

بررسی پروفایل انتقال جرم در فرآیند خشک کردن اسمزی میوهی به

مهدی ایرانی^۱، مسعود شفافی زنونیان^{۲*}، حمید توکلی پور^۲

^۱ دانش آموخته ی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

^۲ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، گروه علوم و صنایع غذایی ، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹ / ۸ / ۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹ / ۱۰ / ۱۶

چکیده

در این پژوهش ، خشک کردن اسمزی میوهی به در محلول اسمزی ساکارز با غلظت های ۵۰ ، ۶۰ و ۷۰٪ وزنی - وزنی و دماهای ۲۵ و ۷۵ درجهی سانتیگراد و در نسبت های وزنی ۱:۵ و ۱:۱۰ (میوه به به محلول اسمزی) مورد بررسی قرار گرفت . مقادیر دفع آب ، جذب قند و محتوای رطوبتی برای هر غلظت ، دما و نسبت وزنی در طی مدت زمان ۸ ساعت ، محاسبه شد. با استفاده از مدل پیشنهادی آزواری ، مقادیر دفع آب و جذب قند تعادلی و ضرایب ثابت تعیین گردید. آنالیز آماری ویژگی های اندازه گیری شده ی نمونه های به با استفاده از طرح بلوک و در قالب فاکتوریل انجام شد.

واژه های کلیدی : میوهی به ، خشک کردن اسمزی ، دفع آب تعادلی ، جذب قند تعادلی.

* مسوول مکاتبه: mshafafiz@gmail.com

نیروی محرکه‌ی لازم برای خروج آب از ماده غذایی ایجاد می‌گردد.

از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی که در حین خشک‌شدن رخ می‌دهد انتقال جرم یعنی دفع آب و جذب قند می‌باشد. پان و همکارانش (۲۰۰۳) خشک کردن اسمزی میوه‌ی کدو را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که جذب قند و دفع آب تا غلظت ۵۰٪ وزنی/ وزنی ساکارز افزایش یافته و افزایش بیش تر غلظت محلول اسمزی تأثیری بر جذب قند و دفع آب نداشت که این مورد به دلیل تشکیل یک لایه‌ی کریستاله‌ی قندی در سطح نمونه بود (۱۴). سگویا و همکارانش (۲۰۰۹) خشک کردن اسمزی آلورا را در محلول‌های مختلف اسمزی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که بهترین شرایط برای خشک‌کردن اسمزی آلورا استفاده از دمای ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد برای نمونه‌های پوست‌گیری شده بود که بالاترین تأثیر را روی دیفوزیون (نفوذ) داشته است (۱۰). عباس و همکارانش (۲۰۰۵) تأثیر دو عامل اسمزی مختلف یعنی ساکارز و شربت ذرت را بر خشک‌کردن اسمزی میوه‌ی انبه مورد مطالعه قرار دادند. در فشار اسمزی مشابه (۶۳۵ mmHg) مقادیر کاهش وزن، دفع آب، جذب قند به دست آمده در محلول اسمزی ساکارز نسبت به محلول اسمزی شربت ذرت بالاتر بود (۸). لومبارد و همکارانش (۲۰۰۷) گزارش کردند که خشک کردن اسمزی می‌تواند به عنوان یک پیش تیمار برای میوه‌های استوایی در جهت تأمین میوه‌های خشک‌شده با کیفیت بالا به کار رود. به این ترتیب که تأثیر خشک‌کردن اسمزی بر روی انتقال جرم آناناس مورد بررسی قرار گرفت. قطعات استوانه‌ای شکل به قطر ۲ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر در محلول‌های ساکارز با بریکس ۴۵، ۵۵ و ۶۵ در دماهای ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ سانتیگراد غوطه‌ور شدند. آزمایش‌ها در فشار اتمسفر و خلاء ۲۰۰ مگا بار در ۱۰ دقیقه اول انجام شدند. مشخص شد که استفاده از خلاء موجب سهولت در دفع آب به خصوص در بالاترین دما و غلظت گردید. از این گذشته، بازدهی از طریق خلاء بهبود پیدا کرد همان‌طور که دفع جرم در این نمونه‌ها کاهش یافت. دما بیش تر بر دفع آب مؤثر بود در حالی که غلظت بیش تر بر جذب قند مؤثر بود. مجموعه‌های نسبت بالا به پایین دفع آب و جذب قند نمونه‌های اولیه برای ارزیابی کیفیت انتخاب شدند (۱۲). بیچر و همکارانش (۲۰۰۹) بر روی

میوه‌ی به (*Cydonia oblonga*) دارای گوشت خشک و تردی است که طعمی ترش و تقریباً گس دارد. سرشار از ویتامین‌های A و B و املاح آهکی و تانن و منبع غنی از ویتامین C است و به دلیل فیبر زیادی که دارد، به سلامت دستگاه گوارش کمک می‌کند. با توجه به این ویژگی‌ها و نیاز به تولید فرآورده‌هایی با قابلیت ماندگاری بالا به منظور کاهش ضایعات محصولاتی، استفاده از روش خشک‌کردن اسمزی گامی مؤثر جهت جلوگیری از ضایعات و بررسی زمینه‌ی احداث واحدهای جنبی فرآوری می‌باشد. در طی خشک‌کردن ویژگی‌های مواد غذایی به دلیل انتقال و حرکت آب از بخش‌های داخلی به سطح ماده‌ی غذایی و به هوای اطراف دستخوش تغییراتی می‌شود. در عین حال تغییرات خارجی مواد غذایی به دلیل تغییرات درونی محصول است که مستقیماً به ساختار مواد غذایی خشک‌شده مربوط می‌باشد (۳) و به طور کلی سینتیک خشک‌کردن برای شرح مکانیسم ماکروسکوپی و میکروسکوپی انتقال جرم و حرارت طی خشک‌کردن به کار می‌رود. اندازه‌گیری‌های آنلاین طی فرآیند خشک کردن زمان‌بر و مشکل است و به دست آوردن مدل‌های سینتیک خشک‌کردن برای طراحی تجهیزات، بهینه‌سازی فرآیند و بهبود کیفیت محصول ضروری است (۱۱). هدف از مدل‌سازی انتخاب مناسب‌ترین روش خشک‌کردن و بهترین شرایط عملیاتی برای تولید محصول است (۲). هدف از این پژوهش مدل‌سازی سینتیک حذف آب و جذب مواد جامد میوه‌ی به و به دست آوردن مقادیر تعادلی حذف آب و جذب مواد جامد در غلظت‌ها و دماهای مختلف محلول اسمزی است.

۱-۱- خشک‌کردن اسمزی و تأثیر آن بر خواص فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی

خشک‌کردن اسمزی، فرآیندی است که به منظور خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی یا حیوانی بر اساس غوطه‌ور کردن ماده‌ی غذایی در یک محلول هیپرتونیک مناسب صورت می‌گیرد (۳، ۴، ۷ و ۱۵). در این فرآیند، دیواره‌ی سلول‌های ماده‌ی غذایی به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل کرده و به علت وجود گرادیان غلظت بین محلول اسمزی و مایعات داخل سلولی

۳-۲- تعیین جذب قند و دفع آب در فرآیند خشک کردن اسمزی

مقادیر جذب قند و دفع آب در نمونه‌های به اسمز شده در محلول‌های قندی با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه گردید:

$$WL \text{ or } SG = \frac{m_0 X_0^i - m_t X_t^i}{m_0} \quad (1)$$

در این رابطه m_0 و X_0 به ترتیب درصد ماده‌ی خشک نمونه و مقدار رطوبت در ابتدای فرآیند اسمز و m_t و X_t به ترتیب مقادیر درصد ماده‌ی خشک نمونه و رطوبت در زمان t در طی فرآیند اسمز است. زیر نویس t می‌تواند مربوط به مقدار جذب قند و یا مقدار دفع آب باشد.

۴-۲- تعیین میزان جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی

آزوارا و همکارانش (۱۹۹۲) معادلاتی دو پارامتری برای دفع آب و جذب قند پیشنهاد دادند که توسط آن الگوی انتقال جرم را بر اساس فرآیند کوتاه مدت اسمز به دست آورد. این مدل، قادر به پیش بینی مقادیر تعادلی دفع آب و جذب قند نیز هستند (۱۶). این معادله برای دفع آب به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$WL_t = \frac{S_1(WL_\infty)}{1+S_1 t} \quad (2)$$

WL_t = میانگین درصد حذف آب در زمان t ، WL_∞ = مقدار تعادلی درصد حذف آب، S_1 = ثابت وابسته به شدت نفوذ آب به بیرون از بافت به (Hour^{-1}) .

معادله‌ی فوق را می‌توان به صورت زیر به فرم خطی نوشت:

$$\frac{t}{WL_t} = \frac{1}{S_1(WL_\infty)} + \frac{t}{WL_\infty} \quad (3)$$

به طور مشابه، معادله‌ی ۳ و ۴ را می‌توان برای توصیف رفتار جذب مواد جامد به کار برد:

$$SG_t = \frac{S_2(SG_\infty)}{1+S_2 t} \quad (4)$$

SG_t = میانگین درصد جذب قند در زمان t ، SG_∞ = مقدار تعادلی درصد جذب مواد جامد و S_2 = ثابت وابسته به شدت نفوذ مواد جامد محلول اسمزی به درون بافت به (Hour^{-1}) .

$$\frac{t}{SG_t} = \frac{1}{S_2(SG_\infty)} + \frac{t}{SG_\infty} \quad (5)$$

با ترسیم مقادیر نسبت زمان به دفع آب در برابر زمان و همچنین نسبت زمان به جذب قند در برابر زمان خطوطی به دست می‌آید که از طریق محاسبه‌ی شیب و عرض از مبدا خطوط می‌توان مقادیر ثابت‌ها و جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی را محاسبه نمود.

خشک کردن اسمزی دانه‌ی انار مطالعه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که دفع آب در محلول ساکارز با بریکس ۵۵ نسبت به محلول گلوکز - ساکارز (۵۰:۵۰ w/w) و محلول گلوکز به ترتیب بیش تر بود. افزایش دما منجر به افزایش دفع آب، کاهش وزن، جذب قند و ضریب دیفوزیون گردید (۶).

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- آماده‌سازی نمونه

میوه‌ی به از فروشگاه محلی خریداری شد و در دمای ۱۰ درجه‌ی سانتیگراد تا لحظه‌ی آزمایش نگه داری گردید. مقدار رطوبت اولیه‌ی میوه‌ی به تازه با استفاده از آون در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتیگراد 1 ± 88 درصد (بر مبنای وزن مرطوب) تعیین گردید. در ابتدای هر آزمایش، میوه‌ی به شسته شده و با ابعاد $17 \times 17 \times 5$ میلی‌متر مکعب برش زده شد.

۲-۲- خشک کردن اسمزی

به منظور انجام فرآیند خشک کردن اسمزی سه محلول متفاوت اسمزی انتخاب شدند: محلول ۵۰٪ وزنی/وزنی، ۶۰٪ وزنی/وزنی و ۷۰٪ وزنی/وزنی ساکارز (مرک آلمان). ۲۵ قطعه نمونه‌ی میوه‌ی به توزین و به بشر ۱۰۰۰ میلی‌لیتری منتقل گردید. درجه حرارت‌های ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد و ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد برای انجام فرآیند اسمزی در نظر گرفته شد. به منظور کاهش اثر رقیق شدن محلول اسمزی توسط آب دفع شده از میوه‌ی به طی فرآیند اسمزی نسبت وزنی میوه‌ی به به محلول اسمزی در دو مقدار ۱:۵ و ۱:۱۰ تعیین گردید. این نسبت‌ها می‌توانستند نیروی رانش اسمزی حین فرآیند را به صورت موضعی کاهش دهند. زمان فرآیند اسمزی ۸ ساعت در نظر گرفته شد. دمای فرآیند اسمزی با استفاده از بن‌ماری (Memert، آلمان) و ترمومتر (Testo، ساخت آلمان با دقت ۰/۱) کنترل گردید. بعد از اتمام فرآیند اسمزی، آب اضافی سطح نمونه‌ها توسط کاغذ صافی گرفته شد. مقدار رطوبت و مواد جامد محلول در دمای 105°C به مدت ۲۴ ساعت آون-گذاری (بهداد، ایران) تعیین گردید. نمونه‌ها قبل و بعد از آون-گذاری به وسیله‌ی ترازو (AND با دقت ۰/۰۰۱ ساخت ژاپن) توزین گردید.

۲-۵- ارزیابی آماری داده‌ها

آنالیز آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌های به با استفاده از طرح بلوک و در قالب فاکتوریل انجام شد. متغیرها شامل دما در دو سطح (۲۵ و ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد) محلول اسمزی ساکارز در سه سطح (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد بریکس) و نسبت مواد جامد به مایع در دو سطح (۱:۵ و ۱:۱۰) بود. میانگین‌ها با استفاده از روش میانگین چند دامنه‌ای دانکن مقایسه گردید. برای آنالیز اطلاعات از نرم افزار ۱۶ SPSS استفاده شد.

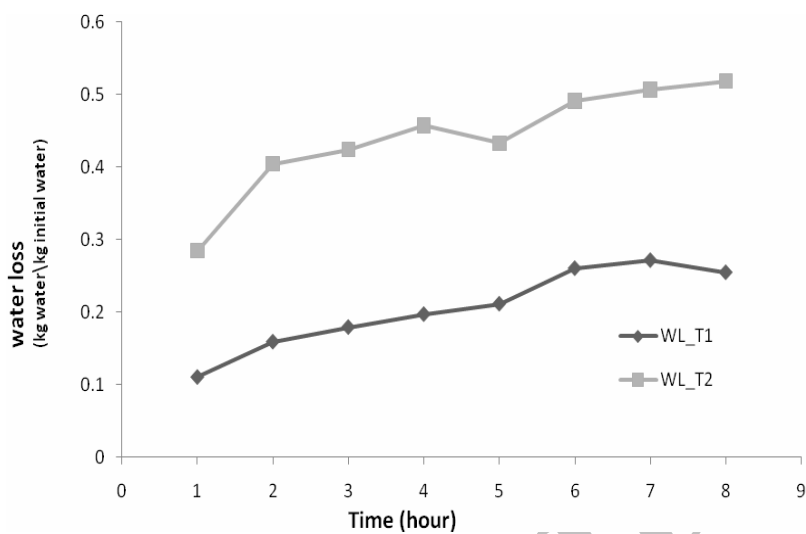
۳- نتایج و بحث

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود میزان دفع آب برای دو دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قابل مشاهده است. میزان دفع آب در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در طول زمان ۸ ساعت نسبت به میزان دفع آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر است، به طوری که میزان دفع آب در ۱ ساعت برای دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد حدود ۳ برابر بیشتر است. به طور کلی میزان دفع آب با افزایش طول زمان برای هر دو دما افزایش پیدا کرده است. از طرف دیگر میزان دفع آب در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد تا ساعت ۷ به صورت خطی رو به افزایش است و از ساعت ۷ تا ۸ کاهش پیدا کرده که این مورد می‌تواند به دلیل جذب رطوبت توسط نمونه برای تعادل حالت اسمزی بین نمونه و محلول ساکارز باشد. مقدار دفع آب در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا ساعت ۴ به صورت خطی افزایش پیدا کرده ولی در ساعت ۴ تا ۵ یک کاهش در مقدار دفع آب مشاهده می‌شود و مجدد یک افزایش در مقدار دفع آب از ساعت ۵ تا ۸ قابل مشاهده است، به طوری که بیشترین مقدار دفع آب در ساعت ۸ دیده می‌شود. با توجه به نتایج آماری به دست آمده از نرم افزار ۱۶ SPSS میزان دفع آب با افزایش دما افزایش پیدا کرده است و اختلاف کاملاً معنی‌داری بین دو دمای ۲۵ و ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در سطح آماری ۰/۰۵ وجود دارد. لومبارد و همکارانش (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که در فرآیند اسمزی با افزایش دما میزان دفع آب افزایش پیدا کرد (۱۲). افزایش دفع آب با افزایش دما باعث تأثیر روی نفوذپذیری غشاء در جهت نفوذپذیرتر شدن نسبت به خروج آب می‌شود (۹).

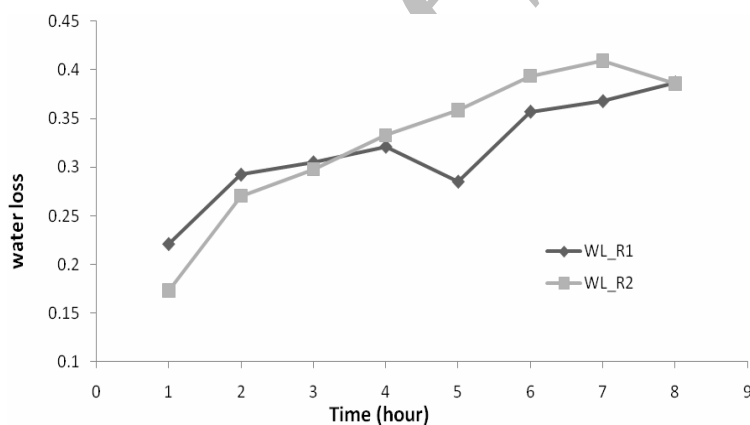
در شکل ۲ تغییرات دفع آب در دو نسبت مواد جامد به مایع ۱:۵ و ۱:۱۰ مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار دفع آب برای ۱:۵ تا ساعت ۴ افزایش پیدا کرده سپس در ساعت ۵ کاهش پیدا کرده و دوباره تا ساعت ۸ افزایش پیدا می‌کند. مقدار دفع آب در ۱:۱۰ با ۱:۵ متفاوت است، به طوری که مقدار دفع آب تا ساعت ۷ به طور خطی افزایش پیدا کرده و سپس در ساعت ۸ کاهش پیدا می‌کند. مقدار دفع آب برای ۱:۵ در ساعت‌های ۱ و ۲ بیشتر است نسبت به ۱:۱۰ در حالی که مقدار دفع آب برای ۱:۱۰ از ساعت ۴ تا ۸ بیش تر است نسبت به ۱:۵. در مجموع میزان دفع آب در طول زمان برای هر دو نسبت ۱:۵ و ۱:۱۰ افزایش پیدا کرده ولی اختلاف چندانی بین تأثیر دو نسبت روی میزان افزایش دفع آب مشاهده نمی‌شود و فقط روند آن‌ها تا حدودی متفاوت است که در بالا ذکر شد. با توجه به نتایج آماری به دست آمده اختلاف معنی‌داری بین دو نسبت مواد جامد به مایع ۱:۵ و ۱:۱۰ در میزان دفع آب در سطح آماری ۰/۰۵ وجود ندارد ولی اثر متقابل بین نسبت مواد جامد به مایع (R)، غلظت محلول اسمزی و دما برای تغییرات دفع آب معنی‌دار شده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مقدار دفع آب در طول زمان با افزایش غلظت محلول اسمزی افزایش پیدا می‌کند به طوری که میزان دفع آب برای $S3 > S2 > S1$ است اما با روندی متفاوت برای $S2$. برای غلظت ۵۰٪ در بین ساعات ۱ و ۲ میزان دفع آب با یک شیب تند افزایش پیدا می‌کند که به دلیل اختلاف اسمزی بین میوه و محلول اسمزی در ساعات اولیه می‌باشد. بین ساعت ۲ و ۳ میزان دفع آب تغییری نکرده ولی بعد از آن تا ساعت ۷ مقدار دفع آب به صورت خطی با شیب ملایم افزایش پیدا کرده است و در نهایت در ساعت ۸ مقدار دفع آب کمی کاهش پیدا کرده که می‌تواند به دلیل جذب رطوبت توسط نمونه‌ی به برای تعادل حالت اسمزی بین نمونه‌ی به و محلول ساکارز باشد.

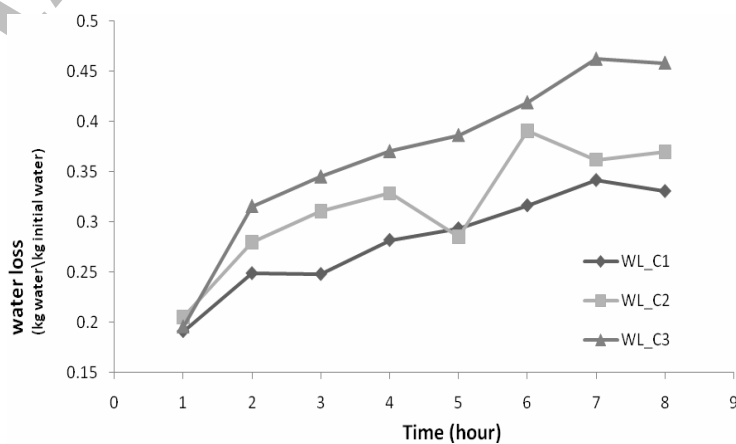
مقدار دفع آب به برای محلول غلظت ۶۰٪ هم مانند غلظت ۵۰٪ بین ساعات ۱ و ۲ با یک شیب تند افزایش پیدا کرده و سپس تا ساعت ۴ با یک شیب ملایم افزایش می‌یابد. در ساعت ۵ مقدار دفع آب کاهش پیدا کرده و سپس با یک شیب تند تا ساعت ۶ افزایش یافته و در آخر مقدار دفع آب تا ساعت ۸ با یک شیب کم کاهش پیدا کرد.



شکل ۱- تغییرات دفع آب در دو دمای $T_1 = 25$ و $T_2 = 75$ درجه‌ی سانتی‌گراد



شکل ۲- تغییرات دفع آب (WL) در دو نسبت مواد جامد به مایع $R_1 = 1:5$ (%w/w) و $R_2 = 1:10$ (%w/w)



شکل ۳- تأثیر غلظت محلول اسمزی ساکارز ($C_1 = 50\% \text{ BX}$, $C_2 = 60\% \text{ BX}$, $C_3 = 70\% \text{ BX}$) بر تغییرات دفع آب (WL)

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود مقدار جذب قند برای هر دو نسبت ۱:۵ و ۱:۱۰ در طی گذشت زمان افزایش پیدا کرده است، ولی روند این افزایش برای هر کدام از نسبت‌ها متفاوت است. به طوری که در طی ساعات ۱ تا ۴ مقدار جذب قند برای هر دو نسبت به یک شکل و تقریباً با یک شیب برابر افزایش پیدا کرده است ولی از آن به بعد تا زمان ۸ (ساعت) روند تغییر کرده و در ساعت ۸ میزان جذب قند برای هر دو نسبت بر هم منطبق بود. مقدار جذب قند نسبت ۱:۱۰ در بین ساعات ۴ و ۵ کاهش پیدا کرده و سپس با یک شیب خیلی کم تا ساعت ۷ افزایش پیدا می‌کند و بعد از آن با یک شیب نسبتاً زیاد تا ساعت ۸ افزایش پیدا می‌کند به طوری که مقدار جذب قند آن با مقدار جذب قند در نسبت ۱:۵ تقریباً برابر می‌شود. در کل میزان افزایش جذب قند برای دو نسبت ۱:۵ و ۱:۱۰ در طول زمان تفاوت چندانی نشان ندادند. از طرف دیگر، با توجه به نتایج آماری به دست آمده اختلاف معنی‌داری بین دو نسبت ۱:۵ و ۱:۱۰ روی تغییرات جذب قند در سطح آماری ۰/۰۵ وجود ندارد.

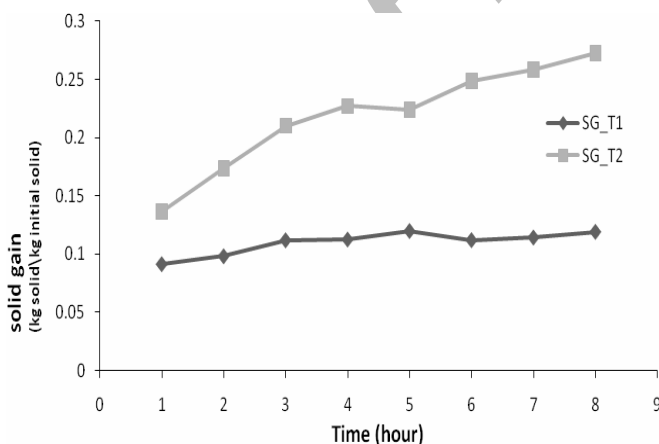
مطابق با شکل ۶ میزان جذب قند با افزایش غلظت محلول اسمزی افزایش پیدا کرده است. میزان جذب قند برای غلظت ۷۰٪ با افزایش زمان تا ساعت ۶ با شیب نسبتاً تندی افزایش پیدا کرده ولی در ساعت ۷ با شیب نسبتاً تندی کاهش پیدا کرده و در ادامه تا زمان ۸ با همان شیب قبلی افزایش پیدا می‌کند. برای غلظت ۶۰٪ مقدار جذب قند تا ساعت ۴ با شیب نسبتاً تندی افزایش پیدا می‌کند سپس روند تغییر کرده و مقدار جذب قند در ساعت ۵ کاهش می‌یابد ولی در ادامه تا ساعت ۸ افزایش پیدا می‌کند. مقدار جذب قند در غلظت ۶۰٪ با مقدار جذب قند در غلظت ۷۰٪ برابر بود. مقدار جذب قند برای غلظت ۵۰٪ تا ساعت ۳ با یک شیب نسبتاً تند افزایش یافته ولی از آن به بعد تا ساعت ۵ شیب کاهش پیدا کرده و در نهایت در ساعت ۶ مقدار جذب قند کاهش یافته، دوباره از ساعت ۶ تا ۸ میزان جذب قند با شیب نسبتاً تندی افزایش پیدا کرده است. مطابق نتایج آماری به دست آمده اختلاف کاملاً معنی‌داری بین غلظت‌های محلول اسمزی روی تغییرات جذب قند در سطح آماری ۰/۰۵ وجود دارد، همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده شد با افزایش غلظت اسمزی مقدار جذب قند افزایش پیدا کرده است که دلیل آن افزایش نیروی اسمزی با افزایش غلظت محلول اسمزی

میزان دفع آب برای غلظت ۷۰٪ همانند دو غلظت قبلی بین ساعات ۱ و ۲ با یک شیب تند افزایش پیدا کرده که دلیل آن در بالا گفته شد، سپس مقدار دفع آب در طی زمان به طور خطی تا ساعت ۷ افزایش پیدا کرده و در نهایت در ساعت ۸ یک کاهش در مقدار دفع آب مشاهده شد که می‌تواند به دلیل جذب رطوبت توسط نمونه‌ی به برای تعادل حالت اسمزی بین نمونه‌ی به و محلول ساکارز باشد. با توجه به نتایج آماری به دست آمده بین غلظت‌های ۵۰ و ۶۰ و ۷۰ درصد بریکس محلول ساکارز روی تغییرات دفع آب اختلاف کاملاً معنی‌داری در سطح آماری ۰/۰۵ وجود دارد، به این ترتیب که با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان دفع آب بیش تر شده که به دلیل افزایش نیروی اسمزی می‌باشد. لومبارد و همکارانش (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که در فرآیند اسمزی با افزایش غلظت میزان دفع آب افزایش پیدا کرد (۱۲).

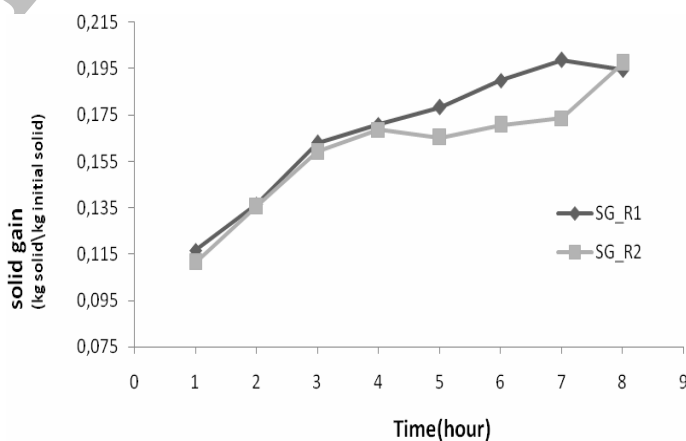
در شکل ۴ تغییرات جذب قند در دو دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد و ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد قابل مشاهده است، به طوری که با افزایش دما از ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد به ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد مقدار جذب قند افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش طول زمان تا ساعت ۸ مقدار جذب قند برای هر دو دما افزایش پیدا کرده با این تفاوت که این افزایش برای ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد با شیب تندتری نسبت به ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد اتفاق افتاده است. روند افزایش مقدار جذب قند در ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد به این ترتیب است که از ساعت ۱ تا ساعت ۴ با شیب نسبتاً تندی مقدار جذب قند افزایش پیدا کرده سپس در بین ساعت ۴ تا ۵ ثابت باقی مانده و سپس از ساعت ۵ تا ۸ با همان شیب قبلی افزایش پیدا کرده است. با توجه به نتایج آماری به دست آمده اختلاف معنی‌داری بین دو دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد و ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد روی تغییرات جذب قند در سطح آماری ۰/۰۵ مشاهده می‌شود، به طوری که با افزایش دما مقدار جذب قند افزایش پیدا می‌کند. بیچر و همکارانش (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش دما میزان دفع قند در فرآیند اسمزی افزایش پیدا می‌کند که این موضوع مرتبط است با این مورد که افزایش دما باعث آسیب جبران ناپذیر و کاهش گزینش‌پذیری غشاء سلولی می‌شود و در نتیجه جذب قند با افزایش دما افزایش پیدا می‌کند (۶).

تفسیر نمود که به دلیل حرارت دهی محلول اسمزی مقداری از آب تبخیر شده و در نتیجه آب محلول کاهش پیدا کرده و به دلیل فشار اسمزی موجود محلول مقدار بیش تری آب از میوه‌ی به دریافت کرده تا به حالت تعادل برسد. در مورد ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد مشاهده می‌شود که مقدار رطوبت در طی زمان ۸ ساعت با شیب کمی کاهش پیدا کرده به طوری که از مقدار ۰/۷۹ در ۱ ساعت به مقدار ۰/۷۳ (ساعت) کاهش پیدا کرده است. با توجه به نتایج آماری به دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین دو دمای ۲۵ و ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد بر روی تغییرات محتوای رطوبتی در سطح آماری ۰/۰۵ مشاهده می‌شود. دلیل آن افزایش ضریب انتشار با افزایش دما و در نهایت افزایش انتقال جرم که منجر به کاهش بیش تر محتوای رطوبتی می‌شود (۶).

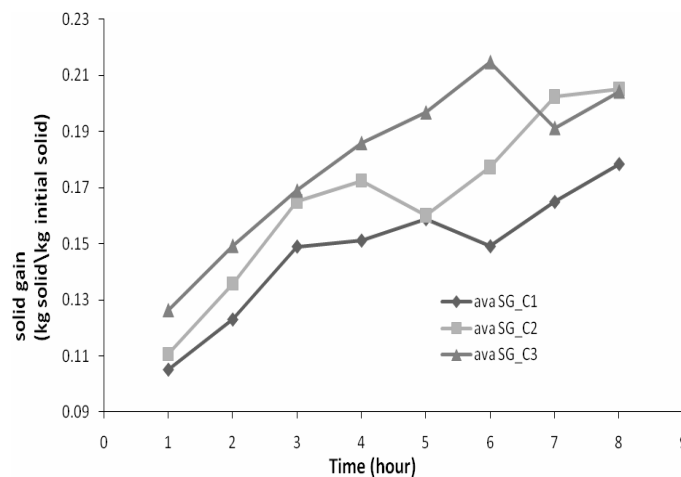
است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود مقدار رطوبت در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد نسبت به دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد بیش تر کاهش پیدا کرده، به این دلیل که در دمای بالاتر رطوبت با سرعت بیش تری از میوه‌ی به خارج می‌شود. به طور کلی در هر دو دما در طی گذشت زمان مقدار رطوبت کاهش پیدا کرده است ولی شیب کاهش رطوبت برای ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد بسیار بیش تر بوده نسبت به دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد که با شیب بسیار کمی رطوبت در آن کاهش یافته است. در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتیگراد مقدار رطوبت از ساعت ۱ تا ۴ با شیب زیادی کاهش پیدا کرده ولی در در زمان ۵ (ساعت) میزان رطوبت افزایش پیدا کرده که به دلیل نیروی اسمزی، میوه دوباره از محیط آب جذب کرده است تا به حالت تعادل برسد، بعد از آن، دوباره میزان رطوبت با شیب مناسبی تا ساعت ۸ کاهش پیدا کرده که این مورد را چنین می‌توان



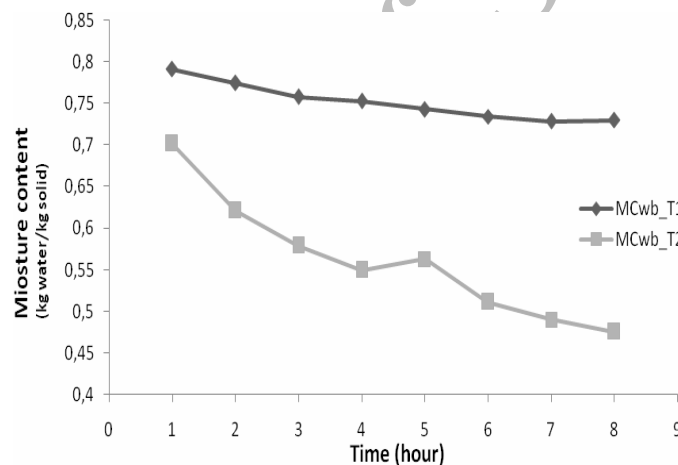
شکل ۴- تغییرات مقدار جذب قند (SG) در دو دمای $T_1 = 25$ و $T_2 = 75$ درجه‌ی سانتیگراد



شکل ۵- تغییرات مقدار جذب قند (SG) در دو نسبت مواد جامد به مایع $R_1 = 1:5$ و $R_2 = 1:10$ (%w/w)



شکل ۶- تأثیر غلظت محلول اسمزی ساکارز (C1 = 50%, C2 = 60%, C3 = 70%) بر جذب قند (SG)



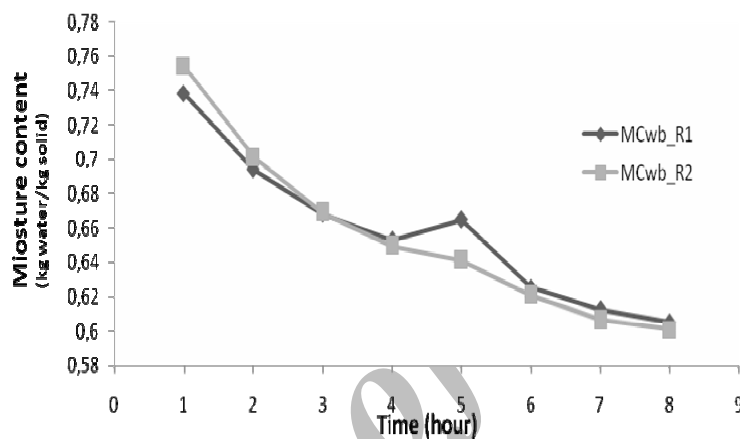
شکل ۷- تغییرات مقدار محتوای رطوبتی بر مبنای تر (MCwb) در دو دمای $T_1 = 25$ و $T_2 = 75$ درجه سانتی‌گراد

معنی‌دار است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود مقدار محتوای رطوبتی در طول زمان با افزایش غلظت محلول اسمزی کاهش پیدا می‌کند به طوری که میزان محتوای رطوبتی بر مبنای تر برای غلظت مطابق رابطه مقابل است $S_1 > S_2 > S_3$. طبق شکل ۹ میزان رطوبت در غلظت ۷۰٪ بیش‌تر از بقیه‌ی غلظت‌ها کاهش پیدا کرده و مقدار محتوای رطوبتی با یک شیب تند کاهش یافته است. در شکل ۹ روند غلظت ۶۰٪ تا حدودی با غلظت ۷۰٪ و غلظت ۵۰٪ متفاوت است، به طوری که مقدار رطوبت از ساعت ۱ تا ۴ با شیب نسبتاً زیادی کاهش پیدا کرده ولی در ساعت ۵ یک افزایش در میزان رطوبت مشاهده می‌شود و دوباره تا ساعت ۸ مقدار رطوبت روند کاهشی دارد. در شکل

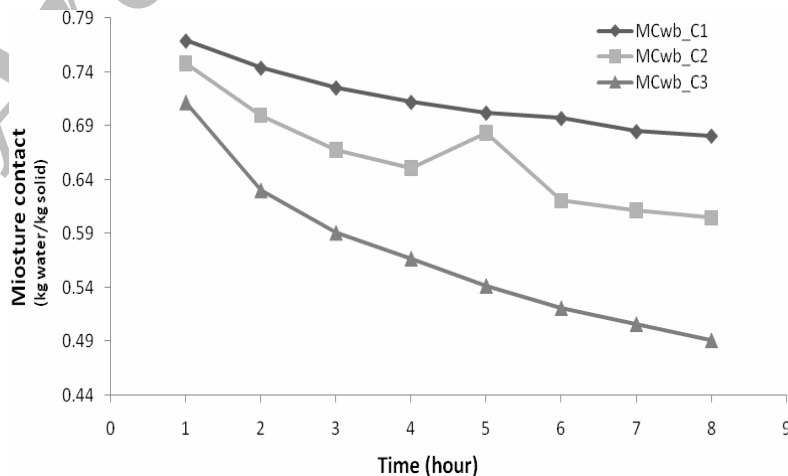
همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در هر دو نسبت مواد جامد به مایع ۱:۵ و مواد جامد به مایع ۱:۱۰ مقدار رطوبت در طول زمان ۸ ساعت کاهش پیدا کرده است. طبق شکل ۸ تفاوت چندانی بین نسبت مواد جامد به مایع ۱:۵ و مواد جامد به مایع ۱:۱۰ در کاهش مقدار محتوای رطوبتی مشاهده نمی‌شود و فقط نسبت مواد جامد به مایع ۱:۵ در ساعت ۵ افزایش رطوبت را نشان می‌دهد و بعد از آن دوباره تا ساعت ۸ مقدار رطوبت کاهش پیدا می‌کند. با توجه به نتایج آماری به دست آمده، اختلاف معنی‌داری بین دو نسبت مواد جامد به مایع در سطح آماری ۰/۰۵ وجود ندارد ولی اثر متقابل آن با دما و غلظت محلول اسمزی روی تغییرات محتوای رطوبتی از نظر آماری

۳-۱- تعیین میزان جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی
 از طریق معادله‌ی آزارا و همکارانش همان طور که پیش‌تر بیان شد با ترسیم مقادیر نسبت زمان به دفع آب در برابر زمان و همچنین نسبت زمان به جذب قند در برابر زمان خطوطی به دست می‌آید که از طریق محاسبه‌ی شیب و عرض‌ازمبدأ خطوط می‌توان مقادیر ثابت‌ها و جذب قند تعادلی و دفع آب تعادلی را محاسبه نمود (۱۶). این مقادیر در جدول زیر آمده است:

۹ غلظت ۰.۵٪ مقدار رطوبت در طی زمان کاهش پیدا می‌کند با این تفاوت که نسبت به دو غلظت دیگر شیب شکل بسیار کم تر است. با توجه به نتایج آماری به دست آمده، اختلاف آماری معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف محلول اسمزی روی تغییرات محتوای رطوبتی در سطح آماری ۰/۰۵ وجود دارد.



شکل ۸- تغییرات مقدار محتوای رطوبتی بر مبنای تر در دو نسبت مواد جامد به مایع مایع $R_1 = 1:5$ (%w/w) و $R_2 = 1:10$ (%w/w)



شکل ۹- تأثیر غلظت محلول اسمزی ساکارز ($C1 = 50\%$, $C2 = 60\%$, $C3 = 70\%$) بر تغییرات مقدار محتوای رطوبتی بر مبنای تر

جدول ۱- مقادیر S و WL_{∞} برای محلول اسمزی ساکارز در شرایط اسمزی مختلف

درجه حرارت (سانتیگراد)	نسبت جامد به مایع (وزنی / وزنی %)	غلظت محلول ساکارز (وزنی / وزنی %)	ضریب S (Hour ⁻¹)	دفع آب تعادلی (WL_{∞}) (آب اولیه Kg / آب Kg)
۲۵	۱:۵	۵۰	۳/۴۱۲۸۴۸	۰/۰۸۴۸۲۵
۲۵	۱:۵	۶۰	۱/۱۱۱۲۸۲	۰/۱۹۷۷۰۷
۲۵	۱:۵	۷۰	۶/۱۶۲۹۱۷	۰/۱۹۲۱۱۶
۲۵	۱:۱۰	۵۰	۳/۴۴۳۲۶۷	۰/۱۰۵۰۸۱
۲۵	۱:۱۰	۶۰	۱/۹۴۰۲۵۶	۰/۱۷۲۴۰۸
۲۵	۱:۱۰	۷۰	۳/۶۹۳۱۶۳	۰/۱۴۳۲۹۵
۷۵	۱:۵	۵۰	۰/۷۳۹۹۷۸	۰/۷۱۳۷۷۶
۷۵	۱:۵	۶۰	۰/۷۶۰۵۴۸	۰/۷۲۰۴۶۱
۷۵	۱:۵	۷۰	۱/۸۳۰۵۷۱	۰/۵۵۵۵۵۶
۷۵	۱:۱۰	۵۰	۰/۷۴۵۶۴۶	۰/۵۶۶۹۲۶
۷۵	۱:۱۰	۶۰	۱/۵۷۵۵۷۵	۰/۳۸۲۲۰۵
۵۷	۱:۱۰	۷۰	۱/۸۱۲۷۷۳	۰/۴۳۰۱۶۳

جدول ۲- مقادیر S و SG_{∞} برای محلول اسمزی ساکارز در شرایط اسمزی مختلف

درجه حرارت (سانتیگراد)	نسبت جامد به مایع (وزنی / وزنی %)	غلظت محلول ساکارز (وزنی / وزنی %)	ضریب S (Hour ⁻¹)	جذب قند تعادلی (SG_{∞}) (ماده جامد Kg / ماده جامد Kg) اولیه
۲۵	۱:۵	۵۰	۰/۴۷۴۲۸۴	۰/۲۵۱۱۳۶
۲۵	۱:۵	۶۰	۰/۶۶۰۲۱۶	۰/۲۰۹۵۳۴
۲۵	۱:۵	۷۰	۲/۱۵۸۴۰۱	۰/۱۹۲۱۱۶
۲۵	۱:۱۰	۵۰	۰/۹۷۹۸۳	۰/۱۲۴۰۰۹
۲۵	۱:۱۰	۶۰	۰/۸۳۰۸۷۲	۰/۱۵۱۰۱۶
۲۵	۱:۱۰	۷۰	۰/۴۶۵۴۸۴	۰/۲۶۶۹۷۳
۷۵	۱:۵	۵۰	۱/۹۷۱۱۳۵	۰/۱۵۶۲۸۷
۷۵	۱:۵	۶۰	۱/۷۴۰۰۶۸	۰/۱۸۱۹۲۷
۷۵	۱:۵	۷۰	۱/۵۳۰۳۷۳	۰/۲۲۶۱۷۳
۷۵	۱:۱۰	۵۰	۱/۰۴۴۸۴۳	۰/۲۳۲۶۱۸
۷۵	۱:۱۰	۶۰	۱/۹۵۱۹۵۵	۰/۱۷۶۸۲۲
۵۷	۱:۱۰	۷۰	۱/۲۵۵۳۴۱	۰/۲۵۷۴۷۳

جذب قند، دفع آب و محتوای رطوبتی به طور کاملاً معنی‌داری با افزایش غلظت و دمای اسمزی افزایش پیدا کردند و تأثیر دما از بقیه‌ی موارد بیش تر بود. با افزایش غلظت محلول اسمزی مقادیر جذب قند و دفع آب در طول زمان افزایش پیدا کرد و مقادیر محتوای رطوبتی در طول زمان کاهش پیدا کرد. به عنوان تحقیقات آتی می‌توان استفاده از محلول‌های اسمزی مختلف گلوکز، ساکارز، مانیتول، سوربیتول و نیز استفاده از ترکیب این قندها برای بررسی تأثیر آن‌ها روی فرآیند خشک‌کردن اسمزی، کاربرد پیش‌تیمار پالس‌الکتریک‌فیلد برای کاهش قدرت گزینش‌پذیری تراوایی غشاء سلولی و سهولت بیش تر در انتقال جرم، استفاده از ترکیب نمک با قندهای گلوکز، ساکارز، مانیتول، سوربیتول به عنوان محلول اسمزی، استفاده از پیش‌تیمار اولتراسونیک در فرآیند خشک‌کردن اسمزی اشاره کرد.

۵- منابع

- 8- El-Aouar, A. A., Azoubel, P. M., Barbosa, J. L. and Murr, F. E. X. 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya L.*). *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.
- 9- Fathi, M., Mohebbi, M. and Razavi, S. M. A. 2009. Application of Image Analysis and Artificial Neural Network to Predict Mass Transfer Kinetics and Color Changes of Osmotically Dehydrated Kiwifruit. *Food Bioprocess Technol*, DOI 10.1007/s11947-009-0222-y.
- 10- García-Segovia, P., Mognetti, C., Andrés-Bello, A. and Martínez-Monzó, J. 2010. Osmotic dehydration of Aloe vera (*Aloe barbadensis Miller*). *Journal of Food Engineering*, 97, 154-160.
- 11- Giri, S. K. and Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of food engineering* 78: 512-521.
- 12- Lombard, G. E., Oliveira, J. C., Fito, p. and Andre's, A. 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 85, 277-284
- 13- Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Pirone, B. N., Márquez, C. A. and De Michelis, A. 2007. Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models. *Journal of Food Engineering*, 79, 657-661.
- 14- Panyawong, S., Devahastin, S. 2007. Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor. *Journal of Food Engineering*, 78, 150-161.
- 15- Quevedo, R., Carlos, L., Aguilera, J. and Cadoche, L. 2002. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image texture analysis. *Journal of Food Engineering*, 53, 361-371.
- 16- Sutar, P. P. and Gupta, D. K. 2007. Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *Journal of food engineering*. 78: 90-97.
- 1- Abdullah, M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C. and Karim, A. A. 2004. The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food models. *Journal of Food Engineering*, 61, 125-135.
- 2- Arora, S., Shivhar, U. S. e., Ahmed, J. and Raghavan, G. S. V. 2003. Drying kinetics of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus florida* mushrooms. *Transactions of the ASAE* 46(3): 721-724.
- 3- Barat, J. M. and Fito, P. 2001. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, 49, 77-85.
- 4- Barbosa-Canovas, G. V. and Vega-Mercado, H. 1996. Dehydration of Foods. Chapman & Hall, New York, N. Y.
- 5- Barrera, C., Betoret, N. and Fito P. 2003. Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Journal of Food Engineering*, 65(1): 9-14.
- 6- Bchir, B., Besbes, S., Attia, H. and Blecker, C. 2009. Osmotic dehydration of pomegranate seeds: mass transfer kinetics and differential scanning calorimetry characterization. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2208-221.
- 7- Corzo, O. and Gomez, E. R. 2003. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food Engineering*, 64: 213-219.