

# بررسی امکان بکارگیری بستر سیال جهت برشته کردن دانه‌های کنجد

حمید غلامی<sup>1</sup>، محمد مهدی افصحی<sup>2\*</sup>، اصغر کریمی<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

3- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ پذیرش: 96/11/14

تاریخ دریافت: 96/05/04

## 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 100 درجه سانتی‌گراد، تأثیری بر حداقل سرعت سیالیت ندارد. مقدار این سرعت 0/5 متر بر ثانیه بدست آمد و این مقدار در دماهای بالای 100 درجه، کمی کاهش یافت. برشته‌سازی در دماهای 180، 200، 220 و 250 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 50 درصد کاهش می‌یابد. این زمان برای برشته کردن کنجد بدون پوست در دماهای 180، 200، 220 و 250 درجه سانتی‌گراد به ترتیب کمتر از 20، 15، 7 و 5 دقیقه بدست آمد. 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 روغن کنجد می‌شود.

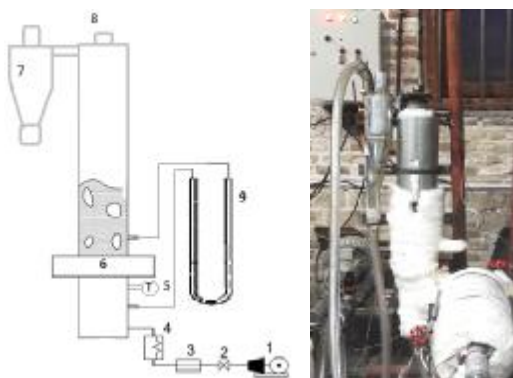
**واژه‌های کلیدی:** بستر سیال، برشته کردن، کنجد، حداقل سرعت سیالیت، اندیس پراکسید

## 1-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 (1). 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 (1994) جهت تولید ارده، دانه‌های کنجد را در دمای 100-150 درجه سانتی‌گراد در مدت زمان 3-2/5 ساعت به روش بستر ثابت برشته کردند (2). یوشیدا (1994) 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 30 دقیقه به وسیله‌ی اجاق برقی خانگی در دماهای 120-250 درجه سانتی‌گراد را با روغن حاصل از کنجد خام مقایسه کرد (3). یوشیدا و تاکاجی (1997) 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 160 و 180 درجه سانتی‌گراد به مدت 25 دقیقه همچنین در دمای 200 درجه سانتی‌گراد به مدت 15 دقیقه و در دمای 220 درجه سانتی‌گراد به مدت 5 دقیقه حاصل می‌شود (4). ال-ادوی<sup>1</sup> و منصور (2000) اثر روش‌های مختلف برشته

شدن کنجد را بر روی کیفیت ارده و ارزش غذایی آن بررسی نمودند. آنها چهار روش بخار پز<sup>2</sup>، بخار در دمای 100 درجه سانتی‌گراد و مدت 3 ساعت، روش اجاق خلاء: 100 درجه سانتی‌گراد و مدت 1 ساعت، روش صفحه داغ: دمای 130 درجه سانتی‌گراد و 1 ساعت و روش هوای داغ: دمای 130 درجه سانتی‌گراد و 1 ساعت را بررسی کردند و گزارش دادند که ارده با کیفیت بالا از روش هوای داغ 130 درجه سانتی‌گراد در مدت 1 ساعت حاصل می‌شود (5). کاهیاگلو و کایا (2006) گزارش دادند که شرایط بهینه برشته شدن دانه‌های کنجد جهت تولید ارده به وسیله‌ی بستر دوار در دمای 170 - 155 درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان 60 - 40 دقیقه اتفاق می‌افتد (6). جنت و همکاران (2010) گزارش دادند که شرایط بهینه برشته کردن به وسیله‌ی آون الکتریکی برای رسیدن به بیشترین درصد آنتی‌اکسیدانی و کل محتوای فنولیکی دانه‌های کنجد دمای 200 درجه سانتی‌گراد و به مدت 20 دقیقه اتفاق می‌افتد (7). برجیان و همکاران (2014) گزارش دادند که بدون توجه به نوع کنجد بهترین روغن کنجد برشته شده به وسیله آون الکتریکی دارای گردش هوا در محدوده‌ی دمایی 220-215 درجه سانتی‌گراد و زمان 20-15 دقیقه بدست می‌آید (8). 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 به طور 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

<sup>2</sup> Steam roasting<sup>1</sup> El-Adawy & Mansour



شکل 1 نمایی از بستر سیال برای انجام آزمایش‌های برشته کردن

1-دمنده 2-شیر قابل تنظیم 3-دبی سنج 4-گرمکن 5-دما سنج 6- فضای پخش کننده 7-سیکلون 8-محل وارد کردن کنجد 9- مانومتر U شکل

برای مشاهده وضعیت درون بستر، بر روی قسمتی از بستر، شیشه‌ی پیرکس نصب شد. شیشه‌ی پیرکس تا دمای 300 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 2/5 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  $1^{\circ}\text{C}$  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 180 تا 250 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.

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

### 2-1- مشخصات دستگاه بستر سیال

برای بررسی شرایط برشته کردن دانه‌های کنجد در بستر سیال، دستگاهی در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. شکل 1 نمایی از چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد. جنس لوله از فولاد ضد زنگ<sup>3</sup>، مقطع بستر دایروی با قطر داخلی 8/2 سانتی متر و ارتفاع آن 1 متر می‌باشد. هوای پرفشار توسط یک دمنده<sup>4</sup> با توان 2/2 کیلو وات، حداکثر دبی 265 مترمکعب بر ساعت مجهز به اینورتور سه فاز به وسیله‌ی خطوط انتقال به صورت جت وارد فضای پخش کننده<sup>5</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 200 سوراخ 1/5 میلیمتری با گام<sup>6</sup> 5 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.

<sup>3</sup> Stainless steel 304

<sup>4</sup> fan

<sup>5</sup> distributor

<sup>6</sup> pitch

## 2-2 حداقل سرعت سیالیت

اولین قدم برای طراحی و استفاده از یک فرایند بستر سیال، تعیین حداقل 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، حداقل سرعت سیالیت است. برای بدست آوردن مقدار تجربی این سرعت، بستری از دانه های کنجد تا ارتفاع 8 سانتی متر فراهم شد. سپس سرعت ورودی گاز از صفر تا 1 متر بر ثانیه (دبی از صفر تا 360 لیتر بر دقیقه) افزایش و همزمان افت فشار بستر اندازه گیری شد. بر طبق تحقیقات ساکنا و وُگِل<sup>7</sup> (1977) حداقل سرعت سیال سازی از تقاطع منحنی افت فشار بستر ثابت با خط  $W/At$  بدست می آید (9).

## 2-2-1 اثر ارتفاع بستر

با توجه به اهمیت نسبت ارتفاع به قطر بستر در بررسی های هیدرودینامیکی، از این نسبت بعنوان اثر ارتفاع بستر بر حداقل سرعت سیالیت استفاده شد. سه ارتفاع کمتر، مساوی و بیشتر از قطر مورد بررسی قرار گرفت. در هر ارتفاع 3 مرتبه تکرار صورت گرفت.

## 2-2-2 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 حداقل سرعت سیالیت اندازه گیری شد. در هر دما 3 مرتبه تکرار صورت گرفت.

## 2-3 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 30 ثانیه پس از ریختن کنجدها درون بستر اندازه گیری و هر 30 ثانیه یک دما ثبت شد.

## 2-3-1 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، 300 گرم کنجد بدون پوست که ارتفاعی تقریباً معادل با قطر بستر بوجود می آورد را، از بالا به درون بستر ریخته و به فاصله 30 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.

## 2-4 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 50 در 70 در 120 سانتی متر،

<sup>7</sup> Vogel

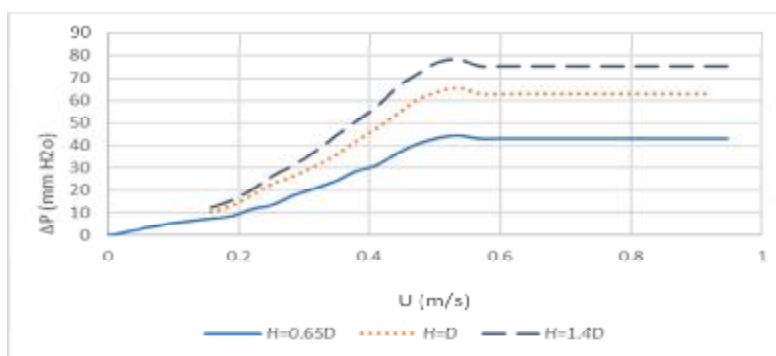
### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- حداقل 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.

#### 3-1-1 اثر ارتفاع بستر

نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به بررسی تأثیر ارتفاع بستر روی حداقل سرعت سیالیت برای دانه‌های کنجد در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2 تأثیر ارتفاع بستر بر حداقل سرعت سیالیت برای دانه‌های کنجد

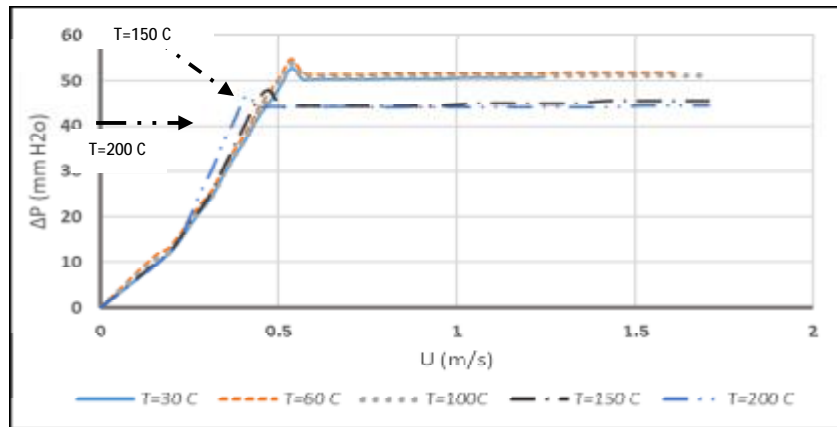
#### 3-1-2 اثر دما

همانطور که در شکل 3 مشاهده می‌شود در دماهای زیر 100 درجه سانتی‌گراد، دما تأثیر معنی‌داری بر حداقل سرعت سیالیت ندارد این در حالی است که در دماهای بالای 100 درجه سانتی‌گراد، با افزایش دما حداقل سرعت سیالیت کمی کاهش یافته است. همان گونه که در این شکل مشخص است حداقل سرعت سیالیت، با ارتفاع دانه‌های کنجد برابر با قطر ستون، برای دماهای زیر 100 درجه سانتی‌گراد 0/5 متر بر ثانیه و در دماهای 150 و 200 درجه سانتی‌گراد به ترتیب 0/42 و 0/38 متر بر ثانیه بدست آمد. از آنجایی که دمای بستر به مقدار زیادی افزایش پیدا

مدل NF 500 ساخت کشور آلمان، در دمای 100 درجه سانتی‌گراد و فرکانس 20/8 مگاهرتز انجام شد. مقدار پراکسید بر اساس تیتراسیون در مجاورت نشاسته و توسط تیوسولفات سدیم برحسب میلی‌اکی والان گرم برای 1000 گرم ماده چرب محاسبه گردید (10). اندیس پراکسید، مقدار پراکسید موجود بر حسب میلی‌اکی والان 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 (11). حداکثر مقدار مجاز برای اندیس پراکسید در کنجد فراوری شده 5 میلی‌اکی والان در هر کیلوگرم می‌باشد (11,12).

با افزایش ارتفاع بستر، وزن ذرات درون بستر زیاد شده باعث می‌شود تا برای حرکت و سیالیت آنها نیاز به فشار بالاتری باشد. همان طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود حداقل 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 حداقل سرعت سیالیت به ارتفاع بستر را نتیجه بگیرند. نتایج مشابه‌ای نیز توسط قاسمی و همکاران (2008) در بررسی ذرات شن (13) گزارش شده است.

نکرده است (حداکثر 250 درجه)، پیش بینی ما این بود که در دماهای بالاتر نیز ارتفاع بستر تأثیری بر حداقل سرعت سیال سازی نداشته باشد، لذا اثر متقابل دما و ارتفاع بر حداقل سرعت سیال سازی بررسی نشد.



شکل 3 تأثیر دما بر حداقل سرعت سیالیت برای دانه های کنجد در ارتفاع برابر با قطر (H=D)

دانه محاسبه شد (14). در رابطه (1)  $D_g$  قطر معادل (mm)، طول (mm)  $L$ ، عرض (mm)  $W$  و ضخامت (mm)  $T$  است.

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

### 2-3 دانه های کنجد در دسته بندی گلدارت

جدول 1 ویژگی های فیزیکی اندازه گیری شده دانه کنجد توسط توند و اکتینوند<sup>8</sup> (2004) را نشان می دهد. ابعاد 20 دانه تصادفی کنجد با استفاده از کولیس با دقت 0/01 میلی متر اندازه گیری و با استفاده از رابطه ی (1) قطر معادل

جدول 1 ویژگی های فیزیکی دانه کنجد

ویژگی	علائم	واحد	مقدار
طول	L	میلی متر	2/8 ± 0/32
عرض	W	میلی متر	1/69 ± 0/19
ضخامت	T	میلی متر	0/82 ± 0/10
قطر معادل	$D_g$	میلی متر	1/56 ± 0/17
دانسیته حقیقی	$\rho_t$	کیلوگرم بر مترمکعب	1224
دانسیته ظاهری	$\rho_b$	کیلوگرم بر مترمکعب	580

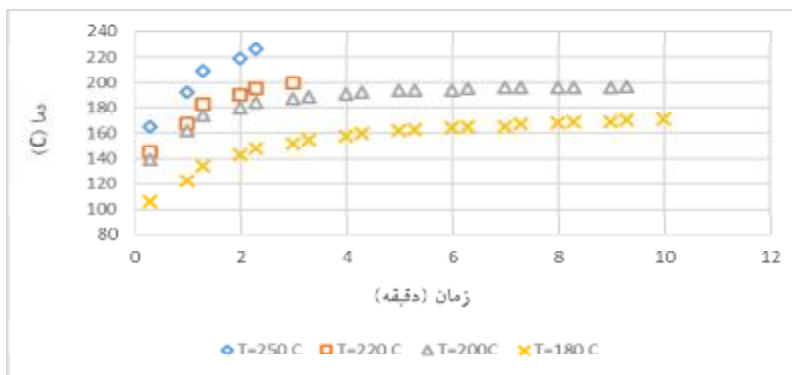
<sup>8</sup> T.Y.Tunde-Akintunde, B.O.Akintunde

200، 220 و 250 درجه سانتی گراد انجام شد. زمان رسیدن دمای بستر به شرایط یکنواخت در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2 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)
8	15	180
5	15	200
4	8	220
3	4	250

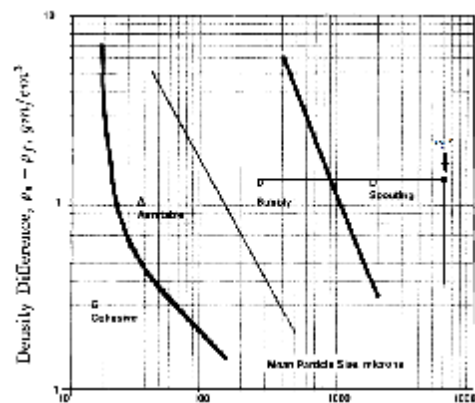
تغییر دمای بستر نسبت به زمان به ازای دماهای ورودی مختلف برای برشته کردن کنجد پوست گرفته در شکل 5 ارائه شده است.



شکل 5 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 180 درجه سانتی گراد، در مدت 30 دقیقه می‌سوزند بنابراین برای برشته کردن کنجد بدون پوست در دمای مذکور زمان کمتر از 30 دقیقه لازم است. همچنین با توجه به جدول 3 مشاهده

براساس مقادیر به دست آمده برای دانسیته و قطر معادل دانه کنجد مشخص شد که دانه کنجد جزء دسته گلدارت D می‌باشد. شکل 4 این نتیجه را نشان می‌دهد.



شکل 4 تعیین نوع دانه بر اساس دسته بندی گلدارت (15)

2-3 آزمایش‌های مربوط به برشته شدن دانه‌های کنجد 1-2-3 تغییر دمای بستر طی برشته شدن دانه‌های کنجد

آزمایش‌های برشته شدن در بستر سیال در دماهای 180،

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.

2-2-3 عملیات برشته کردن

نتایج برشته کردن دانه‌های کنجد بدون پوست در جدول 3

همان طور که در جدول 4 مشاهده می شود اندیس پراکسید در دماهای 180 تا 250 درجه سانتی گراد بین 1/42 و 4/43 میلی اکی والان در کیلوگرم می باشد. طبق استانداردهای جهانی حداکثر مقدار مجاز برای اندیس پراکسید در کنجد فراوری شده 5 میلی اکی والان در کیلوگرم می باشد. (11,12). 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 4 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 (16,17). 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 (18). مطابق داده های ارائه شده در جدول 4 اگر چه برشته شدن در دمای 250 درجه صورت گرفته ولی اندیس پراکسید آن

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 3 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	180	30
	200	20
	220	8
	250	6

#### 3-2-3 اندیس پراکسید

اندیس پراکسید نمونه های برشته شده کنجد بدون پوست در جدول 4 نشان داده شده است.

#### جدول 4 اندیس پراکسید روغن استخراج شده از کنجد

##### بدون پوست برشته شده در یک بستر سیال

دما (°C)	زمان (min)	عدد پراکسید (meq O <sub>2</sub> / kg oil)
خام	0	3/25
180	6	1/48
	10	1/17
	15	1/16
	20	1/91
200	4	1/98
	6	1/97
	10	2/67
	15	4/43
220	2	-
	4	2/1
	6	1/42
	8	2/12
250	1	-
	2	-
	3	1/52



یکسان انجام گرفت. نتیجه این آزمون در جدول 6 نشان داده شده است. این آزمایش برای تمام نمونه‌ها دوبار تکرار شد.

جدول 6 آزمایش اثر برشته کردن بر مقدار روغن کنجد با

مشخصات روغن	وزن (گرم)
کنجد خام	226/45
برشته (T=200 C, 15 min)	139/5

همان طور که در جدول 6 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 61 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 (4,19). 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 (20) 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.

### 3-3 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 7 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 5 ارائه شده است.

جدول 5 زمان مناسب برای برشته شدن دانه‌های کنجد بدون

پوست با توجه به اندیس پراکسید

دما ( <sup>0</sup> C)	زمان بهینه نسبت به اندیس پراکسید (دقیقه)
180	15
200	5
220	6
250	-

### 3-2-4 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 15 دقیقه در دمای 200<sup>0</sup>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

جدول 7 شرایط بهینه برشته کردن دانه‌های کنجد خیس شده

به روش بستر سیال	
زمان بهینه	دما (°C)
5 دقیقه	250
7 دقیقه	220
15 دقیقه	200
20 دقیقه	180

کاه یا گلو و کایا (6) شرایط بهینه برای برشته کردن کنجدهای بدون پوست در دمای 155-170 درجه سانتی

گراد را 60-40 دقیقه بدست آوردند. همان طور که مشاهده می‌شود مدت زمان برشته‌سازی در روش بستر سیال، حدود 50 درصد کاهش می‌یابد. نتایج مربوط به زمان مناسب برشته شدن دانه‌های کنجد به روش بستر ثابت، حاصل کار محققین مختلف، در جدول 8 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 (21)

جدول 8 شرایط مناسب برای برشته کردن دانه‌های کنجد در بستر ثابت حاصل پژوهش محققین مختلف

پژوهش گر	سال	نوع کنجد	روش برشته کردن	دما و زمان بهینه
یوشیدا (3)	1994	با پوست	آون الکتریکی	180 C و 30 دقیقه
یوشیدا (4)	1997	با پوست	آون الکتریکی	160 C و 25 دقیقه 180 C و 25 دقیقه 200 C و 15 دقیقه 220 C و 5 دقیقه
ابو غاری (21)	2000	با پوست	آون الکتریکی	200 C و 20 دقیقه
جیونگ (22)	2004	با پوست	کوره حرارتی	200 C و 60 دقیقه
کایا گلو و کایا (6)	2006	بدون پوست	آون الکتریکی - هوای داغ	155-170C در مدت 40-60 دقیقه
جنت و همکاران (7)	2011	با پوست	آون الکتریکی	200 C و 20 دقیقه
برجیان و همکاران (8)	2014	با پوست	آون الکتریکی	215-220 C در 15-20 دقیقه
ریزکی (23)	2015	با پوست	روش ذکر نشده	150 C و 90 دقیقه

#### 4- 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 100 درجه سانتی‌گراد تأثیری بر حداقل سرعت سیالیت نداشته در حالی که با افزایش دما در دماهای بالای 100 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 40 درصدی روغن کنجد می‌شود. شرایط بهینه برشته کردن به روش بستر سیال جهت فراهم کردن دانه‌هایی با کیفیت بیشتر تعیین و در جدول 7 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 50 درصد کاهش می‌یابد. این زمان برای برشته کردن کنجد بدون پوست در دماهای 180، 200، 220 و 250 درجه سانتی‌گراد به ترتیب کمتر از 20، 15، 7 و 5 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.

#### 5- منابع

1. استاندارد ملی ایران شماره 4179، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی اندازه‌گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری-تعیین نقطه پایانی به طریق چشمی، 1387.
2. برجیان، م، گلی، س. ا. ح، قرچورلو، م، عزیزی نژاد، ر، بهینه‌سازی فرایند برشته کردن دانه‌های کنجد جهت تولید روغن با کیفیت

- بهر، علوم غذایی و تغذیه، 1394، سال دوازدهم، شماره 4، صفحه 111-101.
3. قاسمی، ح، امینی، ح. خیاط، م. مطالعه تجربی سیال‌سازی ذرات جامد در یک بستر سیال حبابی، مجله مهندسی مکانیک مدرس، 1388، جلد 14، شماره 16، صفحه 100-94.
  4. Abou-Gharbia HA, Shehata AAY, Shahidi F. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Res Int.* 2000;33(5):331-40.
  5. Ozcan M, Akgul A, Fakiiltesi Z. Physical and chemical properties and fatty acid composition of tahin (sesame paste). *Gida.* 1994;19:411-6.
  6. Yoshida H. Composition and quality characteristics of sesame seed (*Sesamum indicum*) oil roasted at different temperatures in an electric oven. *J Sci Food Agric.* 1994 Jul;65(3):331-6.
  7. Yoshida H, Takagi S. Effects of seed roasting temperature and time on the quality characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) oil. *J Sci Food Agric.* 1997;75(1):19-26.
  8. El-Adawy TA, Mansour EH. Nutritional and physicochemical evaluations of tahina (sesame butter) prepared from heat-treated sesame seeds. *J Sci Food Agric.* 2000;80(14):2005-11.
  9. Kahyaoglu T, Kaya S. Determination of optimum processing conditions for hot-air roasting of hulled sesame seeds using response surface methodology. *J Sci Food Agric.* 2006;86(10):1452-9.
  10. Jannat B, Oveisi MR, Sadeghi N. 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.* 2010;7(1):97-102.
  11. Saxena SC, Vogel GJ. Segregation and fluidization characteristics of a dolomite bed with a range of particle sizes and shapes. *Chem Eng J.* 1977;14(1):59-63.
  12. International A. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International; 2005.
  13. Alimentarius C. Codex standard for named vegetable oils. Codex Stan. 1999;210:1999.

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