



پیش بینی محتوی رطوبتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در فرآیند آب گیری مجدد اسلایس های به خشک شده با استفاده از پیش تیمار فراصوت-اسمز

محمد نوشاد¹، محبت محبتی²، فخری شهیدی³، سید علی مرتضوی³

1- دانشجوی دکترای مهندسی علوم و صنایع غذایی - دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی - دانشگاه فردوسی مشهد

3- استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی - دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

خشک کردن باعث ایجاد تغییراتی در ساختار و ترکیب بافت‌های گیاهی و در نتیجه عدم قابلیت برگشت به ویژگی های اولیه می‌شود. بنابراین می‌توان از میزان آبیگری مجدد به عنوان شاخصی از شدت اعمال فرایند و آسیب به بافت‌های غذایی استفاده نمود. در این پژوهش به بررسی پیش بینی محتوای رطوبتی اسلایس های به خشک شده با استفاده از پیش تیمار فراصوت-اسمز به صورت لحظه ای در طول فرایند آب گیری مجدد با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی پرداخته شده است. به منظور به دست آوردن داده های آزمایشگاهی، محتوای رطوبتی نمونه ها با گذشت زمان در سه سطح دمایی (70, 45, 25 درجه سانتی گراد) و در سه بار تکرار اندازه گیری شد. از شبکه ها با ساختار پرسپترون چند لایه با تابع TanAxon در لایه مخفی و روش آموزش لونیبرگ-مارکوات (ML) برای پیش بینی محتوای رطوبتی استفاده شد. معیار انتخاب بهترین شبکه بیشترین ضریب تبیین و کمترین مقدار متوسط مربع خطا (MSE) بود. در پیش بینی محتوی رطوبتی نمونه ها، شبکه سه لایه با ساختار 1-8-3 بهترین نتیجه را داد. مقادیر ضریب تبیین و MSE به ترتیب 0/987 و 0/011 می باشد. از شبکه به دست آمده می توان به عنوان کنترل کننده که قابلیت آموزش لحظه ای در طول فرایند آب گیری مجدد را دارد، استفاده نمود.

واژه های کلیدی: آب گیری مجدد، به، محتوای رطوبتی، شبکه عصبی

مقدمه

آبیگری مجدد یک فرایند پیچیده به منظور تعیین قابلیت مواد خشک شده در تجدید ویژگی‌های ماده غذایی اولیه می‌باشد. خشک کردن باعث ایجاد تغییراتی در ساختار و ترکیب بافت‌های گیاهی و در نتیجه عدم قابلیت برگشت به ویژگی های اولیه می‌شود. بنابراین می‌توان از میزان آبیگری مجدد به عنوان شاخصی از شدت اعمال فرایند و آسیب به بافت‌های غذایی استفاده نمود. آبیگری مجدد مواد خشک شده شامل دو پدیده همزمان انتقال جرم، یعنی جذب آب به درون ماده و خروج ذرات جامد از آن می‌باشد. روش‌های مختلفی برای اندازه گیری میزان آبیگری مجدد در منابع ذکر شده است. به عنوان مثال دمای آبیگری مجدد از دمای اتاق تا دمای جوش آب و یا زمان 2 دقیقه تا 24 ساعت و همچنین نسبت مواد جامد به آب از 1 به 5 تا 1 به 50 به منظور تعیین آبیگری مجدد استفاده شده است (فالاده و آبو، 2007؛ دویماز، 2004؛ لویکی، 1998).

فالاده و آبو (2007) میزان انتقال جرم طی خشک کردن و آبیگری مجدد را بر اساس مدل نفوذ فیک مدلسازی نموده، انرژی فعال سازی این دو فرایند را محاسبه کردند. این پژوهشگران گزارش نمودند ضریب نفوذ موثر طی خشک کردن بزرگتر از زمان آبیگری مجدد است. در صورتی که میزان انرژی فعال سازی طی آبیگری مجدد بزرگتر می‌باشد.

سینگ و همکاران (2008) ظرفیت آبیگری مجدد شاه بلوط خشک شده در خشک کن کابینتی در دماهای 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سانتی-گراد را اندازه گیری کردند و اظهار داشتند که با افزایش دما، سرعت خشک کردن شاه بلوط افزایش ولی قابلیت آبیگری مجدد کاهش می‌یابد و سرعت آبیگری وابسته به شرایط خشک کردن می‌باشد.

کانینگام و همکاران (2008) تاثیر دما و روش خشک کردن (روش هوای داغ و مایکروویو) را بر روی ظرفیت آبیگری مجدد سیب زمینی بررسی کردند. آبیگری مجدد در دماهای 20 تا 80 درجه سانتی گراد صورت گرفت و از قانون دوم فیک برای توصیف کینتیک آبیگری مجدد استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مایکروویو موجب تولید محصولی با تخلخل بالاتر و در نتیجه قابلیت آبیگری مجدد بیشتر می شود. اعمال فرایند آنزیم بری به مدت 5 دقیقه قبل خشک کردن نیز باعث بهبود ظرفیت آبیگری مجدد سیب زمینی می گردد. این محققان دریافتند که افزایش دما طی آبیگری مجدد تا 60 °C باعث افزایش سرعت این فرایند می شود.

بنابراین نسبت و میزان جذب مجدد آب توسط فراورده های خشک شده به عنوان یک عامل مهم برای ارزیابی کیفیت محصول استفاده می شود. محصولاتی که در شرایط مطلوب و کنترل شده خشک می شوند، با توجه به آسیب دیدگی کم، میزان جذب مجدد آب در آن ها نسبت به فراورده های خشک شده در شرایط نامناسب سریع تر می باشد.

بنابراین انتخاب روش مناسب برای خشک کردن و یا استفاده از پیش تیمارهای مناسب قبل از فرایند خشک کردن می تواند تا حدود بسیار زیادی سبب بهبودی ویژگی های کیفی محصول نهایی خشک شده شود. یکی از مهم ترین معیارها برای انتخاب روش خشک کردن، نوع ماده اولیه، ویژگی ها و کاربرد فراورده های خشک شده نهایی می باشد. استفاده از پیش تیمار اسمز، یکی از متداول ترین روش ها برای خشک کردن میوه و سبزی ها می باشد (آزوبل و همکاران، 2009؛ آنتونیو و همکاران، 2008).

اعمال پیش تیمار قبل از خشک کردن، با استفاده از امواج فراصوت شامل غوطه وری ماده غذایی در آب یا در یک فاز آبی هایپرتونیک¹ است. فرناندز و همکاران در سال های 2006، 2007، 2008 و 2009؛ محبی و همکاران در سال 2010، آزوبل و همکاران در سال 2010. استفاده از امواج فراصوت بعنوان پیش تیمار را قبل از خشک کردن با هوای داغ در مورد محصولات مختلف بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داده است که تغییرات ناشی از اعمال امواج فراصوت در نمونه های غوطه ور در آب نسبت به نمونه های غوطه ور در محلول ساکارز بسیار کمتر بوده است. نمونه هایی که در آب تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفته اند نسبت به نمونه هایی که در محلول اسمزی تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفته اند، در مدت زمان کمتری خشک شدند. همچنین نمونه های غوطه ور در محلول اسمزی که تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفته اند نسبت به نمونه هایی که فقط اسمز شده اند دیرتر خشک گردیدند، احتمالاً استفاده از امواج فراصوت در محلول اسمزی سبب اتصال و بهم پیوستن مواد جامد محلول در بافت میوه شده که در نتیجه سبب ایجاد مانعی، در برابر خروج رطوبت از بافت گردیده است.

به طور کلی برای مدل کردن پدیده های فیزیکی مانند مقدار محتوی رطوبتی محصولات کشاورزی دو روش وجود دارد، یک روش استنتاجی است، یعنی با استفاده از نظریه ها و فرمول های ریاضی نظیر قانون دوم فیک انجام می شود. روش دوم در مدل کردن پدیده های فیزیکی استفاده از روش های استقرایی است. در این روش مدل سازی به صورت مستقیم انجام می شود بدون این که از رابطه یا فرمولی در مدل سازی استفاده شود. مدل سازی به وسیله شبکه های عصبی مصنوعی جز روش های استقرایی (مستقیم) می باشد. در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته است مانند: محبی و همکاران (2010)، فتحی و همکاران (2009).

هدف از این پژوهش پیش بینی محتوای رطوبتی اسلایس های به خشک شده با استفاده از پیش تیمار فراصوت- اسمز به صورت لحظه ای در طول فرایند آب گیری مجدد با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد.

مواد و روش ها

در این مطالعه، میوه به مورد استفاده رقم نیشابور بود که از بازار مشهد تهیه گردید. به های مصرفی تا هنگام استفاده در 5-4 درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شدند. پس از پوست گیری، میوه ها به منظور جلوگیری از قهوه ای شدن در محلول 1 درصد متابی سولفیت سدیم به مدت 5 دقیقه غوطه ور شدند. سپس نمونه ها از محلول خارج شده، با استفاده از کاغذهای جاذب آب اضافی آن ها گرفته شد. بعد از این مرحله به ها توسط قالب به شکل اسلایس هایی به ضخامت 9 میلی متر و قطر 28 میلی متر برش داده شدند.

نمونه های تهیه شده درون آب مقطر غوطه ور شدند و با توجه به آزمایش های اولیه، بازه زمان 27 دقیقه برای این مرحله انتخاب شد. این آزمایش ها درون حمام فراصوت مدل (SCHAPER Unique USC 25 kHz) تحت دمای محیط صورت پذیرفت. فرکانس و شدت میدان مورد استفاده در این



آزمایش به ترتیب 25 kHz و 500W بود. نسبت میوه به آب مقطر در کل آزمایش ها ۱ به 20 در نظر گرفته شد. پس از طی شدن زمان مورد نظر، برش های به از آب مقطر خارج گردیده، پس از حذف رطوبت سطحی بوسیله کاغذ صافی، نمونه ها به درون محلول اسمزی منتقل شدند (نوشاد و همکاران، 2011).

محلول اسمزی ساکارز با غلظت 50 درصد (w/w) تهیه گردید و دمای آن توسط گرم کن مجهز به همزن مغناطیسی به 50 سانتی گراد رسانده شد. نمونه های آبیگری شده پس از طی زمان مورد نظر از درون محلول اسمزی خارج گردیدند و به منظور حذف شربت شکر از سطح آن توسط آب مقطر شسته و بلافاصله با کاغذ صافی خشک و مجدداً توزین شدند. به منظور حصول شرایط پایدار در سیستم، خشک کن به مدت 30 دقیقه قبل از فرایند روشن و سپس سینی حاوی نمونه ها در محفظه خشک کن قرار داده می گرفت (نمونه های شاهد یعنی بدون پیش تیمار و نمونه هایی که تحت تأثیر پیش تیمار فراصوت - اسمز قرار گرفتند). آزمایش در دمای 80 درجه سانتی گراد (دمای بهینه شده برای خشک کن) و سرعت هوای ورودی 1/5 m/s انجام شد. فرایند خشک کردن تا رطوبت حدود 14 درصد ادامه یافت (نوشاد و همکاران، 2011).

برای بررسی توانایی جذب مجدد آب نمونه ها، از روش غوطه ور سازی در آب مقطر استفاده شد. نمونه ها در آب مقطر (45.25 و 70 درجه سانتی گراد) غوطه ور شدند و در بازه های زمانی مشخص از آب خارج شده، رطوبت سطحی آن ها با کاغذ صافی خشک و سپس به وسیله ترازو توزین شدند. این عمل تا زمانی ادامه داشت که تغییرات وزنی نمونه ها بسیار کم و تقریباً ثابت شد. این نقطه را نقطه نهایی و درصد آب جذب شده حداکثر قابلیت ماده برای جذب آب در نظر گرفته می شود.

تعیین محتوای رطوبتی نمونه ها

با داشتن وزن ماده خشک محصول و وزن محصول در هر فاصله زمانی که اندازه گیری شده است، محتوای رطوبت محصول در هر فاصله زمانی از رابطه ذیل قابل محاسبه است:

$$X_i = \frac{M_i - M_d}{M_d}$$

در این معادله X_i ، میزان رطوبت نمونه در فاصله زمانی t ، M_i مقدار وزن محصول در فاصله زمانی t و M_d وزن اولیه محصول بر حسب کیلوگرم می باشد.

مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه ای از نرون ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده های ورودی، جواب های خروجی را تخمین بزند. نوع شبکه طراحی شده پرسپترون چند لایه (MLP) بود که در آن لایه ورودی شامل 3 نرون (دمای آب مقطر، زمان آب گیری مجدد و پیش تیمار فراصوت-اسمز) و لایه خروجی شامل یک نرون (محتوی رطوبتی نمونه) بود. از الگوریتم های آموزش الگوریتم لونیبرگ-مارکوورت² (LM) برای به هنگام سازی وزن های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که یکی از الگوریتم های پرکاربرد می باشد چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می سازد. در واقع این الگوریتم برای افزایش سرعت یادگیری شبکه طراحی شده که بر مبنای ماتریس همبستگی می باشد.

یکی از مشکلاتی که هنگام آموزش شبکه عصبی ممکن است پیش بیاید، بیش آموزش شبکه است. بدین صورت که در هنگام آموزش شبکه، خطا به مقدار قابل قبول می رسد ولی هنگام ارزیابی، خطای شبکه به مراتب از خطای داده های آموزشی بیشتر باشد. برای جلوگیری از بیش آموزش دو راه وجود دارد: 1- توقف سریع آموزش، 2- انتخاب کمترین تعداد نرون در لایه پنهان. در این تحقیق از روش دوم استفاده شد. بدین صورت که برای آموزش شبکه، ابتدا داده ها به صورت تصادفی به سه قسمت تقسیم شدند، به طوری که 60 درصد داده ها برای آموزش، 20 درصد داده ها برای ارزیابی و 20 درصد داده ها برای تست شبکه استفاده شد. در حین آموزش شبکه، زمانی که خطای بین داده های آموزش و ارزیابی در حال افزایش باشد، فرایند آموزش قطع می شود.

به منظور مقایسه کارایی شبکه های عصبی مختلف برای پیش گویی پارامتر مورد بررسی، از شاخص های میانگین مربع خطا (MSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (R^2) استفاده گردید. در ذیل به این معادلات اشاره شده است:

² - Levenberg- Marquardt Algorithm



$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{N}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - T_i|$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N |O_i - T_i|^2}{\sum_{i=1}^N |O_i - T_m|^2}}$$

در معادلات فوق T و O به ترتیب مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و واقعی داده i ام، N تعداد داده ها می باشد. T_m با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^N O_i}{N}$$

نتایج

ساختار بهینه شبکه عصبی جهت مدل سازی فرایند آب گیری مجدد طی آزمون و خطا به دست آمد. جدول 1، بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی و پارامترهای مربوط را نشان می دهد. الگوریتم لونیبرگ مارکوارت که یکی از الگوریتم های آموزشی پرکاربرد است به منظور به هنگام سازی وزن های شبکه عصبی استفاده شد، آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می سازد. در این واقع این الگوریتم برای افزایش سرعت یادگیری شبکه طراحی شده است. جدول 2، نحوه آموزش شبکه را طی دوره های آموزشی (1000 دوره) بیان می نماید. جدول 3، کارایی شبکه را در پیش بینی میزان محتوی رطوبتی برای داده های آزمون نشان می دهد که MSE پایین نشانگر توانایی شبکه در پیش بینی مقادیر تغییرات این پارامتر می باشد.

جدول 1. بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مدل سازی فرایند آب گیری مجدد قطعات به

پرسپترون چند لایه	نوع شبکه
تانژانت آکسون	تابع انتقال در لایه مخفی
لونیبرگ مارکوارت	قاعده یادگیری
1000	دوره یادگیری
1	تعداد لایه های پنهان
8 عدد	تعداد نرون ها در لایه مخفی
کمترین میانگین مربع خطا	معیار سنجش

جدول 2. نحوه آموزش شبکه عصبی مصنوعی طی دوره های آموزشی

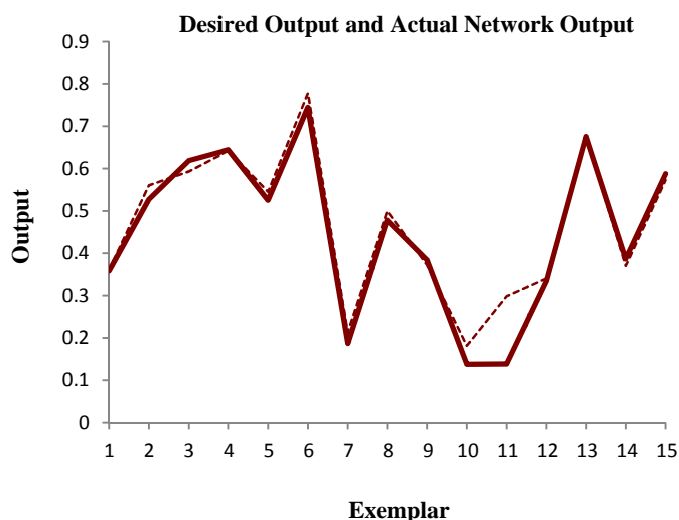
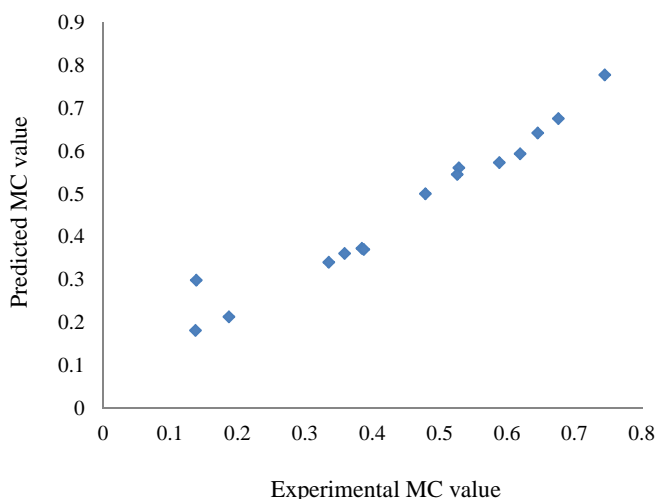


ارزیابی	آموزش	بهترین شبکه
232	1000	Epoch
0/00344	0/0000007948	Minimum MSE
0/0106	0/0000007948	Final MSE

جدول 3. کارایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی مقدار محتوی رطوبتی در فرایند آب گیری مجدد قطعات به

r	Max Abs Error	Min Abs Error	MAE	MSE	کارایی شبکه
0/976	0/15978	0/00026	0/02778	0/0021	

نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی دارای 8 نرون در لایه مخفی کمترین میزان میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق و بیشترین میزان ضریب همبستگی را برای پیشگویی محتوی رطوبتی (0/0021، 0/02778 و 0/976) قطعات به در فرایند آب گیری مجدد را دارد. میزان کارایی شبکه عصبی مصنوعی بهینه در پیش گویی محتوی رطوبتی قطعات به طی آب گیری مجدد، در مورد داده های آزمون که حین آموزش شبکه به آن نشان داده نشده است، در شکل 1، آورده شده است. در این شکل مقادیر واقعی میزان محتوی رطوبتی نمونه ها در مقابل مقادیر پیشگویی شده آمده است. مقادیر بالای ضریب همبستگی گویای کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیشگویی میزان محتوی رطوبتی طی فرایند آب گیری مجدد قطعات به می باشد.



شکل 1. مقادیر واقعی میزان محتوی رطوبتی در مقابل مقادیر پیش گویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه (ضریب همبستگی برابر با 0/976)

نتیجه گیری

استفاده از شبکه عصبی مصنوعی روش نوینی در حل بسیاری از مسائل مهندسی می باشد. نتایج این بررسی نشان داد مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار قدرتمند، می تواند پارامترهایی اساسی فرایند آب گیری مجدد محصولات کشاورزی را با دقت بالایی تخمین بزند. بطوری که در این بررسی مشاهده می شود شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با تعداد 8 نرون در لایه مخفی با ضریب رگرسیون 0/976 توانست میزان محتوی رطوبتی قطعات به را تخمین بزند که این ضریب، دقت بالای مدل شبکه عصبی را در تخمین این پارامتر مهم، در فرایند مدل سازی را نشان می دهد.

منابع

- Antonio, GC., Alves, DG., Azoubel, PM., Murr, FEX., and KJ Park. 2008. Influence of Osmotic Dehydration and High Temperature Short Time Processes on Dried Sweet Potato (*Ipomoeabatatas Lam*). *Journal of Food Engineering*, **84**: 375–382.
- Azoubel, P.M., Baima, M.A.M., Amorim, M.R., and Oliveira, S.B.B. 2010. Effect of Ultrasound on Banana Cv Pacovan Drying Kinetics. *Journal of Food Engineering*, **97**: 194-98.
- Azoubel, PM., El-Aouar, A., Tonon, RV., Kurozawa, LE., Antonio, GC., Murr, FEX., and Park, KJ. 2009. Effect of Osmotic Dehydration on the Drying Kinetics and Quality of Cashew Apple. *International Journal of Food Science & Technology*, **44**: 980-86.
- Cunningham, SE, WAM Mcminn, TRA Magee, and PS Richardson. (2008) "Experimental Study of Rehydration Kinetics of Potato Cylinders," *Food and Bioproducts Processing*, vol. **86**, no. **1** 15-24.
- Doymaz, I. 2004. Drying Kinetics of White Mulberry. *Journal of Food Engineering*, **61**: 341–46.
- Falade, K., and Abbo, E.S. 2007. Air- drying and Rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. *Journal of Food Engineering*, **79**:724-730.
- 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 and Bioprocess Technology*, doi:10.1007/s11947-009- 0222-y.
- Fernandes, FAN., Gallao, MI., and Rodrigues, S. 2009. Effect of Osmosis and Ultrasound on Pineapple Cell Tissue Structure During Dehydration. *Journal of Food Engineering*, **90**: 186-90.
- Fernandes, FAN., Gallo, MI., and Rodrigues, S. 2008. Effect of Osmotic Dehydration and Ultrasound Pre-Treatment on Cell Structure: Melon Dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, **41**: 604-10.
- Fernandes, FAN., and Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as Pre-Treatment for Drying of Fruits: Dehydration of Banana. *Journal of Food Engineering*, **82**: 261-67.
- Fernandes, F., Rodrigues, S., Gaspareto, O., and Oliveira, E. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International*, **39**(4):492-498.
- Lewicki, P.P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, **36**: 81-87.
- Mohebbi, M., Shahidi, F., Fathi, M., Ehtiati, A., Noshad, M. 2010. Prediction of moisture content in pre-osmosed and ultrasounded dried banana using genetic algorithm and neural network. *Food Bioprod Process*, doi.org/10.1016/j.fbp.2010.08.001
- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., 2011. Multiobjective optimization of osmotic-ultrasonic pre-treatments and hot air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, doi:10.1007/s11947-011-0577-8.
- Singh, Gagan Deep, Rajiv Sharma, AS Bawa, and DC Saxena. (2008) "Drying and Rehydration Characteristics of Water Chestnut (*Trapa Natans*) as a Function of Drying Air Temperature," *Journal of Food Engineering*, vol. **87**, no. **2** 213-21.