

ارائه مدلی به منظور بررسی تأثیر بسته‌بندی فعال یا هوشمند بر بهبود عملکرد زنجیره تأمین مواد غذایی

علی رحیمی فرد^{۱*}، عیسی نخعی کمال‌آبادی^۲

چکیده

امروزه تغییر در نحوه تولید، توزیع، نگهداری و فروش مواد غذایی سبب تغییر در تقاضای مصرف‌کنندگان جهت افزایش کیفیت و زمان ماندگاری بسته‌های مواد غذایی شده است. به منظور اطمینان از عملکرد مطلوب بسته بندی در زنجیره تأمین مواد غذایی، نوآوری‌هایی در این صنعت به وجود آمده است، از آن جمله می‌توان به روش‌های فعال^۳ یا هوشمند^۴ بسته بندی اشاره کرد، در این مقاله ابتدا به بررسی نقش این تکنیک‌ها در افزایش زمان ماندگاری محصول پرداخته و سپس مدل موجودی برای اقلام فساد پذیر^۵ در بسته‌های فعال یا هوشمند به منظور دستیابی به بیشینه سود با در نظر گرفتن کمبود پس‌افت جزئی^۶ و فروش از دست رفته^۷ را ارائه می‌دهیم، نرخ تقاضا وابسته به سطح موجودی بوده^۸ و نرخ فساد ثابت می‌باشد. در انتها با یک مثال عددی، اقتصادی بودن استفاده از تکنیک‌های فعال یا هوشمند بسته‌بندی بررسی شده است.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی فعال و هوشمند، اقلام فساد پذیر، پس‌افت جزئی

۱. مقدمه

صنعت مربوط به بسته بندی مواد غذایی می‌باشد. پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش روزافزون صنعت بسته بندی در جهان می‌باشد. در سالهای اخیر به منظور تأمین نیازهای مشتریان در خصوص سلامت، کیفیت، و افزایش زمان ماندگاری

امروزه بسته بندی حوزه بسیار مهمی از صنعت جهانی را به خود اختصاص داده است، براساس مطالعات صورت گرفته حدود ۲ درصد از تولید ناخالص ملی (GNP)^۹ در کشورهای توسعه یافته را به خود اختصاص داده است که ۵ درصد از سهم بازار این

3-Active

4-Smart

5-Deteriorating inventory model

6-Partial backlogging

7-Lost sale

8-Stock-dependent demand

9- Gross national product

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف

۲- استادیار دانشگاه تربیت مدرس

*- نویسنده مسؤول Alirahimifard59@gmail.com

مواد غذایی سیستم های جدید بسته بندی توسعه یافته اند. از سوی دیگر تغییر در نحوه ارائه محصولات به مشتری نظیر تمرکز فروشگاه ها و ایجاد فروشگاه هایی که مواد غذایی را به صورت بسته بندی در اختیار مشتریان قرار می دهند و ایجاد فواصل بین مراکز تامین کننده و توزیع کننده، سبب شده است تا بازرگاری اساسی در نقش بسته بندی به منظور حفظ و نگهداری مواد صورت گیرد. سیستم های سستی بسته بندی عملیات توزیع محصول را ساده تر می کنند، همچنین وظیفه حفاظت از محصول در برابر شرایط محیط مانند نور، اکسیژن، رطوبت، میکروب ها، فشارها و گرد و غبار را بر عهده دارد. محدودیت این سیستمها عدم اطلاع رسانی صحیح در مورد زمان ماندگاری و کیفیت محصول به مشتری و همچنین وجود خطا در تعیین زمان مجاز برای نگهداری محصول می باشد به همین منظور و به جهت افزایش کارایی بسته بندی جهت برآورده ساختن موارد فوق نوآوری هایی در این صنعت بوجود آمده است که فعال یا هوشمند سازی بسته بندی از این موارد می باشد. تمامی این تکنولوژی ها به منظور اطمینان بخشیدن از کیفیت محصول، تعیین زمان دقیق جهت ماندگاری محصول و در نهایت کاهش شکایات مشتریان می باشد. در این مقاله با بهره گیری از تاثیر کاربرد سیستم های فعال یا هوشمند بر افزایش زمان ماندگاری محصول و استفاده از مدل های کنترل موجودی اقلام فساد پذیر به تحلیل اقتصادی استفاده از این تکنیک ها می پردازیم.

۱-۱. تکنیک های بسته بندی فعال یا هوشمند

بسته بندی فعال، فعالیت سیستم های بسته بندی، شرایط مواد غذایی بسته بندی شده را برای افزایش ماندگاری یا بهبود ایمنی یا خواص حسی در حالی که

کیفیت غذا را حفظ می کند، تغییر می دهد. شرایط موثر بر مواد غذایی شامل کلیه ویژگی هایی است که نقش اساسی در تعیین عمر مواد غذایی بسته بندی شده دارد مانند فرآیند های فیزیولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی. این شرایط را می توان با تنظیمات خاص از طریق فعال کردن بسته بندی تحت کنترل قرار داد. سیستم بسته بندی فعال تنها، یک تکنولوژی نیست بلکه مجموعه ای از تکنولوژیهاست برای پاسخگویی به مشکلات خاص، و شامل سیستم هایی است که اکسیژن، اتیلن یا رطوبت جذب می کنند و یا ترکیباتی که ممکن است سبب فساد شوند را، از بسته خارج می کنند. دیگر سیستم های بسته بندی فعال، به طور عمدی و برنامه ریزی شده، اجزایی را به داخل غذای بسته بندی شده، رهاسازی می کنند، (نظیر اتیلن، دی اکسید کربن، دیگر عوامل ضد میکروبی، آنتی اکسیدان، طعم ها و یا رنگ ها). بسته بندی هوشمند، شرایط غذاهای بسته بندی شده را پایش می کند، تا اطلاعاتی درباره کیفیت غذای بسته بندی شده در طی حمل و نقل و انبارش ارائه نماید. سیستم های بسته بندی هوشمند می توانند به طور مثال برای آشکار سازی نشت گاز در بسته هایی با اتمسفر اصلاح شده (MAP) ^۱، برای فراهم کردن تاریخچه دمایی یک محصول در طی دوره زمانی یا برای نشان دادن حضور علائم فساد میکروبی به کار روند. [۱] و [۲]

در ایالات متحده، ژاپن، استرالیا، بسته بندی های فعال و هوشمند هم اکنون به طور موفقیت آمیزی برای افزایش ماندگاری یا پایش کیفیت و ایمنی غذا به کار می روند. در اروپا، توسعه و کاربرد این سیستم های بسته بندی هنوز محدود است. علل اساسی آن، محدودیت های قانونی، دانش اندک درباره مشتری پسندی و فواید این سیستم ها و دیگر عوامل اقتصادی و

سیستم‌های فعال و هوشمند، برای تهیه فهرستی از امکان پذیری و محدودیت‌ها از منظر قواعد اروپایی برای مواد در تماس با غذا.

• مطالعه برای تجزیه اجزاء سازنده و رفتار سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند و فعال برای دستیابی یک طبقه بندی در منظر محدودیت‌ها و امکان‌پذیری قوانین موجود.

• بررسی ایمنی سیستم‌های طبقه بندی شده با آنالیز ایمنی میکروبی و ارزیابی ریسک .

• مطالعه اثرات این سیستم‌ها با بررسی ظرفیت افزایش ماندگاری حسی، میکروبی و شیمیایی و بازدهی سیستم‌ها.

• انتخاب سیستم‌های بسته بندی فعال و هوشمند مناسب و آزمون‌های ارزیابی خواص سمی، دیگر اثرات اقتصادی محیطی و علاقمندی و گرایش شهروندان و مصرف کنندگان اروپایی به این سیستم‌های نوین .

• ایجاد امکان پذیری برای به کار گیری استفاده ایمن از سیستم‌های بسته بندی فعال و هوشمند در دستورالعمل‌های اروپایی برای مواد در تماس با غذا با توسعه آزمون‌های ویژه و تهیه اصلاحیه برای بهبود در قوانین موجود با در نظر داشتن تائیدهایی در سطوح ملی و اروپایی.

در شروع این پروژه ، بر اساس اطلاعات قابل دسترس از تامین کنندگان مواد بسته بندی و از اینترنت، بازنگری روی کلیه سیستم‌های بسته بندی فعال و هوشمند موجود انجام شد. به علاوه، منابع موجود پنج ساله گذشته جمع آوری شد و برای انجام بازنگری عمیق تر مورد استفاده قرار گرفت. این بازنگری شامل اطلاعاتی در مورد تکنولوژی ، بازار مقصد ، نیازهای مصرف کنندگان و قوانین موجود در اروپا و کشور های خارج از آن بود. نتیجه گیری مهم از بازنگری این منابع،

محیطی در اروپا است که هیچ قاعده مشخص و ویژه ای برای سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند و فعال نیست و مویید آن است که سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند باید با قواعد عمومی موجود برای مواد در تماس با غذا مطابقت نمایند. طبق این قوانین و قواعد ، انطباق این بسته بندی‌ها به این نیازمند است که کلیه اجزاء مورد استفاده برای ساخت این نوع بسته بندی‌ها باید در لیست (مواد در تماس با غذا - قابل قبول) تعریف شده باشد. این لیست تا کنون تکمیل نشده است اما صرفا اجزاء سازنده این مواد را در بر خواهد داشت و ساختار مورد استفاده برای دیگر مقاصد ، نظیر افزایش ماندگاری یا پایش آن برای بسته های مواد غذایی را شامل نمی گردد. بنابراین ، بیشترین عوامل هوشمندی و فعال نمودن بسته ، تا کنون وارد لیست نشده است. [۳]

در سال ۱۹۹۹ ، ۱۲ موسسه تحقیقاتی ، دانشگاهی و صنعتی ، پروژه سه ساله روی بسته بندی های فعال و هوشمند با عنوان ارزیابی ایمنی^{۱۱} ، اثرات^{۱۲} ، نتایج اقتصادی محیطی^{۱۳} و مشتری پسندی^{۱۴} بسته بندی های هوشمند و فعال (ACTIPAK)^{۱۵} را آغاز نمودند. هدف از اجرای این پروژه ، پیش نویس توصیه نامه‌ای برای اصلاح قوانین اروپایی بود. به طور مثال پیشنهاد اصلاحی برای قوانین مربوط به مواد در تماس با غذا، افزودنی های غذا و برچسب زنی، تا بسته‌بندی مواد غذایی هوشمند و فعال برای بهبود کیفیت و ایمنی غذا در اروپا ارائه گردید.

برنامه تحقیق شامل متون زیر بوده است:

• نگرش عمیق بر تکنولوژی ها ، قوانین ، بازار و نیازهای مصرف کنندگان و تجارت وابسته به

-
- 11-Evaluating safety
 - 12-Effectiveness
 - 13-Economic environmental impact
 - 14-Consumer acceptance
 - 15-Active and intelligent packaging

این است که هیچ یک از قوانین جاری اروپایی، استفاده از بسته بندی فعال و هوشمند را تحت پوشش قرار نمی دهند. این قواعد استاندارد که شامل حد مهاجرت کلی و لیست اجزاء و ذرات مورد تأیید است ممکن است شامل ملاحظات مربوط به بسته بندی هوشمند و فعال نباشد. پس از آماده کردن بازنگری، سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند از منظر قواعد جاری اروپایی به منظور شناسایی مغایرت ها با قوانین جاری کل سیستم ها (۲۰) سیستم فعال و ۶ سیستم هوشمند) از نظر آنالیز در صد ترکیب ها و رفتار مهاجرت کلی بررسی شدند. نتایج نشان داد که تعداد کمی از سیستم های آزمون شده، مطابق با حدود مهاجرت کلی مندرج در قوانین است و شامل فقط اجزایی است که در لیست مورد تأیید مواد در تماس با غذا آورده شده اند. عموماً این نتایج منتج به گشوده شدن باب جدیدی در قوانین اروپایی شود. تا این مواد بتوانند وارد بازار اتحادیه اروپایی شوند و ایمنی استفاده از آنها در اروپا تضمین گردد و نتایج به عنوان نقطه شروعی برای تهیه پیش نویس توصیه ای و توسعه روش های تعیین مهاجرت به کار گرفته شد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز اجزاء و رفتار مهاجرت، سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند برای مطالعات ارزیابی - انطباق انتخاب شد. تناسب، امنیت میکروبی، ظرفیت افزایش ماندگاری و اثرات این سیستم ها به منظور دستیابی به ملاحظات ایمنی آنها در اروپا ارزیابی شد. محصولات غذایی با ماندگاری بالا و ماندگاری پایین برای این بررسی ها انتخاب شدند.

اثرات سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند بوسیله آنالیز ظرفیت جذب و رهاسازی یا ظرفیت مورد نظر تعیین شده، طبق ادعای تولید کنندگان شان به طور چشمگیری موثر بودند. به هر جهت بعضی از سیستم ها رفتار مطلوب و مورد انتظاری نشان ندادند. نشانگرها و

یا موارد مورد انتظار، تحت شرایطی که بهترین حالت را ارائه کنند، توصیف شدند. امنیت میکروبی سیستم های بسته بندی، بوسیله آنالیز شرایط میکروبی بسته غذایی آزمونی و نگهداری شده در سیستم های بسته بندی فعال تعیین شد. به علاوه ریسک mis-indication برای سیستم های بسته بندی هوشمند آزمون شد. ظرفیت سیستم های بسته بندی فعال با بهبود پایداری میکروبی و افزایش پایداری شیمیایی و حسی غذا، برای چند ترکیب مختلف غذا مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعات ماندگاری، توانست به این منتج شود که چند سیستم فعال به راستی برای طولانی تر کردن ماندگاری غذاهای بسته بندی شده می تواند به کار رود. همچنین نتایج آنالیز نشان داد که مرحله بحرانی، در انتخاب درست ترکیب فرآورده غذایی و سیستم بسته بندی مرتبط به آن است. برای هر ترکیب مطلوب و دلخواه، این تناسب باید قبل از استفاده از سیستم بسته بندی ارزیابی گردد، زیرا ممکن است سیستم های بسته بندی فعال رفتار نامطلوب در ترکیب با هر ماده غذایی نشان دهند. این دلیل بر آن است که اجزاء مورد استفاده در بسته بندی های فعال و هوشمند باید قبل از آن که اجازه تماس با غذا را داشته باشد توسط کمیته علمی غذا ارزیابی گردد. سیستم های بسته بندی فعال و هوشمند که تناسب و امنیت آنها پذیرفته شد به منظور برقراری مشتری پسندی اروپایی این سیستم ها، در سطح مشتریان و مصرف کنندگان بین المللی نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که، اگر در خصوص وسایل هوشمند و فعال، آمادگی پذیرش در اروپا در آینده ای بسیار نزدیک هست، حضور این نوع بسته بندی در بازار و دادوستد بازرگانی به اطلاع رسانی ویژه جهت شناساندن فواید و چگونگی عملکرد آنها نیازمند است و این سیستم ها صرفاً به خاطر افزایش

ماندگاری مورد پذیرش و تمایل نخواهند بود.

گرایش جهت استفاده از این نوع بسته بندی‌ها در سراسر اروپا به جزء در اسپانیا و تا حدودی ایتالیا بسیار کم بود. مصرف کنندگان در اسپانیا آمادگی بیشتری برای پذیرش وسائل هوشمند (جاذب‌ها شامل بسته‌های یکبار مصرف) داشتند. در ایتالیا نسبت به دیگر کشورهای اروپایی اشتیاق بیشتری وجود دارد، این ممکن است بیانگر این باشد که بسته بندی‌های فعال و هوشمند در مناطق گرم تر بیشتر به کار می‌آید. ارزیابی پیامدهای اقتصادی و جوانب محیطی برای این سیستم‌ها انجام گرفته است و نتایج حاکی از آن است که استفاده از نشانگرهای دما-زمان زباله‌های تولید شده در طولانی مدت را کاهش می‌دهد و بنابراین اجازه می‌دهد که بازارها، فرآورده‌هایی با کیفیت بالا را پیشنهاد دهند. برای افزایش کاربری‌های آینده سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند مناسب در اروپا، همراه با حفظ امنیت بسته غذایی، اصلاحیه و توصیه نامه برای به کارگیری سیستم‌های هوشمند و فعال در دستورالعمل‌های اروپایی، پیش نویس شد. برای این منظور، تبادل نظر با تائید کنندگان قوانین اروپایی بعد از تکمیل و اتمام پروژه ادامه خواهد داشت.

توسعه و ارزیابی روش‌ها، برای آزمون رفتار مهاجرت بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند نیز ادامه خواهد داشت. دیگر قوانین نظیر، افزودنی‌های مواد غذایی، طعم دهنده‌ها، مواد سمی و خطرناک، بهداشت غذا، بر چسب گذاری، ایمنی محصول و زباله در حال مطالعه است. این قوانین، عموماً سد راه جدی برای سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند نیستند و دستورالعمل بهداشت غذا، هنوز بر روی استفاده از سیستم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند متمرکز است. [۴]

۲-۱. مدل‌های موجودی برای اقلام فساد پذیر

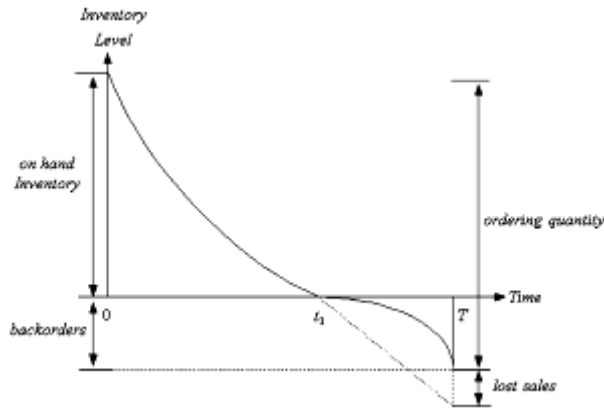
در دنیای واقعی فساد پذیری و خرابی در مورد اکثر محصولات، از جمله مواد غذایی اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد و در سالهای اخیر محققین زیادی به مطالعه این موضوع پرداخته‌اند. برای اولین بار بحث فساد شدن کالا را Wagner و Whitin [۵] مطرح نمودند، Ghare و Schrader [۶] اولین کسانی بودند که بحث فساد پذیری را برای محصولات با تابع چگالی عمر نمایی در شرایط تقاضای ثابت بررسی کردند. Covert و Philip [۷] کار ایشان را برای محصولاتی با تابع چگالی عمر وایبول توسعه دادند. Padmanabhan و Vrat [۸] مدلی برای اقلام فساد پذیر با تقاضای وابسته به سطح موجودی و کمبود از نوع کامل یا فروش از دست رفته ارائه کردند. Abad [۹] و [۱۰] مدلی با در نظر گرفتن پس‌افت جزئی ارائه نمود. Dye و Ouyang [۱۱] مدلی بادر نظر گرفتن پس‌افت جزئی وابسته به زمان و فروش از دست رفته به همراه تقاضای وابسته به سطح موجودی را ارائه نمودند، همچنین Dye و همکاران [۱۲] مدلی بادر نظر گرفتن پس‌افت جزئی با تابع نمایی ارائه دادند. در این مقاله با بهره‌گیری از مفایم فوق و در نظر گرفتن تاثیر بسته بندی فعال یا هوشمند بر کاهش نرخ فساد محصولات غذایی مدل بهینه سود ارائه شده است.

۲. مفروضات و نمادها

۱- نرخ بازسازی نامحدود بوده و $Lead\ time$ صفر می‌باشد.

۲- توزیع زمان فساد محصولات نمایی با پارامتر θ می‌باشد. (نرخ ثابت فساد)

۳- C ، هزینه خرید برای هر واحد و i ، ضریب هزینه نگهداری برای هر واحد در واحد زمان



شکل ۱، نمودار وضعیت موجودی سیستم

۴- S هزینه فروش هر واحد و A هزینه سفارش دهی

۵- W هزینه فعال یا هوشمند سازی بسته بندی

۶- λ نرخ کاهش فساد محصولات در اثر فعال یا هوشمند سازی بسته بندی

۷- T سیکل کامل سفارش دهی

۸- t_1 مدت زمانی که موجودی مثبت می باشد.

۹- $D(t)$ تابع نرخ تقاضا به صورت قطعی بوده که وابسته به سطح موجودی $I(t)$ می باشد:

$$\frac{dI(t)}{dt} = \begin{cases} -\alpha - \beta I(t) - (\theta - \lambda)I(t) & 0 \leq t < t_1 \\ -\alpha & t_1 \leq t < T \end{cases} \quad (1)$$

$$D(t) = \begin{cases} \alpha + \beta I(t) & 0 \leq t < t_1 \\ \alpha & t_1 \leq t < T \end{cases}$$

با توجه به شرایط مرزی $I(t_1) = 0$ و حل معادله دیفرانسیل (۱)، داریم:

$$I(t) = \begin{cases} \frac{\alpha [e^{(\beta + \theta - \lambda)(t_1 - t)} - 1]}{\beta + \theta - \lambda} & 0 \leq t < t_1 \\ \frac{-\alpha \{ \ln[1 + \delta(T - t_1)] - \ln[1 + \delta(T - t)] \}}{\delta} & t_1 \leq t < T \end{cases} \quad (2)$$

بر اساس رابطه (۲) تابع سود شامل موارد زیر

۱- هزینه سفارش دهی برای هر سیکل A :

۲- هزینه نگهداری برای هر سیکل:

$$(C + W) i \int_0^{t_1} \frac{\alpha [e^{(\beta + \theta - \lambda)(t_1 - t)} - 1]}{\beta + \theta - \lambda} dt$$

۳- هزینه کمبود برای هر سیکل:

$$C_2 \int_{t_1}^T \frac{\alpha \{ \ln[1 + \delta(T - t_1)] - \ln[1 + \delta(T - t)] \}}{\delta} dt$$

که α و β مقادیر ثابت و مثبتی هستند.

۱۰- کمبود موجودی مجاز بوده و تقاضاهای برآورد

نشده با نرخ $\frac{1}{[1 + \delta(T - t_1)]}$ پس افت می شوند،

δ پارامتر پس افت، مقداری ثابت و مثبت می باشد،

در بازه $t_1 \leq t < T$ کمبود صورت می گیرد،

همچنین C_2 هزینه کمبود برای هر واحد در واحد

زمان بوده و R هزینه فرصت برای فروش از دست

رفته می باشد.

۱۱- $P(t_1, T)$ تابع سود در واحد زمان می باشد.

۳. ارائه مدل

همانطور که در شکل شکل شماره ۱ مشخص شده

است در فاصله $(0, t_1)$ به دلیل ترکیب اثر تقاضا و فساد

محصولات، موجودی در حال کاهش است و در

فاصله (t_1, T) تقاضا به صورت پس افت خواهد بود، از

اینرو تغییرات سطح موجودی، $I(t)$ نسبت به زمان

توسط معادله دیفرانسیل زیر نمایش داده می شود:

۴- هزینه فروش از دست رفته (هزینه فرصت)

۶- درآمد حاصل از فروش در هر سیکل:

$$S \left\{ \int_0^{t_1} \alpha + \beta I(t) d(t) + \int_{t_1}^T \frac{\alpha}{[1 + \delta(T-t)]} dt \right\}$$

در هر سیکل:

$$\alpha R \int_{t_1}^T \left\{ 1 - \frac{1}{1 + \delta(T-t_1)} \right\} dt$$

۵- هزینه خرید برای هر سیکل:

در نهایت تابع سود در واحد زمان به صورت زیر

خواهد بود:

$$\frac{\alpha(C+W)[e^{(\beta+\theta-\lambda)t_1} - 1]}{\beta+\theta-\lambda} + \frac{\alpha(C+W) \text{Ln}[1 + \delta(T-t_1)]}{\delta}$$

$$P(t_1, T) = \frac{\alpha[\beta S - (i + \beta + \theta - \lambda)(C + W)]}{(\beta + \theta - \lambda)^2 T} [e^{(\beta + \theta - \lambda)t_1} - 1 - (\beta + \theta - \lambda)t_1] \\ + \frac{\alpha(S - C - W)}{\delta T} \text{Ln}[1 + \delta(T - t_1)] - \frac{A}{T} + \frac{\alpha(S - C - W)t_1}{T} \\ - \frac{\alpha(C_2 + R\delta)}{\delta^2 T} \{ \delta(T - t_1) - \text{Ln}[1 + \delta(T - t_1)] \} \quad (3)$$

به منظور تعیین مقدار بهینه t_1^* و T^* به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{\partial P(t_1, T)}{\partial t_1} = \frac{\alpha[\beta S - (i + \beta + \theta - \lambda)(C + W)]}{(\beta + \theta - \lambda)T} [e^{(\beta + \theta - \lambda)t_1} - 1] \\ + \frac{\alpha[C_2 + \delta(R + S - C - W)](T - t_1)}{[1 + \delta(T - t_1)]T} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial P(t_1, T)}{\partial T} = - \frac{\alpha[\beta S - (i + \beta + \theta - \lambda)(C + W)]}{(\beta + \theta - \lambda)^2 T^2} [e^{(\beta + \theta - \lambda)t_1} - 1 - (\beta + \theta - \lambda)t_1] \\ - \frac{\alpha(S - C - W)}{\delta T^2} \text{Ln}[1 + \delta(T - t_1)] + \frac{\alpha(S - C - W)}{T[1 + \delta(T - t_1)]} + \frac{A}{T^2} \\ - \frac{\alpha(S - C - W)t_1}{T^2} + \frac{\alpha(C_2 + R\delta)}{\delta^2 T^2} \{ \delta(T - t_1) - \text{Ln}[1 + \delta(T - t_1)] \} \\ - \frac{\alpha(C_2 + R\delta)(T - t_1)}{T[1 + \delta(T - t_1)]} = 0 \quad (5)$$

پس از ساده کردن معادلات (۴) و (۵) روابط زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\beta S - (i + \beta + \theta - \lambda)(C + W)}{\beta + \theta - \lambda} [e^{(\beta + \theta - \lambda)t_1} - 1] = - \frac{[C_2 + \delta(R + S - C - W)](T - t_1)}{1 + \delta(T - t_1)} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{\alpha[\beta S - (i + \beta + \theta - \lambda)(C + W)]}{(\beta + \theta - \lambda)^2} [e^{(\beta + \theta - \lambda)t_1} - 1 + (\beta + \theta - \lambda)t_1] \\
& - \frac{\alpha(S - C - W)}{\delta} \text{Ln}[1 + \delta(T - t_1)] + \frac{\alpha(S - C - W)}{1 + \delta(T - t_1)} + A - \alpha(S - C - W)t_1 \\
& + \frac{\alpha(C_2 + \delta R)}{\delta^2} \{ \delta(T - t_1) - \text{Ln}[1 + \delta(T - t_1)] \} - \frac{\alpha(C_2 + \delta R)T(T - t_1)}{1 + \delta(T - t_1)} = 0
\end{aligned} \quad (۷)$$

با $P_0 = 531.4$ مقایسه شده است، و منظور از W/λ ضریبی است که هزینه فعال یا هوشمند سازی بسته بندی را بر تغییرات نرخ فساد محصول نشان می دهد.

از جدول صفحه بعد نتایج زیر به دست می آید:

۱. در صورتیکه W ثابت در نظر گرفته شود سود با افزایش λ ($0 \leq \lambda \leq \theta = 0.05$) افزایش می یابد، البته باید در نظر داشت که افزایش λ با محدودیت هایی در اجرا همراه است که بستگی به نوع محصول و شرایط بسته بندی آن دارد به عبارت دیگر $\lambda = \theta = 0.05$ فقط در حالت تئوری توجیه پذیر می باشد.

۲. در صورتیکه λ ثابت فرض شود با افزایش W میزان بهینه سود کاهش می یابد.

۳. در این مثال عددی فقط در صورتیکه $W \leq 0.08$ و $W/\lambda \leq 1.63$ باشند، استفاده از تکنیک های فعال یا هوشمند بسته بندی توجیه اقتصادی دارد، چون با افزایش W به مقداری بیش از ۰،۰۸ و برای افزایش سود به مقداری بزرگتر یا مساوی P_0 ، λ نیز باید مقداری بیش از ۰،۰۵ اختیار کند، که امکان پذیر نمی باشد.

از حل همزمان معادلات (۶) و (۷) مقدار بهینه t_1^* و T^* تعیین می گردد که با جایگذاری آنها در رابطه (۳) می توان میزان بهینه سود را مشخص کرد. در ادامه با یک مثال عددی به توجیه اقتصادی استفاده از روش های هوشمند یا فعال بسته بندی می پردازیم.

۴. روش حل و ارائه مثال عددی

به منظور تشریح اهداف مدل، از داده های موجود در مدل Dye و Ouyang [۱۱] به صورت زیر استفاده می کنیم:

$$\theta = 0.05, A = 250, \beta = 0.3, \alpha = 600$$

$$\delta = 10 \text{ و } R = 5, C_2 = 3, i = 0.35, C = 5$$

همچنین پارمتر های مربوط به هوشمند یا فعال سازی بسته بندی را بگونه زیر به آن می افزائیم:

$$\lambda = \{0, 0.007, 0.013, 0.019, 0.025, 0.031, 0.037\}$$

$$W = \{0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08\}$$

با توجه به مقادیر فوق و در نظر گرفتن معادلات (۶) و (۷) و استفاده از نرم افزار Mathematica ورژن ۵،۲ و به کارگیری تکنیک FindRoot به حل مدل می پردازیم که نتایج حاصل در جدول زیر نشان داده شده است، در این جدول منظور از P_0 سود نهایی مدل قبل از استفاده از تکنیک های فعال یا هوشمند بسته بندی است و یا به عبارت دیگر در حالتی که $\lambda = 0, W = 0$ در نظر گرفته شوند، در هر مرحله نیز میزان سود

W		λ								
		0	0.007	0.013	0.019	0.025	0.031	0.037	0.043	0.049
0.01	t_1	0.6599	0.7099	0.7184	0.7271	0.7361	0.7455	0.7551	0.7652	0.7756
	T	0.7767	0.7277	0.7360	0.7445	0.7532	0.7624	0.7718	0.7816	0.7918
	P	523.49	532.28	539.56	546.93	554.38	561.92	569.56	577.29	585.12
	P-P ₀	-7.91	0.88	8.16	15.53	22.98	30.52	38.16	45.89	53.72
	W/ λ	∞	1.43	0.77	0.53	0.40	0.32	0.27	0.23	0.20
0.02	t_1	0.6988	0.7082	0.7167	0.7253	0.7343	0.7436	0.7532	0.7632	0.7736
	T	0.7169	0.7261	0.7343	0.7427	0.7515	0.7605	0.7699	0.7797	0.7898
	P	516.34	524.73	532	539.26	546.81	554.35	561.98	569.7	577.52
	P-P ₀	-15.06	-6.67	0.6	7.86	15.41	22.95	30.58	38.3	46.12
	W/ λ	∞	2.86	1.54	1.05	0.80	0.65	0.54	0.47	0.41
0.03	t_1	0.6971	0.7065	0.7149	0.7235	0.7325	0.7417	0.7513	0.7612	0.7715
	T	0.7154	0.7245	0.7326	0.741	0.7497	0.7588	0.7681	0.7778	0.7878
	P	508.8	517.18	524.45	531.81	539.25	546.78	554.4	562.12	569.93
	P-P ₀	-22.6	-14.22	-6.95	0.41	7.85	15.38	23	30.72	38.53
	W/ λ	∞	4.29	2.31	1.58	1.20	0.97	0.81	0.70	0.61
0.04	t_1	0.6953	0.7049	0.7132	0.7218	0.7307	0.7399	0.7494	0.7593	0.7695
	T	0.7138	0.7229	0.7310	0.7394	0.748	0.757	0.7663	0.7759	0.7859
	P	501.26	509.64	516.91	524.26	531.69	539.219	546.83	554.54	562.35
	P-P ₀	-30.14	-21.76	-14.49	-7.14	0.29	7.819	15.43	23.14	30.95
	W/ λ	∞	5.71	3.08	2.11	1.60	1.29	1.08	0.93	0.82
0.05	t_1	0.6939	0.7032	0.7115	0.72	0.7289	0.738	0.7475	0.7573	0.7675
	T	0.7123	0.7213	0.7294	0.7377	0.7463	0.7552	0.7649	0.774	0.784
	P	493.73	502.1	509.36	516.71	524.14	531.65	539.26	546.97	554.77
	P-P ₀	-37.67	-29.3	-22.04	-14.69	-7.26	0.25	7.86	15.57	23.37
	W/ λ	∞	7.14	3.85	2.63	2.00	1.61	1.35	1.16	1.02
0.06	t_1	0.6923	0.7015	0.7098	0.7183	0.7271	0.7362	0.7456	0.7554	0.7655
	T	0.7108	0.7198	0.7278	0.736	0.7446	0.7535	0.7626	0.7721	0.782
	P	486.2	494.57	501.83	509.16	516.59	524.1	531.7	539.4	547.19
	P-P ₀	-45.2	-36.83	-29.57	-22.24	-14.81	-7.3	0.3	8	15.79
	W/ λ	∞	8.57	4.62	3.16	2.40	1.94	1.62	1.40	1.22
0.07	t_1	0.6907	0.6999	0.7081	0.7166	0.7253	0.7344	0.7437	0.7534	0.7635
	T	0.7092	0.7182	0.7262	0.7344	0.7429	0.7517	0.7608	0.7703	0.7801
	P	478.68	487.04	494.29	501.63	509.48	516.55	524.14	531.83	539.62
	P-P ₀	-52.72	-44.36	-37.11	-29.77	-21.92	-14.85	-7.26	0.43	8.22
	W/ λ	∞	10.00	5.38	3.68	2.80	2.26	1.89	1.63	1.43
0.08	t_1	0.6891	0.6983	0.7064	0.7148	0.7236	0.7326	0.7419	0.7515	0.7616
	T	0.7077	0.7166	0.7246	0.7328	0.7412	0.75	0.7591	0.7685	0.7783
	P	471.16	479.52	486.76	494.09	501.5	509	516.59	524.27	532.05
	P-P ₀	-60.24	-51.88	-44.64	-37.31	-29.9	-22.4	-14.81	-7.13	0.65
	W/ λ	∞	11.43	6.15	4.21	3.20	2.58	2.16	1.86	1.63

۵. نتیجه گیری

در این مقاله در ابتدا به بررسی تاثیر بسته بندی فعال یا هوشمند بر افزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی پرداخته شده است و سپس با ارائه مدلی تحلیل اقتصادی استفاده از این تکنیک ها صورت گرفته است. در این مدل، توزیع نمایی برای فساد، تقاضا وابسته به سطح موجودی، کمبود کالا به صورت پس افت جزیی و فروش از دست رفته در نظر گرفته شده است. محاسبات مربوط به سطح موجودی به کمک معادلات دیفرانسیل ساده انجام شده و در نهایت با داشتن مولفه های مختلف تابع سود، قادر خواهیم بود تا به سادگی مقدار بیشینه سود را محاسبه کنیم.

به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی می توان بر روی سیستم هایی با توابع عمر مختلف برای فساد اقلام از جمله وایبول به مطالعه پرداخت. همچنین بررسی تاثیر سیستم های هوشمند یا فعال بسته بندی در یک زنجیره تامین چند سطحی از جمله سایر مواردی است که به نظر می رسد مدل فوق را بیشتر به دنیای واقعی نزدیک می سازد.

۵. مراجع

- [5]Whitin, T.M., Wagner,H.M, Dynamic version of the economic lot size model,Management Science , 5 , 1958 , 89-96.
- [6]Ghare, P.M., Schrader, S.F., A model for exponentially decaying inventory , Journal of Industrial Engineering , 14, 1963, 238-243.
- [7]Covert , R.P.,Philip, G.C, An EOQ model for items whit weibull distribution deterioration . AIIE Transactions, 5, 1973 , 309-326.
- [8]Padmanabhan , G.,Vrat, P., EOQ model for perishable items under stock dependent selling rate , European Journal of Operational Research ,86,1995,281-292.
- [9]Abad,P.L., Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability and partial backlogging, Management Science, 42 , 1996 , 1093-1104.
- [10] Abad,P.L ., Optimal price and order sizing for reseller under partial backordering, Computres and Operations Research, 28 , 2001 , 53-65 .
- [11]Dye,C.Y.,Ouyang, L.Y., An EOQ model for perishable items under stock-dependent selling rate and time-dependent partial backlogging, European Journal of Operational Research, 163 , 2005 , 776-783.
- [12]Dye,C.Y.,Hsieh,T.P., Ouyang, L.Y.,Determining optimal selling price and lot size with a varing rate of deterioration and exponential partial backlogging, 181,2007,668-678.
- [1]Ahvenainen,R.A.,Novel food packaging techniques , Cambridge ,Woodhead Publishing Limited ,2003 .
- [2]Ozdemir,M.U.,Floros,J.D.,Active food packaging technologies , Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44,2004,185-193.
- [3]Kruijf,N.D.,Beest, M.V., Malm,T.S,Losada,P.P,Meulenaer,B.D.,Active and intelligent packaging : applications and regulatory aspects,Food Additives and Contaminants, 19,2002,144-162.
- [4]Jong,A.R., Boumans,H., Slaghek,T.,Veen,J.V., Rijk,R., Van,M., Active and intelligent packaging for food : is it the future?, Food Additives and Contaminants, 22 , 2005,975-979.