

تأثیر پوشش‌های مرکب و فعال بر پایه کربوکسی متیل سلولز- پکتین حاوی اسید آسکوربیک بر کارایی آبگیری اسمزی میوه "به"

بابک قنبرزاده^{۱*}، مینا اکبریان^۲، محمود صوتی خیابانی^۳، جلال دهقان‌نیا^۳

^۱ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
^۳ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۱

چکیده

در سال‌های اخیر، پوشش‌های خوراکی کاربردهای زیادی در بهبود فرایند و نگهداری مواد غذایی پیدا کرده‌اند. استفاده از آن‌ها به عنوان پیش‌فرایند آبگیری اسمزی، راه‌حل مناسبی برای کاهش میزان نفوذ مواد جامد محلول به بافت ماده غذایی است. در این تحقیق، بهینه‌سازی فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی مرکب و فعال به عنوان پیش‌ تیمار در فرآیند آبگیری اسمزی میوه به توسط روش سطح پاسخ (RSM) بررسی شد. برای این منظور، طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل (غلظت‌های پکتین، کربوکسی متیل سلولز و اسید آسکوربیک)، با سه تکرار و ۱۸ تیمار استفاده شد و ضریب کارایی اسمز و میزان آبگیری (WL) به عنوان پاسخ‌های مدل در نظر گرفته شد. برای آبگیری اسمزی، از محلول اسمزی شامل فروکتوز ۵۰٪، کلرید کلسیم ۵٪ و اسیدسیتریک ۳٪ (وزنی/حجمی) استفاده گردید. بر اساس حداکثر ضریب کارایی اسمز، محلول پوشش دهنده حاوی غلظت ۱/۴۸٪ کربوکسی متیل سلولز، ۱/۴۸٪ پکتین و ۰/۵۸٪ اسید آسکوربیک به عنوان بهترین محلول پوشش دهنده توسط مدل RSM تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌های خوراکی، پلی ساکارید، فرایند اسمز، طرح مرکب مرکزی، بهینه سازی، میوه‌ی به.

۱- مقدمه

میوه‌ی "به" با نام علمی سیدونیا اوبلانگا^۱، از میوه‌های رایج در کشور ایران بوده و از خانواده سیب می‌باشد، دارای گوشت خشک و کرکی است که طعمی ترش و تقریباً گس دارد و برای تازه خوری و همچنین تولید کمپوت مربا و مارمالاد بکار می‌رود. همچنین به خشک شده در برخی از غذاهای سنتی ایرانی مانند آبگوشت، تاس کباب، خورش به مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۵). پوشش‌های خوراکی لایه نازکی از مواد با منشا حیوانی یا گیاهی هستند که از طریق غوطه‌وری، پاشیدن (اسپری کردن) و غلطاندن، بر سطح ماده غذایی تشکیل شده و ماده غذایی را در برابر انتقال گازها (اکسیژن و دی اکسید کربن)، بخار آب، مواد جامد محلول و ضربات مکانیکی محافظت می‌کنند و همچنین در مواردی ظاهر محصول را بهبود می‌بخشند و باعث درخشان شدن آن می‌شوند (۷).

ترکیبات پایه سازنده پوشش‌ها را می‌توان به انواع پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها، لیپیدها و یا ترکیبی از آن‌ها تقسیم کرد. کربوکسی متیل سلولز از جمله پلی ساکاریدهای مهم و ارزان قیمت است که از طریق واکنش سلولز با هیدروکسید سدیم و اسید کلرواستیک تولید می‌شود، محلول در آب بوده و پس از حل شدن حالتی کاملاً شفاف پیدا می‌کند و فیلم‌های شفاف و مقاوم از نظر مکانیکی تشکیل می‌دهد (۶). پکتین یک هتروپلی ساکارید است و ساختاری منشعب دارد، در قسمت خطی، اسید گالاکتورونیک با اتصالات (۴-۱) α حضور دارد و قسمت منشعب شامل رامنوز، آرابینوز، گالاکتان و گالاکتورونیک اسید می‌باشد. پکتین‌ها عموماً در آب محلول می‌باشند ولی اگر وزن ملکولی و قدرت یونی محیط بالا رود یا درجه استریفیکاسیون کاهش یابد، حلالیت پکتین در آب کاهش می‌یابد (۵).

پوشش‌های خوراکی بصورت تنها و یا به عنوان یک پیش تیمار قبل از تیمارهای دیگر مانند خشک کردن می‌تواند مورد استفاده واقع شوند. برای افزایش کارایی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، مواد زیست فعال مانند مواد ضد میکروبی و آنتی-اکسیدانی در ترکیب آنها بکار می‌رود که در این صورت به آن‌ها فیلم‌ها و پوشش‌های فعال گفته می‌شود. مواد فعال موجود در ماتریکس آن‌ها به تدریج آزاد شده و اثرات بهبود دهنده‌گی و نگهدارندگی خود را بر ماده غذایی پوشش داده شده بر جای

می‌گذارند. اسید اسکوریک یک ترکیب احیا کننده و آنتی-اکسیدانی بوده و کاربردهای تکنولوژیکی زیادی از جمله بازدارندگی از قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی، جلوگیری از اکسیداسیون روغن (به شکل پالمیتات اسکورات)، تقویت کننده آرد از طریق اکسید پیوندهای دی سولفید گلوتن (در شکل دهیدرو اسکوریک اسید)، طعم دهنده گی و جبران کننده ویتامین C از دست رفته طی تیمارهای مختلف در مواد غذایی بکار می‌رود و می‌تواند به عنوان یک ترکیب فعال در پوشش‌های خوراکی بکار رود (۶).

خشک کردن اسمزی فرایندی است که در طی آن آب موجود در ماده غذایی توسط محیط هایپر تونیک مانند محلول‌های قندی (مانند گلوکز، فروکتوز، ساکارز)، قندهای الکلی (مانند سوربیتول و گلیسرول)، یا محلول‌های نمکی و غیره، گرفته می‌شود و با توجه به سرعت بالا و دمای پائین، فرایند آبیگری اسمزی به عنوان روش نسبتاً نوین و یک پیش تیمار برای بهبود خشک کردن میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۷). از مهم‌ترین معایب فرایند آبیگری اسمزی، نفوذ مواد جامد محلول به درون بافت مواد غذایی است. کاربرد پوشش‌های خوراکی قبل از آبیگری اسمزی، مناسب‌ترین راه حل برای جلوگیری از تأثیرات نامطلوب این فرایند بر ماده غذایی است (۱۳). در فرایند آبیگری اسمزی، پوشش‌ها به عنوان ممانعت کننده‌های مصنوعی عمل می‌کنند و مانع نفوذ مواد جامد محلول به درون بافت ماده غذایی شده و از کریستاله شدن قندها بر روی بافت میوه جلوگیری می‌کنند، بدون آن که تأثیر منفی بر میزان خروج آب داشته باشند (۱۰).

تاکنون مطالعاتی برای بررسی اثرات استفاده همزمان از پوشش‌های خوراکی و آبیگری اسمزی در خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها انجام یافته‌است. خین و همکاران (۲۰۰۶)، در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که استفاده همزمان از پوشش‌های خوراکی بر پایه پکتین کم استر و سدیم آلزینات و آبیگری اسمزی برای سیب زمینی، ضریب کارایی آبیگری را بالا می‌برد (۹). لوبینکو و همکاران (۲۰۰۸)، طی مطالعات خود پی بردند که استفاده از پوشش حاوی نشاسته ذرت ۳۰٪ و محلول اسمزی شامل محلول ساکارز یا ملاس چغندر قند (در دمای ۵۵°C به مدت ۵ ساعت) کارایی آبیگری اسمزی هویج را در هر دو محلول ساکارز و ملاس افزایش می‌دهد. آن‌ها هم چنین اعلام کردند که امکان بازیافت محلول اسمزی بعد از تغلیظ آن امکان‌پذیر می‌باشد (۱۲).

¹ Cydonia oblonga

استفاده شد (جدول ۱) و نرم‌افزار SAS 9.1 (انگلستان) برای طراحی این طرح مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۳- تهیه محلول اسمزی

غلظت عوامل اسمز را بصورت ثابت (فروکتوز ۵۰٪، کلرید کلسیم ۵٪ و اسید سیتریک ۳٪)، مطابق کار تحقیقی پیشین گروه پژوهشی تهیه کردیم و سپس در نسبت‌های تعیین شده مواد مخلوط گردیدند و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر (وزنی- حجمی) رسانده شدند (۱).

۲-۴- پوشش دهی و فرایند اسمز

در ابتدا آماده سازی میوه "به" شامل شستشو، پوست گیری و برش آن به شکل مکعب‌های ۱ سانتی‌مترمکعبی توسط قالب مخصوص صورت گرفت، سپس نمونه‌ها با آب مقطر شسته شدند، رطوبت سطحی برش‌ها با کاغذ صافی گرفته و سپس وزن شدند. نمونه‌های آماده شده بعد از توزین توسط روش غوطه‌وری پوشش دهی شدند یعنی در یک بشر حاوی محلول پوشش ساز (کربوکسی متیل سلولز و پکتین و اسیدآسکوربیک) قرار گرفتند و بعد از یک دقیقه خارج شدند و به مدت ۳۰ دقیقه در آون با دمای ۷۰ درجه قرار گرفتند. سپس به مدت ۳ ساعت (دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد) دمای اتاق، در محلول اسمزی قرار گرفته (نسبت وزنی محلول اسمزی به نمونه ۱۰ به ۱) و سپس نمونه‌ها با آب مقطر شسته شدند و با کاغذ صافی رطوبت سطحی نمونه‌ها گرفته شد (۱۰). مقدار رطوبت و مواد جامد محلول در دمای ۱۰۵ درجه- سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت آون گذاری (گدازه سوز، ایران) تعیین گردید. نمونه‌ها قبل و بعد آون گذاری به وسیله ترازو (حساس ۴ صفر BP110S, Sartorius فرانسه) توزین گردید (۲).

۲-۵- اندازه‌گیری میزان آبیگری و میزان ماده

جامد جذب شده در فرایند خشک کردن اسمزی

میزان آبیگری و میزان ماده جامد جذب شده و نسبت بین میزان آبیگری به میزان ماده جامد جذب شده (ضریب کارایی آبیگری) در نمونه‌ها براساس توزین آن‌ها در مراحل مختلف (وزن نمونه شاهد، وزن نمونه پوشش دار و اسمز شده قبل و بعد از آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد)، با روابط زیر محاسبه شدند (۱۶).

نتایج به دست آمده از پژوهش‌های جلائی و همکاران (۲۰۱۰)، نیز نشان داد که مواد پوشش‌دهنده خوراکی مانند پکتین با درجه استری پایین^۱، کربوکسی متیل سلولز، نشاسته ذرت و محلول اسمزی حاوی ساکارز با دو غلظت ۵۰٪ و ۶۰٪ (W/W) تأثیر مثبتی روی میزان آبیگری و جذب مواد جامد محلول سیب دارند (۸). استفاده از پوشش‌های خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز- اسیدآسکوربیک در خشک کردن اسمزی کدوی سبز، میزان جذب مواد جامد محلول را کاهش و میزان از دست دادن آب و ضریب کارایی اسمزی را افزایش داد (۴).

هدف از این پژوهش، بهبود کیفیت میوه "به" خشک شده با بکاربردن پوشش‌های فعال (بر پایه پکتین و کربوکسی متیل سلولز و بهینه شده توسط روش سطح پاسخ) و آبیگری اسمزی می‌باشد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

کربوکسی متیل سلولز (شرکت Food chem کشور چین، با درجه خلوص ۹۸، ویسکوزیته ۲۲۸۰)، اسیدآسکوربیک (شرکت Northest phar maceutical کشور چین)، پکتین کم استر (درجه استریفیکاسیون ۳۱/۵٪، Degussa, Pullach, آلمان)، کلرید کلسیم از (شرکت مرک آلمان)، گلیسرول (Ableace کشور مالزی)، فروکتوز (Krueger آلمان)، اسیدسیتریک مونو هیدراته (C₆H₈O₇.H₂O) (شرکت Kaselcit کشور چین)، میوه "به" (رقم شرفخانه با درصد رطوبت ۸۵٪) خریداری شد.

۲-۲- روش‌ها

غلظت‌های پکتین، کربوکسی متیل سلولز و اسید اسکوربیک توسط RSM^۲ مرکب مرکزی، تعیین و سپس در نسبت‌های تعیین شده با یکدیگر مخلوط و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر (وزنی- حجمی) رسانده شدند. در ضمن برای تمامی تیمارها بطور ثابت ۰/۲ گرم گلیسرول (به عنوان نرم کننده) و ۰/۷۵ گرم کلرید کلسیم (پکتین کم‌استر برای تشکیل ژل نیاز به کلرید کلسیم دارد) استفاده شد. از روش RSM مرکب مرکزی با ۱۸ تیمار و ۳ تکرار برای این منظور

¹ Low methoxy pectin (LMP)

² Response surface methodology

شامل درصد کربوکسی متیل سلولز (X₁, %w/v) (۰،۰۳، ۰،۷۴۵)، درصد پکتین (X₂, %w/v) (۰،۰۳، ۰،۷۴۵، ۱،۱۹)، درصد اسید آسکوربیک (X₃, %w/v) (۰،۰۰، ۰،۱۲، ۰،۲۹۵) در مرحله پوشش دهی با سه تکرار استفاده شد. این طرح شامل ۸ نقطه فاکتوریل، ۶ نقطه محوری و ۴ نقطه مرکزی^۲ است.

جدول ۲ مشخصات مربوط به نمونه‌ها را نمایش می‌دهد. نرم افزارهای SAS 9.1 (انگلستان) و Statistica 9 (آمریکا) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارهای سطح پاسخ مورد استفاده قرار گرفتند. معادله چند جمله‌ای درجه دوم استفاده شده در تجزیه و تحلیل به صورت زیر است:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j$$

که در این فرمول Y متغیر وابسته یا پاسخ مدل، β_0 ، β_i ، β_{ii} و β_{ij} به ترتیب ضرایب رگرسیون برای عامل‌های ضریب ثابت (عرض از مبدا)، ضریب اثر خطی، ضریب اثر درجه دوم و ضریب اثر متقابل هستند و X_i و X_j متغیرهای مستقل می‌باشند.

$$\%WL = \frac{W_i X_i - W_\theta X_\theta}{W_i}$$

$$\%SG = \frac{W_\theta(1 - X_\theta) - W_i(1 - X_i)}{W_i}$$

$$\text{ضریب کارایی آبدگیری اسمزی} = \frac{WL}{SG}$$

WL: میزان آبدگیری

SG: میزان ماده جامد جذب شده

W_i: وزن محصول در زمان اولیه (گرم)،

W_θ: وزن محصول بعد از زمان θ (گرم)

X_i: محتوای آبی (کسر وزنی) محصول در زمان اولیه (گرم)

X_θ: محتوای آبی محصول در زمان θ (گرم)

۲-۶- تحلیل آماری

برای بهینه‌سازی فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی و محلول-های اسمزی در آبدگیری اسمزی و خشک کردن میوه "به"، از روش آماری سطح پاسخ (RSM CC0318) طرح مرکب مرکزی^۱ با سه متغیر در پنج سطح (-۱/۶۸۲، -۱، ۰، +۱، +۱/۶۸۲)

جدول ۱- طرح آزمایش مرکب مرکزی مورد استفاده برای بهینه‌سازی در مرحله پوشش دهی به منظور بررسی تاثیر غلظت‌های

کربوکسی متیل سلولز، پکتین و اسید آسکوربیک بر WL و WL/SG

عامل			شماره آزمایش	عامل			شماره آزمایش
X ₃	X ₂	X ₁		X ₃	X ₂	X ₁	
۰/۲۹	۰/۷۶	۱/۴۸	۱۰	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱
۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۷۶	۱۱	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۲
۰/۲۹	۱/۴۸	۰/۷۶	۱۲	۰/۱۲	۱/۱۹	۰/۳۳	۳
۰/۰۰	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۳	۰/۴۷	۱/۱۹	۰/۳۳	۴
۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۴	۰/۱۲	۰/۳۳	۱/۱۹	۵
۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۵	۰/۴۷	۰/۳۳	۱/۱۹	۶
۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۶	۰/۱۲	۱/۱۹	۱/۱۹	۷
۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۷	۰/۴۷	۱/۱۹	۱/۱۹	۸
۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۷۶	۱۸	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۰۳	۹

² Center point

¹ Central composite design

جدول ۲- سطوح واقعی و کد شده متغیرهای مورد استفاده در آزمایش

نوع متغیر	واحد	نماد ریاضی متغیر	سطوح کدبندی شده متغیر			
			-۱	۰	+۱	+۱/۶۸۲
غلظت کربوکسی متیل سلولز	g/ml	X ₁	۰/۳۳	۰/۷۴۵	۱/۱۹	۱/۴۹
غلظت پکتین	g/ml	X ₂	۰/۳۳	۰/۷۴۵	۱/۱۹	۱/۴۹
غلظت اسید آسکوربیک	g/ml	X ₃	۰/۱۲	۰/۲۹۵	۰/۴۷	۰/۵۸

جدول ۳- نمایش تاثیر ترکیب‌های مختلف متغیرهای مستقل بر WL, SG و WL/SG

(اعداد بصورت میانگین آورده شده‌اند)

WL/SG	SG	WL	آزمایش
۴/۰۲ ± ۰/۲۳	۷/۴۲ ± ۰/۰۰	۲۹/۸۶ ± ۱/۸۱	۱
۳/۲۴ ± ۰/۲۰	۸/۵۵ ± ۰/۱۳	۲۷/۷۴ ± ۱/۲۳	۲
۳/۸۶ ± ۰/۷۱	۷/۷۹ ± ۰/۰۵	۳۰/۱۳ ± ۰/۳۵	۳
۴/۳۹ ± ۰/۷۲	۶/۵۶ ± ۰/۶۱	۲۸/۸۴ ± ۱/۲۶	۴
۳/۵۳ ± ۰/۴۱	۹/۱۲ ± ۰/۷۲	۳۲/۲۸ ± ۰/۷۳	۵
۴/۱۸ ± ۰/۱۶	۷/۶۳ ± ۱/۰۹	۳۱/۹۹ ± ۳/۱۴	۶
۵/۴۵ ± ۰/۱۱	۶/۷۹ ± ۰/۱۰	۳۷/۱۰ ± ۰/۱۷	۷
۵/۶۳ ± ۰/۸۳	۷/۱۵ ± ۰/۹۷	۴۰/۳۲ ± ۱/۷۸	۸
۳/۱۰ ± ۰/۴۱	۱۰/۵۶ ± ۱/۹۰	۳۲/۷۶ ± ۲/۴۶	۹
۴/۸۷ ± ۱/۲۷	۷/۷۶ ± ۱/۸۳	۳۷/۸۳ ± ۱/۹۵	۱۰
۳/۲۰ ± ۰/۱۹	۹/۵۶ ± ۰/۴۷	۳۰/۶۲ ± ۰/۱۹	۱۱
۶/۷۸ ± ۲/۱۸	۵/۹۸ ± ۲/۷۸	۴۰/۶۲ ± ۳/۵۹	۱۲
۴/۱۴ ± ۰/۰۵	۹/۱۹ ± ۰/۶۶	۳۸/۰۵ ± ۲/۱۷	۱۳
۳/۳۱ ± ۰/۰۵	۱۰/۷۳ ± ۱/۷۰	۳۵/۵۹ ± ۶/۱۷	۱۴
۴/۴۵ ± ۰/۸۱	۷/۱۳ ± ۱/۵۰	۳۱/۷۵ ± ۰/۹۴	۱۵
۴/۱۷ ± ۰/۰۱	۹/۳۳ ± ۰/۳۸	۳۸/۹۹ ± ۱/۴۶	۱۶
۳/۷ ± ۰/۶۲	۹/۰۲ ± ۲/۲۰	۳۳/۸۱ ± ۴/۱۰	۱۷
۳/۶۰ ± ۰/۰۲	۱۰/۹۶ ± ۱/۲۹	۳۹/۵۸ ± ۴/۳۳	۱۸

۳- نتایج و بحث

هدف از انجام آزمایش‌های بهینه‌سازی، دست‌یابی به بهترین تأثیر ترکیبی از کربوکیسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک (متغیرهای مستقل آزمایش در مرحله پوشش‌دهی) و نیز بدست آوردن یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی تأثیر این ترکیبات روی میزان آبگیری و میزان ضریب کارایی آبگیری اسمزی (متغیرهای وابسته آزمایش) بود.

۳-۱- نتایج بهینه‌سازی فرمولاسیون محلول پوشش‌دهی بر اساس میزان آبگیری (WL) در فرایند اسمز

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول ۳ بیشترین آبگیری به میزان ۴۰/۶۲ (در نمونه شماره ۱۲) و کمترین آبگیری اسمزی به میزان ۲۷/۷۴ (در نمونه ۲) مشاهده شد. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس برای میزان آبگیری در مرحله بهینه‌سازی پوشش‌دهی در جدول ۴ نشان داده شده است.

مقادیر P معنی دار برای مدل ($P < 0/01$) و غیر معنی دار برای فقدان برازش ($0/62$) تأییدی بر مناسب بودن مدل برای پیش‌بینی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته (میزان آبگیری) است. هم‌چنین مقدار عددی ضریب تبیین R^2 برای میزان آبگیری طی مرحله پوشش‌دهی ۶۶/۴۲ بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای مستقل (کربوکیسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک) تنها بخشی از تغییرات (۶۶/۴ درصد) در متغیر وابسته (میزان آبگیری) را توجیه می‌کند که کافی به نظر نمی‌رسد.

مدل خلاصه شده به دست آمده برای پیش‌بینی تأثیر میزان کربوکیسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک روی میزان آبگیری بعد از حذف عوامل غیر معنی دار به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = 3433/93 + 2/46 X_1 + 2/29 X_2$$

همچنان که در جدول ۴ مشهود است، اثرات خطی اجزای X_1 ، X_2 ، ($P < 0/05$) معنی دار می‌باشند. به عبارت دیگر پکتین و کربوکیسی متیل سلولز دارای تأثیر خطی معنی دار بر میزان آبگیری هستند.

شکل ۱- الف تأثیر سطوح مختلف غلظت کربوکیسی متیل- سلولز و پکتین را در نقطه مرکزی از غلظت اسید آسکوربیک بر میزان آبگیری اسمزی را نشان می‌دهد.

همچنان که مشاهده می‌شود شکل نمودار به صورت لبه بالا رونده بوده و وقتی غلظت کربوکیسی متیل سلولز و پکتین در حداکثر است، میزان آبگیری هم در بیشترین مقدار است. نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از لازاریدیس و همکاران (۱۱) مطابقت دارد.

شکل ۱- ب، تأثیر سطوح مختلف غلظت کربوکیسی متیل- سلولز و اسیدآسکوربیک را در نقطه مرکزی غلظت پکتین، بر روی میزان آبگیری اسمزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، با افزایش غلظت کربوکیسی متیل سلولز، در هر غلظتی از اسید اسکوربیک، میزان آبگیری اسمزی افزایش می‌یابد و حداکثر این اثر، در حداکثر مقدار اسید اسکوربیک مشاهده می‌شود و همچنین این اثر در محدوده غلظت مورد آزمون، نسبتاً خطی است. احتمالاً با افزایش غلظت کربوکیسی متیل سلولز، ضخامت و تراکم پوشش افزایش یافته و از نفوذ مواد جامد به درون بافت میوه بیشتر جلوگیری می‌کند بدون اینکه به دلیل ماهیت آبدوست از خروج آب جلوگیری کند و در نتیجه، اختلاف فشار اسمزی حفظ می‌گردد و آب بیشتری خارج می‌شود. اما تغییرات غلظت اسیدآسکوربیک در غلظت‌های پایین تا متوسط کربوکیسی متیل سلولز، تأثیر معنی‌داری بر میزان آبگیری اسمزی ندارد.

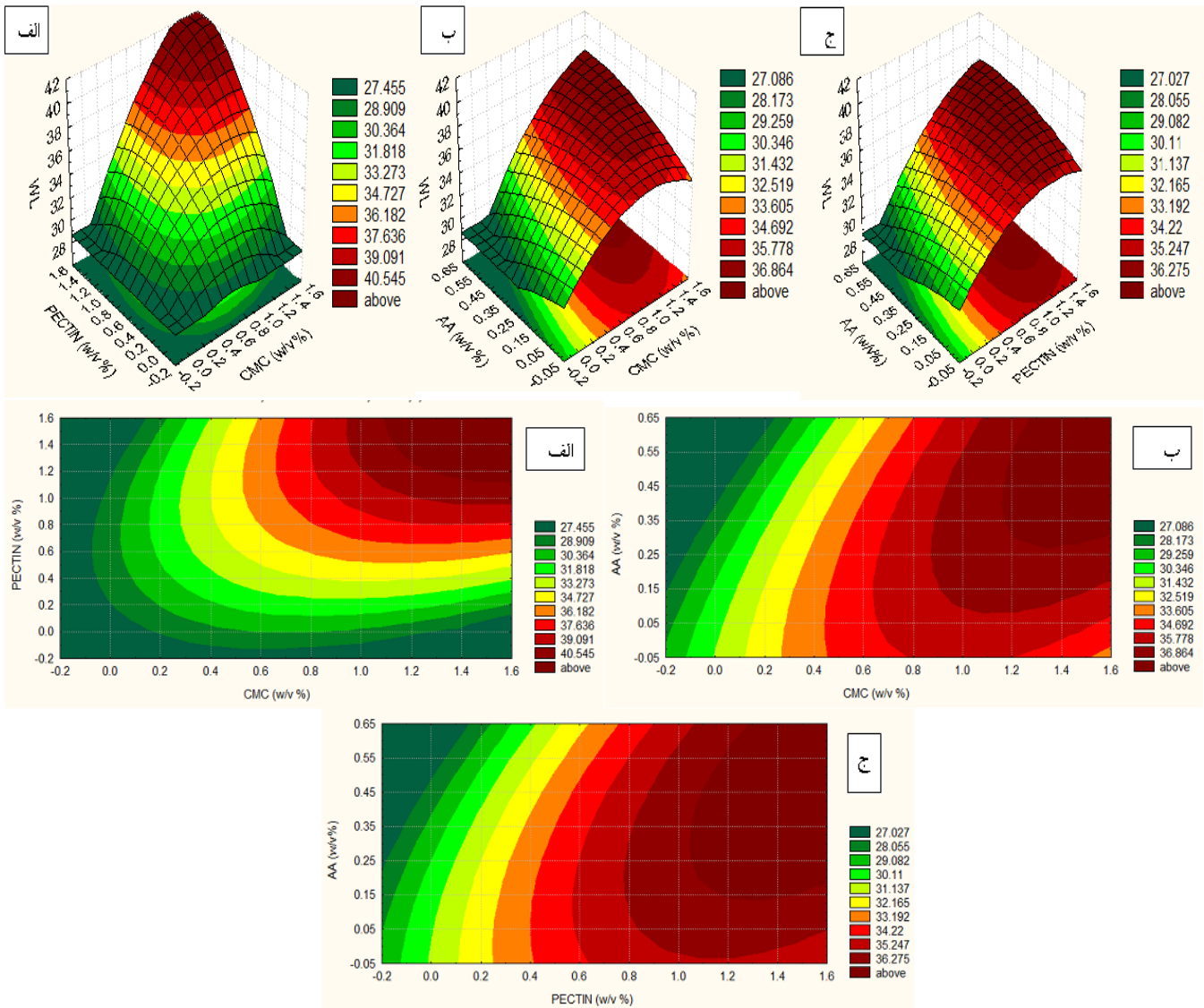
شکل ۱- ج، تأثیر سطوح مختلف غلظت پکتین و اسیدآسکوربیک را در نقطه مرکزی از غلظت کربوکیسی متیل- سلولز بر روی میزان آبگیری اسمزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثر متقابل پکتین و اسید اسکوربیک همانند اثر متقابل کربوکیسی متیل سلولز و اسید اسکوربیک می‌باشد. مطابق مدل RSM، غلظت‌های بهینه کربوکیسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک در محلول پوشش‌دهنده، برای حصول حداکثر آبگیری اسمزی (WL) به ترتیب ۰/۸۴، ۱/۶۸ و ۰/۸۴ (W/V) بودند.

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس براساس WL

p	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	ضرایب رگرسیون	منبع تغییرات
*.۰/۰۳	۶/۴۸	۸۲/۸۲	۸۲/۸۲	۱	۵/۱۵	X _۱
*.۰/۰۴	۵/۶۳	۷۱/۹۵	۷۱/۹۵	۱	۲/۲۹	X _۲
.۰/۷۳	.۰/۱۲	۱/۵۷	۱/۵۷	۱	-۵/۶۵	X _۳
.۰/۳۲	۱/۰۸	۱۳/۸۲	۱۳/۸۲	۱	-۱/۰۴	X _۱ ^۲
.۰/۲۷	۱/۳۵	۱۷/۳۳	۱۷/۳۳	۱	۷/۹۶	X _۱ X _۲
.۰/۵۴	.۰/۳۹	۵/۰۳	۵/۰۳	۱	۱۰/۵۴	X _۱ X _۳
.۰/۳۸	.۰/۸۵	۱۰/۹۶	۱۰/۹۶	۱	-۵/۰۳	X _۲ ^۲
.۰/۶۷	.۰/۱۸	۲/۳۴	۲/۳۴	۱	۷/۱۹	X _۲ X _۳
.۰/۶۲	.۰/۲۵	۳/۲۴	۳/۲۴	۱	-۰/۵۰	X _۳ ^۲
*.۰/۰۰۴۸	۱/۷۵	۲۲/۴۴	۲۰۱/۹۶	۹	-	مدل
*.۰/۰۴	۴/۰۸	۱۱/۵۲	۱۵۶/۳۴	۳	-	اثر خطی
.۰/۶۶	.۰/۵۴	۶/۹۶	۲۰/۹۰	۳	-	اثر درجه دوم
.۰/۶۰	.۰/۶۴	۸/۲۳	۲۴/۷۱	۳	-	اثر متقابل
	-	۱۲/۷۶	۱۰۲/۱۰	۸	-	باقی مانده
.۰/۶۲	.۰/۷۷	۱۱/۵۰	۵۷/۵۳	۵	-	عدم برازش
-	-	۱۴/۸۵	۴۴/۵۶	۳	-	خطای
-	-	-	۳۰۴/۰۷	۱۷	-	خالص
-	-	-	-	-	-	کل

R²= ۶۶/۴۲ R²_{adj}= ۵۰/۶۴ CV=۱۰/۴۰ ،

* نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ** نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱٪ است.



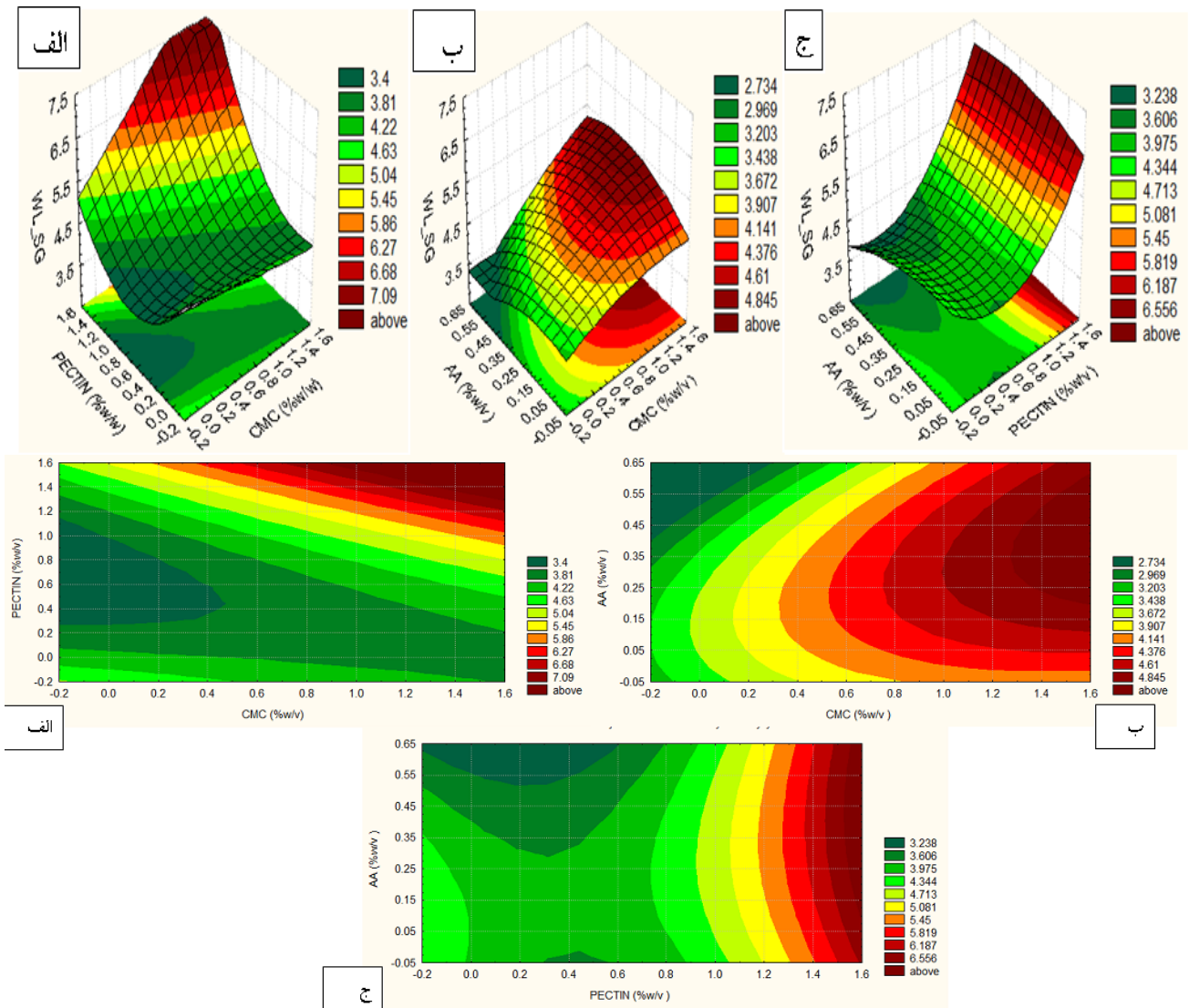
شکل ۱- نمودار سطح پاسخ و کنترل‌تأثیر سطوح مختلف غلظت کربوکسی‌متیل سلولوز و پکتین (الف)، غلظت کربوکسی‌متیل سلولوز و اسیدآسکوربیک (ب) و غلظت پکتین و اسیدآسکوربیک (ج) روی میزان آجگیری اسمزی

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس بر اساس WL/SG

p	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	ضرایب رگرسیون	منبع تغییرات
*۰/۰۱۱	۱۰/۸۱	۲/۸۷	۲/۸۷	۱	-۰/۷۳	X _۱
**۰/۰۰۰	۲۹/۷۲	۷/۹۰	۷/۹۰	۱	-۲/۸۳	X _۲
۰/۶۸۲	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۱	-۱/۱۱	X _۳
۰/۹۶۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱	-۰/۰۳	X _۱ ^۲
۰/۱۴۲	۲/۶۴	۰/۷۰	۰/۷۰	۱	۱/۶۰	X _۱ X _۲
۰/۴۷۸	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۱۴	۱	۱/۸۰	X _۱ X _۳
*۰/۰۳۶	۶/۲۴	۱/۶۶	۱/۶۶	۱	۱/۹۵	X _۲ ^۲
۰/۵۸۲	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۱	۱/۳۸	X _۲ X _۳
۰/۵۷۱	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۰۹	۱	-۲/۷۹	X _۳ ^۲
*۰/۰۱۰۸	۵/۷۶	۱/۵۳	۱۳/۷۹	۹	-	مدل
**۰/۰۰۱	۱۳/۵۷	۳/۶۰	۱۰/۸۲	۳	-	اثر خطی
						اثر درجه
۰/۱۲۹	۲/۵۴	۰/۶۷	۲/۰۲	۳	-	دوم
۰/۳۷۷	۱/۱۷	۰/۳۱	۰/۹۳	۳	-	اثر متقابل
-	-	۰/۲۶	۲/۱۲	۸	-	باقی مانده
۰/۲۷۱	۲/۲۲	۰/۳۳	۱/۶۷	۵	-	عدم برازش
						خطای
-	-	۰/۱۵	۰/۴۵	۳	-	خالص
-	-	-	۱۵/۹۲	۱۷	-	کل

$$R^2=۸۶/۶۴ \quad R^2_{adj}=۷۱/۶۱ \quad CV=۱۲/۲۵$$

* نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و ** نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱٪ است.



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ و کنترل تأثیر سطوح مختلف غلظت پکتین و کربوکسی متیل سلولز (الف)، غلظت کربوکسی متیل سلولز و اسید آسکوربیک (ب) و غلظت پکتین و اسید آسکوربیک (ج) روی میزان ضریب کارایی آبگیری اسمزی

شکل ۲-ب، تأثیر سطوح مختلف غلظت کربوکسی متیل سلولز و اسیدآسکوربیک را در نقطه مرکزی از غلظت پکتین بر روی میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود، سطح محدب ایجاد شده تأثیر درجه دو اسیدآسکوربیک بر ضریب کارایی آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد و در مقادیر وسط از غلظت اسیدآسکوربیک (۰/۲۵ تا ۰/۴۵)، WL/SG در بیشترین مقدار است در حالی که غلظت کربوکسی متیل سلولز به صورت خطی تأثیرگذار است و با افزایش غلظت آن، ضریب کارایی آبیگری اسمزی هم افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط خین و همکاران (۹) و لوینکو و همکاران (۱۲) مطابقت دارد. خین و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که کارایی آبیگری بهتر برای سیب‌زمینی، در نمونه‌های پوشش داده شده (شامل پکتین کم‌استر و سدیم آلزینات) بدست می‌آید (۹). هم چنین لوینکو و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعات خود پی بردند که پوشش نشاسته، کارایی آبیگری اسمزی هویج را در هر دو محلول اسمزی ساکارز و ملاس افزایش می‌دهد (۱۲).

شکل ۲-ج، تأثیر سطوح مختلف پکتین و اسیدآسکوربیک را در نقطه مرکزی از غلظت کربوکسی متیل سلولز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود با افزایش پکتین، میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی هم افزایش می‌یابد و این تأثیر بصورت درجه دو می‌باشد. در حالیکه غلظت اسیدآسکوربیک تأثیر معنی‌داری بر میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی ندارد. مقادیر بهینه فرمولاسیون محلول پوشش‌دهی حاصل از RSM برای حصول حداکثر ضریب کارایی آبیگری اسمزی، برای کربوکسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک به ترتیب ۱/۴۸، ۰/۵۸ و ۱/۴۸ (W/V) بودند.

۴- نتیجه گیری

روش سطح پاسخ به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون محلول پوشش‌های خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک (به عنوان پیش تیمار آبیگری اسمزی)، بر اساس حداکثر میزان آبیگری اسمزی و همچنین بر اساس حداکثر ضریب کارایی آبیگری اسمزی در خشک کردن اسمزی میوه "به" مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های چند جمله‌ای مرتبه اول و دوم برای متغیرهای پاسخ، از نظر آماری معنی‌دار شدند.

نمونه (۱۲) مشاهده شد. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی در مرحله بهینه‌سازی پوشش‌دهی در جدول ۵ نشان داده شده است.

مقادیر P برای مدل ($P < 0.05$) و برای عدم تطابق داده‌ها با مدل^۱ یا همان فقدان برازش (۰/۲۷) تأییدی بر تطابق خوب مدل با داده‌های آزمایشی دارد. هم چنین مقدار عددی ضریب تبیین R^2 برای میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی ۸۶/۶۴ بود که نشان دهنده میزان انحراف داده‌ها از مدل رگرسیون می‌باشد (۱۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل رگرسیونی توانسته رابطه بین متغیرهای مستقل (کربوکسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک) و متغیر وابسته (میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی) را نشان داده و پیش‌بینی کند.

مدل خلاصه شده به دست آمده برای پیش‌بینی تأثیر میزان کربوکسی متیل سلولز، پکتین و اسیدآسکوربیک بر میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی بعد از حذف عوامل غیرمعنی‌دار به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = 4.48 - 0.73X_1 - 2.83X_2 + 1.95X_2^2$$

هم‌چنان که در جدول ۵ مشهود است، اثر خطی و درجه دو اجزای مدل X_1 و X_2^2 ، ($P < 0.05$)، X_2 ، ($P < 0.01$) معنی‌دار می‌باشند. به عبارت دیگر کربوکسی متیل سلولز به صورت خطی و پکتین به صورت خطی و درجه دو روی میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی موثر است در حالی که اسیدآسکوربیک تأثیر معنی‌داری روی میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی ندارد.

برای نمایش تغییرات میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی با تغییرات متغیرهای مستقل، سه منحنی سطح پاسخ سه‌بعدی که در آن متغیر وابسته (میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی) در مقابل دو متغیر مستقل، در مقادیر مرکزی متغیر سوم، ترسیم شدند. شکل ۲-الف تأثیر سطوح مختلف کربوکسی متیل سلولز و پکتین را در نقطه مرکزی از غلظت اسیدآسکوربیک بر روی میزان ضریب کارایی آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد. شکل نمودار بصورت لبه بالا رونده است. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود، تأثیر پکتین بر WL/SG بصورت درجه ۲ و تأثیر کربوکسی متیل سلولز بصورت خطی است و افزایش هر ۲ سبب افزایش WL/SG می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج محققان قبلی، حداد خداپرست و همکاران (۳)، Lazaridis و همکاران (۱۱) مطابقت دارد.

¹Lack of fit

9- Khin, M. M., Zhou, W. O. and Perera, C. 2006. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77: 84-95.

10- Khin, M. M., Zhou, W. and Yeo, S. Y. 2007. Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by using maltodextrin as the coating material and their textural properties. *Journal of Food Engineering*, 81: 514-522.

11-Lazarides, H. N., Mitrakas, G. E. and Matsos, K. I. 2007. Edible coating and counter-current product/solution contacting: A novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model system. *Journal of Food Engineering*, 82: 171-177.

12- Ljubinko, B., Levic, G. Koprivca, N., Nevena, M., Misljenovic, B., Filipcev, V., Olivera, D. and Tatiana, A. 2008. Effect of starch as an edible coating material on the process of osmotic dehydration of carrot in sucrose solution and sugar beet molasses. *Journal of Food Engineering*, 39: 29-36.

13- Matuska, M., Andrzej, L. and Harris, N. 2006. On the use of edible coatings to monitor osmotic medium. *Journal of Food Engineering*, 30: 61-74.

14- Myers, R. H. and Montgomery, D. C. 2002. Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments. John Wiley and sons, Inc. New York.

15-Noshad, M. and Mohebbi, M. 2011. Multi-Objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology, *Food Bioprocess Technology*, In Press.

16- Pisalkar, P. S., Jain, N. K. and Jain, S. K. 2011. Osmo-air drying of aloe vera gel cubes, *Journal of Food Science Technology*, 48: 183-189.

17-Torreggiani, D. and Bertolo, G. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effect. *Journal of Food Engineering*, 49: 247-25.

فرمولاسیون بهینه محلول پوشش دهی حاصل از مدل درجه دوم RSM برای حصول حداکثر ضریب کارایی آبیگری اسمزی میوه "به" بصورت کربوکسی متیل سلولوز (۱/۴۸)، پکتین (۱/۴۸) و اسید آسکوربیک (۰/۵۸) درصد وزنی - حجمی به دست آمد. در ضمن نتایج بهینه سازی فرمولاسیون محلول پوشش دهی حاصل از مدل RSM برای حصول حداکثر آبیگری (WL) شامل کربوکسی متیل سلولوز (۰/۸۴)، پکتین (۱/۶۸) و اسید آسکوربیک (۰/۸۴) درصد وزنی - حجمی بود.

۵- منابع

۱- اکبریان، م.، قنبرزاده، ب.، صوتی، م. و دهقان نیا، ج. ۱۳۹۱. بهینه سازی فرمولاسیون پوشش های خوراکی و محلول های اسمزی در آبیگری اسمزی و خشک کردن میوه "به" توسط روش سطح پاسخ، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی، علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، دانشکده ی کشاورزی.

۲- ایرانی، م.، شفافی زنونیان، م. و توکلی پور، ح. ۱۳۸۹. بررسی پروفایل انتقال جرم در فرایند خشک کردن اسمزی میوه به، مجله علوم و فناوری غذایی، ۶۵-۷۵.

۳- حداد خداپرست، م.، جلائی، ف. ف. و فرقانی، م. ۱۳۸۷. بررسی امکان استفاده از پکتین، کربوکسین سلولوز و نشاسته در فرایند خشک کردن اسمزی سیب و تعیین برخی از عوامل مؤثر، مجله همین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ۷-۱.

۴- سراجی، الف.، قنبرزاده، ب.، صوتی، م. و اسحاقی، م. ۱۳۸۹. اثر پوشش خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولوز - اسید اسکوربیک در خشک کردن اسمزی کدو سبز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ورامین، دانشکده کشاورزی.

۵- فاطمی، ح. ۱۳۸۰. شیمی مواد غذایی، انتشارات شرکت سهامی انتشار، ۱، صفحات ۲۴۶-۲۴۵.

۶- قنبرزاده، ب. ۱۳۸۸. بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر و خوراکی در بسته بندی مواد غذایی و دارویی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صفحه ۳۰۳.

7-Baldwin, E. A. 2006. Use of edible coating to preserve pecans at room temperature. *Food Research International*, 41:188-192.

8-Jalaei, F., Fazeli, A., Fatemian, H. and Tavakolipour, H. 2010. Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Journal of Food and Bioprocess Technology*, 89: 367-374.