بهینه‌سازی ماندگاری سیب رقم رد دلیشز ("Malus domestica "Red Delicious) با کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا به روش سطح پاسخ (RSM)

وحید عبدی گول[۱]، مرضیه باباش‌پوراصل[۲]*، داود صادق‌زاده اهری[۳]

[۱] دانش‌آموخته گروه باغبانی، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

[۲] استادیار گروه باغبانی، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

[۳] عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه

نویسنده مسئول: babashpour@gmail.com

چکیده

این پژوهش با هدف بهینه‌سازی ماندگاری سیب رقم رد دلیشز با پوشش‌های خوراکی کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا به روش سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت انجام شد. در این پژوهش روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا بر ماندگاری میوه سیب به کار برده شد. این تحقیق شامل ۱۳ تیمار بود که بر اساس طرح مرکب مرکزی شامل ۵ تکرار در نقطه مرکزی چیده شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که تیمارهای مختلف ماندگاری سیب، تأثیر معنی‌داری بر کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب‌میوه، میزان قند کل، درصد آب‌میوه و درصد ماده خشک در سطح یک درصد و مواد جامد محلول (TSS) در سطح پنج درصد داشتند. همچنین برای تحلیل داده‌ها، معادله خطی برای پاسخ مواد جامد محلول در آب‌میوه و معادله دوجمله‌ای برای میزان قند کل و معادله درجه دوم برای پاسخ‌های کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب‌میوه، درصد آب‌میوه و درصد ماده خشک، پیشنهاد شد. مقادیر بالای R^2 برای مدل‌های سطح پاسخ نشان داد که مدل‌ها، قادر به پیش‌بینی مناسب پاسخ متغیرها هستند. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از این ترکیبات می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی در تکنولوژی پس از برداشت این میوه معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: روش سطح پاسخ، ژل آلوئه‌ورا، سیب قرمز، عمر انبارداری، کلریدکلسیم

مقدمه

همه ساله مقادیر قابل توجهی از تولیدات کشاورزی از جمله سیب به علت کیفیت پایین در هنگام برداشت و پس از برداشت از بین می‌رود. از این رو برای کاهش ضایعات و افزایش خواص کمی و کیفی محصولات باغی تحقیقات متمرکز و مستمر ضروری است. امروزه با بکارگیری پوشش‌های خوراکی (Del-Vallea *et al*., 2005; Cofelice *et al*., 2019) و بسته‌بندی با اتمسفر تغییریافته (Caner and Aday, 2009)، بسته‌بندی‌های فعال، استفاده از مواد ضد میکروب و بسته‌بندی‌های نانو ساختار نیز توجه ویژه‌ای را در فناوری‌های پس از برداشت این محصول باارزش به خود جلب کرده است.(Mehyar and Han, 2011). Martinez-Romero و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که ژل آلوئه‌ورا همانند یک پوشش خوراکی عمل می‌کند و باعث کاهش اتلاف وزن میوه گیلاس می‌شود و در نتیجه باعث حفظ بیشتر سفتی بافت می‌شود. همچنین ژل آلوئه‌ورا فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی (پلی گالاکتوروناز، پکتین متیل استراز و زیلوناز) را کاهش می‌دهد. کاربرد توأم پوشش خوراکی به همراه کلسیم باعث جلوگیری از إتلاف آب میوه، کاهش تنفس و کاهش فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده دیواره سلولی و در نتیجه باعث حفظ ذخایر سلول می‌شود (Khan *et al*., 2019). هدف از این پژوهش بکارگیری روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی ماندگاری در میوه سیب با استفاده از تیمارهای کلریدکلسیم و ژل آلوئه ورا بود.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد گیاهی و شیمیایی: در این تحقیق میوه‌های سیب رقم رد دلیشیز از باغات منطقه سرگیزه شهرستان مراغه واقع در استان آذربایجان شرقی برداشت گردید. تعداد سیب برای هر تیمار ۱۰ عدد که وزن تقریبی هر تیمار جمعاً ۲ کیلوگرم بود. گیاه آلوئه‌ورا از گلخانه مهندس کریمی واقع در روستای ورجوی شهرستان مراغه تهیه شده و درصدهای مورد نیاز ژل از آن‌ها تهیه شد. برای تهیه درصدهای مورد نیاز کلریدکلسیم از $CaCl_2$ مرک آلمان استفاده گردید.

تعیین آزمون‌ها با طرح آماری سطح پاسخ: در این پژوهش روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا بر ماندگاری میوه سیب به کار برده شد. این تحقیق در مجموع ۱۳ تیمار داشت و تیمارها بر اساس طرح مرکب مرکزی شامل ۵ تکرار در نقطه مرکزی چیده شدند.. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل غلظت کلریدکلسیم (دامنه ۳-۷ درصد) و غلظت ژل آلوئه‌ورا (دامنه ۲۰-۴۰ درصد) و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل: کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب‌میوه، مواد جامد محلول در آب‌میوه، میزان قند کل، درصد آب‌میوه و درصد ماده خشک بودند. ثابت‌های آزمایش مقدار آب محلول و میزان سیب مورد استفاده در هر تیمار بود. ۵ سطح کدبندی شده برای متغیرهای مستقل به صورت $-\alpha$، -1، 0، +1 و $+\alpha$ بود. سطوح متغیرهای مستقل ورودی در جدول ۱ نشان داده شده است. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت صورت پذیرفت.

جدول ۱- سطوح کدبندی شده، بیشینه، متوسط و کمینه متغیرهای مستقل

متغیر	نماد	سطح$-\alpha$	سطح-1	سطح صفر	سطح+1	سطح$+\alpha$
غلظت کلریدکلسیم(%)	A	1	3	5	7	9
غلظت ژل آلوئه‌ورا(%)	B	10	20	30	40	50

α=2

اندازه‌گیری صفات: صفات کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب میوه، مواد جامد محلول در آب میوه، میزان قند کل، درصد آب میوه و درصد ماده خشک با استفاده از روش‌های مرسوم موجود در منابع اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

تأثیر متغیرهای فرآیند ماندگاری سیب بر پاسخ‌های مورد بررسی: آنالیز آماری نتایج به دست آمده از آزمایشات انجام شده نشان دادند که تیمارهای مختلف ماندگاری سیب تأثیر معنی‌داری بر کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب‌میوه، میزان قند کل، درصد آب‌میوه و درصد ماده خشک در سطح یک درصد و مواد جامد محلول در سطح ۵ درصد داشتند. نتایج حاصل از داده‌های حاصله از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت برای ماندگاری سیب قرمز در جدول ۲ نشان داده شده است. نرم‌افزار دیزاین اکسپرت برای تحلیل داده‌ها، معادله‌ی خطی، رابطه ۱ را برای پاسخ مواد جامد محلول در آب‌میوه و معادله دوجمله‌ای، رابطه ۲ را برای میزان قند کل و معادله درجه دوم، رابطه ۳ را برای پاسخ‌های کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب‌میوه، درصد آب‌میوه و درصد ماده خشک، پیشنهاد نمود. اثرات ضرایب رگریسیون R^2، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای پاسخ‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. R^2 به دست آمده برای کاهش وزن میوه، سفتی بافت میوه، pH آب‌میوه، میزان قند کل، درصد آب‌میوه و درصد ماده خشک، نشان دهنده کفایت مدل پیشنهادی برای پاسخ‌های موردنظر بود.

$$y = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \varepsilon \quad (1)$$

$$y = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + C_{12}X_1X_2 + \varepsilon \quad (2)$$

$$y = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + C_{12}X_1X_2 + C_{11}X_1^2 + C_{22}X_2^2 + \varepsilon \quad (3)$$

C_0 ,C_i : ضرایب ثابت و X_i : متغیرها، (i = ۱و ۲)

جدول ۲- طرح آزمایش‌های عوامل قابل کنترل و نتایج حاصل از انجام آزمون‌های ماندگاری میوه سیب

آزمایش	متغیرها		پاسخ‌ها						
	کلرید کلسیم (٪)	ژل آلوئه‌ورا (٪)	کاهش وزن میوه (٪)	سفتی بافت میوه (kg/cm^2)	pH آب‌میوه	مواد جامد محلول (Brix)	میزان قند کل (mg/g)	آب میوه (٪)	ماده خشک (٪)
۱	۳	۲۰	۲/۵	۸	۴/۳۴	۱۴/۹	۱۱/۴	۲۲/۴	۷۷/۶
۲	۷	۲۰	۲/۳	۸/۲۵	۴/۲۱	۱۴/۷۲	۱۱/۱	۲۲/۶	۷۷/۴
۳	۳	۴۰	۲/۱۹	۸/۴	۴/۲	۱۵	۱۱/۳	۲۳/۷۸	۷۶/۲۲
۴	۷	۴۰	۲/۰۵	۸/۶۵	۴/۱۱	۱۴/۸	۱۰/۹	۲۴/۳	۷۵/۷
۵	۱	۳۰	۲/۶	۷/۹۸	۴/۳۲	۱۵/۱	۱۱/۵	۲۲/۵	۷۷/۵
۶	۹	۳۰	۲/۱۱	۸/۴۵	۴/۱۱	۱۴/۸	۱۰/۸	۲۳/۸	۷۶/۲
۷	۵	۱۰	۲/۶	۷/۷۵	۴/۳۵	۱۴/۸	۱۱/۳	۲۰/۷	۷۹/۳
۸	۵	۵۰	۲/۰۹	۸/۶۴	۴/۱۲	۱۴/۷۹	۱۱	۲۴/۳	۷۵/۷
۹	۵	۳۰	۲/۱۴	۸/۴۲	۴/۲	۱۴/۸	۱۱/۲	۲۳/۷۵	۷۶/۲۵
۱۰	۵	۳۰	۲/۱۵	۸/۴۳	۴/۲	۱۴/۸۵	۱۱/۱۴	۲۳/۷۶	۷۶/۲۴
۱۱	۵	۳۰	۲/۱۵	۸/۴۲	۴/۱۹	۱۴/۹	۱۱/۱۵	۲۳/۷۷	۷۶/۲۳
۱۲	۵	۳۰	۲/۱۴	۸/۴۴	۴/۱۹	۱۵	۱۱/۱۷	۲۳/۷۷	۷۶/۲۳
۱۳	۵	۳۰	۲/۱۵	۸/۴۱	۴/۱۹	۱۴/۹۵	۱۱/۱۹	۲۳/۷۹	۷۶/۲۱

جدول ۳- تعیین ضرایب رگرسیون برای پاسخ‌های ماندگاری سیب قرمز

پاسخ	کاهش وزن میوه	سفتی بافت میوه	pH آب‌میوه	مواد جامد محلول	میزان قند کل	آب میوه	ماده خشک
R^2	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۵۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
انحراف معیار	۰/۰۲۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۷۸	۰/۰۲۱	۰/۱۲	۰/۱۲
ضریب تغییرات	۱/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۵۲	۰/۱۹	۰/۵۲	۰/۱۶

تحلیل اثر متغیرها بر پاسخ‌های ماندگاری سیب قرمز: Martinez-Romero و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که ژل آلوئه‌ورا به عنوان یک پوشش خوراکی عمل می‌کند و باعث کاهش إتلاف وزن میوه گیلاس می‌شود و در نتیجه باعث حفظ بیشتر سفتی بافت می‌شود. همچنین ژل آلوئه‌ورا فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیوار سلولی را کاهش می‌دهد. Hernandz-Munoz و همکاران (۲۰۰۶) نتایج مشابهی در مورد اثر غوطه‌ور ساختن میوه توت فرنگی در کیتوزان و محلول کلسیم بر سفتی بافت میوه توت فرنگی گزارش کردند. کلسیم با قرار گرفتن در دیواره سلولی و استحکام بخشیدن به آن و نیز کاهش تولید اتیلن نقش خود را در حفظ سفتی میوه‌ها ایفا می‌کند (Vaz and Richardson, 1984). کاربرد توأم پوشش خوراکی به همراه کلسیم باعث جلوگیری از إتلاف آب میوه، کاهش تنفس و کاهش فعالیت آنزیم‌های هضم کننده دیواره سلولی و در نتیجه باعث حفظ ذخایر سلول‌های هضم‌کننده دیواره سلولی و در نتیجه باعث حفظ ذخایر سلول می‌شود (Khan *et al.*, 2019). در پژوهش حاضر پاسخ سفتی بافت میوه با افزایش کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا افزایش یافت و این تأثیر مثبت متغیرها با نتایج پژوهش‌های دیگران مطابقت دارد. با توجه به نتایج و اظهارات پژوهشگران، افزایش pH در طول مدت انبارمانی می‌تواند به واسطه شکسته‌شدن و تجزیه اسیدهای آلی در فرآیند تنفس باشد که در سیب (Martinez-Romero *et al.*, 2005) گزارش شده است. در پژوهش حاضر pH میوه‌های تیمار شده با افزایش کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا کاهش یافت و این نشان دهنده اثر مثبت متغیرها است.

اثر کلسیم بر میزان مواد جامد محلول متغیر بوده، به طوری که Akhtar و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که کلریدکلسیم اثر معنی‌داری بر میزان مواد جامد محلول کل میوه ازگیل ژاپنی داشته است. آنها همچنین بیان نمودند که افزایش مقدار مواد جامد محلول در طول مدت انبارمانی، شاید به دلیل هیدرولیز پلی‌ساکاریدها و تغلیظ‌شدن عصاره میوه باشد. در پژوهش حاضر محتوی قندکل با افزایش کلریدکلسیم و ژل آلوئه‌ورا کاهش یافته است و این نشان‌دهنده اثر مثبت متغیرها بر ماندگاری سیب بود.

تعیین نقطه بهینه ماندگاری میوه سیب: شرایط بهینه ماندگاری میوه سیب برای دست‌یابی به حداقل کاهش وزن میوه، pH میوه، مواد جامد محلول، قند کل و ماده خشک و حداکثر سفتی بافت میوه و میزان آب میوه مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌ها و محدودیت‌های مورد بررسی برای بهینه‌سازی در جدول ۴ آورده شده است. نرم‌افزار دیزاین اکسپرت قابلیت آن را دارد که با تعیین شرایط بهینه، با توجه به پاسخ‌های بدست آمده از آزمایش‌ها، مطلوب‌ترین نقطه یا نقاط را پیشنهاد کند.

جدول ٤- شرایط تعریف شده برای نرم افزار دیزاین اکسپرت جهت بهینه‌سازی

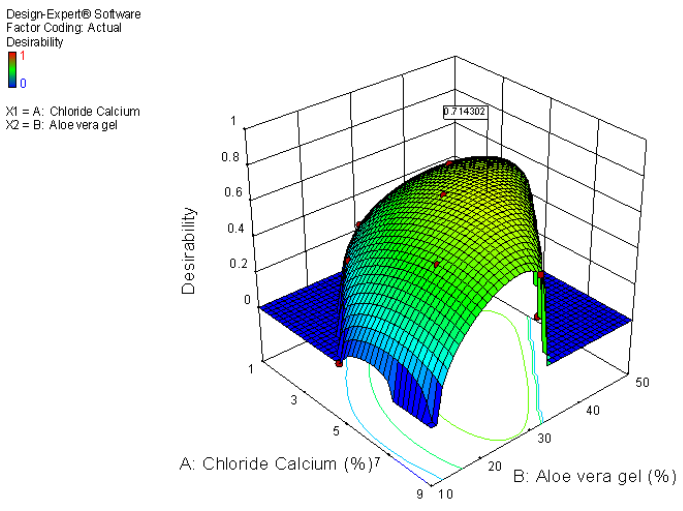
نام	هدف	اهمیت*	حد پایین	حد بالا
کلرید کلسیم (درصد)	در بازه تعیین شده	–	۱	۹
ژل آلوئه‌ورا (درصد)	در بازه تعیین شده	–	۱۰	۵۰
کاهش وزن میوه (درصد)	کمترین مقدار	۵	۲/۰۵	۲/۶
سفتی بافت میوه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	بیشترین مقدار	۵	۷/۷۵	۸/۶۵
pH میوه	کمترین مقدار	۵	۴/۱۱	۴/۳۵
مواد جامد محلول (بریکس)	کمترین مقدار	۵	۱۴/۷۲	۱۵/۱
قند کل (میلی گرم بر گرم)	کمترین مقدار	۵	۱۰/۶۵	۱۱/۵
آب میوه (درصد)	بیشترین مقدار	۵	۲۰/۷	۲۴/۳
ماده خشک (درصد)	کمترین مقدار	۵	۷۵/۷	۹۷/۳

*: اهمیت، برای همه موارد بیشترین مقدار در نظر گرفته شده است.

نقطه بهینه بدست آمده برای ماندگاری میوه سیب با روش سطح پاسخ شامل: کلریدکلسیم ۵/۹۹۵ درصد، ژل آلوئه‌ورا ۳۳/۶۵ درصد و پاسخ‌های پیش‌بینی‌شده برای این نقطه بهینه شامل: ۲/۰۷ درصد کاهش وزن میوه، ۸/۵۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع سفتی بافت، pH ۴/۱۵۲ آب میوه، ۱۴/۸۴ بریکس مواد جامد محلول، ۱۱/۳۲ میلی‌گرم بر گرم میزان قندکل، ۲۴/۱۵ درصد آب میوه و ۷۵/۸۵ درصد ماده خشک با شرایط مطلوب ۷۱/۴ درصد بود، شکل ۱.

نتیجه‌گیری کلی

به طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از ژل آلوئه‌ورا به عنوان یک ترکیب طبیعی همراه با کلرید کلسیم با کاهش سرعت فرآیندهای متابولیکی و حفظ ساختار سلول‌ها موجب حفظ خصوصیات کیفی میوه سیب قرمز و افزایش مدت نگهداری آن گردید.
با توجه به پاسخ‌های به دست آمده، استفاده از این ترکیبات می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی در تکنولوژی پس از برداشت این میوه معرفی شود.



شکل ۱- شرایط مطلوب نقطه بهینه ماندگاری میوه سیب

References

Akhtar, A., Abbasi, N.A., Hussain, A. 2010. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of Loquat fruit during storage. Pakistan Journal of Botany, 42:181-188.
Caner, C., Aday, M.S. 2009. Maintaining quality of fresh strawberries through various modified atmosphere packaging. Packaging Technology and Science, 22: 115-122.
Cofelice, M., Lopez, F., Cuomo, f. 2019. Quality control of fresh-cut apples after coating application. Foods, 8 (6): 189.
Del-Vallea, V., Hernandez-Munozb, P., Guardac, A. Galottod, M.J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*fragaria ananassa*) shelf-life. Food Chemistry, 91: 751-756.
Hernandz-Munoz, P., Almenar, E., Ocio, M.J., Gavara., R. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life strawberries. (*Fragaria* × *ananassa*). Postharvest Biology and Technology, 39: 247-253.
Khan, N., Riaz, A., Rahman, Z., Mawa, J., Begum, H. 2019. Shelf life assessment of apple fruitcoated with *Aloe vera* gel and calciumchloride. Pured Applied Biology, 8(3): 1876-1889.
Martınez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J.M., Guillen, F., Castillo, S., Valero, D. Serrano, M. 2005. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatments: A new edible coating. Postharvest Biology and Technology, 39: 93-100.
Mehyar, G.F., Han, J.H. 2011. Active packaging for fresh-cut fruit and vegeetables in modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
Vaz, R.L., Richardson, D.G. 1984. Effect of calcium on respiration rate, ethylene production and occurrence of cork spot in Anjou Pears (*Pyrus communis* L). Acta horticulturae, 157: 227-236.

Optimization of the Storage Life of Apple (*Malus domestica* "Red Delicious") with Calcium Chloride and *Aloe vera* Gel by Response Surface Methodology (RSM)

Vahid Abdi-Gol[1], Marzieh Babashpour-Asl[2*], Davoud Sadeghzadeh-Ahari[3]
Department of Horticulture, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
Department of Horticulture, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
[3] Food Legume Research Department, Dryland Agriculture Research Institute, AREEO, Maragheh, Iran
[*]*Corresponding Author: babashpour@gmail.com*

Abstract

The aim of this study was to optimize the shelf life of Malus domestica "Red Delicious" with edible coatings of calcium chloride and Aloe vera gel by Response Surface Method (RSM) using Design Expert software. In this study, the response surface method in the form of a central composite design was used to predict the effect of calcium chloride and Aloe vera gel on apple fruit shelf life. This study consisted of 13 treatments that were arranged in a central point based on a central composite design with 5 replications. The results showed that different apple shelf life treatments had a significant effect on fruit weight loss, fruit texture firmness, fruit juice pH, total sugar content, fruit juice percentage and dry matter percentage at 1% level and total soluble solids (TSS) at the level of 5 %. Also for data analysis, linear equation for the response of total soluble solids in fruit juice and binomial equation for total sugar content and quadratic equation for fruit weight loss responses, fruit texture firmness, juice pH, percentage Juice and dry matter percentage were suggested. High values of R2 for response level models showed that the models are able to accurately predict the response of variables. According to the obtained results, the use of these compounds can be introduced as a suitable method in the post-harvest technology of this fruit.

Keywords: *Aloe vera* gel, Red apple, Response surface methodology, Shelf life, $CaCl_2$.