

(مقاله پژوهشی)

## بررسی امکان بکارگیری بستر سیال جهت برشته کردن دانه‌های کنجد

حمید غلامی<sup>۱</sup>، محمد مهدی افصحی<sup>۲\*</sup>، اصغر کریمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۴

### چکیده

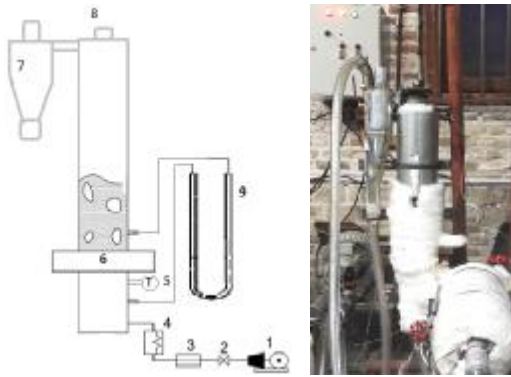
استفاده از روش بستر سیال و جایگزینی آن با سایر روش‌ها ایده‌ای خلاقانه محسوب می‌شود زیرا در این نوع بستر، به دلیل جابجایی مداوم و یکنواخت ذرات، کمیت‌ها در تمامی نقاط بستر یکسان است. به رغم کاربردهای وسیع این روش در صنایع، کمتر از آن در فرآیند برشته‌سازی محصولات کشاورزی استفاده شده است. به منظور تحقیق تجربی این فرآیند در بستر سیال، دستگاهی طراحی و ساخته شد که بوسیله آن تأثیر پارامترهای موثر بر سیال‌سازی و برشته کردن دانه‌های کنجد مورد بررسی قرار گرفت. قدم اول در سیال‌سازی محاسبه حداقل سرعت سیالیت است، بدین منظور اثر دما و ارتفاع بستر بر حداقل سرعت سیالیت بررسی شد. نتایج نشان داد که ارتفاع بستر و دماهای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، تأثیری بر حداقل سرعت سیالیت ندارد. مقدار این سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه بدست آمد و این مقدار در دماهای بالای ۱۰۰ درجه، کمی کاهش یافت. برشته‌سازی در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف انجام شد. به منظور تعیین شرایط مناسب برشته شدن، جهت دست‌یابی به ارده با کیفیت، اندیس پراکسید اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش دما اندیس پراکسید افزایش می‌یابد. با مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین مشخص شد که زمان برشته شدن دانه‌های کنجد به روش بستر سیال در مقایسه با سایر روش‌ها حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. این زمان برای برشته کردن کنجد بدون پوست در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب کمتر از ۲۰، ۱۵، ۷ و ۵ دقیقه بدست آمد. اثر برشته کردن بر میزان روغن کنجد نیز بررسی و نشان داده شد که اختلاف معنی‌داری بین مقدار روغن حاصل از کنجد برشته شده و مقدار روغن حاصل از کنجد خام وجود دارد و برشته کردن باعث کاهش روغن کنجد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بستر سیال، برشته کردن، کنجد، حداقل سرعت سیالیت، اندیس پراکسید

## ۱-مقدمه

در کشورهای مشرق زمین نظیر چین، ژاپن و کره، در اکثر موارد، دانه‌های کنجد قبل از استخراج روغن، برشته می‌شوند. روغنی که از دانه‌های کنجد برشته شده به دست می‌آید دارای طعم و بوی مشخص و ماندگاری بالاتری نسبت به روغن کنجد خام است، همچنین رنگ روغن کنجد برشته شده بر حسب شرایط برشته نمودن از قهوه‌ای روشن تا تیره متغیر می‌باشد. مقاومت اکسیداتیو بالای این روغن مستقیماً به دمای برشته کردن بستگی دارد. برشته کردن یک مرحله بحرانی و مهم در تهیه روغن کنجد می‌باشد چرا که تحقیقات نشان داده که این فرایند تأثیر مستقیمی بر روی رنگ، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، افزایش مقاومت اکسیداتیو و کیفیت روغن کنجد برشته شده دارد (۱). با توجه به این که برشته کردن یکی از مراحل مهم در فراوری کنجد محسوب می‌شود، بهینه‌سازی و اصلاح این فرایند و همچنین بهبود کیفیت محصول از این طریق، بسیار حائز اهمیت است. ازکن و اگول (۱۹۹۴) جهت تولید ارده، دانه‌های کنجد را در دمای ۱۵۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۳-۲/۵ ساعت به روش بستر ثابت برشته کردند (۲). یوشیدا (۱۹۹۴) ترکیب و خواص کیفی روغن حاصل از کنجد برشته شده در دماهای مختلف را بررسی کرد. وی خواص کیفی روغن حاصل از دانه‌های برشته شده کنجد به مدت ثابت ۳۰ دقیقه به وسیله‌ی اجاق برقی خانگی در دماهای ۲۵۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد را با روغن حاصل از کنجد خام مقایسه کرد (۳). یوشیدا و تاکاجی (۱۹۹۷) به وسیله‌ی آون الکتریکی، این بار اثر زمان برشته کردن، به منظور تهیه روغن با کیفیت مطلوب را نیز در نظر گرفتند. آنها گزارش دادند که بهترین شرایط برای دستیابی به کیفیت مطلوب روغن، برشته کردن در دمای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه همچنین در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه حاصل می‌شود (۴). ال-ادوی<sup>۱</sup> و منصور (۲۰۰۰) اثر روش‌های مختلف برشته

شدن کنجد را بر روی کیفیت ارده و ارزش غذایی آن بررسی نمودند. آن‌ها چهار روش بخار پز<sup>۲</sup>، بخار در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۳ ساعت، روش اجاق خلاء: ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۱ ساعت، روش صفحه داغ: دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۱ ساعت و روش هوای داغ: دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۱ ساعت را بررسی کردند و گزارش دادند که ارده با کیفیت بالا از روش هوای داغ ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۱ ساعت حاصل می‌شود (۵). کاهیاگلو و کایا (۲۰۰۶) گزارش دادند که شرایط بهینه برشته شدن دانه‌های کنجد جهت تولید ارده به وسیله‌ی بستر دوار در دمای ۱۷۰-۱۵۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان ۶۰-۴۰ دقیقه اتفاق می‌افتد (۶). جنت و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که شرایط بهینه برشته کردن به وسیله‌ی آون الکتریکی برای رسیدن به بیشترین درصد آنتی‌اکسیدانی و کل محتوای فنولیکی دانه‌های کنجد دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه اتفاق می‌افتد (۷). برجیان و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که بدون توجه به نوع کنجد بهترین روغن کنجد برشته شده به وسیله آون الکتریکی دارای گردش هوا در محدوده‌ی دمایی ۲۲۰-۲۱۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۰-۱۵ دقیقه بدست می‌آید (۸). همان‌طور که مشاهده شد برای برشته کردن دانه‌های کنجد روش‌های مختلفی استفاده شده و آنچه که از این نتایج بدست می‌آید این است که استفاده از هوای داغ در کیفیت روغن کنجد نسبت به روش‌های دیگر مؤثرتر است. یکی از مشکلات برشته شدن به روش‌های رایج عدم برشته شدن یکنواخت و یک دست است به‌طور مثال در روش برشته شدن به وسیله‌ی آون الکتریکی از آنجایی که جریان هوا فقط بر روی دانه‌های کنجد در تماس است بنابراین به منظور برشته شدن یکنواخت، باید دانه‌های کنجد را به مقدار کم و به صورت لایه‌ای نازک در دستگاه آون قرار داد. روش بستر سیال این محدودیت را حذف کرده و بدلیل سرعت بالای انتقال حرارت و جرم، زمان برشته‌سازی کاهش می‌یابد. همانگونه که از مطالعه مروری فوق مشخص



شکل ۱-نمایی از بستر سیال برای انجام آزمایش‌های برشته کردن

۱-دمنده ۲-شیر قابل تنظیم ۳-دبی سنج ۴-گرمکن ۵-دما سنج ۶- فضای پخش کننده ۷-سیکلون ۸-محل وارد کردن کنجد ۹- مانومتر U شکل

برای مشاهده وضعیت درون بستر، بر روی قسمتی از بستر، شیشه‌ی پیرکس نصب شد. شیشه‌ی پیرکس تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد در برابر گرما مقاوم است. جهت تعیین دمای هوای ورودی به بستر، در آن محل دما سنجی تعبیه شده است. از سیکلون برای خروج و جمع‌آوری نمونه‌ها پس از برشته شدن استفاده شد. ابتدا به کمک دبی سیال خروجی از بستر، قطر بدنه سیکلون تعیین و سپس بر مبنای ارتباط بین این قطر با سایر ابعاد، مقادیر مربوط به سایر ابعاد سیکلون تعیین و در نهایت اقدام به ساخت سیکلون شد. جهت بالا بردن دمای هوای ورودی گرمکنی طراحی و ساخته شد. بدین منظور از دو المنت ۲/۵ کیلو واتی استفاده شد. المنتها درون لوله مرکزی قرار گرفت و پس از عایق کاری درون پوسته محافظ قرار داده شد. برای اطلاع از دمای درون گرم کن ترموکوپل تستو نوع k با دقت ۱°C درون آن تعبیه گردید. برای کنترل کردن دمای هوای ورودی به بستر از کنترل کننده PID استفاده شد که در نتیجه آن پس از گذشت زمان محدودی، از طریق تنظیم توان گرم کن، دمای هوای ورودی تنظیم و ثابت می‌شد. دمای هوای ورودی به بستر در محدوده ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی گراد تنظیم شد.

است در مورد برشته کردن کنجد توسط بستر سیال پژوهشی صورت نگرفته است. هدف از تحقیق حاضر تعیین شرایط سیال شدن بستر و بررسی توانایی این نوع بستر برای برشته کردن دانه‌های کنجد است.

## ۲- مشخصات دستگاه بستر سیال و روش انجام کار

### ۲-۱- مشخصات دستگاه بستر سیال

برای بررسی شرایط برشته کردن دانه‌های کنجد در بستر سیال، دستگاهی در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. شکل ۱ نمایی از چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد. جنس لوله از فولاد ضد زنگ<sup>۱</sup>، مقطع بستر دایروی با قطر داخلی ۸/۲ سانتی متر و ارتفاع آن ۱ متر می‌باشد. هوای پرفشار توسط یک دمنده<sup>۲</sup> با توان ۲/۲ کیلو وات، حداکثر دبی ۲۶۵ مترمکعب بر ساعت مجهز به اینورتور سه فاز به وسیله‌ی خطوط انتقال به صورت جت وارد فضای پخش کننده<sup>۳</sup> می‌شود. فضای پخش کننده شامل محفظه‌ی هوا و صفحه‌ی پخش کننده می‌باشد. صفحه‌ی پخش کننده، یک صفحه مشبک از جنس فولاد ضد زنگ بود که براساس تئوری اوریفیس طراحی شد. در این صفحه تعداد ۲۰۰ سوراخ ۱/۵ میلیمتری با گام<sup>۴</sup> ۵ میلیمتر و آرایش مربعی تعبیه شد. با عبور هوا از این صفحه، جریان از شکل جت خارج شده و به صورت یکنواخت وارد بستر می‌شود. برای اندازه‌گیری بازه‌ی گسترده‌ای از دبی جریان هوا از روماتر و برای اندازه‌گیری فشار از مانومتر U شکل استفاده شد. در آزمایش‌ها با اندازه‌گیری فشار دو طرف صفحه پخش کننده افت فشار توزیع کننده و با اندازه‌گیری فشار کف بستر اختلاف فشار بستر تعیین شد.

1- Stainless steel 304

2 -fan

3 -distributor

4- pitch

**۲-۲- حد اقل سرعت سیالیت**

اولین قدم برای طراحی و استفاده از یک فرایند بستر سیال، تعیین حد اقل سرعت سیال سازی برای جامد مورد نظر است. افزایش سرعت هوای ورودی منجر به افزایش مقدار افت فشار بستر می شود. از یک سرعت مشخص به بعد مقدار افت فشار تقریباً ثابت شده و تغییرات چندانی در آن مشاهده نمی شود. این نقطه در واقع نقطه انتقال بستر از وضعیت ثابت به سیال می باشد و سرعت متناظر با آن، حد اقل سرعت سیالیت است. برای بدست آوردن مقدار تجربی این سرعت، بستری از دانه های کنجد تا ارتفاع ۸ سانتی متر فراهم شد. سپس سرعت ورودی گاز از صفر تا ۱ متر بر ثانیه (دبی از صفر تا ۳۶۰ لیتر بر دقیقه) افزایش و همزمان افت فشار بستر اندازه گیری شد. بر طبق تحقیقات ساکنا و وِگِل<sup>۱</sup> (۱۹۷۷) حد اقل سرعت سیال سازی از تقاطع منحنی افت فشار بستر ثابت با خط  $W/At$  بدست می آید (۹).

**۲-۲-۱- اثر ارتفاع بستر**

با توجه به اهمیت نسبت ارتفاع به قطر بستر در بررسی های هیدرودینامیکی، از این نسبت به عنوان اثر ارتفاع بستر بر حد اقل سرعت سیالیت استفاده شد. سه ارتفاع کمتر، مساوی و بیشتر از قطر مورد بررسی قرار گرفت. در هر ارتفاع ۳ مرتبه تکرار صورت گرفت.

**۲-۲-۲- اثر دما**

برای بررسی اثر دما ابتدا بستر را به دمای مورد نظر رسانده، پس از رسیدن به حالت پایدار، نمونه های کنجد درون بستر ریخته شده و حد اقل سرعت سیالیت اندازه گیری شد. در هر دما ۳ مرتبه تکرار صورت گرفت.

**۲-۳- برشته شدن دانه های کنجد**

برای تولید محصولات حاصل از کنجد مانند ارده و حلوا ضروری است تا قبل از برشته شدن، دانه های کنجد پوست گیری شوند. برای فرایند پوست گیری نیز لازم است تا ابتدا دانه های کنجد در آب خیسانده شود. از آنجایی که

هدف، برشته کردن دانه های غیر شور بوده از آب خالص استفاده شد. بدیهی است در صورتی که هدف برشته شدن دانه ها به صورت شور باشد، باید از آب نمک با غلظت مشخص استفاده شود. در این صورت برای تعیین میزان غلظت نمک در آب برای ایجاد شوری مناسب نیاز به آزمایش بیشتر دارد. بنابراین به منظور هر چه واقعی تر بودن شرایط، لازم است تا کنجد خیس شده، وارد واحد برشته سازی شود. لذا قبل از هر آزمایش به مدت نیم ساعت دانه های کنجد پوست گرفته را در آب خیسانده، پس از صاف کردن و حذف آب سطحی دانه ها بوسیله یک پارچه عملیات برشته کردن در بستر سیال انجام شد. طبیعی است که به دلیل خیس بودن دانه ها دمای محیط بستر به تدریج افزایش یافته و این افزایش با زیاد شدن دمای ورودی شدت می گیرد. دمای بستر سیال به وسیله دماسنجی که درون بستر قرار داشت اندازه گیری شد. دماها بعد از گذشت ۳۰ ثانیه پس از ریختن کنجدها درون بستر اندازه گیری و هر ۳۰ ثانیه یک دما ثبت شد.

**۲-۳-۱- عملیات برشته کردن**

برای رسیدن به شرایط پایدار، ابتدا به مدت نیم ساعت هوا در دمای مورد نظر و بدون حضور دانه ها در بستر جریان می یابد. پس از یکنواختی دما، ۳۰۰ گرم کنجد بدون پوست که ارتفاعی تقریباً معادل با قطر بستر بوجود می آورد را، از بالا به درون بستر ریخته و به فاصله ۳۰ ثانیه یک بار دمای درون بستر یادداشت می شود. در پایان هر آزمایش ابتدا نمونه بوسیله جریان هوای محیط با دمای  $3 \pm 25$  درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی  $2 \pm 12$  درصد در بستر سیال، سرد و در نهایت بوسیله افزایش سرعت هوا به خارج از بستر هدایت و پس از عبور از یک سیکلون جمع آوری شد.

**۲-۳-۲- اندازه گیری پراکسید روغن**

برای اینکه کیفیت محصول بدست آمده از فرایند بستر سیال مشخص شود ابتدا از کنجد برشته شده روغن گیری و سپس اندیس پراکسید آن اندازه گیری شد. روغن گیری به وسیله ی یک دستگاه اکسترودر به ابعاد ۵۰ در ۷۰ در ۱۲۰ سانتی متر،

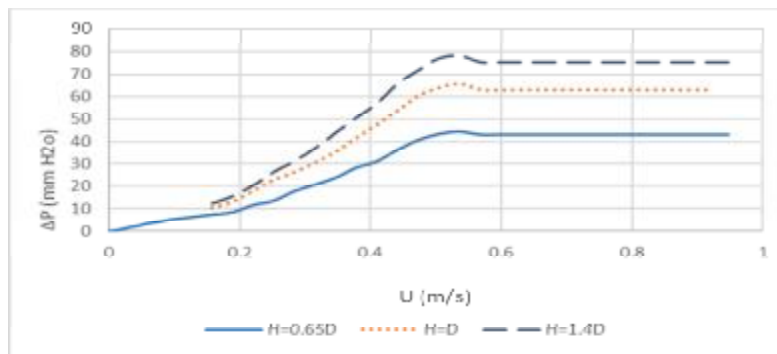
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- حد اقل سرعت سیالیت

شروع سیالیت در محلی اتفاق می‌افتد که روند افت فشار بستر تغییر کرده و تقریباً به صورت ثابت باقی بماند. دلیل ثابت بودن افت فشار، تغییر ماهیت بستر از حالت ثابت به حالت سیال می‌باشد. از این مرحله به بعد، افت فشار همانند افت فشار استاتیکی مایعات، تابعی از ارتفاع بستر می‌گردد که با توجه به عدم تغییر ارتفاع، مقدار آن نیز ثابت است.

#### ۳-۱-۱- اثر ارتفاع بستر

نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به بررسی تأثیر ارتفاع بستر روی حد اقل سرعت سیالیت برای دانه‌های کنجد در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- تأثیر ارتفاع بستر بر حد اقل سرعت سیالیت برای دانه‌های کنجد

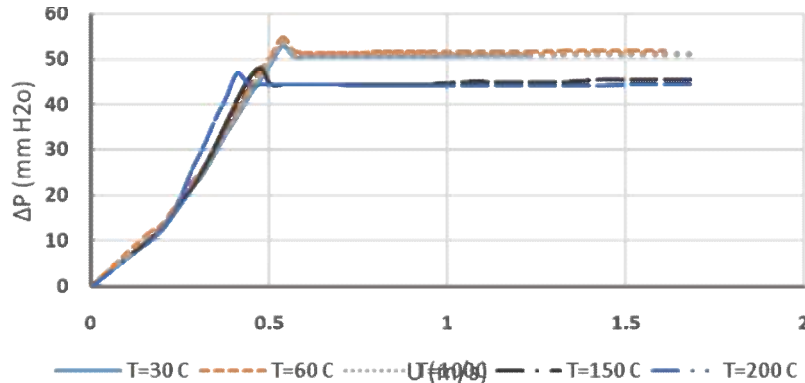
#### ۳-۱-۲- اثر دما

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در دماهای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، دما تأثیر معنی‌داری بر حد اقل سرعت سیالیت ندارد این در حالی است که در دماهای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، با افزایش دما حد اقل سرعت سیالیت کمی کاهش یافته است. همان گونه که در این شکل مشخص است حد اقل سرعت سیالیت، با ارتفاع دانه‌های کنجد برابر با قطر ستون، برای دماهای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ۰/۵ متر بر ثانیه و در دماهای ۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۳۸ متر بر ثانیه بدست آمد. از آنجایی که دمای بستر به مقدار زیادی افزایش پیدا

مدل NF 500 ساخت کشور آلمان، در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس ۲۰/۸ مگاهرتز انجام شد. مقدار پراکسید بر اساس تیتراسیون در مجاورت نشاسته و توسط تیوسولفات سدیم بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم برای ۱۰۰۰ گرم ماده چرب محاسبه گردید (۱۰). اندیس پراکسید، مقدار پراکسید موجود بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم اکسیژن فعال به ازای یک کیلوگرم روغن را بیان می‌کند. این اندیس میزان محصولات اولیه اکسیداسیون یعنی هیدروپراکسیدها را نشان می‌دهد که نسبت به حرارت ناپایدارند (۱۱). حداکثر مقدار مجاز برای اندیس پراکسید در کنجد فراوری شده ۵ میلی‌اکی‌والان در هر کیلوگرم می‌باشد (۱۱، ۱۲).

با افزایش ارتفاع بستر، وزن ذرات درون بستر زیاد شده باعث می‌شود تا برای حرکت و سیالیت آنها نیاز به فشار بالاتری باشد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود حد اقل سرعت سیالیت با تغییر ارتفاع بستر تغییر معنی‌داری ندارد. بنابراین قابل توجه نبودن میزان افزایش سرعت با افزایش ارتفاع بستر سبب شده تا برخی از محققین عدم وابستگی حد اقل سرعت سیالیت به ارتفاع بستر را نتیجه بگیرند. نتایج مشابه‌ای نیز توسط قاسمی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ذرات شن (۱۳) گزارش شده است.

نکرده است (حداکثر ۲۵۰ درجه)، پیش بینی ما این بود که سیال سازی نداشته باشد، لذا اثر متقابل دما و ارتفاع بر در دماهای بالاتر نیز ارتفاع بستر تأثیری بر حداقل سرعت حداقل سرعت سیال سازی بررسی نشد.



شکل ۳- تأثیر دما بر حداقل سرعت سیالیت برای دانه های کنجد در ارتفاع برابر با قطر (H=D)

دانه محاسبه شد (۱۴). در رابطه (۱)  $D_g$  قطر معادل (mm)، طول (mm)  $L$ ، عرض (mm)  $W$  و ضخامت (mm)  $T$  است.

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (1)$$

### ۲-۳ دانه های کنجد در دسته بندی گلدارت

جدول ۱ ویژگی های فیزیکی اندازه گیری شده دانه کنجد توسط توند و اکتینوند<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) را نشان می دهد. ابعاد ۲۰ دانه تصادفی کنجد با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه گیری و با استفاده از رابطه ی (۱) قطر معادل

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی دانه کنجد

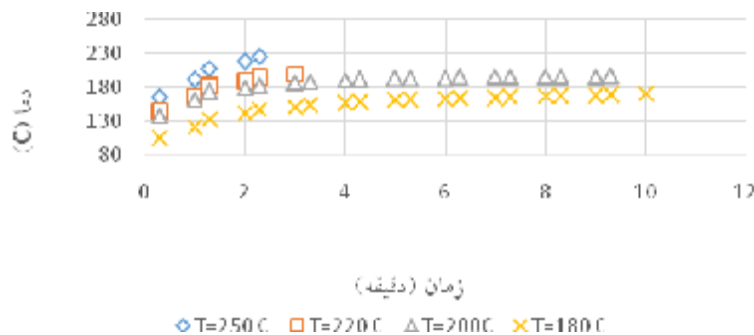
| ویژگی         | علائم    | واحد               | مقدار           |
|---------------|----------|--------------------|-----------------|
| طول           | L        | میلی متر           | $2.8 \pm 0.32$  |
| عرض           | W        | میلی متر           | $1.79 \pm 0.19$ |
| ضخامت         | T        | میلی متر           | $0.82 \pm 0.10$ |
| قطر معادل     | $D_g$    | میلی متر           | $1.56 \pm 0.17$ |
| دانسیتة حقیقی | $\rho_t$ | کیلوگرم بر مترمکعب | ۱۲۲۴            |
| دانسیتة ظاهری | $\rho_b$ | کیلوگرم بر مترمکعب | ۵۸۰             |

۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۵۰ درجه سانتی گراد انجام شد. زمان رسیدن دمای بستر به شرایط یکنواخت در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- آزمایش‌های برشته شدن به روش بستر سیال در

| دماهای مختلف                                   |                         |                               |
|--|-------------------------|-------------------------------|
| زمان رسیدن دمای بستر به دمای گاز ورودی (دقیقه) | زمان نمونه‌گیری (دقیقه) | دمای آزمایش (درجه سانتی گراد) |
| ۸  | ۱۵                      | ۱۸۰                           |
| ۵  | ۱۵                      | ۲۰۰                           |
| ۴  | ۸                       | ۲۲۰                           |
| ۳  | ۴                       | ۲۵۰                           |

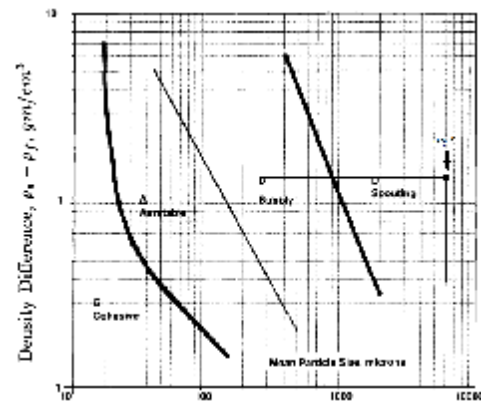
تغییر دمای بستر نسبت به زمان به ازای دماهای ورودی مختلف برای برشته کردن کنجد پوست گرفته در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵- تغییر دمای بستر سیال، طی فرایند برشته شدن کنجد بدون پوست

نشان داده شده است. همان طور که در این جدول ذکر شده دانه‌های کنجد بدون پوست در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد، در مدت ۳۰ دقیقه می‌سوزند بنابراین برای برشته کردن کنجد بدون پوست در دمای مذکور زمان کمتر از ۳۰ دقیقه لازم است. همچنین با توجه به جدول ۳ مشاهده

براساس مقادیر به دست آمده برای دانسیته و قطر معادل دانه کنجد مشخص شد که دانه کنجد جزء دسته گلدارت D می‌باشد. شکل ۴ این نتیجه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تعیین نوع دانه بر اساس دسته بندی گلدارت (۱۵)

۲-۳ آزمایش‌های مربوط به برشته شدن دانه‌های کنجد ۱-۲-۳ تغییر دمای بستر طی برشته شدن دانه‌های کنجد

آزمایش‌های برشته شدن در بستر سیال در دماهای ۱۸۰،

همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش دمای هوای ورودی، دمای نمونه‌ها با سرعت بیشتری افزایش یافته و باعث می‌شود تا زمان برشته شدن کاهش یابد.

۲-۲-۳ عملیات برشته کردن

نتایج برشته کردن دانه‌های کنجد بدون پوست در جدول ۳

می شود که با افزایش دما، سرعت برشته شدن نیز افزایش می یابد اما از آنجایی که این سرعت بیشتر از سرعت مربوط به افزایش دما است می توان بیان کرد که دما نقش بیشتری نسبت به زمان در برشته کردن دانه های کنجد به عهده دارد.

جدول ۳- زمان سوخته شدن دانه های کنجد در دماهای

| مختلف در بستر سیال |                                   |                                       |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| نوع کنجد           | دمای برشته سازی (درجه سانتی گراد) | زمان سوختن و سیاه شدن دانه ها (دقیقه) |
| بدون پوست          | ۱۸۰                               | ۳۰                                    |
|                    | ۲۰۰                               | ۲۰                                    |
|                    | ۲۲۰                               | ۸                                     |
|                    | ۲۵۰                               | ۶                                     |

### ۳-۲-۳- اندیس پراکسید

اندیس پراکسید نمونه های برشته شده کنجد بدون پوست در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴ اندیس پراکسید روغن استخراج شده از کنجد

| بدون پوست برشته شده در یک بستر سیال |            |                              |
|-------------------------------------|------------|------------------------------|
| دما (°C)                            | زمان (min) | عدد پراکسید (meq O2/ kg oil) |
| خام                                 | ۰          | ۳/۲۵                         |
| ۱۸۰                                 | ۶          | ۱/۴۸                         |
|                                     | ۱۰         | ۱/۱۷                         |
|                                     | ۱۵         | ۱/۱۶                         |
| ۲۰۰                                 | ۲۰         | ۱/۹۱                         |
|                                     | ۴          | ۱/۹۸                         |
|                                     | ۶          | ۱/۹۷                         |
| ۲۲۰                                 | ۱۰         | ۲/۶۷                         |
|                                     | ۱۵         | ۴/۴۳                         |
|                                     | ۲          | -                            |
| ۲۵۰                                 | ۴          | ۲/۱                          |
|                                     | ۶          | ۱/۴۲                         |
|                                     | ۸          | ۲/۱۲                         |
| ۲۵۰                                 | ۱          | -                            |
|                                     | ۲          | -                            |
|                                     | ۳          | ۱/۵۲                         |

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود اندیس پراکسید در دماهای ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی گراد بین ۱/۴۲ و ۴/۴۳ میلی اکسیژن در کیلوگرم می باشد. طبق استانداردهای جهانی حداکثر مقدار مجاز برای اندیس پراکسید در کنجد فراوری شده ۵ میلی اکسیژن در کیلوگرم می باشد (۱۱،۱۲). بنابراین تمام نمونه های روغن کنجد بدون پوست در محدوده ی استاندارد قرار دارند و با توجه به زمان اقامت دانه ها در بستر می توان کلیه دماهای مذکور را در برشته کردن دانه ها بکار برد. با توجه به جدول ۴ مشاهده می شود که در هر دمایی اندیس پراکسید، با افزایش زمان، ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد. این روند در دماهای مختلف برشته کردن بطور مشابه تکرار شده است. با توجه به این روند بیشتر شدن اندیس پراکسید کنجد خام نسبت به دانه های برشته شده قابل توجیه است. کاهش اولیه اندیس پراکسید برای کنجد بدون پوست برشته شده به معنای ماندگاری بیشتر کنجد برشته شده و نیز روغن تولید شده حاصل از آن نسبت به کنجد خام است (البته به شرط اینکه زمان اقامت دانه هایی که در معرض دمای بالا قرار می گیرند محدود باشد). دمای بالاتر، رطوبت پایین تر و محیط قلیائی از عوامل افزایش دهنده سرعت واکنش میلارد هستند (۱۶،۱۷). از آنجایی که دانه های کنجد بدون پوست در ابتدا به مدت نیم ساعت خیس خورده و بعد برشته شدند، رطوبت اولیه دانه ها، که در کاهش سرعت واکنش میلارد موثر است، می تواند یکی از عوامل کاهش عدد پراکسید در زمان های اولیه باشد. کاهش این اندیس طی برشته شدن کنجد بدون پوست به معنای پایداری بیشتر روغن کنجد در برابر اکسیداسیون (ماندگاری بیشتر کنجد نسبت به کنجد خام) است. بر عکس افزایش اندیس پراکسید به معنای کاهش پایداری روغن و به عبارت دیگر افزایش پتانسیل برای اکسیداسیون بیشتر است. فرایند اکسایش و تخریب اکسایشی همیشه منجر به ایجاد بد طعمی و کاهش کیفیت و افت ارزش تغذیه ای روغن ها و چربی ها خواهد شد (۱۸). مطابق داده های ارائه شده در جدول ۴ اگر چه برشته شدن در دمای ۲۵۰ درجه صورت گرفته ولی اندیس پراکسید آن



داده شده است. این آزمایش برای تمام نمونه‌ها دوبار تکرار شد.

جدول ۶ آزمایش اثر برشته کردن بر مقدار روغن کنجد با

| پوست                       |           |
|----------------------------|-----------|
| مشخصات روغن                | وزن (گرم) |
| کنجد خام                   | ۲۲۶/۴۵    |
| برشته<br>(T=200 C, 15 min) | ۱۳۹/۵     |

همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود مقدار روغن حاصل از کنجد برشته شده نسبت به مقدار روغن حاصل از کنجد خام به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که این کاهش حدود ۶۱ درصد است بنابراین برشته کردن باعث کاهش روغن کنجد شده است. یکی از دلایل کاهش روغن می‌تواند به دلیل انجام واکنش میلارد طی فرایند برشته شدن روی دهد زیرا که طی این فرایند ترکیبات روغنی دانه‌های کنجد در اثر واکنش به مواد فرار تجزیه شده و باعث کاهش روغن می‌شوند (۴,۱۹). عامل دیگر در این کاهش می‌تواند به دلیل تردتر شدن بافت کنجد هنگام برشته کردن باشد. در حقیقت هنگامی که کنجد برشته می‌شود، بافت کنجد تردتر شده (۲۰) دانه‌ها بیشتر به هم و به بدنه دستگاه می‌چسبند و در نتیجه هنگام چرخش ماردون اکسترودر، خروج روغن از درون بافت آن با سختی بیشتری صورت می‌گیرد.

### ۳-۳ شرایط بهینه برشته کردن دانه‌های کنجد به روش

#### بستر سیال

شرایط مناسب جهت برشته کردن دانه‌های کنجد بدون پوست به روش بستر سیال به منظور دستیابی به کنجد و ارده مطلوب با توجه به اندیس پراکسید و زمان سوخته شدن دانه‌ها، تعیین و در جدول ۷ ارائه شد.

از نمونه خام و یا اکثر نمونه‌ها کمتر است. این موضوع بیان می‌کند که اندیس پراکسید تنها به دمای برشته شدن وابسته نبوده بلکه مدت زمان برشته شدن نیز اهمیت دارد. پس برای تهیه دانه‌های کنجد برشته شده بهترین گزینه، از نظر میزان ماندگاری دانه، مرطوب کردن اولیه دانه‌ها، برشته کردن در دمای بالا و زمان کوتاه است. با توجه به روند تغییرات اندیس پراکسید در دماهای مختلف، زمان مناسب جهت برشته شدن دانه‌های کنجد تعیین و در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ زمان مناسب برای برشته شدن دانه‌های کنجد بدون

پوست با توجه به اندیس پراکسید

| دما<br>(°C) | زمان بهینه نسبت<br>به اندیس پراکسید<br>(دقیقه) |
|-------------|--|
| ۱۸۰         | ۱۵   |
| ۲۰۰         | ۵  |
| ۲۲۰         | ۶  |
| ۲۵۰         | -  |

### ۳-۲-۴ اثر برشته کردن کنجد بر مقدار روغن

یکی از مسائلی که کمتر مورد توجه واقع شده، اثر برشته کردن کنجد بر میزان روغن استحصال شده است. آنچه که متصدیان در فروشگاه‌های استخراج روغن کنجد اتفاق نظر دارند این است که برشته کردن کنجد، روغن کنجد را کاهش می‌دهد، از این رو برای اینکه بتوان این مطلب را اثبات یا رد کرد و بدانیم که برشته کردن کنجد علاوه بر تأثیر بر کیفیت روغن، آیا مقدار آن را هم تغییر می‌دهد، اثر برشته کردن بر میزان روغن کنجد بررسی شد. بدین منظور نیم کیلو کنجد با پوست (برشته شده به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰۰ °C) و نیم کیلو کنجد با پوست ولی به صورت خام تهیه و به صورت جداگانه روغن‌گیری شد. روغن‌گیری به وسیله‌ی دستگاه پرس سرد تحت شرایط یکسان انجام گرفت. نتیجه این آزمون در جدول ۶ نشان

جدول ۷ شرایط بهینه برشته کردن دانه‌های کنجد خیس شده

| به روش بستر سیال |             |
|------------------|-------------|
| زمان بهینه       | دما<br>(°C) |
| ۵ دقیقه          | ۲۵۰         |
| ۷ دقیقه          | ۲۲۰         |
| ۱۵ دقیقه         | ۲۰۰         |
| ۲۰ دقیقه         | ۱۸۰         |

کاه یا گلو و کایا (۶) شرایط بهینه برای برشته کردن کنجدهای بدون پوست در دمای ۱۷۰-۱۵۵ درجه سانتی

گراد را ۶۰-۴۰ دقیقه بدست آوردند. همان طور که مشاهده می‌شود مدت زمان برشته‌سازی در روش بستر سیال، حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. نتایج مربوط به زمان مناسب برشته شدن دانه‌های کنجد به روش بستر ثابت، حاصل کار محققین مختلف، در جدول ۸ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در روش بستر سیال کاهش چشمگیری در زمان برشته شدن بوجود می‌آید. علت کاهش زمان برشته کردن دانه‌ها را می‌توان مربوط به افزایش سرعت پدیده‌های انتقال (انتقال حرارت و انتقال جرم) در فرایند بستر سیال دانست. در این فرایند علاوه بر کاهش زمان برشته شدن، برشته شدن نیز به صورت یک دست و یکنواخت صورت می‌گیرد (۲۱)

جدول ۸ شرایط مناسب برای برشته کردن دانه‌های کنجد در بستر ثابت حاصل پژوهش محققین مختلف

| دما و زمان بهینه | روش برشته کردن          | نوع کنجد  | سال  | پژوهش گر             |
|------------------|-------------------------|-----------|------|----------------------|
| C ۱۸۰ و ۳۰ دقیقه | آون الکتریکی            | با پوست   | ۱۹۹۴ | یوشیدا (۳)           |
| C ۱۶۰ و ۲۵ دقیقه |                         |           |      |                      |
| C ۱۸۰ و ۲۵ دقیقه | آون الکتریکی            | با پوست   | ۱۹۹۷ | یوشیدا (۴)           |
| C ۲۰۰ و ۱۵ دقیق  |                         |           |      |                      |
| C ۲۲۰ و ۵ دقیقه  |                         |           |      |                      |
| C ۲۰۰ و ۲۰ دقیقه | آون الکتریکی            | با پوست   | ۲۰۰۰ | ابو غاریبی (۲۱)      |
| C ۲۰۰ و ۶۰ دقیقه | کوره حرارتی             | با پوست   | ۲۰۰۴ | جیونگ (۲۲)           |
| C ۱۵۵-۱۷۰ در     | آون الکتریکی - هوای داغ | بدون پوست | ۲۰۰۶ | کاپاگلو و کایا (۶)   |
| مدت ۶۰-۴۰ دقیقه  |                         |           |      |                      |
| C ۲۰۰ و ۲۰ دقیقه | آون الکتریکی            | با پوست   | ۲۰۱۱ | جنت و همکاران (۷)    |
| C ۲۱۵-۲۲۰ در     | آون الکتریکی            | با پوست   | ۲۰۱۴ | برجیان و همکاران (۸) |
| C ۱۵-۲۰ دقیقه    |                         |           |      |                      |
| C ۱۵۰ و ۹۰ دقیقه | روش ذکر نشده            | با پوست   | ۲۰۱۵ | ریزکی (۲۳)           |

## ۴- نتیجه‌گیری

جهت برشته کردن دانه‌های کنجد، از روش بستر سیال استفاده شد. قدم اول در سیال‌سازی محاسبه حداقل سرعت سیالیت است. بدین منظور اثر دما و ارتفاع بر حداقل سرعت سیالیت بررسی شد. نتایج نشان داد که ارتفاع و دماهای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تأثیری بر حداقل سرعت سیالیت نداشته در حالی که با افزایش دما در دماهای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، حداقل سرعت سیالیت کمی کاهش یافت. برای بررسی فرایند برشته کردن به منظور حفظ کیفیت دانه‌های برشته شده، اندیس پراکسید تعیین شد. با افزایش دما و زمان برشته شدن این اندیس افزایش یافت. اثر برشته کردن بر میزان روغن کنجد نیز بررسی و نشان داده شد که اختلاف معنی داری بین مقدار روغن حاصل از کنجد برشته شده و مقدار روغن حاصل از کنجد خام وجود دارد و برشته کردن باعث کاهش ۴۰ درصدی روغن کنجد می‌شود. شرایط بهینه برشته کردن به روش بستر سیال جهت فراهم کردن دانه‌هایی با کیفیت بیشتر تعیین و در جدول ۷ ارائه شد. با مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین مشخص شد که مدت زمان برشته شدن دانه‌های کنجد به روش بستر سیال، در مقایسه با سایر روش‌ها حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. این زمان برای برشته کردن کنجد بدون پوست در دماهای ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب کمتر از ۲۰، ۱۵، ۷ و ۵ دقیقه بدست آمد. از تحقیق انجام شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بستر سیال می‌تواند به عنوان ابزاری توانمند برای برشته کردن دانه‌های کنجد مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

## ۵- منابع

۱. کیفیت بهتر، علوم غذایی و تغذیه، سال دوازدهم، شماره ۴، ۱۱۱-۱۰۱.
۲. قاسمی، ح.، امینی، ح.، خیاط، م. ۱۳۸۸. مطالعه تجربی سیال‌سازی ذرات جامد در یک بستر سیال حبایی، مجله مهندسی مکانیک مدرس، جلد ۱۴، شماره ۱۶، ۱۰۰-۹۴.
4. Abou-Gharbia, HA., Shehata, AAY., Shahidi, F. 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Res Int.*;33(5):331-40.
5. Ozcan, M., Akgul, A., Fakiiltesi, Z. 1994. Physical and chemical properties and fatty acid composition of tahin (sesame paste). *Gida*,19:411-6.
6. Yoshida, H. 1994. Composition and quality characteristics of sesame seed (*Sesamum indicum*) oil roasted at different temperatures in an electric oven. *J Sci Food Agric*, 65(3):331-6.
7. Yoshida, H., Takagi, S. 1997. Effects of seed roasting temperature and time on the quality characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) oil. *J Sci Food Agric*. 75(1):19-26.
8. El-Adawy, TA., Mansour, EH. 2000. Nutritional and physicochemical evaluations of tahina (sesame butter) prepared from heat-treated sesame seeds. *J Sci Food Agric*. 80(14):2005-11.
9. Kahyaoglu, T., Kaya, S. 2006. Determination of optimum processing conditions for hot-air roasting of hulled sesame seeds using response surface methodology. *J Sci Food Agric*. 86(10):1452-9.
10. Jannat, B., Oveisi, MR., Sadeghi, N. 2010. Effects of roasting temperature and time on healthy nutraceuticals of antioxidants and total phenolic content in Iranian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *Iran J Environ Heal Sci Eng*. 7(1):97-102.
11. Saxena, SC., Vogel, GJ. 1977. Segregation and fluidization characteristics of a dolomite bed with a range of particle sizes and shapes. *Chem Eng J*,14(1):59-63.
12. International, A. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International; 2005.
13. Alimentarius C. 1999. Codex standard for named vegetable oils. Codex Stan, ;210:1999.

۱. استاندارد ملی ایران شماره ۴۱۷۹، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی اندازه‌گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری-تعیین نقطه پایانی به طریق چشمی، ۱۳۸۷.
۲. برجیان، م.، گلی، س. ا. ح.، قرچورلو، م.، عزیز زناد، ر. ۱۳۹۴. بهینه‌سازی فرایند برشته کردن دانه‌های کنجد جهت تولید روغن با

20. Kahyaoglu, T., Kaya, S. 2006. Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *J Food Eng.*, 75(2):167-77.
21. Hui, YH., Abou-Gharbia, HA., Shehata, AAY., Shahidi, F. 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Res Int.*, 33(5):331-40.
22. Jeong, SM., Kim, SY., Kim, DR. 2004. Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *J Food Sci*, 69(5):377-81.
23. Rizki, H., Kzaiber, F., Elharfi, M., Ennahli, S., Hanine, H. 2015. Effects of roasting temperature and time on the physicochemical properties of sesame (*Sesamum indicum*. L) seeds. *Int J Innov Appl Stud*, 11(1):148.
14. Tunde-Akintunde, TY., Akintunde, BO. 2004. Some physical properties of sesame seed. *Biosyst Eng*, 88(1):127-9.
15. Geldart, D. 1973. Types of gas fluidization. *Powder Technol*, 7(5):285-92.
16. Martins, SIFS., Jongen, WMF., Van Boekel MAJS. 2000. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends Food Sci Technol.*, 11(9):364-73.
17. Deshpande, SS., Cheryan, M., Salunkhe, DK., Luh, BS. 1986. Tannin analysis of food products. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 24(4):401-49.
18. Yanishlieva, N V., Marinova, EM. 2001. Stabilisation of edible oils with natural antioxidants. *Eur J Lipid Sci Technol.*, 103(11):752-67.
19. Lee, SW., Jeung, MK., Park, MH., Lee, SY., Lee, J. 2010. Effects of roasting conditions of sesame seeds on the oxidative stability of pressed oil during thermal oxidation. *Food Chem.*, 118(3):681-5.

(Original Research Paper)  
**Investigating Potential of Using Fluidized Bed for Sesame Seeds  
Roasting**

Hamid Gholami<sup>1</sup>, Mohammad Mehdi Afsahi<sup>2\*</sup>, Asghar Karami<sup>3</sup>

1-MSc Student, Department of Chemical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,  
Kerman, Iran.

2-Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,  
Kerman, Iran.

3-BSc Student, Department of Chemical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,  
Kerman, Iran.

Received: 26/07/2017

Accepted: 03/02/2018

**Abstract**

The use of fluidized bed and its replacement with the traditional methods, is an innovative idea because due to continual displacement of particles, values of the quantities are uniform in all parts of the bed. Unlike vast application of this method in the industries, it has been considered less for roasting of the agricultural products. To perform an experimental study relevant to this process, a fluidized bed was designed and fabricated in order to investigate effect of the related parameters on fluidization and also on roasting of the sesame seeds. The first step in fluidization is calculation of minimum fluidization velocity. Therefore effect of temperature and bed height on minimum fluidization velocity were investigated. The results indicated bed height and temperatures below 100 ° C does not have any effect on minimum fluidization velocity. The obtained velocity value was 0.5 m/s and this value was decreased a little at temperatures above 100 ° C. Roasting was carried out at temperatures of 180, 200, 220 and 250 ° C. To determine proper conditions for roasting, in order to achieve good quality sesame butter (Ardeh), peroxide value was measured. The results showed that, through increasing temperature, peroxide value will increase. According to the obtained results in the present research, in comparison with the other researchers, roasting of sesame seeds in a fluidized bed requires almost 50% less time compared to the other methods. This time for roasting of dehulled sesame seeds at temperatures of 180, 200, 220 and 250 ° C was obtained less than 20, 15, 7 and 5 minutes respectively. Effect of roasting on amount of sesame oil was also investigated and showed that there is a meaningful difference between amount of oil obtained from roasted sesame and amount of oil obtained from raw sesame seeds and roasting causes the reduction in sesame oil.

**Keywords:** Fluidized bed, Roasting, Sesame, Minimum Fluidization Velocity, Peroxide Index

---

\*Corresponding Author: [afsahi@uk.ac.ir](mailto:afsahi@uk.ac.ir)

