



بررسی تغییرات شاخص K و همبستگی آن با شاخص‌های فساد شیمیایی در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پوشش‌یافته با ژلاتین حاوی پلی‌ساکارید استخراج‌شده از هسته ازگیل ژاپنی

مجتبی نوری<sup>۱</sup>، هما بقایی<sup>۱</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲</sup>، عبدالرضا محمدی نافچی<sup>۱</sup>

۱-گروه علوم و صنایع غذایی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

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

چکیده

اطلاعات مقاله

تازگی و کیفیت فیله ماهی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در ایمنی و پذیرش مصرف‌کننده در محصولات شیلاتی مطرح است. در این مطالعه، بررسی شاخص K و همبستگی آن با دیگر شاخص‌های فساد شامل بازهای نیتروژنی فرار کل [TVB-N]، تری‌متیل‌آمین [TMA]، عدد پراکسید [PV]، تیوباریتوریک اسید [TBA] و اسیدهای چرب آزاد [FFA] در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در شرایط سرد انجام شد. بدین منظور، فیله‌های ماهی با ژلاتین [۱٪] و پلی‌ساکارید استخراج‌شده از هسته ازگیل ژاپنی [۰/۵ و ۱٪] پوشش داده شدند و به همراه تیمار شاهد در دمای یخچال [±۴ درجه سانتی‌گراد] به مدت ۱۲ روز نگهداری شدند. نمونه‌برداری در روزهای ۰، ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۲ انجام و آزمایش‌های شیمیایی به‌منظور تعیین شاخص‌های مذکور صورت گرفت. نتایج نشان داد تیمار حاوی ژلاتین + پلی‌ساکارید ۱٪ پایین‌ترین میزان شاخص K و سایر شاخص‌های فساد شیمیایی را طی دوره نگهداری داشت. همچنین، تحلیل آماری همبستگی‌ها نشان داد که بین شاخص K و شاخص‌های TVB-N، TMA، PV، TBA و FFA همبستگی مثبت و معناداری وجود دارد [p<0.05]. بر اساس نتایج، شاخص K می‌تواند به‌عنوان یک شاخص قابل اعتماد برای ارزیابی کیفیت و فساد فیله ماهی قزل‌آلای پوشش‌یافته طی نگهداری سرد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، استفاده از پوشش‌های زیست‌فعال حاوی پلی‌ساکارید ازگیل ژاپنی در بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری محصول مؤثر بوده است.

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

کلمات کلیدی:

شاخص K،

پلی‌ساکارید ازگیل ژاپنی،

پوشش خوراکی،

ماهی قزل‌آلای،

همبستگی،

فساد

DOI: 10.48311/fsct.2026.84075.0

\* مسئول مکاتبات:

baghaei.homa@gmail.com

## ۱-مقدمه

این امر موجب کاهش کیفیت، ارزش تغذیه‌ای و پذیرش مصرف‌کننده می‌شود [۷]. در این بین، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) از خانواده آزاد ماهیان تنها گونه‌ای است که برای پرورش بسیار مناسب تشخیص داده شده است، چرا که در برابر تغییرات محیطی نظیر تغییر مقدار اکسیژن و دی‌اکسید کربن محلول در آب، آلودگی‌های کم و درجه حرارت، مقاوم بوده و از سرعت رشد مناسبی برخوردار است [۸].

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت ماهی در طول دوره نگهداری، بررسی شاخص‌های بیوشیمیایی و شیمیایی فساد است. شاخص K که نشان‌دهنده تغییرات نوکلئوتیدی در بافت ماهی می‌باشد به عنوان یک شاخص حساس و دقیق برای ارزیابی فساد نوکلئوتیدی شناخته شده و در مطالعات متعددی برای بررسی کیفیت محصولات شیلاتی به کار گرفته شده است [۲]. علاوه بر شاخص K، پارامترهای شیمیایی نظیر TVB-N (کل بازهای نیتروژنی فرار)، PV (عدد پراکسید)، TBA (مقدار مالون دی‌آلدئید)، و FFA (اسیدهای چرب آزاد) نیز به عنوان شاخص‌های مهم فساد شیمیایی در ماهی‌ها شناخته می‌شوند که نشان‌دهنده فعالیت‌های اکسیداتیو و هیدرولیتیک در بافت محصول هستند. بررسی همزمان این شاخص‌ها و شاخص K، امکان تحلیل جامع‌تری از فرآیند فساد و کیفیت محصول فراهم می‌کند [۷]. این شاخص به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و دقیق‌ترین شاخص‌های ارزیابی تازگی و کیفیت شیمیایی آبزیان، مبتنی بر اندازه‌گیری تغییرات در ترکیبات نوکلئوتیدی عضله از جمله آدنوزین تری فسفات ( $^3\text{ATP}$ )، آدنوزین دی فسفات ( $^3\text{ADP}$ )، آدنوزین مونو فسفات ( $^3\text{AMP}$ )، اینوزین مونو فسفات ( $^3\text{IMP}$ )، هایپوکزانترین ریبوزید ( $^3\text{HxR}$ ) و

اکسیداسیون یک فرایند بیولوژیکی ضروری در بسیاری از موجودات زنده برای تولید انرژی محسوب می‌شود؛ با این حال، تولید گونه‌های فعال اکسیژن ( $^1\text{ROS}$ ) در برخی واکنش‌های اکسیداتیو درون‌بدنی می‌تواند منجر به آسیب‌های سلولی شده و با بروز بیماری‌های مزمن مختلف از جمله سرطان، آرتریت و پیری مرتبط باشد. به همین دلیل، در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای به توسعه و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، به‌ویژه پلی‌ساکاریدهای گیاهی، به‌عنوان ترکیبات مؤثر و ایمن برای مقابله با استرس اکسیداتیو و حفظ سلامت انسان شده است [۱، ۲]. در نتیجه، در سال‌های اخیر توجه زیادی به توسعه و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، مؤثر و ایمن از منابع گیاهی معطوف شده است؛ از جمله پلی‌ساکاریدهای استخراج‌شده از گیاهان که توانایی مهار رادیکال‌های آزاد را دارند [۳، ۴].

ازگیل ژاپنی با نام علمی *Eriobotrya japonica* درخت همیشه سبز و بومی مناطق جنوب شرقی چین است و در زمان‌های بسیار قدیم به ژاپنی‌ها معرفی شده است [۵]. درون تمام میوه‌های درخت ازگیل ژاپنی ۱ تا ۵ هسته قهوه‌ای رنگ وجود دارد که تنها راه تکثیر این درخت هستند. مقدار قابل توجهی از این میوه که هسته آن است به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود که حاوی ترکیبات با ارزشی از جمله پلی‌ساکارید است که می‌توان آنها را استخراج کرد. این ترکیبات می‌توانند در فیلم‌های بسته‌بندی به کار رفته و با جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدی و کاهش فعالیت آنزیم‌های فساد در حفظ کیفیت و افزایش زمان ماندگاری محصولات نقش مثبت داشته باشند [۶]. خصوصاً محصولات با ماندگاری پایین مانند محصولات گوشتی و شیلات. محصولات شیلاتی به‌خصوص ماهی‌ها به دلیل داشتن بافت نرم، چربی بالا و فعالیت آنزیمی قوی، در معرض فساد سریع قرار دارند که

4-Adenosine Monophosphate [AMP]

5-Inosine Monophosphate [IMP]

6-Hypoxanthine Riboside [HxR]

1-Reactive Oxygen Species; ROS

2-Adenosine Triphosphate [ATP]

3-Adenosine Diphosphate [ADP]

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

فیله‌های تازه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) از بازار محلی تهیه و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از شست‌وشو و آماده‌سازی اولیه، فیله‌ها به ابعاد یکنواخت تقسیم شدند. برای آماده‌سازی پوشش خوراکی، ژلاتین غذایی (۱٪) در آب مقطر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد تا محلول یکنواختی حاصل شود. پلی‌ساکارید به روش میکروویو از هسته ازگیل ژاپنی (*Eriobotrya japonica*) استخراج و سپس با نسبت‌های ژلاتین به پلی‌ساکارید ۱ به صفر (G)، ۱ به ۰/۵ (GP0/5) و ۱ به ۱ (GP1) پوشش دهی انجام شد و از ماهی بدون پوشش (C) نیز به عنوان نمونه شاهد بهره گرفته شد. غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد پلی‌ساکارید بر اساس مطالعات پیشین انتخاب شد، به طوری که این بازه هم اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی مؤثر ایجاد می‌کند و هم ویژگی‌های بافتی و ظاهری فیله را تحت تأثیر منفی قرار نمی‌دهد [۹].

### ۲-۲- تعیین شاخص K

مقادیر شاخص K بر اساس روش چوری و همکاران (۲۰۰۷) با اصلاحات جزئی تعیین شد [۱۱]. به این منظور، ۵ گرم از نمونه ماهی با ۲۵ میلی‌لیتر محلول پرکلریک اسید ۰/۶ میلی‌مول بر لیتر مخلوط شده و به مدت ۱۰ دقیقه با نیروی گریز از مرکز ۱۹۴۰g سانتریفیوژ شد. سپس pH مایع رویی با استفاده از سدیم هیدروکسید ۱ میلی‌مول بر لیتر در بازه ۶/۵ تا ۶/۸ تنظیم گردید. پس از آن، به مایع رویی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و محلول از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد. ترکیبات مربوط به مسیر تخریب ATP شامل ATP، ADP، AMP، IMP، HxR و Hx توسط دستگاه HPLC تعیین مقدار شدند. برای این منظور،

هایپوگزانتین ( $^7\text{Hx}$ ) است. مزیت اصلی این شاخص آن است که به طور مستقیم روند تجزیه بیوشیمیایی ترکیبات پرنرژژی پس از مرگ ماهی را بازتاب می‌دهد و به ویژه در مراحل ابتدایی فساد، حساسیت بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها مانند TVB-N یا TBA دارد [۹]. بررسی همبستگی شاخص K با سایر شاخص‌های مرسوم فساد در این مطالعه نشان داد که این شاخص همسو با روند تغییرات سایر شاخص‌ها بوده و می‌تواند به عنوان ابزاری حساس و قابل اعتماد برای ارزیابی کیفیت و تازگی فیله ماهی در شرایط نگهداری سرد مورد استفاده قرار گیرد. وجه تمایز اصلی این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین، ارزیابی همزمان اثر پوشش‌های خوراکی حاوی پلی‌ساکارید هسته ازگیل ژاپنی بر روند تغییرات شاخص K و تطبیق آن با شاخص‌های شیمیایی فساد کلاسیک است. این پلی‌ساکاریدها به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی طبیعی و زیست‌فعال، توانایی کاهش فرآیندهای اکسیداتیو و افزایش پایداری لیپیدها و ترکیبات نوکلئوتیدی را دارند [۱۰]. این همزمانی بررسی، امکان استفاده از شاخص K به عنوان یک شاخص جایگزین یا مکمل در ارزیابی کیفیت ماهی‌های پوشش‌دار را فراهم می‌کند. بنابراین، یافته‌های این مطالعه می‌تواند گام موثری در جهت توسعه روش‌های سریع، دقیق و طبیعی برای کنترل کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات دریایی باشد. هدف مطالعه حاضر بررسی تغییرات شاخص K و ارتباط آن با شاخص‌های شیمیایی فساد در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در روزهای مختلف می‌باشد. این تحقیق با هدف درک بهتر روند فساد و تعیین شاخص‌های قابل اعتماد برای ارزیابی کیفیت در دوره نگهداری سرد انجام شده است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به بهبود روش‌های نگهداری و افزایش ماندگاری محصولات شیلاتی کمک نماید و در نهایت به ارتقای کیفیت و ایمنی غذایی در صنعت شیلات منجر شود.

آب سرد قرار گرفتند تا کاملاً خنک شوند. میزان جذب محلول در طول موج ۵۳۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

عدد TBA بر حسب میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدهید در هر کیلوگرم نمونه، طبق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$TBA (mg\ MDA/kg) = \frac{A \times 50}{m}$$

که در آن A: جذب نوری محلول در ۵۳۰ نانومتر و m: وزن نمونه [گرم] می باشد.

### ۲-۵- تعیین اسیدهای چرب آزاد (FFA)

۲۰ گرم از نمونه ماهی توزین شده و با مقدار کافی کلروفرم در یک بهم زن مکانیکی کاملاً مخلوط گردید. سپس از روی کاغذ صافی عبور داده و محلول صاف شده از روی یک کاغذ صافی دیگر که حاوی سولفات سدیم خشک است عبور داده شد. حجم مشخصی از محلول صاف شده به یک بالن خشک و توزین شده [که قبلاً در آن خشک و پس از سرد شدن در دسیکاتور قرار گرفته بود] منتقل شد و پس از تبخیر کلروفرم، مقدار چربی موجود در آن حجم (نسبت چربی در حلال) تعیین گردید. سپس، ۲۵ میلی‌لیتر از محلول صاف شده به یک ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد و ۲۵ میلی‌لیتر الکل خنثی شده به آن افزوده شد. اسیدهای چرب آزاد با استفاده از محلول سود ۰/۱ نرمال و معرف فنل فتالین به صورت تیتروشمیایی خنثی شدند. مقدار اسیدهای چرب آزاد بر حسب اسید اولئیک محاسبه گردید.

لازم به ذکر است که یک سانتیمتر مکعب محلول سود ۰/۱ نرمال معادل ۰/۲۷۲ گرم اسید اولئیک است [۱۴].

### ۲-۶- اندازه‌گیری ترکیبات ازته فرار (TVB-N)

اندازه‌گیری TVB-N به روش ماکروکلدال و با استفاده از دستگاه کلدال انجام شد. در این روش، مقدار ۱۰ گرم از نمونه ماهی چرخ شده به داخل بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری منتقل گردید. سپس ۲ گرم منیزیم اکسید به عنوان کاتالیزور به نمونه

از ستون Eclipse Plus [250 mm × 4.6 mm, 5 μm] ODS C18 استفاده گردید. نمونه‌ها به میزان ۱۰ میکرولیتر با دبی جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه تزریق شده و جذب آن‌ها در طول موج ۲۶۰ نانومتر ثبت شد. فاز متحرک شامل محلول ۰/۰۴ میلی‌مول بر لیتر پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات و ۰/۰۶ میلی‌مول بر لیتر دی‌پتاسیم هیدروژن فسفات بود. مقدار هر یک از ترکیبات فوق بر اساس استانداردهای مربوطه تعیین و شاخص K طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$K - value (\%) = \frac{[HxR + Hx]}{[ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx]} \times 100$$

### ۲-۳- اندازه‌گیری عدد پراکسید (PV)

به حدود ۳ گرم از نمونه فیله ماهی ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید استیک + کلروفرم (۶۰ درصد اسید استیک + ۴۰ درصد کلروفرم) و ۰/۵ میلی‌لیتر یدور پتاسیم اشباع به آن افزوده و یک دقیقه هم زده شد. پس از هم زدن ۰/۵ میلی‌لیتر نشاسته ۱ درصد در داخل ارلن ریخته شد. در صورت وجود پراکسید یک حلقه ارغوانی در قسمت بالای ظرف تشکیل می‌شود که با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا بیرنگ شدن محلول تیترو شد. سپس میزان پراکسید بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن فعال در هر کیلوگرم نمونه طبق رابطه زیر محاسبه شد [۱۲].

$$\text{اندیس} = \frac{\text{نرمالیتة} \times \text{حجم مصرفی تیوسولفات}}{\text{وزن نمونه روغن}} \times 1000$$

### پراکسید (PV)

### ۲-۴- اندازه‌گیری شاخص تیوباریوتوریک اسید (TBA)

اندازه‌گیری شاخص تیوباریوتوریک یا TBA با استفاده از بوتانول به عنوان حلال و در حضور معرف تیوباریوتوریک اسید طبق استاندارد AOCS انجام شد (۱۳). برای این منظور، مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم از خمیر فیله ماهی در بالن ۲۵ میلی‌لیتری توزین شده، با بوتانول به حجم رسانده شد و به‌طور کامل توسط همزن الکتریکی یکنواخت گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول نمونه با ۵ میلی‌لیتر از محلول معرف TBA مخلوط و به مدت ۲ ساعت در حمام بخار با دمای ۹۵ درجه سلسیوس حرارت داده شد. پس از پایان زمان حرارت‌دهی، لوله‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در جریان

که در آن V: حجم نهایی عصاره [میلی لیتر]، F: فاکتور حاصل از منحنی استاندارد (میلی گرم بر میلی لیتر) و W: وزن نمونه (گرم) می باشد.

#### ۸-۲- تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی تغییرات شاخص K و ارتباط آن با شاخص های فساد شیمیایی مورد بررسی، داده ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار و زمان نگهداری مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. ابتدا از آزمون ضریب همبستگی پیرسون<sup>8</sup> برای بررسی ارتباط بین شاخص K و هر یک از شاخص های فوق استفاده شد. همچنین به منظور پیش بینی مقدار شاخص K بر اساس متغیرهای مستقل، رگرسیون خطی ساده و چندگانه با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت. جهت بررسی نرمال بودن داده ها و اعتبار مدل ها، آزمون های آماری مربوطه شامل آزمون نرمالیتی و بررسی باقی مانده ها نیز اجرا شد. تمام تحلیل ها در سطح معنی داری  $P < 0.05$  مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش گردید و نمودارهای تغییرات و معادلات همبستگی و رگرسیون با استفاده از نرم افزارهای Excel و SPSS ترسیم شدند.

#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- تغییرات شاخص K و ترکیبات نوکلئوتیدی

آدنوزین تری فسفات (ATP) و مشتقات آن از مهم ترین شاخص های بیوشیمیایی در ارزیابی تازگی آبیان محسوب می شوند [۱۲]. در این پژوهش، تغییرات ترکیبات نوکلئوتیدی (ATP، ADP، AMP، IMP، HxR و Hx) در فیله ماهی قزل آلائی رنگین کمان طی ۱۲ روز نگهداری سرد بررسی شد [شکل ۱]. نتایج نشان داد که در همه تیمارها، ATP در روزهای اولیه بیشترین مقدار را داشت و به مرور کاهش یافت، در حالی که غلظت Hx و HxR افزایش یافت. در تیمار شاهد، روند تجزیه ATP سریع تر بود و در روز دوازدهم، ATP و ADP تقریباً به صفر رسیدند. در مقابل،

افزوده شد و در نهایت ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر برای تقطیر به آن اضافه شد.

در مرحله بعد، ۲۵ میلی لیتر محلول اسید بوریک ۲ درصد داخل ارلن نصب شده در سیستم دستگاه کلدال قرار گرفت. دستگاه روشن و به مدت ۴۵ دقیقه حرارت داده شد تا زمانی که محلول داخل ارلن مایر به رنگ زرد تغییر رنگ داد. پس از اتمام تقطیر، محلول داخل ارلن با اسید سولفوریک ۱ درصد نرمال تا رسیدن به رنگ اولیه (ارغوانی) تیترا شد [۷]. مقدار TVB-N بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{TVB-N} = \text{وزن نمونه} / [100 \times 1/4 \times \text{میزان اسید}]$$

##### ۷-۲- اندازه گیری میزان تری متیل آمین (TMA)

برای اندازه گیری تری متیل آمین از روش AOAC 2016 استفاده شد. جهت تهیه عصاره بافت ماهی ۱۰ گرم از عضله ماهی را وزن کرده و با ۳۰ میلی لیتر از ماده تریکلرواستیک اسید ۷/۵ درصد مخلوط کرده و سپس با دستگاه همزنایزر به مدت ۲ دقیقه یکنواخت گردید تا محلول شیری رنگ حاصل شود. در مرحله بعد بافت یکنواخت شده در سرعت ۲۵۰۰ دور و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و مواد جامد ته نشین شده و محلول فوقانی که شفاف می باشد، به عنوان عصاره بافت عضله ماهی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تهیه محلولهای استاندارد، به ترتیب ۲، ۱ و ۳ میلی لیتر از محلول استاندارد TMA با آب مقطر به ۴ میلی لیتر رسانده و سپس با تعیین میزان جذب نور منحنی استاندارد رسم شد. در این آزمایش یک لوله به عنوان شاهد نیز در نظر گرفته شد. با تعیین میزان جذب نور در نمونه مجهول و با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده میزان TMA در عضله ماهی محاسبه شد [۱۵].

$$TMA (mg / 100 g) = \frac{V \times F \times [A_{\text{شاهد}} - A_{\text{نمونه}}]}{m}$$

تیمارهای پوشش دار، به ویژه تیمار حاوی ۱٪ پلی ساکارید، کاهش کندتری در ATP و افزایش ملایم تری در Hx نشان دادند. این موضوع را می توان به توانایی پوشش در محدود کردن نفوذ اکسیژن و کاهش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده نوکلئوتید نسبت داد. علاوه بر این، ترکیبات آنتی اکسیدانی موجود در پلی ساکارید هسته ای از گیل ژاپنی با مهار اکسیداسیون و کاهش فعالیت میکروبی، پایداری نوکلئوتیدها را افزایش داده و به بهبود کیفیت شیمیایی و تأخیر در فساد کمک می کنند [۲۰، ۲۵]. این نتایج با مطالعات دیگر محققان [۱۶، ۱۷] هم راستا است که استفاده از پوشش های زیست فعال حاوی پلی ساکارید را در حفظ کیفیت نوکلئوتیدی و کاهش فساد شیمیایی اثبات کرده اند.

Table 1. Changes in the concentration of nucleotide compounds (ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx) in mmol/kg sample and K-value (%) in rainbow trout fillets coated with different treatments during cold storage (4 °C) at different days. (C: control, G: gelatin, GP0.5: gelatin + 0.5% polysaccharide, GP1: gelatin + 1% polysaccharide)

Index	Treatment / Day	0	1	4	7	10	12
K (%)	C	10.2 ± 0.4 a	16.8 ± 0.7 a	28.5 ± 1.2 a	39.4 ± 1.6 a	46.7 ± 1.8 a	50.3 ± 2.0 a
	G	10.2 ± 0.4 a	14.5 ± 0.6 ab	22.7 ± 1.0 b	30.4 ± 1.3 b	36.0 ± 1.5 b	38.1 ± 1.6 b
	GP0.5	10.2 ± 0.4 a	13.3 ± 0.6 b	19.7 ± 0.9 bc	25.8 ± 1.3 c	30.1 ± 1.3 c	32.6 ± 1.4 c
	GP1	10.2 ± 0.4 a	12.1 ± 0.5 b	17.5 ± 0.8 c	22.4 ± 1.0 b	25.6 ± 1.1 c	28.4 ± 1.3 d
HxR	C	0.34 ± 0.02 a	0.56 ± 0.3 a	0.95 ± 0.05 a	1.31 ± 0.06 a	1.5 ± 0.07 a	2.82 ± 0.11 a
	G	0.34 ± 0.02 a	0.48 ± 0.3 a	0.75 ± 0.04 b	1.01 ± 0.05 b	1.27 ± 0.06 b	2.4 ± 0.11 b
	GP0.5	0.34 ± 0.02 a	0.44 ± 0.3 b	0.66 ± 0.04 b	0.86 ± 0.04 c	1.08 ± 0.05 c	2 ± 0.09 c
	GP1	0.34 ± 0.02 a	0.36 ± 0.2 b	0.58 ± 0.03 c	0.74 ± 0.04 c	0.96 ± 0.04 d	1.7 ± 0.07 d
Hx	C	0.68 ± 0.02 a	1.12 ± 0.05 a	1.9 ± 0.08 a	2.62 ± 0.1 a	2.82 ± 0.11 a	3.0 ± 0.12 a
	G	0.68 ± 0.02 a	0.96 ± 0.04 b	1.5 ± 0.07 b	2.02 ± 0.09 b	2.4 ± 0.1 b	2.54 ± 0.1 b
	GP0.5	0.68 ± 0.02 a	0.88 ± 0.04 b	1.32 ± 0.06 b	1.72 ± 0.07 c	2.0 ± 0.09 c	2.16 ± 0.09 c
	GP1	0.68 ± 0.02 a	0.72 ± 0.03 c	1.16 ± 0.05 c	1.48 ± 0.06 c	1.7 ± 0.07 d	1.92 ± 0.08 d
IMP	C	5 ± 0.3 a	4.2 ± 0.2 a	3.3 ± 0.2 a	2.0 ± 0.2 b	1.3 ± 0.2 b	1.0 ± 0.1 b
	G	5 ± 0.3 a	4.6 ± 0.3 a	3.7 ± 0.3 a	2.9 ± 0.2 a	2.4 ± 0.2 a	2.2 ± 0.2 a
	GP0.5	5 ± 0.3 a	4.7 ± 0.3 a	4.0 ± 0.2 a	3.3 ± 0.2 a	2.8 ± 0.2 a	2.5 ± 0.2 a
	GP1	5 ± 0.3 a	4.9 ± 0.2 a	4.3 ± 0.2 a	3.6 ± 0.2 a	3.2 ± 0.2 a	2.8 ± 0.2 a
AMP	C	1 ± 0.1 a	0.8 ± 0.1 a	0.6 ± 0.1 a	0.5 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a
	G	1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.1 a	0.8 ± 0.1 a	0.7 ± 0.03 a	0.6 ± 0.07 a	0.5 ± 0.09 a
	GP0.5	1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.1 a	0.8 ± 0.1 a	0.7 ± 0.05 a	0.7 ± 0.08 a	0.6 ± 0.08 a
	GP1	1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.1 a	0.8 ± 0.1 a	0.7 ± 0.03 a	0.6 ± 0.05 a	0.6 ± 0.1 a
ADP	C	1.2 ± 0.1 a	1.0 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 b	0.5 ± 0.1 b	0.4 ± 0.1 b	0.3 ± 0.01 b
	G	1.2 ± 0.1 a	1.1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.05 a	0.7 ± 0.07 a	0.6 ± 0.07 a	0.5 ± 0.07 a
	GP0.5	1.2 ± 0.1 a	1.1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.05 a	0.8 ± 0.05 a	0.7 ± 0.08 a	0.6 ± 0.05 a
	GP1	1.2 ± 0.1 a	1.1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 a	0.6 ± 0.1 a	0.6 ± 0.08 a
ATP	C	1.8 ± 0.2 a	1.3 ± 0.1 a	1.3 ± 0.1 a	1.1 ± 0.1 a	1.2 ± 0.07 a	0.9 ± 0.08 a
	G	1.8 ± 0.2 a	1.6 ± 0.2 a	1.3 ± 0.1 a	1.3 ± 0.03 a	1.2 ± 0.08 a	1.0 ± 0.07 a
	GP0.5	1.8 ± 0.2 a	1.6 ± 0.2 a	1.3 ± 0.1 a	1.4 ± 0.1 a	1.3 ± 0.08 a	1.1 ± 0.07 a
	GP1	1.8 ± 0.2 a	1.9 ± 0.2 a	1.4 ± 0.1 a	1.4 ± 0.03 a	1.4 ± 0.07 a	1.2 ± 0.1 a

Statistical significance was considered at  $p < 0.05$

در آغاز دوره نگهداری (روز ۰)، شاخص K در کلیه تیمارها تقریباً در یک سطح بوده و اختلاف معنی داری بین آنها مشاهده نشد (حدود ۱۰٪). با گذشت زمان، شاخص K در تمامی تیمارها روند افزایشی داشت؛ این افزایش نشان دهنده تجزیه پیوسته نوکلئوتیدهای ATP به ترکیبات پایانی مانند Hx است که بازتاب کاهش تازگی و کیفیت نمونه ها می باشد.

همچنین میزان شاخص K در فیله های قزل آلا طی دوره نگهداری ۱۲ روزه در دمای یخچال، در چهار تیمار مختلف شامل تیمار شاهد (C)، پوشش ژلاتین (G)، ژلاتین + پلی ساکارید ۰/۵٪ (GP0.5) و ژلاتین + پلی ساکارید ۱٪ (GP1) مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل در

شکل ۱ ارائه شده اند.

هایپوگزانتین می‌باشد [۱۸]. در تیمارهای پوشش‌دار، به‌ویژه GP1، افزایش شاخص K به‌طور محسوسی کندتر بود. این پدیده را می‌توان به حضور ترکیبات فعال زیستی در پلی‌ساکارید استخراج‌شده از هسته ازگیل ژاپنی نسبت داد، که احتمالاً دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی هستند. این ترکیبات، همراه با خاصیت سدکنندگی ژلاتین، می‌توانند با محدود کردن دسترسی اکسیژن و مهار رشد میکروبی، فرآیندهای آنزیمی و اکسایشی مرتبط با تخریب نوکلئوتیدی را مهار کنند [۱۹]. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پوشش ترکیبی ژلاتین و پلی‌ساکارید می‌تواند از طریق کاهش تجزیه نوکلئوتیدها، در حفظ کیفیت و تازگی فرآورده‌های آبی بسیار مؤثر واقع شود. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص K می‌تواند نه تنها به‌عنوان شاخص حساس برای ارزیابی تازگی، بلکه به‌عنوان ابزار معتبری برای بررسی اثربخشی تیمارهای حفاظتی نیز مورد استفاده قرار گیرد. وجود این ترکیبات، همراه با ویژگی‌های فیلم‌سازی ژلاتین، باعث ایجاد سد فیزیکی و بیوشیمیایی مؤثر در برابر عوامل فساد گردیده است. مطالعات مشابه نیز یافته‌های این پژوهش را تأیید می‌کنند. به‌عنوان نمونه، زارعی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از پوشش خوراکی مبتنی بر پلی‌ساکارید گیاهی موجب کاهش نرخ افزایش شاخص K در فیله ماهی تیلاپیا شد [۲۰]. همچنین، در مطالعه‌ای توسط رضانی و همکاران (۲۰۱۸)، پوشش ترکیبی ژلاتین و اسانس‌های گیاهی توانست روند تخریب نوکلئوتیدها را به تأخیر بیندازد. این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از پوشش‌های زیست‌فعال در کنترل کیفیت شیمیایی و حفظ تازگی فرآورده‌های آبی مؤثر است [۲۱].

به عبارت دیگر، افزایش شاخص K بیانگر پیشرفت فساد بیوشیمیایی و کاهش کیفیت بافت ماهی در طول نگهداری است. با این حال، سرعت این افزایش در بین تیمارها متفاوت بود. در تیمار شاهد (C)، شاخص K از ۲/۱۰٪ در روز صفر به ۳/۵۰٪ در روز دوازدهم رسید که بیشترین افزایش را در بین تیمارها نشان داد. این تغییر از نظر آماری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود، که نشان‌دهنده تجزیه قابل توجه نوکلئوتیدها و کاهش چشمگیر تازگی نمونه‌های طی دوره نگهداری است. در تیمار G مقدار K در روز ۱۲ به ۱/۳۸٪ رسید که نسبت به تیمار شاهد کاهش قابل توجهی داشت. در تیمار GP0.5 شاخص K در روز ۱۲ برابر ۶/۳۲٪ بود. در نهایت، در تیمار GP1 که بیشترین غلظت پلی‌ساکارید را دارا بود، مقدار شاخص K به ۴/۲۸٪ محدود شد؛ این مقدار کمترین سطح شاخص K در روز دوازدهم در بین تیمارها بود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، افزودن پلی‌ساکارید استخراج‌شده از هسته ازگیل ژاپنی به پوشش ژلاتینی موجب کاهش قابل توجه نرخ افزایش شاخص K در فیله‌های ماهی قزل‌آلای طی نگهداری سرد شد. این کاهش وابسته به دوز بوده و در تیمار GP1 بیشترین اثر مهاری مشاهده شد. از روز چهارم به بعد، اختلافات بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ).

افزایش شاخص K در تمامی تیمارها طی دوره نگهداری نشان‌دهنده تخریب نوکلئوتیدها و کاهش تدریجی تازگی نمونه‌ها در شرایط سرد است. با این حال، روند افزایش این شاخص در تیمار شاهد (فاقد پوشش) بسیار سریع‌تر از سایر تیمارها بود، که بیانگر نقش پوشش‌های خوراکی در کاهش شدت تجزیه ATP و تبدیل آن به محصولات نهایی مانند

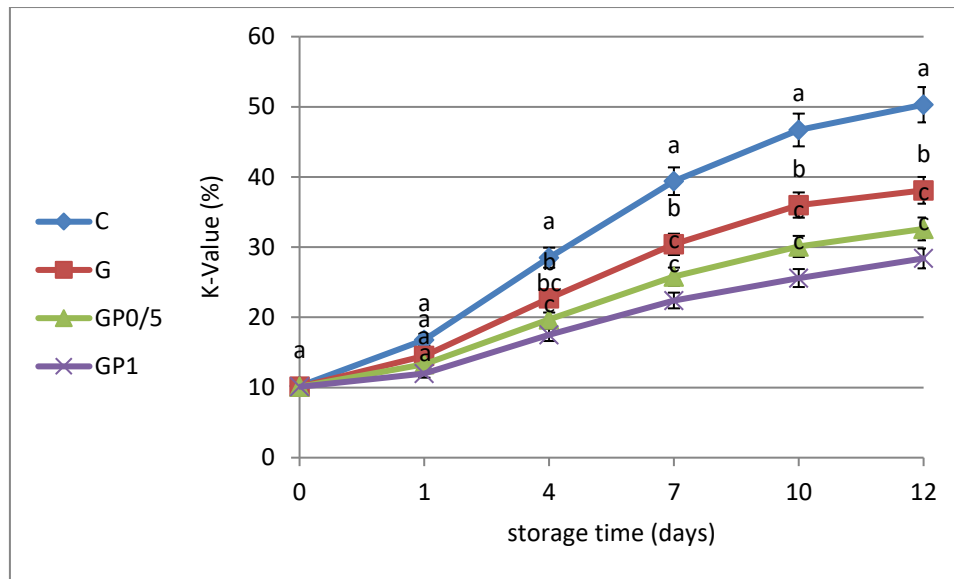


Figure 1. Changes in K-value [%] in rainbow trout fillets coated with different treatments including (C: control, G: gelatin, GP0.5: gelatin + 0.5% polysaccharide, GP1: gelatin + 1% polysaccharide) during 12 days of storage at refrigerated temperature ( $4 \pm 1$  °C). Statistical significance was considered at  $p < 0.05$ .

اکسیداسیون اولیه و ثانویه چربی‌ها می‌باشد [۲۲]. مقدار FFA نیز در تیمارهای پوشش‌دار، به‌ویژه GP1، افزایش کمتری داشت که حاکی از کاهش تجزیه چربی‌ها به اسیدهای چرب آزاد است.

بررسی روند کلی شاخص‌های شیمیایی نشان داد که شاخص‌های TMA و TVB-N بیشترین انطباق را با تغییرات شاخص K داشتند. این دو شاخص، مانند K، در تیمار شاهد بیشترین افزایش را نشان دادند و در تیمار GP1 در پایین‌ترین سطح باقی ماندند. این تطابق روند بیانگر آن است که شاخص‌های نیتروژنی حاصل از تجزیه پروتئین، ارتباط نزدیکی با تخریب نوکلئوتیدی دارند و می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مکمل در ارزیابی تازگی ماهی مورد استفاده قرار گیرند. مطالعات پیشین نیز یافته‌های این پژوهش را تأیید می‌کنند. به‌عنوان مثال /وزوگول و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که شاخص K با TVB-N و TMA در طول نگهداری ماهی کولی همبستگی بالایی دارد و این شاخص‌ها می‌توانند به‌صورت مکمل در تعیین تازگی آبزیان استفاده شوند [۲۳]. همچنین، در مطالعه‌ای بر روی فیله تیلاپیا، اجاق و همکاران 2011 نشان دادند که همبستگی شاخص K با

## ۲-۴- تغییرات سایر شاخص‌های فساد

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های شیمیایی فساد شامل TMA، FFA، TBA، PV، TVB-N در جدول ۲ نشان داد که در تمامی تیمارها، این شاخص‌ها طی دوره نگهداری افزایش معنی‌دار یافتند که بیانگر پیشرفت فرآیندهای تخریب پروتئینی و اکسیداسیون لیپیدی در فیله‌های ماهی قزل‌آلا می‌باشد. با این حال، تیمارهای پوشش‌دار، به‌ویژه تیمار GP1، در تمامی شاخص‌ها سطوح پایین‌تری نسبت به تیمار C داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که پوشش ترکیبی ژلاتین و پلی‌ساکارید به‌طور مؤثری توانسته است فعالیت آنزیم‌های میکروبی و اکسیداتیو را کاهش داده و از تشکیل ترکیبات ناشی از فساد شیمیایی جلوگیری نماید. بیشترین اختلاف بین تیمارها در شاخص‌های TMA و TVB-N مشاهده شد که نمایانگر نقش پوشش در مهار فعالیت آنزیم‌های تولیدکننده ترکیبات نیتروژنی فرار است. همچنین، کاهش معنی‌دار در مقادیر PV و TBA در تیمارهای پوشش‌دار نشان‌دهنده توانایی این پوشش‌ها در مهار

این یافته‌ها نشان می‌دهند کاهش همزمان شاخص‌های شیمیایی و شاخص K در تیمارهای پوشش‌دار نشان‌دهنده ارتباط بالقوه و همبستگی میان آن‌ها است که در بخش بعدی بررسی آماری خواهد شد.

TVB-N قوی‌تر از همبستگی آن با شاخص‌های اکسیداسیونی مانند TBA و PV است [۲۴]. در پژوهشی دیگر، فان و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که روند افزایش شاخص TMA به‌ویژه در تیمارهای شاهد، بیشترین هماهنگی را با افزایش شاخص K دارد و استفاده از پوشش‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی می‌تواند به‌طور همزمان از افزایش آنها جلوگیری کند [۲۵].

Table 2. Changes in chemical spoilage indicators in rainbow trout fillets subjected to different treatments during 12 days of storage at refrigerated temperature ( $4 \pm 1$  °C). (C: control, G: gelatin, GP0.5: gelatin + 0.5% polysaccharide, GP1: gelatin + 1% polysaccharide)

test	Treatment / Day	0	1	4	7	10	12
TVB-N	C	10.13 ± 1.12 a	11.58 ± 1/03 a	13.71 ± 1.55 a	15.83 ± 1.41 a	18.25 ± 1.95 a	23.5 ± 2.29 a
	G	10.13 ± 0.98 a	11.47 ± 1/30 a	12.42 ± 1/18 b	14.42 ± 1.62 b	16.71 ± 1.53 b	19.42 ± 2.04 b
	GP0/5	10.13 ± 1.07 a	11.40 ± 1/06 a	11.85 ± 1.43 c	13.59 ± 1.28 c	15.97 ± 1.75 c	18.15 ± 1.80 c
	GP1	10.13 ± 1.04 a	11.23 ± 1/12 a	11.44 ± 1/29 c	12.11 ± 1.15 d	13.34 ± 1.22 d	14.73 ± 1.40 d
PV	C	0.85 ± 0.11 a	0.96 ± 0/08 a	1.85 ± 0.20 a	3.72 ± 0.42 a	4.98 ± 0.56 a	4.14 ± 0.43 a
	G	0.85 ± 0.10 a	0.95 ± 0/13 a	1.61 ± 0.19 a	3.25 ± 0.29 a	4.38 ± 0.41 a	3.65 ± 0.35 a
	GP0/5	0.85 ± 0.09 a	0.92 ± 0/08 a	1.41 ± 0.15 a	2.83 ± 0.30 b	3.63 ± 0.34 b	3.15 ± 0.30 b
	GP1	0.85 ± 0.12 a	0.90 ± 0/1 a	1.23 ± 0.13 b	2.69 ± 0.24 b	3.22 ± 0.31 b	3.05 ± 0.32 b
TBA	C	0.33 ± 0.03 a	0.36 ± 0.05 a	0.55 ± 0.07 a	0.65 ± 0.06 a	0.9 ± 0.08 a	1.53 ± 0.18 a
	G	0.33 ± 0.04 a	0.37 ± 0.03 a	0.45 ± 0.06 a	0.5 ± 0.05 a	0.63 ± 0.05 a	1.1 ± 0.10 b
	GP0/5	0.33 ± 0.04 a	0.34 ± 0.04 a	0.42 ± 0.03 a	0.45 ± 0.06 a	0.55 ± 0.07 a	0.93 ± 0.10 b
	GP1	0.33 ± 0.03 a	0.33 ± 0.03 a	0.39 ± 0.05 a	0.39 ± 0.04 a	0.44 ± 0.04 a	0.8 ± 0.09 b
FFA	C	0.42 ± 0.05 a	0.67 ± 0.09 a	1.7 ± 0.15 a	2.03 ± 0.21 a	3.25 ± 0.28 a	4.24 ± 0.38 b
	G	0.42 ± 0.03 a	0.66 ± 0.07 a	1.57 ± 0.18 a	1.96 ± 0.23 a	2.87 ± 0.32 a	4.11 ± 0.43 a
	GP0/5	0.42 ± 0.06 a	0.65 ± 0.07 a	1.23 ± 0.14 b	1.65 ± 0.16 b	2.42 ± 0.27 b	3.44 ± 0.37 a
	GP1	0.42 ± 0.04 a	0.65 ± 0.05 a	1.0 ± 0.11 b	1.47 ± 0.14 b	2.13 ± 0.22 b	3.4 ± 0.31 b
TMA	C	2.45 ± 0.33 a	2.81 ± 0.27 a	3.65 ± 0.52 a	4.82 ± 0.42 a	8.12 ± 0.91 a	13.54 ± 1.25 a
	G	2.45 ± 0.28 a	2.75 ± 0.26 a	3.44 ± 0.33 a	4.36 ± 0.31 a	7.32 ± 0.76 a	11.85 ± 1.13 a
	GP0/5	2.45 ± 0.30 a	2.66 ± 0.27 a	3.15 ± 0.36 a	3.85 ± 0.35 b	5.85 ± 0.62 b	9.13 ± 0.93 b
	GP1	2.45 ± 0.31 a	2.53 ± 0/25 a	2.86 ± 0.30 b	3.61 ± 0.33 b	5.03 ± 0.47 b	6.87 ± 0.68 c

Statistical significance was considered at  $p < 0.05$

مانند رگرسیون خطی و ضریب همبستگی پیرسون، بر پایه فرض نرمال بودن داده‌ها عمل می‌کنند. به همین منظور، آزمون شاپیرو-ویلک به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین آزمون‌های آماری برای بررسی نرمال بودن توزیع، مورد استفاده قرار گرفت. آماره W این آزمون نشان‌دهنده میزان تطابق توزیع داده‌ها با توزیع نرمال است؛ مقادیر نزدیک به ۱ بیانگر توزیع نرمال‌تر هستند. با این حال، معیار اصلی قضاوت مقدار P است؛ به‌گونه‌ای که اگر  $P > 0.05$  باشد، توزیع داده‌ها نرمال

### ۳-۴- بررسی همبستگی شاخص K با سایر شاخص‌های شیمیایی فساد

#### ۳-۴-۱- نتایج آزمون نرمال بودن (شاپیرو-ویلک)<sup>۱</sup>

پیش از تحلیل همبستگی بین شاخص K و سایر شاخص‌های فساد شیمیایی، ضروری است که نرمال بودن توزیع داده‌ها بررسی شود، چرا که بسیاری از آزمون‌های آماری پارامتریک

<sup>۱</sup> Shapiro-Wilk

آزمون‌های آماری پارامتریک نظیر تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون از اعتبار و قابلیت استناد برخوردار است. [۲۶، ۲۷]. وجود توزیع نرمال در داده‌ها به ما اجازه می‌دهد که استنتاج‌های آماری مبتنی بر مدل‌های خطی را با دقت بالاتری انجام دهیم و نتایج به‌دست‌آمده در ارزیابی روابط بین شاخص K و سایر پارامترهای فساد شیمیایی از پشتوانه آماری مناسبی برخوردار باشند.

تلقی می‌شود، در غیر این صورت ( $P < 0.05$ ) داده‌ها غیرنرمال در نظر گرفته می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون نرمال بودن شاپیرو-ویلک (جدول ۳) نشان داد که بیشتر متغیرهای مورد بررسی از جمله  $K$ -Value،  $IMP$ ،  $Hx$ ،  $ATP$  و سایر شاخص‌های نوکلئوتیدی دارای توزیع نرمال بوده و مقدار سطح معنی‌داری ( $p$ -value) در اغلب موارد بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بود. این موضوع بیانگر آن است که فرض نرمال بودن داده‌ها رد نمی‌شود و بنابراین استفاده از

Table 3. Correlation analysis of normally distributed chemical spoilage indicators

Chemical Index	W Statistic	p-value	Distribution Status
TVB-N	0.911	0.298	Normal
PV	0.817	0.077	Approximately normal
TBA	0.889	0.166	Normal
FFA	0.875	0.219	Normal
TMA	0.829	0.096	Approximately normal
Storage Time	1.000	1.000	Normal

Note: A p-value greater than 0.05 indicates a normal distribution

سوی دیگر، آزمون همبستگی اسپیرمن یک روش غیرپارامتریک است که برای سنجش ارتباط رتبه‌ای بین دو متغیر به کار می‌رود و نیازمند فرض نرمال بودن داده‌ها نیست. این آزمون به‌خصوص زمانی کاربرد دارد که داده‌ها دارای توزیع غیرنرمال باشند یا روابط غیرخطی داشته باشند. نتایج این آزمون در جدول ۴ آورده شده است. نتایج حاصله نشان‌دهنده وجود روابط مثبت، قوی و معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین روز نگهداری و تمامی شاخص‌های فساد است. این نتایج بیانگر افزایش معنی‌دار پارامترهای فساد شیمیایی با افزایش مدت زمان نگهداری فیله ماهی در شرایط سرد است. بنابراین، روز نگهداری به عنوان یک متغیر مهم در تعیین کیفیت و میزان فساد شیمیایی شناخته شده و شاخص‌های شیمیایی مذکور می‌توانند معیارهای قابل اتکایی برای پیش‌تغییرات کیفی فیله ماهی طی زمان نگهداری باشند [۲۸، ۲۹].

#### ۲-۳-۴- نتایج همبستگی اسپیرمن

با توجه به اینکه در برخی متغیرها انحرافات از نرمال بودن مشاهده شد. از این‌رو، برای اطمینان بیشتر از صحت تحلیل آماری، همزمان از دو آزمون همبستگی پیرسون (برای داده‌های نرمال و نیمه‌نرمال) و اسپیرمن [برای داده‌های با توزیع نامشخص یا غیردقیق] استفاده شد. این رویکرد ترکیبی امکان تحلیل جامع‌تری از روابط بین شاخص  $K$  و سایر شاخص‌های فساد شیمیایی را فراهم می‌سازد. آزمون همبستگی پیرسون یکی از روش‌های پارامتریک رایج برای بررسی میزان و جهت رابطه خطی بین دو متغیر کمی است [۲۶]. مقدار ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) بین ۱- تا ۱+ متغیر است، که مقادیر نزدیک به ۱+ نشان‌دهنده همبستگی مثبت قوی، مقادیر نزدیک به ۱- بیانگر همبستگی منفی قوی و مقدار صفر نشان‌دهنده عدم وجود رابطه خطی است. از

Table 4. Spearman correlation results between storage days and other chemical spoilage indicators.

Chemical Index	Correlation Coefficient (r)	p-value	Correlation Description
TVB-N	0.971	0.003	Positive and significant correlation
PV	0.886	0.018	Positive and significant correlation
TBA	0.971	0.003	Positive and significant correlation
FFA	0.886	0.018	Positive and significant correlation
TMA	0.829	0.042	Positive and significant correlation

### ۳-۳-۴- نتایج همبستگی پیرسون شاخص K با شاخص‌های فساد شیمیایی

و حساس برای پایش کیفیت و پیش‌بینی فساد در فیله ماهی طی دوره نگهداری سرد مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات مشابه نیز نشان داده‌اند که شاخص K یکی از شاخص‌های شاخص و معتبر برای ارزیابی تازگی و فساد ماهی است که در پژوهش‌های مختلف به طور گسترده به کار رفته است [۲۳، ۲۴]. در تحقیقات دیگر نیز مشاهده شده که شاخص K به‌عنوان معیاری از تجزیه نوکلئوتیدی پسامرگ در بافت‌های ماهی به‌کار می‌رود و این شاخص در تشخیص تازگی اولیه و شدت فساد کاربرد عملی دارد. همچنین مطالعات اخیر نشان داده‌اند که مقدار K به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر دما و شرایط نگهداری قرار می‌گیرد [۳۰]. یافته‌های حاضر نیز با این نتایج همخوانی دارد و بر اهمیت استفاده از شاخص K در کنترل کیفیت محصولات دریایی تأکید می‌کند.

در این مطالعه، شاخص K به‌عنوان یکی از معیارهای مهم فساد شیمیایی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی میزان ارتباط شاخص K با شاخص‌های مختلف فساد شیمیایی شامل PV، TVB\_N، TBA، FFA و TMA، تحلیل همبستگی پیرسون انجام شد. نتایج (جدول ۵) نشان داد که بین شاخص K و تمامی شاخص‌های فساد رابطه مثبت بسیار قوی و معنی‌دار وجود دارد (ضریب همبستگی r بین ۰/۹۵۷ تا ۰/۹۹۷، مقدار p کمتر از ۰/۰۱). این یافته‌ها بیانگر این است که افزایش مقدار شاخص K با افزایش پارامترهای فساد شیمیایی همراه است و بنابراین شاخص K می‌تواند به‌عنوان یک معیار قابل اعتماد

Table 5. Pearson correlation results between the K-value and chemical spoilage indicators

Chemical Index	Pearson Correlation Coefficient (r)	p-value	Correlation Description
TVB-N	0.997	0.00013	Strong and significant positive
PV	0.978	0.0003	Strong and significant positive
TBA	0.961	0.0012	Strong and significant positive
FFA	0.978	0.0003	Strong and significant positive
TMA	0.957	0.0017	Strong and significant positive

TVB-N در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی دوره نگهداری در شرایط سرد، در چهار تیمار مختلف ارائه شده

با توجه به آنکه شاخص‌های TMA و TVB-N بیشترین انطباق را با تغییرات شاخص K داشتند در شکل ۲ و ۳ نمودار پراکنش<sup>۱</sup> ارتباط بین شاخص K و شاخص TMA و

1-scatter plot

به‌عنوان نمونه، معادلات رگرسیون برای تیمار شاهد و تیمار GP1 به ترتیب به صورت زیر می‌باشند:

$$\text{تیمار (C): } TMA = 0.21 \times K + 8.08 \quad (R^2 = 0.99)$$

شاهد

$$\text{تیمار (GP1): } TMA = 0.14 \times K + 7.35 \quad [R^2 = 0.96]$$

این نتایج تأیید می‌کند که افزودن پلی‌ساکارید به پوشش ژلاتین باعث کاهش چشمگیر روند فساد شیمیایی در فیله ماهی قزل‌آلا گردید [۲۰، ۲۵].

و برای هر تیمار، خط رگرسیون خطی جداگانه ترسیم گردیده است.

در شکل ۲ همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص K و TMA در همه تیمارها مشاهده شد، اما شیب خطوط رگرسیون در تیمارهای دارای پوشش پلی‌ساکارید (خصوصاً GP1) کمتر از تیمار شاهد می‌باشد. این امر نشان‌دهنده کاهش نرخ افزایش شاخص TMA نسبت به شاخص K در نمونه‌های پوشش‌یافته است که بیانگر اثر محافظتی پوشش ژلاتین-پلی‌ساکارید در کاهش سرعت فساد شیمیایی است.

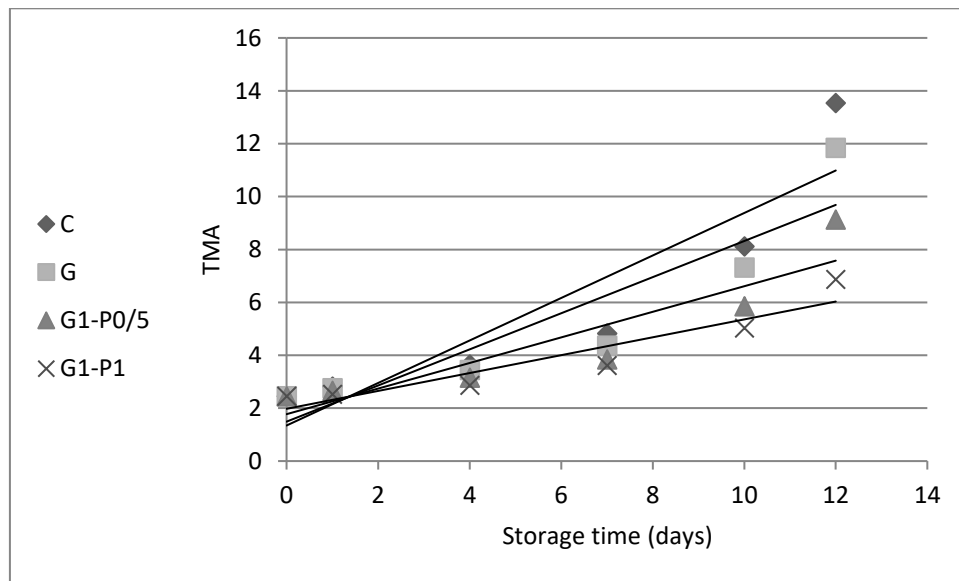


Figure 2. Scatter plot showing the relationship between the K-value and TMA index in rainbow trout fillets during cold storage under different treatments. Linear regression lines are plotted separately for each treatment. (C: control, G: gelatin, GP0.5: gelatin + 0.5% polysaccharide, GP1: gelatin + 1% polysaccharide).

$$\text{تیمار (C): } TVB-N = 0.21 \times K + 8.08 \quad (R^2 = 0.99)$$

شاهد

$$\text{(GP1): } TVB-N = 0.14 \times K + 7.35 \quad (R^2 = 0.96)$$

تیمار

این نتایج مؤید آن است که افزودن پلی‌ساکارید به پوشش ژلاتین، تأثیر چشمگیری در کاهش روند فساد شیمیایی فیله ماهی قزل‌آلا دارد.

در شکل ۳ (نمودار پراکنش رابطه بین شاخص K و شاخص TVB-N مشاهده شد در تمامی تیمارها همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص K و TVB-N وجود دارد. اما شیب خطوط رگرسیون در تیمارهای دارای پوشش پلی‌ساکارید، به‌ویژه تیمار GP1، نسبت به تیمار شاهد کمتر بود. این نشان‌دهنده کاهش نرخ افزایش شاخص TVB-N نسبت به شاخص K در نمونه‌های پوشش‌یافته است که بیانگر اثر محافظتی پوشش ژلاتین-پلی‌ساکارید در کاهش سرعت فساد شیمیایی می‌باشد. به عنوان مثال، معادلات رگرسیون برای تیمار شاهد و تیمار GP1 به صورت زیر می‌باشند:

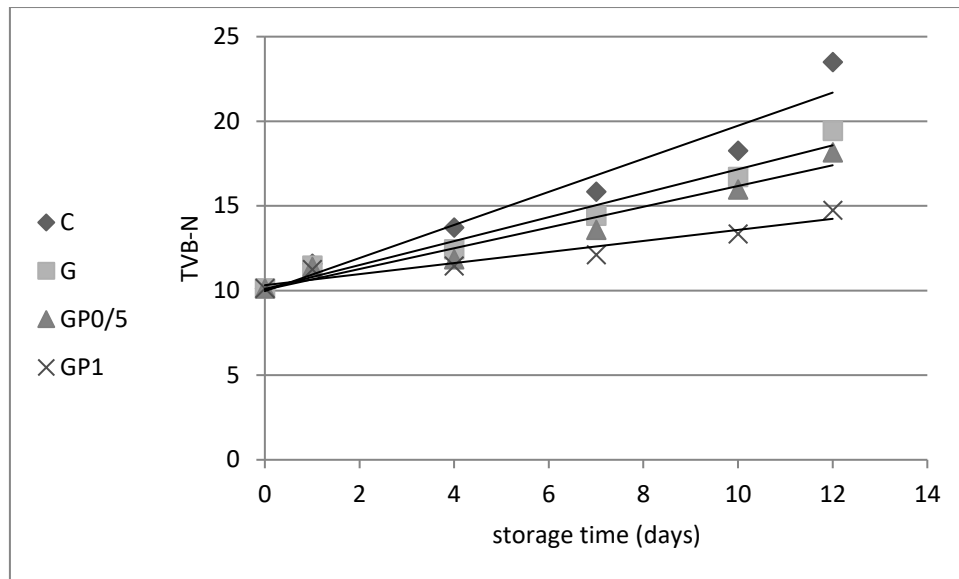


Figure 3. Scatter plot showing the relationship between the K-value and TVB-N index in rainbow trout fillets during cold storage under different treatments. Linear regression lines are plotted separately for each treatment: (C: control, G: gelatin, GP0.5: gelatin + 0.5% polysaccharide, GP1: gelatin + 1% polysaccharide).

#### ۵- نتیجه گیری

برای ارزیابی کیفیت ماهی و بررسی تأثیر تیمارهای نگهداری مورد استفاده قرار گیرد. این یافته‌ها می‌تواند به توسعه فناوری‌های نوین در صنایع غذایی دریایی کمک کند. همچنین با توجه به محدودیت‌هایی نظیر بررسی یک گونه و غلظت پلی‌ساکارید، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با گونه‌ها، غلظت‌ها و ارزیابی‌های متنوع‌تر (حسی و میکروبی) انجام گیرد.

#### تأمین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

#### مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

#### منافع رقابتی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

#### ۶- منابع

نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص K به عنوان یک شاخص شیمیایی قابل اعتماد، همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های متداول فساد شیمیایی از جمله TVB-N، PV، TBA، FFA و TMA دارد. همچنین، پوشش‌دهی فیله ماهی قزل‌آلا با ژلاتین حاوی پلی‌ساکارید منجر به کاهش چشمگیر نرخ افزایش این شاخص‌های فساد شد. به‌ویژه، تیمارهای دارای پلی‌ساکارید (GP0.5 و GP1) نسبت به تیمار شاهد و ژلاتین خالص، اثر محافظتی بهتری در کاهش روند فساد شیمیایی از خود نشان دادند. این موضوع در نمودارهای پراکنش شاخص K با شاخص‌های فساد نیز نمایان بود، به‌طوری‌که شیب خطوط رگرسیون در تیمارهای پلی‌ساکاریدی کمتر بود و نشان‌دهنده کاهش سرعت فساد است. بنابراین، استفاده از پلی‌ساکارید در پوشش ژلاتین می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر و طبیعی برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت فیله ماهی قزل‌آلا در شرایط سرد نگهداری معرفی شود و شاخص K نیز به دلیل حساسیت بالا، دقت در مراحل اولیه فساد، و قابلیت اندازه‌گیری دستگاهی، می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب و ابزار معتبر

- [1]Chen, J., Jin, Z., Wu, J., & Wang, Y. (2018). Reactive oxygen species: Key regulators in vascular health and diseases. *British Journal of Pharmacology*, 175(8), 1279–1292. <https://doi.org/10.1111/bph.13828>
- [2]Wang, H., Xu, Y., & Chen, X. (2024). Effects of natural polysaccharide coatings on lipid oxidation and microbial quality of cold-stored fish fillets. *Food Hydrocolloids*, 144, 109778. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109778>
- [3]Poljsak, B., Šuput, D., & Milisav, I. (2023). Achieving the balance between ROS and antioxidants: When to use the synthetic and when the natural ones? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2023, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/5546179>
- [4]Masjo, R., Karim, A. A., & Bhat, R. (2010). Utilization of fish waste for the extraction of collagen and gelatin: A review. *Food Reviews International*, 26(3), 231–251. <https://doi.org/10.1080/87559129.2010.484113>
- [5]Li, Y., Xu, B., & Jin, Z. (2021). Edible coatings based on polysaccharides from natural sources for food preservation: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 651–666. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.035>
- [6]Zhou, Y., Huang, M., & Xu, Q. (2020). Polysaccharide-based edible films and coatings for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 3014–3023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.030>
- [7]FAO. (2022). Species Fact Sheets: *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://www.fao.org/fishery/en/species/2929>
- [8]Wang, L., Zhang, M., & Bhandari, B. (2024). The preservation effect of polysaccharide-based coating combined with antioxidants on fish fillets. *LWT - Food Science and Technology*, 185, 115275. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115275>
- [9]Wang, T., Zhao, Y., & Li, W. (2023). Effects of natural edible coatings on microbial and physicochemical properties of aquatic products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 139, 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.006>
- [10]Choi, Y. J., Choi, J. S., Kim, H. J., & Park, H. J. (2007). K-value determination in fish muscle: A modified method for freshness assessment. *Journal of Food Science*, 72(5), C270–C274.
- [11]Sikorski, Z. E., & Kolakowska, A. (2021). Chemical and functional properties of food lipids (3rd ed.). CRC Press.
- [12]American Oil Chemists' Society (AOCS). (2009). Official Method Cd 19-90: Thiobarbituric Acid Value, Direct Method. In *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS* (6th ed.). AOCS Press.
- [13]American Oil Chemists' Society (AOCS). (2017). Official Method Ca 5a-40: Free Fatty Acid in Crude and Refined Oils and Fats. In *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS* (7th ed.). AOCS Press.
- [14]AOAC International. (2016). Official Method 967.12: Volatile Basic Nitrogen in Seafood. In *Official Methods of Analysis of AOAC International* (20th ed.). AOAC International.
- [15]Xiong, Y. L., Lou, X., & Wang, L. (2020). Lipid oxidation and its control in muscle foods: A review. *Meat Science*, 167, 108187. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108187>
- [16]Jiang, S., Chen, S., & Xu, Y. (2018). Application of polysaccharide edible coatings to extend shelf life and maintain quality of seafood products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.012>
- [17]Zhang, Y., Liu, Y., & Wang, Z. (2022). Characterization and application of polysaccharides from loquat seed as antioxidant coating for fish preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100949. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100949>
- [18]Kim, J., Park, J. S., & Lee, D. S. (2023). Gelatin-based edible films incorporated with plant polysaccharides to improve barrier and antioxidant properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(2), 1–12. <https://doi.org/10.1002/app.53601>
- [19]Zarei, M., Najafzadeh, H., & Emam-Djomeh, Z. (2020). Application of edible coatings for improving shelf life of rainbow trout fillets during storage. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(4), 1798–1813. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2020.121862>
- [20]Ramezani, R., Motamedzadegan, A., & Sadeghi Mahoonak, A. (2018). Quality changes of rainbow trout fillet coated with edible films during refrigerated storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(7), 712–723. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1504074>
- [21]Wang, H., Sun, D., & Zhang, Y. (2021). Natural polysaccharide coatings for fresh fish preservation: Mechanisms and applications. *Food Research International*, 140, 110044. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110044>
- [22]Özogul, Y., Taylor, K. D. A., Quantick, P., & Özogul, F. (2010). Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored under modified atmosphere and vacuum packaging. *International Journal of Food Science & Technology*, 35(3), 217–222. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00342.x>
- [23]Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2011). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout fillet. *Food Chemistry*, 124(1), 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.002>
- [24]Fan, W., Jiang, Y., Wu, Q., Chen, L., & Chen, J. (2009). Effect of chitosan coatings on quality and

- shelf life of silver carp during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 116(3), 670–675. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.025>
- [25]Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics (5th ed.)*. Sage Publications.
- [26]Pallant, J. (2020). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS (7th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- [27]Kilinc, B., & Cakli, S. (2008). Changes in chemical, physical and sensory characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during ice storage. *Food Chemistry*, 110(1), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.066>
- [28]Özyurt, G., & Baygar, T. (2019). Evaluation of K-value and sensory properties in fish freshness determination. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(4), 345–353. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19\\_4\\_05](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_4_05).
- [29]Ko CY, Huang YH, Lin YH, et al. (2023.) Physicochemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets under different storage temperatures and high-voltage electrostatic field: effects on K-value and spoilage indices. *Front Sustain Food Syst.*;7:1158953.



Scientific Research

**Investigation of K-value Changes and Its Correlation with Chemical Spoilage Indicators in Rainbow Trout Fillets Coated with Gelatin Containing Polysaccharide Extracted from Loquat [Eriobotrya japonica] Seed**

**Mojtaba Nouri<sup>1</sup>, Homa Baghaei\*<sup>2</sup>, Mahdi Kashaninejad<sup>3</sup>, Abdolreza Mohammadi Nafchi**

1- Department of Food Science and Technology, Da.C., Islamic Azad University, Damghan, Iran

2- Department of Food Science and Technology, Da.C., Islamic Azad University, Damghan, Iran

3- Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- Department of Food Science and Technology, Da.C., Islamic Azad University, Damghan, Iran

**ARTICLE INFO**

**ABSTRACT**

**Article History:**

Received: 2025/08/06

Review: 2025/09/11

Accepted: 2025/09/13

**Keywords:**

K-value,  
loquat seed polysaccharide,  
edible coating,  
rainbow trout,  
correlation,  
spoilage

**DOI:** 10.48311/fsct.2026.84075.0

\*Corresponding Author E-

baghaei.homa@gmail.com

Freshness and quality of fish fillets are key indicators of safety and consumer acceptance in seafood products. This study evaluated the K-value index and its correlation with other chemical spoilage indicators, including total volatile basic nitrogen (TVB-N), trimethylamine (TMA), peroxide value (PV), thiobarbituric acid reactive substances (TBA), and free fatty acids (FFA) in rainbow trout fillets during refrigerated storage. Fillets were coated with 1% gelatin containing 0.5% or 1% loquat (*Eriobotrya japonica*) seed polysaccharide, alongside an uncoated control, and stored at  $4 \pm 1$  °C for 12 days. Sampling was performed on days 0, 1, 4, 7, 10, and 12, and chemical analyses were conducted to determine the indices. Results showed that fillets treated with gelatin plus 1% polysaccharide had the lowest K-values and other spoilage indicators throughout storage. Correlation analysis revealed significant positive relationships between the K-value and TVB-N, TMA, PV, TBA, and FFA ( $p < 0.05$ ). These findings indicate that the K-value is a reliable indicator for assessing the quality and spoilage of coated rainbow trout fillets during refrigerated storage. Moreover, bioactive coatings containing loquat seed polysaccharide effectively improved product quality and extended shelf life.