مدل‌سازی رگرسیونی خواص فیزیکوشیمیایی میوه کیوی بسته بندی شده با فیلم‌های فعال نانوکامپوزیتی در طی نگهداری

حسین میرزایی مقدم[1*]، محمدهادی خوش‌تقاضا[2]، علی سلیمی[3]، محسن برزگر بفروئی[2]

۱- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی.

۲- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی.

۳- استادیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: h_mirzaee@shahroodut.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر فیلم‌های فعال نانوکامپوزیت پلی اتیلنی C2T0.5 (حاوی ۲٪ نانورس و ۰/۵٪ نانوتیتان) و C4T0.5 (حاوی ۴٪ نانورس و ۰/۵٪ نانوتیتان) و همچنین فیلم پلی اتیلنی خالص (C0T0)، به روش اختلاط مذاب، تهیه شدند. سپس به منظور مدل‌سازی برخی از خواص فیزیکوشیمیایی میوه کیوی در طی نگهداری با بسته‌های نانوکامپوزیتی تولیدی، این محصول بسته‌بندی شد و خواص مختلف آن در طی نگهداری اندازه‌گیری شد. در ادامه به منظور پیش‌بینی و بررسی چگونگی تغییرات خواص مختلف میوه کیوی (میزان مواد جامد محلول، میزان pH، میزان رطوبت و سفتی میوه) بسته‌بندی شده در سه نوع فیلم بسته‌بندی (C0T0، C2T0.5 و C4T0.5)، با توجه به ماهیت داده‌ها با استفاده از توابع مختلف رگرسیونی (حدود ۲۵۰ تابع) و با به‌کارگیری نرم افزارهای Datafit و SPSS، بهینه مدل رگرسیونی برای خواص مذکور، بر اساس R^2 مناسب و سادگی مدل تعیین شد. نتایج نشان داد که بهترین مدل، مدل خطی برای میزان سفتی (فیلم C0T0) با R^2=۰/۹۹، برای میزان رطوبت، میزان مواد جامد محلول و میزان pH (فیلم C0T0 و C2T0.5) به ترتیب با R^2=۰/۹۲، R^2=۰/۹۸ و R^2=۰/۹۹ بدست آمد.

واژگان کلیدی: بسته‌بندی فعال، خواص فیزیکوشیمیایی، کیوی، مدل‌سازی، نانوکامپوزیت.

مقدمه

صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و محصولات کشاورزی به گونه‌ای توسعه یافته است که حتی بعضی از مواد غذایی که قبلا بدون بسته‌بندی فروخته می‌شدند (مانند میوه‌ها و سبزیجات) نیز امروزه با بسته‌بندی در بازار موجود می‌باشند (Hotchkiss, 1994). میوه کیوی گیاه بومی کشور چین است که به نام‌های متداول کیوی‌فروت، یانگ‌تاو[1]، گوس‌بری چینی[2] و نام علمی *Actinidia*

[1] Yang tao
[2] Chinese gooseberry

deliciosa معروف می‌باشد (محمدی عبدی سنه کوهی، ۱۳۷۲). از لحاظ حجم تولید میوه کیوی، ایران مقام چهارم جهان و در نیم کره شمالی بعد از کشور ایتالیا در مقام دوم قرار گرفته است. به دلیل وجود بازارهای جهانی خرید برای کیوی، این محصول از نظر اقتصادی به خوبی می‌تواند با میوه هایی مانند مرکبات رقابت کند. تمایل به تولید میوه کیوی تا جایی است که باغداران و کشاورزان در برخی از نقاط کشور، شالیزارها و باغات مرکبات را به مرور زمان تبدیل به باغ میوه کیوی کرده‌اند (بی نام، ۱۳۸۸). طبق اظهارات صادرکنندگان میوه کیوی در ایران، این میوه به دلیل ضعف در بسته‌بندی، درجه‌بندی، عدم بهره‌گیری از فرآورده‌های جانبی و نبود امکانات در این زمینه، به صورت فله‌ای و با قیمت نازل به کشوری مثل ترکیه صادر شده و این کشور در مقایسه با ایران با توجه به صنایع تبدیلی و بسته‌بندی قوی و رعایت اصول بازاریابی، سود فراوانی از فروش میوه کیوی ایران در بازارهای اروپا کسب می‌کند. بنابراین، اگر مشکلات مربوط به بسته‌بندی، درجه‌بندی و انبارداری و در نهایت صادرات این کالا رفع شود، ایران قادر خواهد بود، بیشترین سهم را در بازار میوه کیوی اروپا به خود اختصاص دهد (قنبری، ۱۳۸۱). بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از فناوری‌های جدید به منظور افزایش زمان ماندگاری و حفظ خواص کیفی مواد غذایی ازقبیل عطر و طعم، تازگی و حفظ سلامت مواد غذایی توسعه یافته‌اند (Dainelli *et al*., 2008). از روش‌های جدید بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی فعال با استفاده از فناوری نانو می‌باشد (Li *et al*., 2009). موادی که برای بسته‌بندی فعال مواد غذایی استفاده می‌شوند، شامل یک‌سری افزودنی‌ها در بسپارها[1] است که با اهداف مختلفی بکار برده می‌شوند، از جمله این مواد، ضد میکروب‌ها، ضد قارچ‌ها و ضد باکتری‌ها است (Markarian, 2002). بجای آنکه این مواد مستقیماً با مواد غذایی ترکیب شوند، می‌توان آنها را در فیلم‌های بسته‌بندی قرار داد (Coma, 2008). آغازگران نوری[2] می‌توانند آلودگی‌های محیطی متعددی را از طریق اکسیداسیون با استفاده از نور خورشید یا نور مصنوعی (به عنوان منبع انرژی پرتو ماورای بنفش) نابود کرده و حذف نمایند (نظری و تاج آبادی، ۱۳۸۴). از جمله آغازگران نوری، تیتانیم دی‌اکسید می‌باشد که یک ماده غیر سمی بوده و توسط اداره کل دارو و غذای آمریکا (FDA)[3] برای استفاده در غذای بشر، داروها، لوازم آرایشی و مواد در تماس با غذا موافقت شده است (Wetter, 2006). همچنین استفاده از نانوذرات خاک رس (نانورس) در تولید فیلم‌های نانوکامپوزیت بسپاری با هدف بهبود خواص مختلف فیزیکی، مکانیکی، حرارتی و ... آنها گسترش یافته است (Bafna, 2004). بکارگیری فیلم‌های نانوکامپوزیت بسپاری حاوی ذرات نانورس در صنعت بسته‌بندی که ممانعت در برابر نفوذ آنها افزایش یافته است، موجب طولانی‌تر شدن زمان رسیدن هوا به محصولات کشاورزی شده و در نتیجه باعث تأخیر فساد و افزایش میزان ماندگاری آنها می‌شود (Allafi, 2008). در تحقیقی، نتایج حاصل از از بررسی ویژگی‌های کیفی میوه کیوی نگهداری شده (دما $4\,^{o}C$) در فیلم نانوکامپوزیتی (زمینه پلی اتیلن[4] و نانوذرات نقره، نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید و

[1] Polymers
[2] Photocatalytics
[3] Food and Drug Administration
[4] Polyethylene

مونت‌موریلونیت[1]) در مقایسه با فیلم پلی اتیلن معمولی، نشان داد که پس از ۴۲ روز نگهداری، نمونه‌های داخل فیلم نانوکامپوزیتی در مقایسه با فیلم معمولی، افت وزنی و میزان مواد جامد محلول کمتر و سفتی بیشتری را دارا بودند (Hu *et al*., 2011). در تحقیقی دیگر تأثیر مواد بسته‌بندی نانویی[2] بر کیفیت نگهداری عناب چینی در دمای اتاق مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش فیلم‌های بسته‌بندی با استفاده از ۱/۵ kg نانوگرانول که حاوی ۳۰٪ نانوپودر (۳۵٪ نانو ذرات نقره، ۲۵٪ کائولین، ۴۰٪ تیتانیم دی‌اکسید)، ۵۶٪ پلی اتیلن و ۱۴٪ عامل شبکه‌ای کننده و ۳۸/۵ kg گرانول پلی اتیلن تهیه شدند. نتایج نشان داد که بسته‌های تولید شده توسط فناوری نانو در مقایسه با بسته‌های معمولی تأثیر کاملاً مفیدی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و حسی این محصول، در طی نگهداری داشته است (Li *et al*., 2009). در پژوهشی، اثر بسته‌های تهیه شده از فیلم نانویی (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد نانو ذرات نقره و ترکیب نانو ذرات نقره و رس در سطوح ۱، ۲ و ۳ درصد) بر میزان رطوبت و ویژگی‌های حسی نان بسته‌بندی شده در این بسته‌ها، در دماهای ۵، ۲۰ و ۳۵ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش نانوذرات، میزان بیاتی نان کاهش یافت و ماندگاری نان در دمای $5\,^{o}C$ بیشتر از دو دمای دیگر بود (ستاری نجف آبادی و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیقی دیگر اثر بسته‌های نانوکامپوزیتی بر عمر قفسه‌ای[3] آبمیوه تازه پرتقال بررسی شد. در این تحقیق از پودر P105 (۹۵٪ تیتانیم دی‌اکسید و ۵٪ نانو ذرات نقره به قطر ۱۰ nm) و پودر نانو ذرات روی دی‌اکسید (میانگین قطر ذرات ۷۰ nm) به عنوان عامل ضد میکروب استفاده شد. به منظور تولید فیلم‌های نانو کامپوزیتی، به طور جداگانه ۰/۱ kg از هر یک از عامل‌های ضد میکروب P105 و نانو ذرات روی دی‌اکسید با ۰/۹ kg بسپار پلی اتیلن با چگالی کم (LDPE)[4] مخلوط شد. نتایج نشان داد که بسته‌های تولید شده با نانوذرات ضد میکروب (P105 و روی دی‌اکسید) نسبت به بسته‌های بدون این نانوذرات، عمر قفسه‌ای آبمیوه تازه پرتقال را به مدت ۲۸ روز افزایش دادند. همچنین نتایج نشان داد که نانو ذرات روی دی‌اکسید، بر صفات حسی آبمیوه تازه پرتقال، اثرات جانبی کمتری داشت (امامی فر و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیقی دیگر برخی ویژگی‌های کیفی یک نوع میوه کیوی بادوام (*Actinidia arguta Ananasnaya*) در طی شرایط مختلف انبارداری (دمای اتاق $22\,^{o}C$، RH ۴۵٪ و یخچال $2\,^{o}C$ و RH ۸۸٪) و بسته‌بندی‌های مختلف (ظروف کلام‌شل[5] با تهویه کم و زیاد) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مقایسه، بخشی از میوه‌ها با پوشش‌های خوراکی (کازینات کلسیم[6]، کیتوسان[7]، پریمافرش[8] و سمپرفرش[9]) پوشش داده شدند. نتایج نشان داد داد که در بسته‌بندی با تهویه کم، افت وزنی نمونه‌ها کمتر شد. همچنین عمر انبارمانی نمونه‌های داخل یخچال بیشتر از نمونه‌های دیگر بود و نیز پوشش‌های خوراکی درخشندگی سطحی میوه‌ها را بیشتر کرده و به رسیدگی میوه‌ها آسیب نمی‌رسانند (Fisk *et*

[1] Montmorillonite
[2] Nano-packing material
[3] Shelflife
[4] Load density polyethylene
[5] Clamshell Containers
[6] Calcium Caseinate
[7] Chitosan
[8] PrimaFresh 50-V
[9] Semperfresh

al., 2007). در تحقیقی فیلم‌های حاوی نانو ذرات نقره با فیلم‌های پلی اتیلن معمولی برای بسته‌بندی زرشک مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی نانو ذرات نقره در مقایسه با فیلم‌های پلی اتیلن معمولی موجب افزایش کیفیت و ماندگاری محصول زرشک شد (ولی پور مطلق و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به مطالب مذکور، در تحقیق حاضر فیلم‌های فعال نانوکامپوزیت پلی اتیلنی C2T0.5 (حاوی ۲٪ نانورس و ۰/۵٪ نانوتیتان) و C4T0.5 (حاوی ۴٪ نانورس و ۰/۵٪ نانوتیتان) و همچنین فیلم پلی اتیلنی خالص (C0T0)، به روش اختلاط مذاب، تهیه شدند. سپس به منظور مدل‌سازی برخی از خواص فیزیکوشیمیایی میوه کیوی در طی نگهداری با بسته‌های نانوکامپوزیتی تولیدی، این محصول بسته‌بندی شد و خواص مختلف آن در طی نگهداری اندازه‌گیری شد. در ادامه به منظور پیش‌بینی و بررسی چگونگی تغییرات خواص مختلف میوه کیوی (میزان مواد جامد محلول، میزان pH، میزان رطوبت و سفتی میوه) بسته‌بندی شده در سه نوع فیلم بسته‌بندی (C0T0، C2T0.5 و C4T0.5)، با توجه به ماهیت داده‌ها با استفاده از توابع مختلف رگرسیونی (حدود ۲۵۰ تابع) و با به‌کارگیری نرم افزارهای Datafit و SPSS، بهینه مدل رگرسیونی برای خواص مذکور، بر اساس R^2 مناسب و سادگی مدل تعیین شد.

مواد و روش‌ها

الف) تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال

در این تحقیق از پلی اتیلن با چگالی کم (LDPE, LF0200, MFI[1]= 1.8-2.2 g/10 min) با میزان چگالی ۰/۹۲ g/cm^3 تهیه شده از پتروشیمی بندر امام خمینی که به دلیل غیر سمی بودن، ارزان و در دسترس بودن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد فراوانی دارد به عنوان زمینه نانوکامپوزیت استفاده شد (Wang *et al*., 1998 ;کرمانی، ۱۳۸۷). همچنین از پلی اتیلن مالئیکه (PE-g-MA) ساخت شرکت ایرانی کاراگین که از واکنش پلی اتیلن با مالئیک آنیدرید در حضور آغازگر حاصل می‌شود، به عنوان سازگار کننده در تولید مستربچ‌های حاوی نانورس مورد استفاده قرار گرفت (Bafna, 2004) و از ضد اکسید کننده ایرگانوکس ۱۰۱۰[2] (ساخت شرکت بایر[3] آلمان) به منظور جلوگیری از اکسیده شدن و افزایش پایداری حرارتی در حین فرایند تولید تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی، کاهش نوسانات غلظت و پایداری حرارتی محصول نهایی استفاده شد (بهشتی و رضادوست، ۱۳۸۴).

همچنین با توجه به ابعاد بسیار کم نانوذرات خاک رس، در یک گرم از این ماده، بیشتر از یک میلیون المان منفرد وجود دارد و این امر منجر می‌شود که سطح بارگذاری[4] استفاده از این ماده به ندرت از ۵٪ وزنی تجاوز کند و معمولاً با کمتر از ۵٪، نتایج مطلوب حاصل می‌شود (Šćetar *et al*., 2010). همچنین از آنجا که در بررسی منابع مختلف، به منظور ایجاد خاصیت ضد قارچی فیلم‌های نانوکامپوزیتی، میزان درصد وزنی نانوتیتان به همراه نانوذرات نقره، ۰/۴۵٪ گزارش شده است (Li *et al*., 2008; Hu *et al*., 2011). لذا در تحقیق حاضر به منظور بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی و ایجاد خاصیت ضد قارچی برای فیلم‌های

[1] Melt flow index
[2] Irganox 1010
[3] Bayer
[4] Loading level

نانوکامپوزیت تولیدی و پرهیز از کدر شدن فیلم‌های نانوکامپوزیتی تولید شده از ۰/۵٪ نانوتیتان (P25, Degussa, Germany) (Ma *et al*., 2005; Radoičić *et al*., 2012) به همراه ۲ و ۴٪ نانورس (Closite-15A ساخت شرکت Southern Clay) استفاده شد (Allafi, 2008; Kerry & Butler, 2008; Bafna, 2004).

پس از تهیه مواد، با استفاده از روش اختلاط مذاب[1]، فیلم‌های نانوکامپوزیت بسپاری تهیه شدند. این روش جزء فناوری‌های سبز بوده و در آن از حلال‌های خطرناک استفاده نمی‌شود (Perrin-Sarazin *et al*., 2005). به منظور تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی، ابتدا تهیه مستربچ‌ها تهیه شدند. بدین ترتیب که پس از رطوبت‌زدایی از نانوذرات به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در اجاق آزمایشگاهی (UFB500, Memmert)، به منظور تهیه دو نوع مستربچ، مواد با نسبت‌های معین با یکدیگر مخلوط شدند که عبارتند از: مستربچ نانورس: حاوی ۰/۵ phr ایرگانکس ۱۰۱۰، ۱۵٪ پلی اتیلن مالئیکه، ۵٪ نانو رس و۸۰٪ پلی اتیلن. مستربچ نانوتیتان: حاوی ۰/۵ phr ایرگانکس ۱۰۱۰، ۵٪ نانوتیتان و ۹۵٪ پلی اتیلن. در ادامه با استفاده از دستگاه اکسترودر دو مارپیچه (ZSK 25, Twin-Screw extruder, W & P) که در شش ناحیه حرارتی (۱۶۰، ۱۶۰، ۱۷۵، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۱۴۰ ^{o}C) و سرعت مارپیچه ۲۵۰ rpm، تنظیم شده بود، مستربچ‌ها به صورت گرانول، تولید شدند (امامی فر و همکاران، ۱۳۹۰). پس از تولید مستربچ‌ها، به منظور تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی در تیمارهای مورد نظر، می‌بایست آمیزه‌های رقیق شده از مستربچ‌ها تهیه شوند. بدین منظور دوباره با استفاده از دستگاه اکسترودر مذکور و درصدهای مختلف از مستربچ‌ها و پلی اتیلن، عمل رقیق سازی انجام شد که اجزای ترکیبی تیمارهای بدست آمده در جدول (۱) آورده شده است.

جدول-۱ تیمارهای فیلم‌های تهیه شده از آمیزه‌ها

شماره ردیف	شناسه نمونه	PE-g-MA (wt%)	نانوتیتان (wt%)	نانورس (wt%)	LDPE (wt%)
۱	C0T0	۰	۰	۰	۱۰۰
۲	C2T0.5	۶	۰/۵	۲	۹۱/۵
۳	C4T0.5	۱۲	۰/۵	۴	۸۳/۵

در مرحله پایانی، با استفاده از دستگاه اکسترودر فیلم دمشی (مدل Plasticorder) ساخت شرکت آلمانی برابندر، از آمیزه‌های رقیق شده، فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال با ضخامت ۷۰ µm و ابعاد ۲۲ cm × ۲۰ تولید شدند.

ب) بسته‌بندی میوه کیوی با بسته های نانوکامپوزیتی فعال و اندازه گیری خواص مختلف آنها

به منظور مدل‌سازی تغییرات خواص فیزیکوشیمیایی میوه کیوی متاثر باز سته‌های تهیه شده از فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال ولیدی، داخل هر یک از بسته‌ها ۴ عدد میوه قرار داده و با دستگاه دوخت حرارتی دو طرف بسته، دوخت زده شد. سپس نمونه‌ها در ژرمیناتور (ساخت شرکت ایرانی گروک) در دمای ۵ ^{o}C و رطوبت نسبی ۳۰٪ (شرایط قفسه فروشگاه) نگهداری شدند و در زمان‌های ۰، ۲، ۴ و ۶ هفته نگهداری، آزمایش‌های مشخصی که در ادامه ذکر شده است، بر روی نمونه‌ها انجام گرفت (Hu *et*

[1] Melt mixing

al., 2011). در این تحقیق از میوه‌های کیوی رقم هیوارد (جدول-۲) که از باغات مرکبات استان مازندران برداشت شده و در سردخانه (دمای $۰^{o}C$ و رطوبت نسبی ٪۹۵-٪۹۰) نگهداری شدند، استفاده شد (Mainland, 1998).

جدول-۲ برخی مشخصات فیزیکی میوه‌های کیوی مورد استفاده در بخش سوم تحقیق.

جرم میانگین (g)	حجم میانگین (cm^3)	قطر میانگین هندسی (mm)	ضریب کرویت
۱۰۵/۸۵±۱/۸	۱۰۲/۶۶±۱/۳۲	۵۴/۹۶±۰/۲۸	۰/۸۱±۰/۰۲

به منظور تعیین میزان مواد جامد محلول هر نمونه، از دستگاه رفراکتومتر(53000C Hand Refractometer) استفاده شد. بدین صورت که دو انتهای میوه به اندازهٔ ۱۰ mm بریده شده و از دو انتهای آن، نمونه‌هایی از آب میوه گرفته شد و با استفاده از دستگاه رفراکتومتر میزان مواد جامد محلول، برای هر نمونه تعیین شد. به منظور تعیین میزان pH برای هر نمونه، پس از خرد کردن هر نمونه و جدا کردن آب میوه از مخلوط بدست آمده، با بکارگیری دستگاه pH متر (744 Metrohn)، میزان pH هرنمونه تعیین شد. همچنین به منظور تعیین میزان رطوبت میوه، دو قطعه به ضخامت ۳ mm از هر میوه جدا کرده و پس از توزین، به مدت ۲۴ ساعت در اجاق آزمایشگاهی، در دمای $۶۵^{o}C$ قرار داده شد (McGlone *et al*., 2002). سپس نمونه‌ها را خارج کرده و به مدت ۱۵ دقیقه در دسیکاتور قرار داده و پس از آن دوباره نمونه‌ها را وزن کرده و میزان رطوبت محصول بر پایه تر، برای هر نمونه محاسبه شد (Fenton & Knnedy, 1998). میزان سفتی[1] میوه از طریق انجام آزمون پانچ و اندازه‌گیری شاخص استاندارد سفتی مگنس-تیلور[2] اندازه گیری شد. این آزمایش با استفاده از دستگاه آزمون مواد (H50 K-S, Hounsfield, England) انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا یک لایه از پوست (تقریباً ۲ میلی‌متر) بوسیله تیغ جراحی جدا شده، سپس با استفاده از دستگاه آزمون مواد، میله‌ای با نوک محدب به قطر ۸ میلی‌متر تا عمق ۸ میلی‌متر و با سرعت ۱۰ mm/s (Hertog *et al*., 2004)، در دو جهت مخالف در راستای قطر کوچک در میوه نفوذ داده و با توجه به منحنی‌های نیرو- تغییر شکل ثبت شده در حافظه کامپیوتر میزان سفتی برای هر نمونه تعیین شد (White *et al*., 2005). در هفته ششم از نگهداری نمونه‌ها، به منظور بررسی اثر احتمالی نانوذرات موجود در فیلم‌های نانوکامپوزیتی تولیدی بر ویژگی‌های حسی میوه کیوی، آزمون ارزیابی حسی انجام پذیرفت. این آزمون توسط یک گروه ارزیاب متشکل از ۱۸ نفر و تمامی ارزیابی‌ها به روش تک‌چشایی[3] و با امتیازبندی هدونیک[4] پنج نقطه‌ای صورت گرفت. ارزیاب‌ها نمونه‌ها را از نظر طعم و مزه، بو، رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی، ارزیابی و امتیازبندی کردند (حسنی و همکاران، ۱۳۸۹). بدین ترتیب که پرسشنامه‌هایی تهیه شده و از هر فرد چهار سوال (طعم و مزه، بو، رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی)

[1] Firmness
[2] Magness-Taylor
[3] Single stimulus
[4] Hedonic

پرسیده شد و برای هر سؤال پنج گزینه (خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد) به عنوان پاسخ موجود بود. هر فرد با توجه به سلیقه خود در پاسخ به هر سوال، یکی از گزینه‌ها را علامت زد. در انتها با دادن امتیاز به هر گزینه، خیلی خوب : ۵، خوب: ۴، متوسط: ۳، بد: ۲ و خیلی بد: ۱ نتایج بررسی شد (میرزایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۵).

در ادامه تحقیق با توجه به ماهیت داده‌ها با استفاده از توابع مختلف رگرسیونی (حدود ۲۵۰ تابع) و با به‌کارگیری نرم افزارهای Datafit و SPSS، بهینه مدل رگرسیونی برای خواص مذکور، بر اساس R^2 مناسب و سادگی مدل تعیین شد (موحدنژاد، ۱۳۹۰). برخی از توابع مورد استفاده در این پژوهش، در جدول (۳) آورده شده است.

جدول-۳: برخی از توابع رگرسیونی مورد استفاده.

شماره مدل	مدل	تابع
۱	خطی	Y(t)=a1+a2×t
۲	گاریتمی	Y(t)=a1+a2×ln(t)
۳	معکوس	Y(t)=a1+a2/t
۴	درجه دو	Y(t)=a1+a2×t+a3×t2
۵	درجه سه	Y(t)=a1+a2×t+a3×t2+a4×t3
۶	ترکیبی	Y(t)=a1×a2t
۷	توانی	Y(t)=a1×ta2
۸	نمایی معکوس	Y(t)=exp(a1+a2/t)
۹	نمایی صعودی	Y(t)=exp(a1+a2t)
۱۰	نمایی	Y(t)=a1exp(a2×t)

نتایج و بحث

در این بخش، پس از انجام آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی (در ۳ تکرار) داده‌ها تجزیه و تحلیل شد. سپس به منظور مدل‌سازی تغییرات خواص مختلف محصول در طی نگهداری، از بین توابع مختلف رگرسیونی (حدود ۲۵۰ تابع)، بهینه مدل رگرسیونی، بر اساس R^2 مناسب (حداقل ۰/۷۵) و سادگی مدل، مدل خطی انتخاب شد. که نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیونی، برای تغییرات میزان سفتی در طی زمان نگهداری برای فیلم‌های مختلف بسته‌بندی در جدول (۴) خلاصه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روابط حاصل از مدل‌سازی، دارای R^2 مناسب بوده و بهترین مدل با R^2 برابر با ۰/۹۹ برای فیلم C0T0 در حالت بدون نانو زئولیت به دست آمده است. همچنین با توجه به شیب توابع به دست آمده، مشاهده می‌شود که سرعت کاهش میزان سفتی میوه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانو کامپوزیتی (C2T0.5 و C4T0.5) کمتر از نمونه‌های داخل بسته‌های پلی اتیلن خالص (C0T0) می‌باشد و همچنین سرعت کاهش سفتی نمونه‌های حاوی بالشتک‌های نانو زئولیت کمتر از نمونه‌های فاقد

بالشتک می‌باشد. در تحقیقی، با بسته‌بندی میوه کیوی در فیلم نانو کامپوزیتی (حاوی نانو ذرات نقره، تیتانیوم و مونت‌موریلونیت[1]) نسبت به فیلم پلی اتیلنی، سرعت نرم شدن میوه‌ها کاهش یافت (Hu *et al*., 2011). لی و همکاران (Li *et al*., 2009) نیز تأثیر فیلم‌های بسته‌بندی نانو کامپوزیتی (حاوی نانو ذرات نقره، کائولین و تیتانیوم دی‌اکسید) را بر میزان سفتی عناب چینی، مثبت گزارش کردند. به گزارش ستاری نجف آبادی و همکاران (۲۰۰۹) نمونه‌های نان بسته‌بندی در فیلم‌های حاوی نانو ذرات نقره و رس، میزان بیاتی نان، کاهش یافت. همچنین در تحقیقی عمر انبارمانی قارچ خوراکی با بسته‌بندی توسط فیلم‌های پلی اتیلنی حاوی سرامیک- نقره، از ۱۰ روز به ۱۴ روز افزایش یافت (Eun *et al*., 1997).

جدول-٤: مدل‌سازی رگرسیونی برای میزان سفتی میوه کیوی در طی نگهداری.

نوع فیلم	نانو زئولیت (g)	تابع y: سفتی (N)، x: زمان (هفته)	R^2	SSE
C0T0	۰	y= ۲۰/۰۶۷- ۳/۲۵x	۰/۹۹	۱/۸۹
C0T0	۰/۲	y= ۱۹/۲۱۷- ۲/۲۸۳x	۰/۹۸	۱/۱۰۵
C2T0.5	۰	y= ۱۸/۵۶۷- ۱/۶x	۰/۹۸	۱/۱۸۷
C2T0.5	۰/۲	y= ۱۸/۳۱۷- ۱/۱۴۳x	۰/۹۷	۰/۵۰۱
C4T0.5	۰	y= ۱۸/۴۶۷- ۱/۴۱۷x	۰/۹۸	۰/۶۷۸
C4T0.5	۰/۲	y= ۱۸/۲۸۳- x	۰/۹۶	۰/۵۵۷

همچنین همان‌طور که در جدول (۵) مدل‌سازی تغییرات رطوبت نمونه‌ها نشان داده شده است، برای شش حالت مختلف بر اساس نوع فیلم و نانو زئولیت، مدل‌سازی رگرسیونی خطی ارائه شده است که برای تمام توابع R^2 مناسب می‌باشد و بهترین R^2 با مقدار ۰/۹۲ برای فیلم‌های C0T0 و C2T0.5 در حالت بدون نانو زئولیت نتیجه شده است. همچنین با توجه به معادلات و شیب خطوط، مشاهده می‌شود، با افزایش زمان نگهداری میزان رطوبت میوه‌ها کاهش یافته است و این کاهش برای نمونه‌های داخل فیلم‌های پلی اتیلن خالص (C0T0) نسبت به فیلم‌های نانو کامپوزیتی (C2T0.5 و C4T0.5) بیشتر می‌باشد. که این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان تراوایی فیلم‌ها به وجود آمده باشد (Allafi, 2008; Hu *et al*., 2011). فیسک و همکاران گزارش کردند که نگهداری میوه‌های کیوی در بسته‌بندی با تهویه کم، کاهش وزن نمونه‌ها، کمتر شد (Fisk *et al*., 2007). در تحقیقی دیگر، پس از ۱۲ روز نگهداری، نمونه‌های (عناب چینی) بسته‌بندی شده در فیلم نانو کامپوزیتی نسبت به فیلم معمولی، افت وزنی کمتری داشتند (Li *et al*., 2009). همچنین در پژوهشی دیگر، پس از ۲۷ روز نگهداری (دمای $4\ ^oC$) میزان رطوبت میوه‌های کیوی بسته‌بندی شده در فیلم نانو کامپوزیتی و پلی اتیلن معمولی کمتر از ۰/۸٪ کاهش یافت و بعد از آن (تا ۴۲ روز بعد از نگهداری) تغییر معنی‌داری نیافت و این کاهش رطوبت، برای نمونه‌های داخل فیلم نانو کامپوزیتی کمتر بود (Hu *et al*., 2011).

[1] Montmorillonite

جدول-۵: مدل‌سازی رگرسیونی برای میزان رطوبت میوه در طی نگهداری.

نوع فیلم	نانو زئولیت (g)	تابع (y: میزان رطوبت (٪)، x: زمان (هفته))	R2	SSE
C0T0	۰	y= ۸۵/۰۴- ۰/۷۱x	۰/۹۲	۰/۶۵۶
C0T0	۰/۲	y= ۸۴/۸۸۲- ۰/۶۱۶x	۰/۸۳	۱/۱۷۱
C2T0.5	۰	y= ۸۴/۹۹۷- ۰/۵۶۷x	۰/۹۲	۰/۴۲۴
C2T0.5	۰/۲	y= ۸۴/۹۶۲- ۰/۵۴۹x	۰/۹۰	۰/۴۷۳
C4T0.5	۰	y= ۸۴/۹۷۷- ۰/۵۵۰x	۰/۹۱	۰/۴۷۲
C4T0.5	۰/۲	y= ۸۴/۹۹۲- ۰/۵۶۴x	۰/۹۱	۰/۴۷۷

نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیونی به منظور بررسی تغییرات pH در طی زمان نگهداری در جدول (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای تمام حالت‌ها، R^2 مناسب به دست آمده است که بهترین مدل برای فیلم‌های C0T0 و C2T0.5 در حالت بدون نانو زئولیت با R^2 برابر با ۰/۹۹ حاصل شده است و نیز با افزایش زمان نگهداری(x)، pH نمونه‌ها(y) افزایش یافته است و این افزایش برای میوه‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانو کامپوزیتی (C2T0.5 و C4T0.5) نسبت به پلی اتیلن خالص (C0T0)، پس از ۲ هفته نگهداری تقریباً معنی‌دار می‌باشد. این امر می‌تواند علاوه بر جذب اتیلن توسط ذرات نانو رس، به دلیل کاهش میزان تنفس و در نتیجه کاهش سرعت رسیدگی میوه‌ها، ناشی از کاهش میزان تراوایی فیلم‌های نانو کامپوزیتی، به وجود آمده باشد (Kerry and Butler, 2008; Allafi, 2008). در تحقیقی، طی ۲۸ روز نگهداری، میزان اسیدیته کیوی‌های بسته‌بندی شده در نانو کامپوزیت و پلی اتیلن خالص، کاهش یافت و از لحاظ نوع فیلم بسته‌بندی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی ۴۲ روز بعد از نگهداری، اسیدیته نمونه‌های داخل پلی اتیلن خالص نسبت به فیلم نانو کامپوزیتی، کمتر شد (Hu *et al.*, 2011). به گزارش شاهی و همکاران (۱۳۸۹) pH محصول خیار بسته‌بندی شده در فیلم پلی اتیلن پوشش داده شده با نانو ذرات TiO2 نسبت به پلی اتیلن، افزایش کمتری داشت.

جدول-٦: مدل‌سازی رگرسیونی برای میزان pH میوه در طی نگهداری.

نوع فیلم	نانو زئولیت (g)	تابع (y: میزان pH، x: زمان (هفته))	R2	SSE
C0T0	۰	y= ۲/۹۹۲+ ۰/۲۵۴x	۰/۹۹	۰/۰۱
C0T0	۰/۲	y= ۳/۰۸۲+ ۰/۱۶۴x	۰/۹۷	۰/۰۱
C2T0.5	۰	y= ۳/۰۶۲+ ۰/۱۷۵x	۰/۹۹	۰/۰۰۶
C2T0.5	۰/۲	y= ۳/۱۵۲+ ۰/۰۸۵x	۰/۹۵	۰/۱۰۸
C4T0.5	۰	y= ۳/۱۱۲+ ۰/۱۲۵x	۰/۹۷	۰/۰۰۶
C4T0.5	۰/۲	y= ۳/۲۰۲+ ۰/۰۳۵x	۰/۸۶	۰/۰۲۴

همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول-۷)، نتایج مدل‌سازی رگرسیون خطی با R^2 مناسب برای فیلم‌های مختلف بسته‌بندی در حالت با و بدون نانو زئولیت حاصل شده و بهترین مدل با R^2 برابر ۰/۹۸ برای فیلم‌های C0T0 (با نانو زئولیت) و C2T0.5 (بدون نانو زئولیت) به دست آمده است. همچنین مشاهده می‌شود در طی نگهداری میزان مواد جامد محلول (SSC) نمونه‌ها افزایش یافته است و نرخ افزایش این ویژگی برای نمونه‌های داخل بسته‌بندی پلی اتیلن خالص (C0T0) بیشتر از بسته‌های نانو کامپوزیتی می‌باشد و به عبارتی دیگر سرعت رسیدگی آن‌ها بیشتر است. این امر می‌تواند به طور همزمان ناشی از کاهش میزان تنفس و جذب گاز اتیلن آزاد شده از میوه‌ها توسط ذرات نانو رس موجود در نانو کامپوزیت، رخ داده باشد (Kerry and Butler, 2008; Allafi, 2008). همچنین مشاهده می‌شود، پس از ۶ هفته نگهداری، میزان SSC نمونه‌های داخل بسته‌های نانو کامپوزیتی C4T0.5 نسبت به بسته‌های C2T0.5، کمتر می‌باشد. که این امر می‌تواند به دلیل جذب اتیلن توسط درصد وزنی بیشتر ذرات نانو رس در بسته‌های C4T0.5 به وجود آمده باشد (Kerry and Butler, 2008). در تحقیقی دیگر نیز در ۲۸ روز ابتدای نگهداری، میزان SSC میوه‌های کیوی داخل هر دو بسته پلی اتیلنی و نانو کامپوزیتی افزایش یافت و سرعت افزایش این ویژگی برای میوه‌های بسته‌بندی شده با پلی اتیلن خالص بیشتر بود (Hu *et al*., 2011).

جدول-۷: مدل‌سازی رگرسیونی برای میزان مواد جامد محلول میوه در طی نگهداری.

نوع فیلم	نانو زئولیت (g)	تابع y: میزان مواد جامد محلول (Brix)، x: زمان (هفته)	R2	SSE
C0T0	۰	y= ۱۰/۲۷۵+ ۱/۰۸x	۰/۹۷	۰/۴۴۳
C0T0	۰/۲	y= ۱۰/۳۴۷+ ۰/۸۱۶x	۰/۹۸	۰/۱۹۴
C2T0.5	۰	y= ۱۰/۴۷۳+ ۰/۷۴۱x	۰/۹۸	۰/۱۲۲
C2T0.5	۰/۲	y= ۱۰/۵۲۰+ ۰/۵۲۳x	۰/۹۴	۰/۲۶۰
C4T0.5	۰	y= ۱۰/۶۲۲+ ۰/۶۳۱x	۰/۹۶	۰/۲۱۱
C4T0.5	۰/۲	y= ۱۰/۶۶۵+ ۰/۴۰۵x	۰/۹۲	۰/۲۲۲

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده بهترین مدل برای نشان دادن تغییرات خواص مختلف میوه کیوی در طی نگهداری با بسته‌های تهیه شده از فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال، با توجه به سادگی مدل و R^2 بیش از ۰/۹، مدل خطی بدست آمد.

منابع

امامی فر، الف. کدیور، م. شاهدی، م. سلیمان نژاد، ص. (۱۳۹۰). ارزیابی اثر بسته‌بندی‌های نانو کامپوزیتی حاوی نقره و اکسید روی بر عمر نگهداری آب پرتقال تازه. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، سال ۶، شماره ۱، صفحات ۶۷-۵۷.

بهشتی، م. ح. و رضا دوست، الف. م. (۱۳۸۴). پلاستیک‌های تقویت شده (کامپوزیت‌ها). انتشارات پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران. ۴۴۶ صفحه.

بی‌نام. (۱۳۸۸). شناسه تصویری کیوی. وزارت جهاد کشاورزی. معاونت امور تولیدات گیاهی. دفتر امور میوه‌ها. ۱۸ صفحه.

حسنی، ف. جوانمرد، م. گروسی، ف. (۱۳۸۹). بررسی ماندگاری میوه کیوی پوشش داده شده با کنسانتره پروتئین آب پنیر و روغن سبوس برنج. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۶، شماره ۳، صفحات ۱۶۷-۱۵۸.

ستاری نجف آبادی، م. مینایی، س. عزیزی، م. ح. افشاری، ح. (۱۳۸۸). تأثیر استفاده از فیلم‌های نانویی بر کاهش ضایعات نان. چهارمین همایش ملی بررسی ضایعات کشاورزی، تهران، دانشگاه تربیت مدرس. صفحات ۹۹-۹۳.

شاهی، س. خجسته پور، م. افشاری، ح. عباسپور فرد، م. ح. (۱۳۸۹). تأثیر بسته‌بندی با پوشش نانو ذرات TiO_2 بر روی pH محصول خیار. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. صفحات ۱۵-۹.

قنبری، م. (۱۳۸۱). گزارش نهایی طرح ارزیابی اقتصادی کشت و تولید میوه کیوی در ایران و بررسی توان صادراتی آن. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی.

کرمانی، ع. م. (۱۳۸۷). نانو کامپوزیت عبور ناپذیر در برابر اکسیژن بر پایه پلی اتیلن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، مهندسی شیمی، گروه پلیمر. ۱۱۷ صفحه.

محمدی، ج. و عبدی سنه کوهی، م. (۱۳۷۲). کیوی و پرورش آن. انتشارات فرهنگ جامع. ۱۶۰ صفحه.

موحد نژاد، م. ه. (۱۳۹۰). بررسی و مدل‌سازی خواص فیزیکی و کیفی سیب (گلدن دلیشز) طی شرایط انبارداری با پوشش نانو کامپوزیت زیستی. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۱۹۴ صفحه.

میرزایی مقدم، ح. توکلی هشجین، ت. مینایی، س. ذکی دیزجی، ح. (۱۳۸۵). بررسی اثر رطوبت، درجه رسیدگی و رقم بر خواص کیفی برگه کیوی، مجله علمی و پژوهشی علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۳، شماره ۲، صفحات ۷۶-۶۷.

نظری، ر. و تاج آبادی ابراهیمی، م. (۱۳۸۴). نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و کاربردهای آن در پاک‌سازی محیط. چهارمین همایش ملی بیوتکنولوژی جمهوری اسلامی ایران. کرمان.

ولی پور مطلق، ن. حامد موسویان، م. ت. مرتضوی، س. ع. (۱۳۸۹). تأثیر بسته‌های محتوی نانو ذرات نقره بر مشخصه‌های میکروبی و ظاهری زرشک در مقایسه با بسته‌های پلی اتیلن معمولی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، جلد ۵، شماره ۲، صفحات ۸۷-۷۵.

Allafi, A. R. (2008). Effect of different percent loadings of nanoparticles and food processing conditions on the properties of Nylon 6 films. Presented in partial fulfillment of the requirements for the degree doctor of philosophy in the graduate school of The Ohio state university, Food Science and Nutrition, 132 pp.

Bafna, A. A. (2004). Polyethylene-clay nanocomposites: processing-structure-property relationship. a dissertation submitted to the division of graduate studies and research of the requirements for the degree of doctor of philosophy, university of cincinnati, Ohio, USA. 233 pp.

Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. Meat Science, 78: 90–103.

Dainelli, D. Gontard, N. Spyropoulos, D. Beuken, E. Z. V. D. and Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. Trends in Food Science & Technology 19: 103-112.

Eun, J. B. Kim, J. D. Park, C. Y. and Gorny, J. R. (1997). Storage effect of LDPE film embedded with silver coated ceramic in enoki mushroom. Seventh International Controlled Atmosphere Research Conference. University of California, USA, 158–163.

Fenton, G. A. and Kennedy, M. J. (1998). Rapid dry weight determination of kiwifruit pomace and apple pomace using an infrared drying technique. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 26: 35-38.

Fisk, C. L. Silver, A. M. Strik, B. C. and Zhao, Y. (2007). Postharvest quality of hardy kiwifruit (Actinidia arguta Ananasnaya) associated with packaging and storage conditions. Postharvest Biology and Technology, 47: 338–345.

Hertog, M. L. A. T. M. Nicholson, S. E. and Jeffery, P. B. (2004). The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of ‘Hayward’ kiwifruit. Journal of the Postharvest Biology and Technology, 31: 251-261.

Hotchkiss, J. (1994). Recent research in MAP and active packaging systems. Abstracts, 27th Annual Convention, Australian Institute of Food Science and Technology, Canberra.

Hu, Q. Fang, Y. Yang, Y. Ma, N. and Zhao, L. (2011). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (Actinidia deliciosa) during cold storage. Food Research International, 44: 1589-1596.

Kerry, J. and Butler, P. (2008). Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

Li, H. Li, F. Wang, L. Sheng, J. Xin, Z. Zhao, L. Xiao, H. Zheng, Y. and Hu, Q. (2009). Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (Ziziphus jujuba Mill. var. inermis (Bunge) Rehd). Food Chemistry, 114(2): 547-552

Ma, D. Akpalu, Y.A. Li, Y. Siegel, R.W. and Schadler, L.S. (2005). Effect of Titania nanoparticles on the morphology of low density polyethylene. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 43(5): 488-497.

Mainland, C. M. (1998). Kiwifruit. North Carolina Cooperative Extension Service. Available in: http:// www.ces.ncsu.edu.

Markarian, J. (2002). Additives in food packaging: Plastics. Additives and Compounding, 4(4): 16-21.

McGlone, V. A. Jordan, R. B. Seelye, R. and Martinsen, P. J. (2002). Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. Journal of the Postharvest Biology and Technology, 26:191–198.

Perrin-Sarazin, F. Ton-That, M. T Bureau, M. N. and Denault, J. (2005). Micro-and nano-structure in polypropylene/clay nanocomposite. Polymer, 46: 11624-11634.

Radoičić, M. Šaponjić, Z. Marinović-cincović, M. T. Ahrenkiel, S. Bibić, N. and Nedeljković, J. M. (2012). The influence of shaped TiO_2 nanofillers on the thermal properties of poly (vinyl alcohol). J. Serb. Chem. Soc. 77: 5 699-714.

Ščetar, M. Kurek, M. and Galić. K. (2010).Trends in Fruit and Vegetable Packaging – a Review. Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition 5(3-4): 69-86.

Wang, Y. Easteal, A. J. and Chen, X. D. (1998). Ethylene and Oxygen Permeability through Polyethylene Packaging Films. Packaging Technology and Science. 11: 169-178.

Wetter, J. (2006). Presentation of Kathy Jo Wetter on behalf of ETC Group. FDA Nanotechnology Public Meeting. Avalable in: http:// www.fda.gov.

White, A. Silva, H. N. D. Requejo-Tapia, C. and Harker, F. R. (2005). Evaluation of softening characteristics of fruit from 14 species of Actinidia. Postharvest Biology and Technology, 35(2): 143-151.