از نظر عمق نفوذ وجود نداشت اما به کاهش میزان اسپورهای *پنی‌سیلیوم 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 پرتودهی و فعالیت آبی نمونه‌های زرشک بر غیرفعال‌سازی اسپورهای *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* موثر است اما اثر معنی‌داری در آن دیده نشد ($P > ۰/۰۵$). به این معنی که با افزایش فعالیت آبی و زمان فرآیند پرتودهی، غیرفعال 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 *پنی‌سیلیوم*

[1] *E. coli*
[2] *Salmonella enteritidis*
[3] *Aspergillus flavus*

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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 تاثیر 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 تاثیرات آنها معنی دار نبود.

بیشترین کاهش *پنی‌سیلیوم اگزالیکوم* در حدود log cfu/gr ۲/۹ بدست آمد که مربوط به نمونه‌های تیمار شده با لامپ توان W ۳۷۵، زمان فرآیند S ۱۲۰، ضخامت ml ۱۰ 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 ۳ فاکتور a*، b*، L* موثر و ضخامت تاثیری 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 تاثیرگذار 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.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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, Peighambardoust 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

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]

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.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-07]