



« خروج

اطلاعات کاربر

« پیوندهای اصلی

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

نام خانوادگی : محمدپور

نام : وحید

دسته : دانشجو

جنسیت : مرد

پست الکترونیکی : mohammadpour\_vahid@yahoo.com

مقطع تحصیلی : کارشناسی

رشته : مهندسی شیمی گرایش : صنایع غذایی

دانشگاه : فردوسی مشهد

« فایل‌های ارسال شده

❖ ۵ فایل از شما دریافت شده است .

« نتجه داوری

عنوان مقاله	نتجه داوری	نحوه ارائه	تاریخ ارائه	ساعت ارائه
بررسی پارامتر های مؤثر در فرایند خشک کردن مواد غذایی	بدرقنه سده است	پوسنر	۸ شهریور	۱۸:۳۰-۱۴:۳۰
بررسی سیستم های تولید گاز متان از فضولات	مردود	-	-	-
تولید پروتئین یک ناحیه ( SCP ) از منابع بومی و غیر بومی	مردود	-	-	-
بیل سوختی، سوخت پاک، انرژی فردا	بدرقنه سده است	پوسنر	۸ شهریور	۱۸:۳۰-۱۴:۳۰

« ثبت نام نهایی

برای انجام ثبت نام نهایی اینجا را کلیک کنید

« پیوندهای مرتبط

- گروه مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان
- انجمن مهندسی شیمی ایران
- انجمن مهندسی نفت ایران

بناام خدا

## بررسی پارامترهای موثر در فرآیند خشک کردن مواد غذایی با امواج مایکروویو

دکتر محمد تقی حامد موسویان - دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی شیمی  
وحید محمدپور - دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی شیمی  
[Mohammadpour\\_vahid@yahoo.com](mailto: Mohammadpour_vahid@yahoo.com)

### چکیده

خشک کردن مواد غذایی به دو روش حرارت دهی مستقیم و غیر مستقیم صورت می گیرد. در بسیاری از روش های حرارت دهی مستقیم که مواد غذایی از طریق احتراق سوخت های گازی، مایع و جامد خشک می شوند، امکان آلودگی محصول با سوخت، دود، بو و خاکستر آن و نیز محصولات حاصل از احتراق وجود دارد. استفاده از امواج مایکروویو جهت خشک کردن مواد غذایی، تولید محصولی تمیز، مطمئن و عاری از هر گونه آلودگی را نوید می دهد. اتلاف حرارتی نسبتاً پایین، بازدهی بالا و کنترل دقیق و همگن فرآیند خشک کردن از دیگر مزایای این روش است. امواج مایکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیسی می باشند که دارای فرکانس حدود ۳۰۰۰۰۰ - ۳۰۰ مگا هرتز و طول موج ۱ - ۰،۰۰۱ متر در هوا بوده و بر خلاف اشعه ایکس و گاما، قادر به شکستن پیوند های شیمیایی و آسیب رسانی به ملکولهای مواد غذایی نیستند. در این مقاله پس از معرفی این روش و مروری بر کاربرد های آن در صنعت غذا به بررسی پارامترهای موثر در فرآیند خشک کردن مواد غذایی با امواج مایکروویو که مهمترین آنها فرکانس، شدت میدان الکتریکی، خواص دی الکتریک ماده غذایی، شکل هندسی و موقعیت نمونه می باشد، پرداخته خواهد شد.

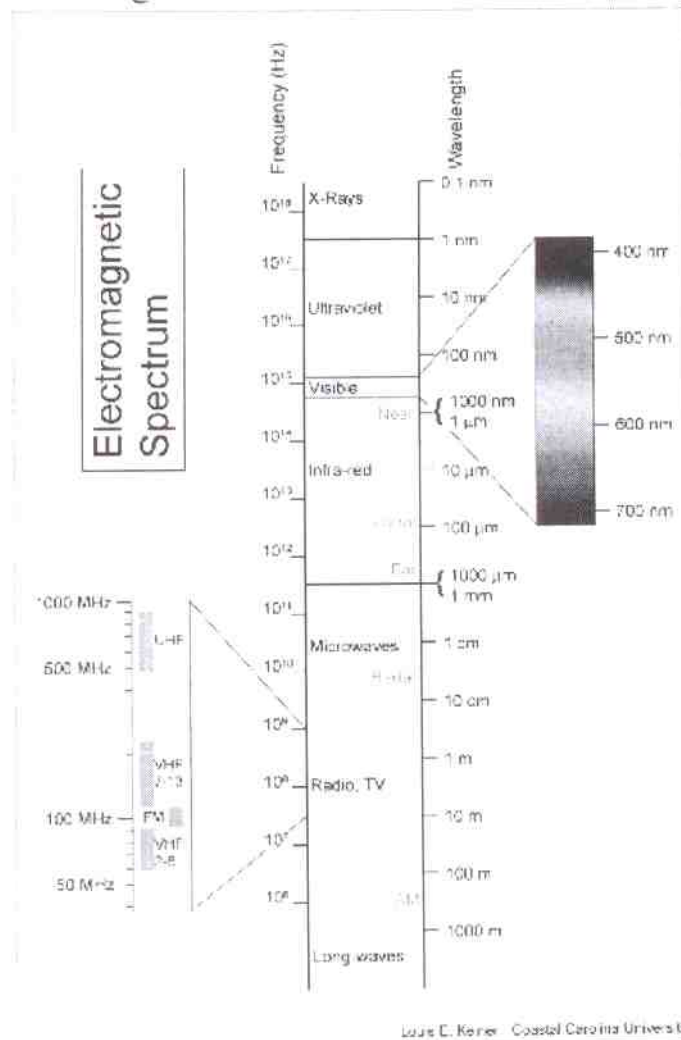
**کلمات کلیدی:** خشک کردن، مایکروویو

## مقدمه

حرارت دهی مایکروویو محصول جانبی پیشرفت رادار در جنگ جهانی دوم است. مدت کوتاهی پس از جنگ جهانی دوم (سال ۱۹۴۵)، دکتر پرسی اسپنسر<sup>۱</sup> از کمپانی ریتون<sup>۲</sup> به طور اتفاقی در مجاورت آنتن رادار سوزشی در پشت دستهایش احساس کرد و گرمای ایجاد شده توسط رادار را به توانایی آن برای حرارت دهی مواد غذایی مربوط ساخت. این مساله منجر به ساخت اولین مایکروویو و ثبت اختراع به نام اسپنسر شد. این وسیله برای اولین بار در سال ۱۹۴۸ در سلف سرویسها به کار گرفته شد. در حرارت دهی با مایکروویو به مانند مادون قرمز دی الکتریک، حرارت از طریق تشعشع به ماده غذایی منتقل می شود. در این روشها از انرژی با فرکانس بالا استفاده شده و برای جلوگیری از تداخل آن با امواج رادار، تلویزیون و رادیو در یک استاندارد بین المللی فرکانس های مجاز تعیین می گردد.

## امواج مایکروویو و مکانیسم حرارت دهی

امواج مایکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیس هستند که دارای فرکانس حدود  $3000000 - 300$  مگاهرتز و طول موج  $1 - 0.001$  متر در هوا می باشند و در این طیف بین دی الکتریک و مادون قرمز واقع شده اند. (شکل ۱)



شکل ۱ - طیف امواج الکترومغناطیسی

<sup>۱</sup> - Percy-Spencer

<sup>۲</sup> - Raytheon

امواج مایکروویو بر خلاف اشعه ایکس و گاما، قادر به شکستن پیوند های شیمیایی و آسیب رسانی به ملکول های مواد غذایی نیستند. در روشهای حرارت دهی متداول، گرما از منبع حرارتی خارجی به ماده غذایی منتقل می شود، لیکن در روش مایکروویو، حرارت، داخل ماده غذایی تولید می شود. دو مکانیسم اصلی تولید حرارت در مایکروویو عبارتند از: پلاریزاسیون یونی و چرخش دو قطبی.

پلاریزاسیون یونی زمانی که یونهای موجود در یک محلول شیمیایی به طرف یک میدان الکتریکی حرکت می کنند، روی می دهد. یونهای مثبت و منفی و نمکهای محلول در غذا نظیر کلرید سدیم در میدان الکتریکی به طرف باز مخالف یون حرکت کرده (سدیم به طرف قطب منفی و کلرید به سمت قطب مثبت)، تکرار تضادم این یون های مهاجر منجر به تولید حرارت می شود. هر چه تعداد دفعات برخورد در واحد زمان بیشتر باشد انرژی جنبشی زیاد تر شده و حرارت بیشتری تولید می گردد.

مکانیسم گرم شدن در اثر چرخش دو قطبی بستگی به وجود ملکولهای قطبی دارد. همزمان با جذب امواج توسط ماده غذایی مولکولهای دو قطبی (به ویژه ملکول آب) با میدان هم جهت می شوند. وقتی میدان به طور متناوب به کار برده می شود، با معکوس شدن قطبیت میدان، مولکولهای قطبی، مجدداً خودشان را در راستای میدان تغییر یافته قرار می دهند. قرار گرفتن مولکولها به اندازه  $2450 \times 10^6$  بار در ثانیه (در امواج با فرکانس ۲۴۵۰ مگا هرتز) در راستای میدان باعث ایجاد اصطکاک و در نتیجه تولید حرارت می شود. پس از جذب انرژی مایکروویو و تبدیل آن به انرژی حرارتی، حرارت توسط فرآیندهای جابه جایی و هدایت به تمام قسمت های ماده غذایی منتقل می شود.

### خواص دی الکتریک مواد غذایی

تعداد مولکولهای دو قطبی موجود در غذا و تغییرات ایجاد شده به وسیله میدان الکتریکی، ثابت دی الکتریک مواد غذایی را مشخص می کند. ثابت دی الکتریک نسبت ظرفیت غذا به ظرفیت هوا (یا در بعضی حالات خلاء) می باشد. به منظور تعیین مقدار ثابت دی الکتریک یک ماده (مانند آب) ابتدا ظرفیت یک خازن الکتریکی را در هوا (یا در خلاء) اندازه گیری نموده و سپس با قرار دادن آن ماده در بین صفحات خازن ظرفیت آن را مجدداً اندازه گرفته که به نسبت این دو، ثابت دی الکتریک می گویند. در حقیقت ثابت دی الکتریک توانایی غذا را برای ذخیره انرژی الکتریکی بیان می کند.

یکی دیگر از خواص مهم دی الکتریک مواد غذایی، فاکتور اتلاف است. وقتی غذا در معرض مایکروویو قرار می گیرد، مقداری از انرژی الکترومغناطیس جذب و تبدیل به حرارت می گردد. مقدار انرژی جذب شده را به وسیله فاکتور اتلاف نشان می دهند که به آن اتلاف دی الکتریک یا زاویه اتلاف نیز گفته می شود. خواص دی الکتریک مواد غذایی تابع ترکیب غذا، دما و فرکانس می باشد. (جدول ۱)

جدول ۱- خواص دی الکتریک چند ماده غذایی

نوع ماده غذایی	دما	فرکانس (مگا هرتز)	ثابت دی الکتریک	فاکتور اتلاف
گوشت گاو	۲۵	۹۱۵	۶۲	۲۷
			۶۱	۱۷
سیب زمینی	۲۵	۹۱۵	۶۵	۱۹
			۶۴	۱۴
هویج	۲۵	۹۱۵	۷۳	۲۰
			۷۲	۱۵

## مزایا و معایب

استفاده از مایکروویو نیز مانند هر روش حرارت دهی دیگر، دارای مزایا و معایبی است. مزایای پارزی که در این روش قابل ذکر است عبارتند از:

- ۱- راندمان بالا نسبت به سایر روش های حرارت دهی
  - ۲- سرعت عمل و کاهش زمان فرآیند
  - ۳- تمیز کردن آسان
  - ۴- سهولت کاربرد
  - ۵- اشغال فضای کم
  - ۶- حفظ اجزاء ناپایدار در حرارت مانند ویتامین ها و لیپید ها و عدم تشکیل واکنش میلارد<sup>۳</sup>.
  - ۷- امکان از بین بردن آنزیم ها بدون تراوش مواد مغذی از میوه ها و سبزیجات.
  - ۸- حذف سوختگی سطحی به دلیل نفوذ سریع امواج در عمق ماده غذایی.
- در کنار مزایای نسبتا زیاد این روش، برخی محدودیت ها نیز به چشم می خورد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- بالا بودن هزینه سرمایه گذاری ثابت.
- ۲- کوتاه بودن عمر ژنراتور.
- ۳- عدم امکان سرخ کردن غذاها، به علت نفوذ امواج در عمق ماده غذایی.
- ۴- عدم خروج برخی مواد فرار نا مطلوب به دلیل کوتاه بودن زمان حرارت دهی.

## کاربرد های مایکروویو در صنعت غذا

از بین بردن ویروس های بیماریزای موجود در گوشت از اولین کاربردهای مایکروویو در صنایع غذایی (۱۹۴۴) محسوب می شود. پس از آن آنزیم بری<sup>۴</sup> میوه ها یا سبزیجات و نرم کردن<sup>۵</sup> مواد غذایی منجمد مورد توجه قرار گرفت. این تحقیقات ابتدا در سیستم های غیر مداوم به طور آزمایشی انجام شد، ولی هیچ کدام از آنها به سیستم مداوم<sup>۶</sup> تبدیل نشد، تا اینکه در سال ۱۹۶۴ سیستم های مایکروویو مداوم با توان بالا به منظور کاربرد در صنایع غذایی ساخته شدند. از دیگر کاربردهای مایکروویو، نرم کردن مواد غذایی منجمد می باشد که عبارت است از تبدیل ماده غذایی منجمد به ماده غذایی که درجه حرارت آن بالای نقطه انجماد باشد و در واقع فرآیندی است که باعث می شود یخ ماده غذایی به طور کامل ذوب گردد.

امروزه با پیشرفت تکنولوژی، کاربرد مایکروویو در صنایع غذایی افزایش یافته است. جدول ۲ مواردی از کاربرد مایکروویو در صنعت غذا را نشان می دهد.

<sup>۳</sup>- واکنش میلارد (Millard): در بسیاری از غذاها واکنش های پیچیده ای اتفاق می افتد که در نتیجه باعث تشکیل رنگ های قهوه ای و سیاه و تغییرات ارگانولیتیکی دیگر مانند مزه و بو می گردد. اسید های آمینه و پروتئین ها در بعضی از واکنش ها از طریق اثر گروه های آزاد آمین شرکت می کنند. این واکنش ها به اختصار میلارد نامیده می شود.

<sup>۴</sup>- آنزیم بری یا بلنچینگ (Blanching): به معنی متوقف کردن فعالیت های آنزیمی است. آنزیم بری جهت نابودی فعالیت های آنزیمی در سبزی ها و برخی از میوه ها قبل از فرآورش های بعدی به کار می رود.

<sup>۵</sup>- Thawing

<sup>۶</sup>- Continuos System

جدول ۲ - کاربرد های مایکروویو در صنعت غذا

فرآورده های قابل حصول	نوع فرآیند
گوشت، ماهی و برخی میوه ها مانند توت فرنگی و گوجه فرنگی	نرم کردن مواد غذایی
مرغ، ماهی، کلوچه گوشتی و سیب زمینی	پختن
پیه گاو و گوسفند	استخراج چربی از بافت چربی
سیب زمینی، میوه ها و ذرت کامل	آنزیم بری
ماست، نان و میگو	پاستوریزاسیون
غذاهای بسته بندی شده در کیسه پلاستیکی	استریلیزاسیون
ماکارونی، پیاز، جیس و قند	خشک کردن نهایی
آب میوه و کنسانتره	خشک کردن در خلأ
قهوه، کاکائو و بادام زمینی	برشته کردن

### پارامتر های موثر در حرارت دهی با امواج مایکروویو

#### اثر فاکتور اتلاف

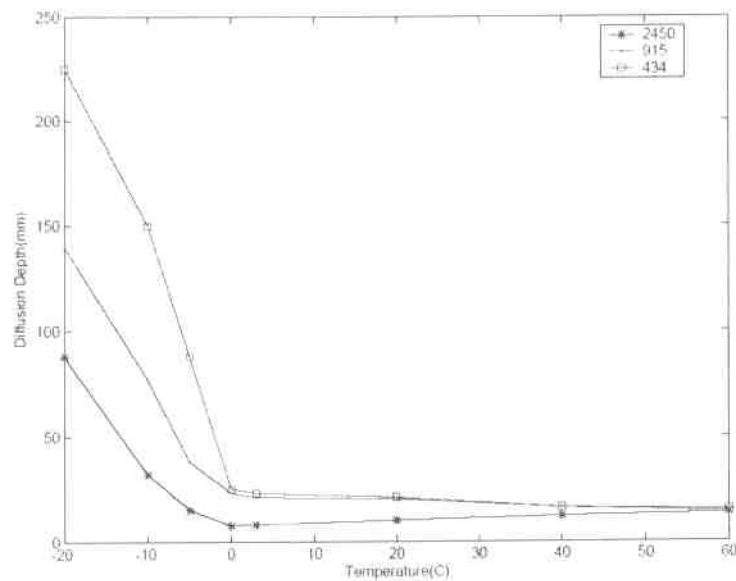
امواج مایکروویو مانند نور در خط مستقیم حرکت کرده، این امواج توسط اجسام مختلف جذب، منتقل و یا منعکس می شوند. شیشه، کاغذ و بعضی از فیلم های پلیمری جهت بسته بندی، فاکتور اتلاف پائینی دارند (مایکروویو را عبور می دهند) و بنابراین این گرم نمی شوند. امواج مایکروویو در اثر برخورد با فلزات منعکس شده و توسط مواد غذایی با فاکتور اتلاف بالا (مانند آب) جذب می شوند، چون اتلاف انرژی مایکروویو به شکل حرارت مشخص می شود، هر چه فاکتور اتلاف بیشتر باشد، گرمای بیشتری تولید می شود. باید توجه داشت که میزان جذب مایکروویو همواره معرف میزان افزایش درجه حرارت نیست، زیرا سرعت افزایش درجه حرارت به مقدار زیاد تری به ظرفیت حرارتی ماده غذایی بستگی دارد، به همین دلیل درجه حرارت روغن (دارای ظرفیت حرارتی ویژه کم) وقتی در مایکروویو طبخ می شود بالا می رود، در حالیکه حداقل اثر متقابل را با میدان الکتریکی مایکروویو دارد.

#### اثر فرکانس امواج

عمق نفوذ با فرکانس امواج و میزان جذب نسبت معکوس دارد، وقتی امواج الکترومغناطیس به ماده غذایی برخورد می کند، به تدریج به داخل ماده غذایی منتقل می شوند و همزمان با جذب انرژی و تبدیل آن به حرارت از شدت موج کاسته شده و موج رقیق تر می گردد. در فاکتور اتلاف و فرکانس بالاتر کاهش شدت موج سریع تر انجام می شود و در نتیجه عمق نفوذ کاهش می یابد. جدول ۳ عمق نفوذ انرژی مایکروویو را در مواد مختلف نشان می دهد و شکل ۲ رابطه بین عمق نفوذ و دما را برای گوشت گوساله خام در فرکانس های ۴۰۰ تا ۳۰۰۰ مگا هرتز نشان می دهد.

جدول ۳ - عمق نفوذ مایکروویو در مواد مختلف

نوع ماده	فرکانس ۹۱۵ مگا هرتز	فرکانس ۲۴۵۰ مگا هرتز
آب مقطر ( $25^{\circ}C$ )	۲۰،۲	۲،۲
آب + ۰،۵ مول نمک طعام ( $25^{\circ}C$ )	۰،۲۷	۰،۶۴
گوشت گاو پخته شده ( $30^{\circ}C$ )	۳،۳۱	۱،۹۲
سیب زمینی خام ( $25^{\circ}C$ )	۳،۶۵	۱،۵۳
پلی اتیلن ( $23^{\circ}C$ )	۵۹۰۰	۲۲۰۰



شکل ۲ - عمق نفوذ برای گوشت گوساله برای سه فرکانس ۲۴۵۰، ۹۱۵، ۴۳۴

اختلاف بین فرکانس ها به تدریج با افزایش دما، کاهش می یابد، در حالیکه در دماهای پائین، تقریباً عمق نفوذ نسبت ثابتی با فرکانس دارد.

عمق نفوذ اشعه مایکروویو به وسیله فاکتور اتلاف غذا و طول موج یا فرکانس مایکروویو تعیین می شود.

$$d = \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{\epsilon \tan \delta}}$$

که در رابطه فوق:  $d$  عمق نفوذ بر حسب متر

$\lambda_0$  طول موج در فضا بر حسب متر

$\epsilon$  ثابت دی الکتریک

$\delta$  زاویه اتلاف

بنابر این عمق نفوذ بیشتر و حرارت یکنواخت تر برای مواد غذایی که دارای فاکتور اتلاف کمتر هستند با بکار بردن طول موجهای بلند تر (فرکانس های کوتاه تر) برای قطعات کوچک مواد غذایی حاصل می شود.

### دیگر پارامترهای موثر در حرارت دهی با مایکروویو

در حالیکه عمدتاً فرکانس، شدت میدان و خواص دی الکتریک مواد غذایی تعیین کننده مقدار حرارت تولیدی در مواد غذایی می باشند، افزایش دما در ماده غذایی به دانسیته، حرارت ویژه، هدایت حرارتی، گرمای نهان ذوب و تبخیر نیز بستگی دارد.

هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت نقش مهمی در از بین بردن اختلاف دمای ناشی از توزیع میدان غیر یکنواخت یا عمق نفوذ محدود دارند.

علاوه بر موارد فوق، فاکتور های دیگری از جمله طراحی الکترود، تغییرات شدت میدان، شکل هندسی، موقعیت نمونه، توزیع درجه حرارت اولیه و دمای متوسط محیط (هوا، بخار و آب) بر حرارت دهی مایکروویو موثرند. تحقیقات نشان می دهد که محل تمرکز انرژی در نمونه های استوانه ای و کروی در مرکز نمونه است.

## نتیجه گیری

علیرغم پتانسیل بالقوه مایکروویو تا کنون اکثر کاربردهای آن به حد تجاری و صنعتی نرسیده است. دلایل اصلی این عدم موفقیت، هزینه بالای تجهیزات مایکروویو، عمر کوتاه ژنراتور، راندمان کم توان، تنوع محدود تجهیزات، مشکلات مربوط به قرار دادها و فقدان تجربه کافی است. اما با توجه به مزایای مایکروویو و اهمیت فوق العاده آن، به نظر می رسد آینده درخشانی در انتظار مایکروویو باشد.

## منابع و مراجع

- ۱- دکتر سید حسین میر نظامی ضیابری، مهندس زهره حمیدی اصفهانی، مهندس معصومه فاتر، مایکروویو در صنایع غذایی و منازل، انتشارات ادبستان، زمستان ۱۳۷۵
- 2 – Anon., Big benefits in microwave cooking. Food Engineering (1982).
- 3 – Cepson D.A., Microwave Heating. 2<sup>nd</sup> edition. The AVI publishing Co, Inc, Westport, Connecticut. (1975)
- 4 – Seyed M.A. Razavi, Course of Biophysical properties of Agricultural and Food materials, Ferdowsi university of mashhad, First semester, 2005-2006
- 5 – Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves, *Journal of Food Engineering, Volume 75, Issue 4, August 2006, Pages 441-446*
- 6 – Microwave improvement of soy protein isolate-saccharide graft reactions, *Food Chemistry, Volume 97, Issue 4, August 2006, Pages 577-585*
- 7 – Production of bio-fuels by high temperature pyrolysis of sewage sludge using conventional and microwave heating, *Bioresource Technology, Volume 97, Issue 10, July 2006, Pages 1185-1193*
- 8 – Nutrient retention in microwave cooked germinated legumes, *Food Chemistry, Volume 97, Issue 1, July 2006, Pages 115-121*
- 9 – The simulation of microwave heating of wood using a rectangular wave guide, *Chemical Engineering Science, Volume 61, Issue 14, July 2006, Pages 4798-4811*
- ۱۰- گوستا باربوسا- کائواس هامیر تو- و گامر کادو، روشهای خشک کردن مواد غذایی، ترجمه سید علی مرتضوی، مسعود شفاف زنونزیان، اکرم آریان فر، راضیه نیازمند، شبنم اسدی نژاد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، بهار ۱۳۸۴
- ۱۱- پروفیسور الیاس لیندن، بیوشیمی مواد غذایی، ترجمه مهندس علی آبرومند، انتشارات رامند و علوم کشاورزی، چاپ اول ۱۳۷۸
- ۱۲- یوز، تکنولوژی فراورش غذا (اصول و کاربرد)، ترجمه مرتضی سهرابی، مرکز نشر دانشگاهی تهران، چاپ اول ۱۳۷۷