

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات  
۸۸۹

فراصوت

مبانی و نوآوری در کاربرد

دکتر محبوبه زارگزی  
دکتر طیبه سلطانی  
دکتر محمدحسن انتظاری  
استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه:

عنوان و نام پدیدآور:

مشخصات نشر:

مشخصات ظاهری:

فروست:

شابک:

وضعیت فهرست‌نویسی:

یادداشت:

موضوع:

شناسه افزوده:

شناسه افزوده:

شناسه افزوده:

رده‌بندی کنگره:

رده‌بندی دیوبی:

شماره کتابشناسی ملی:

زارگری، محبوبه، ۱۳۶۱-

فراصوت؛ مبانی و نوآوری در کاربرد/ محبوبه زارگری، طیبه سلطانی، محمدحسن انتظاری.

مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۲.

۴۰۸ ص: مصور، جدول، نمودار.

انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۸۹.

ISBN: 978-964-386-583-2

فیپا.

واژه‌نامه. کتابنامه. نمایه.

امواج ماورای صوت

امواج ماورای صوت -- کاربردهای صنعتی

سلطانی، طیبه، ۱۳۵۹-

انتظاری، محمدحسن، ۱۳۳۷-

دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.

QC۲۴۴

۶۲۰/۲۸

۹۲۷۳۱۹۰

Ultrasonic waves  
Ultrasonic waves -- Industrial  
applications

## فراصوت: مبانی و نوآوری در کاربرد

پدیدآورندگان: دکتر محبوبه زارگری؛ دکتر طیبه سلطانی؛ دکتر محمدحسن انتظاری

ویراستار علمی: دکتر غلامحسین ظهوری

ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد

مشخصات: وزیری، ۱۵۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۱۴۰۲

چاپ و صحافی: چاپخانه دقت

بها: ۲,۸۵۰,۰۰۰ ریال

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.



انتشارات  
۸۸۹

### مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس

تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)

مؤسسه کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست

گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)

مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲

تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: [press@um.ac.ir](mailto:press@um.ac.ir)

## فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱۴
<b>فصل ۱. فراصوت و کاربردها</b> .....	۱۵
مقدمه.....	۱۵
۱-۱ امواج فراصوت.....	۱۶
۱-۱-۱ نحوه انتشار امواج فراصوت.....	۱۸
۲-۱-۱ روش های تولید امواج فراصوت.....	۱۹
۱-۲-۱-۱ روش مغناطو تنگش.....	۲۰
۲-۲-۱-۱ روش پیزوالکتریک.....	۲۰
۲-۱ امواج فراصوت در محیط مایه.....	۲۱
۱-۲-۱ جابه جایی.....	۲۱
۲-۲-۱ فشار آکوستیک.....	۲۲
۳-۲-۱ روابط بین جابه جایی و فشار آکوستیک.....	۲۳
۳-۱ ویژگی های امواج فراصوت.....	۲۳
۱-۳-۱ شدت.....	۲۳
۲-۳-۱ طول موج.....	۲۵
۴-۱ حفره زایی.....	۲۵
۱-۴-۱ حفره زایی هیدرودینامیکی.....	۲۶
۲-۴-۱ حفره زایی آکوستیک.....	۲۶
۳-۴-۱ مراحل حفره زایی.....	۲۶
۱-۳-۴-۱ تشکیل.....	۲۶
۲-۳-۴-۱ رشد.....	۲۶
۳-۳-۴-۱ انفجار.....	۲۷
۴-۴-۱ انواع حفره زایی.....	۲۸
۱-۴-۴-۱ حفره زایی ناپایدار.....	۲۸
۲-۴-۴-۱ حفره زایی پایدار.....	۲۸
أ. محیط یکنواخت.....	۲۹
۵-۴-۱ نظریه های حفره زایی.....	۳۲

- ۳۲..... ۱-۵-۴-۱ نظریه نقطه داغ.
- ۳۳..... ۲-۵-۴-۱ تخلیه الکتریکی
- ۳۳..... ۶-۴-۱ انرژی امواج فراصوت.
- ۳۴..... ۵-۱ پارامترهای مؤثر در حفره‌زایی اکوستیک
- ۳۴..... ۱-۵-۱ وجود ناخالصی (گاز یا جامد)
- ۳۵..... ۱-۵-۱ نسبت ظرفیت گرمایی ویژه
- ۳۶..... ۲-۱-۵-۱ رسانش گرمایی
- ۳۶..... ۳-۱-۵-۱ حلالیت گاز
- ۳۶..... ۲-۵-۱ حلال
- ۳۶..... ۱-۲-۵-۱ فشار بخار
- ۳۶..... ۲-۲-۵-۱ کشش سطحی
- ۳۷..... ۳-۲-۵-۱ ویسکوزیته
- ۳۷..... ۳-۵-۱ دما
- ۳۷..... ۱-۳-۵-۱ تأثیر دما در حفره‌زایی
- ۳۷..... ۲-۳-۵-۱ تأثیر دما در مناطق واکنش
- ۳۸..... ۴-۵-۱ ویژگی‌های اکوستیکی
- ۳۸..... ۱-۴-۵-۱ شدت آکوستیک
- ۳۹..... ۲-۴-۵-۱ بسامد آکوستیک
- ۳۹..... ۶-۱ معادله‌های دینامیکی حباب
- ۳۹..... ۱-۶-۱ شعاع حباب در حین انفجار
- ۴۱..... ۲-۶-۱ فشار حباب در حین انفجار
- ۴۲..... ۳-۶-۱ زمان انفجار حباب
- ۴۵..... ۴-۶-۱ حرکت دیواره حباب
- ۴۶..... ۵-۶-۱ دمای بیشینه ( $T_{max}$ ) و فشار بیشینه ( $P_{max}$ ) حباب
- ۴۸..... ۷-۱ امواج فراصوت در سیستم‌های شیمیایی
- ۴۸..... ۱-۷-۱ سیستم‌های همگن
- ۴۹..... ا. داخل حباب
- ۴۹..... ب. ناحیه فصل مشترک حباب-مایع
- ۴۹..... ج. ناحیه داخل مایع
- ۴۹..... ۲-۷-۱ سیستم‌های ناهمگن
- ۴۹..... ۱-۲-۷-۱ سیستم مایع-مایع
- ۴۹..... ۲-۲-۷-۱ سیستم جامد-مایع

۵۲	۸-۱ امواج فراصوت در شیمی
۵۲	۱-۸-۱ سونوشیمی
۵۳	۲-۸-۱ سونوالکتروشیمی
۵۳	۳-۸-۱ تجزیه آلاینده‌ها
۵۳	۱-۳-۸-۱ سونوکراکینگ
۵۴	۲-۳-۸-۱ واکنش‌های اکسایش پیشرفته
۵۵	۴-۸-۱ امواج فراصوت و پدیده‌های بین‌سطحی
۵۵	۱-۴-۸-۱ اثر امواج فراصوت بر فرایندهای جذب
۵۵	۲-۴-۸-۱ اثر امواج فراصوت بر فرایندهای واجذب
۵۶	۵-۸-۱ امواج فراصوت و فناوری نانو
۵۶	۱-۵-۸-۱ تهیه نانوذرات
۵۶	ا. فلزات
۵۹	۲-۵-۸-۱ پوشش‌دهی سطوح با نانوذرات
۶۰	۳-۵-۸-۱ پراکنده ساختن نانوذرات و افزایش بازدهی نانو کاتالیزورها
۶۰	۴-۵-۸-۱ متبلور شدن نانومواد
۶۰	۶-۸-۱ سونولومینسانس
۶۱	۱-۶-۸-۱ سونولومینسانس چندحبابه
۶۱	۲-۶-۸-۱ سونولومینسانس تک حبابه
۶۲	منابع

۶۵	<b>فصل ۲. مبدل‌های فراصوت</b>
۶۵	مقدمه
۶۵	۱-۲ مبدل‌های فراصوت
۶۵	۱-۱-۲ مبدل‌های گازی
۶۶	۲-۱-۲ مبدل‌های مایع
۶۷	۳-۱-۲ مبدل‌های الکترومکانیکی
۶۷	۱-۳-۱-۲ مبدل‌های پیزوالکتریک
۶۸	۲-۳-۱-۲ مبدل‌های مغناطوسنگش
۶۹	۳-۳-۱-۲ ویژگی‌های مبدل‌های الکترومکانیکی
۶۹	۴-۱-۲ مبدل‌های الکترومغناطیس آکوستیک
۷۰	۵-۱-۲ روش نوری
۷۰	۶-۱-۲ روش استفاده از هوا

۷۱	۲-۲ دستگاه‌های فراصوت.....
۷۱	۱-۲-۲ رآکتور سوتکی.....
۷۱	۲-۲-۲ دستگاه فراصوت اتمی کننده گازی.....
۷۲	۳-۲-۲ حمام فراصوت.....
۷۳	۴-۲-۲ سیستم پروپ مستقیم.....
۷۳	۱-۴-۲-۲ اجزای سیستم‌های پروبی.....
۷۵	۲-۴-۲-۲ مزایای استفاده از سیستم پروپ.....
۷۵	۳-۴-۲-۲ معایب استفاده از سیستم پروپ.....
۷۵	۴-۴-۲-۲ رآکتورهای مورد استفاده در سیستم‌های پروپ.....
۷۷	۵-۲-۲ سیستم هورن فنجانی.....
۷۸	۶-۲-۲ دستگاه‌های فراصوتی با ویژگی‌های خاص.....
۷۸	۱-۶-۲-۲ دستگاه ۳۵kHz.....
۷۸	۲-۶-۲-۲ دستگاه ۹۰۰ kHz.....
۷۸	۳-۲-۲ اندازه‌گیری توان خروجی.....
۷۹	۱-۳-۲ نیروی تابش.....
۷۹	۲-۳-۲ کالریمتری.....
۷۹	۱-۲-۳-۲ روش مستقیم.....
۸۰	۲-۲-۳-۲ روش غیرمستقیم.....
۸۱	منابع.....

۸۳	<b>فصل ۳. فراصوت و واکنش‌های شیمیایی</b>
۸۳	مقدمه.....
۸۴	۱-۳ اکسایش پتاسیم یدید.....
۸۵	۱-۱-۳ تأثیر پارامترهای مختلف در سرعت اکسایش یون یدید.....
۸۵	۱-۱-۳-۱ بسامد.....
۸۸	۲-۱-۳-۱ گاز.....
۹۰	۳-۱-۳-۱ دما.....
۹۳	۴-۱-۳-۱ توان.....
۹۶	۵-۱-۳-۱ اثر واقعی بسامد.....
۹۷	۶-۱-۳-۱ جمع‌بندی.....
۹۸	۲-۳ تجزیه کربن دی‌سولفید.....
۹۹	۱-۲-۳ بررسی پارامترهای مختلف در تجزیه کربن دی‌سولفید.....

۹۹.....	۳-۲-۱- شدت امواج فراصوت.....
۱۰۱.....	۳-۲-۱- دما.....
۱۰۱.....	۳-۲-۱- نوع گاز.....
۱۰۲.....	۳-۲-۲- جمع‌بندی.....
۱۰۳.....	۳-۳- جمع‌بندی کلی.....
۱۰۳.....	منابع.....
۱۰۵.....	<b>فصل ۴. فراصوت و شیمی دارویی.....</b>
۱۰۵.....	مقدمه.....
۱۰۷.....	۴-۱- سنتر ۵- هیدروکسی متیل ۲- مرکاپتو ۱- بنزیمیدازول در حضور امواج فراصوت.....
۱۰۸.....	۴-۱-۱- روش‌های سنتر.....
۱۰۸.....	۴-۱-۱-۱- کلاسیک و امواج فراصوت غیرمستقیم ( ۵۰۰ kHz).....
۱۰۸.....	۴-۱-۱-۲- کلاسیک و امواج فراصوت مستقیم ( ۲۰ kHz).....
۱۱۲.....	۴-۱-۱-۳- مقایسه نتایج.....
۱۱۲.....	۴-۱-۱-۴- جمع‌بندی.....
۱۱۲.....	۴-۲- سنتر ایمیدازولین ۲- تیون در حضور امواج فراصوت.....
۱۱۳.....	۴-۲-۱- شرایط سنتر.....
۱۱۳.....	۴-۲-۱- سنتر در حضور کاتالیزور در دماهای مختلف.....
۱۱۴.....	۴-۲-۲- سنتر بدون کاتالیزور در دماهای مختلف.....
۱۱۶.....	۴-۲-۲- مقایسه نتایج.....
۱۱۶.....	۴-۲-۳- جمع‌بندی.....
۱۱۷.....	۴-۳- تبلور روکسیتروماپسین به روش ضدحلال در حضور امواج فراصوت.....
۱۱۷.....	۴-۳-۱- اثر سرعت اختلاط محلول دارو و ضدحلال.....
۱۲۰.....	۴-۳-۲- اثر غلظت محلول دارو.....
۱۲۱.....	۴-۳-۳- اثر دما.....
۱۲۱.....	۴-۳-۴- اثر امواج فراصوت.....
۱۲۶.....	۴-۳-۵- جمع‌بندی.....
۱۲۶.....	۴-۴- امواج فراصوت و آزادسازی کلسین از ای‌لیپوزوم.....
۱۲۷.....	۴-۴-۱- امواج فراصوت و کپسوله کردن کلسین.....
۱۲۷.....	۴-۴-۲- شدت و زمان فراصوت در آزادسازی کلسین.....
۱۳۲.....	۴-۴-۳- جمع‌بندی.....
۱۳۲.....	۴-۵- جمع‌بندی کلی.....
۱۳۳.....	منابع.....

**فصل ۵. فراصوت و فرایند استخراج..... ۱۳۵**

مقدمه..... ۱۳۵

۱-۵ امواج فراصوت در عصاره گیری شیره خرما..... ۱۳۸

۱-۱-۵ استخراج کلاسیکی..... ۱۴۰

۲-۱-۵ استخراج فراصوتی..... ۱۴۱

۳-۱-۵ مقایسه بین استخراج فراصوت و کلاسیک..... ۱۴۲

۴-۱-۵ میکروارگانیزم ها و فراصوت..... ۱۴۲

۱-۴-۱-۵ شمارش مزوفیل..... ۱۴۲

۲-۴-۱-۵ شمارش قارچ..... ۱۴۴

۲-۵ استخراج پلی فنل از زغال اخته..... ۱۴۵

۱-۲-۵ اثر زمان و دمای استخراج..... ۱۴۵

۲-۲-۵ اثر حلال..... ۱۴۷

۳-۲-۵ اثر اندازه ذرات..... ۱۴۸

۴-۲-۵ اثر امواج فراصوت..... ۱۴۹

۵-۲-۵ فعالیت آنتی اکسیدانی پلی فنل..... ۱۵۱

۳-۵ بتاکاروتن و فراصوت..... ۱۵۲

۱-۳-۵ اثر زمان استخراج..... ۱۵۲

۲-۳-۵ انتخاب حلال..... ۱۵۴

۳-۳-۵ اثر دما..... ۱۵۴

۴-۳-۵ اثر شدت امواج فراصوت..... ۱۵۵

۵-۳-۵ اثر ارتفاع غوطه وری تیپ..... ۱۵۶

۶-۳-۵ اثر چرخه کاری..... ۱۵۷

۴-۵ عصاره دارچین و فراصوت..... ۱۵۷

۱-۴-۵ زمان امواج دهی..... ۱۵۸

۲-۴-۵ توان فراصوت..... ۱۵۹

۳-۴-۵ زمان استخراج..... ۱۵۹

۴-۴-۵ مقایسه روش کلاسیک و فراصوت..... ۱۶۰

۵-۵ جمع بندی کلی..... ۱۶۱

منابع..... ۱۶۱

**فصل ۶. فراصوت و فرایند جذب..... ۱۶۳**

مقدمه..... ۱۶۳



۱۶۸	۱-۶ امواج فراصوت در جذب یون‌های فلزات سنگین.....
۱۶۸	۱-۱-۶ جذب جداگانه.....
۱۶۸	۱-۱-۱-۶ یون سرب.....
۱۶۸	۲-۱-۱-۶ یون کادمیوم.....
۱۷۳	۳-۱-۱-۶ یون کروم.....
۱۷۵	۲-۱-۶ جذب هم‌زمان.....
۱۷۵	۱-۲-۱-۶ جذب یون‌های سرب و کادمیوم.....
۱۷۹	۲-۲-۱-۶ جذب یون‌های سرب و مس.....
۱۸۲	۲-۶ امواج فراصوت و کاهش سختی آب.....
۱۸۳	۳-۶ امواج فراصوت و جذب یون نترات.....
۱۸۳	۱-۳-۶ جذب.....
۱۸۴	۲-۳-۶ واجذب.....
۱۸۴	۱-۲-۳-۶ غلظت سدیم‌هیدروکسید.....
۱۸۵	۲-۲-۳-۶ اثر فراصوت.....
۱۸۵	۳-۲-۳-۶ دما.....
۱۸۶	۴-۶ امواج فراصوت و جذب رنگ‌های آزو.....
۱۸۶	۱-۴-۶ متیلن بلو.....
۱۸۶	۱-۱-۴-۶ مقدار جاذب.....
۱۸۷	۲-۱-۴-۶ زمان تماس و دما.....
۱۸۸	۳-۱-۴-۶ نوع جاذب.....
۱۸۹	۲-۴-۶ رآکتیو بلک.....
۱۸۹	۱-۲-۴-۶ تخریب سونوشیمیایی (بدون جاذب).....
۱۹۱	۲-۲-۴-۶ جذب و تخریب سونوشیمیایی.....
۱۹۲	۵-۶ جمع‌بندی کلی.....
۱۹۳	منابع.....
۱۹۵	<b>فصل ۷. فراصوت و تخریب آلاینده‌های پایدار و مضر.....</b>
۱۹۵	مقدمه.....
۱۹۷	۱-۷ تجزیه سونوشیمیایی کلرو بنزن.....
۱۹۸	۱-۱-۷ بررسی پارامترهای مختلف.....
۱۹۸	۱-۱-۱-۷ اثر بسامد و شدت.....
۱۹۹	۲-۱-۱-۷ pH محلول.....

- ۲۰۰ ..... ۲-۱-۷ ترکیبات واسطه حاصل از امواج دهی.
- ۲۰۰ ..... ۳-۱-۷ جمع بندی.
- ۲۰۱ ..... ۲-۷ تخریب سونوفتون فنل.
- ۲۰۱ ..... ۱-۲-۷ تخریب فنل در بسامدهای مختلف.
- ۲۰۱ ..... ۲۰ kHz .۱-۲-۷.
- ۲۰۱ ..... ۵۰۰ kHz ۲-۱-۲-۷.
- ۲۰۳ ..... ۳۵ kHz ۳-۱-۲-۷.
- ۲۰۳ ..... ۴-۱-۲-۷ مقایسه نتایج بسامدهای مختلف.
- ۲۰۵ ..... ۲-۲-۷ جمع بندی.
- ۲۰۶ ..... ۳-۷ تخریب سونو کاتالیزوری ۲-کلروفنل.
- ۲۰۶ ..... ۱-۳-۷ فراصوت و کاتالیزور.
- ۲۰۶ ..... ۱-۱-۳-۷ انواع کاتالیزور.
- ۲۰۷ ..... ۲-۱-۳-۷ مقدار کاتالیزور.
- ۲۰۹ ..... ۲-۳-۷ فراصوت و فتون.
- ۲۰۹ ..... ۱-۲-۳-۷ اثر دما.
- ۲۱۰ ..... ۲-۲-۳-۷ اثر شدت.
- ۲۱۰ ..... ۳-۳-۷ جمع بندی.
- ۲۱۱ ..... ۴-۷ تخریب فنل با کاتالیزور زیستی.
- ۲۱۲ ..... ۱-۴-۷ تخریب آنزیمی فنل.
- ۲۱۲ ..... ۱-۱-۴-۷ اثر حضور و غیاب امواج فراصوت.
- ۲۱۳ ..... ۲-۱-۴-۷ اثر پارامترهای مختلف.
- ۲۱۷ ..... ۳-۱-۴-۷ فعالیت آنزیم تحت امواج فراصوت.
- ۲۱۸ ..... ۴-۱-۴-۷ جمع بندی.
- ۲۱۸ ..... ۵-۷ تخریب سونوشیمیایی و سونو آنزیمی ترکیبات فنلی (جداگانه- مخلوط).
- ۲۱۹ ..... ۱-۵-۷ تخریب ترکیبات فنلی (جداگانه).
- ۲۱۹ ..... ۱-۱-۵-۷ سونوشیمیایی.
- ۲۱۹ ..... ۲-۱-۵-۷ سونو- آنزیم.
- ۲۱۹ ..... ۲-۵-۷ تخریب فنل و مشتقات آن (مخلوط).
- ۲۱۹ ..... ۱-۲-۵-۷ فنل و پاراکلروفنل.
- ۲۲۱ ..... ۲-۲-۵-۷ فنل و پاراکروزول.
- ۲۲۱ ..... ۳-۲-۵-۷ پاراکلروفنل و پاراکروزول.
- ۲۲۳ ..... ۴-۲-۵-۷ فنل و پارانیتروفنل.

۲۲۳	.....مقایسه حذف ترکیبات به صورت جداگانه و مخلوط. ۳-۵-۷
۲۲۴	.....جمع بندی ۴-۵-۷
۲۲۴	.....جمع بندی کلی. ۶-۷
۲۲۵	.....منابع
۲۲۷	<b>فصل ۸. فراصوت و کاتالیزورهای انتقال فاز</b>
۲۲۷	.....مقدمه
۲۲۹	.....۱-۸ امواج فراصوت و واکنش کانیزارو
۲۲۹	.....۱-۱-۸ اثر پارامترهای مختلف
۲۲۹	.....۱-۱-۱-۸ نوع روش
۲۳۰	.....۲-۱-۱-۸ نوع آلدهید
۲۳۰	.....۳-۱-۱-۸ دما
۲۳۱	.....۴-۱-۱-۸ کاتالیزور انتقال فاز
۲۳۲	.....۲-۱-۸ جمع بندی
۲۳۲	.....۲-۸ امواج فراصوت و فرایند صابونی شدن
۲۳۲	.....۱-۲-۸ اثر پارامترهای مختلف
۲۳۲	.....۱-۲-۱-۸ نوع روش
۲۳۳	.....۲-۲-۱-۸ نوع کاتالیزور انتقال فاز
۲۳۳	.....۳-۱-۲-۸ وابستگی زمانی بازده
۲۳۴	.....۴-۱-۲-۸ فرایند صابونی شدن در بسامد ۲۰ kHz
۲۳۵	.....۵-۱-۲-۸ بررسی اثر دما
۲۳۶	.....۶-۱-۲-۸ وابستگی روغن
۲۳۷	.....۲-۲-۸ جمع بندی
۲۳۸	.....۳-۸ ریزرآکتورهای موی رگی برای واکنش های کاتالیزوری انتقال فاز
۲۳۸	.....۱-۳-۸ اثر مقدار کاتالیزور انتقال فاز
۲۴۱	.....۲-۳-۸ اثر غلظت سدیم سولفید
۲۴۱	.....۳-۳-۸ اثر نسبت جریان
۲۴۵	.....۴-۳-۸ جمع بندی
۲۴۵	.....۴-۸ استری شدن ۴- هیدروکسی بنزوات
۲۴۶	.....۱-۴-۸ مکانیسم واکنش سونو کاتالیزوری انتقال فاز در سیستم جامد- مایع
۲۴۷	.....۲-۴-۸ اثر آب در سونو کاتالیزوری انتقال فاز در سیستم جامد- مایع
	.....۳-۴-۸ مقایسه فعالیت کاتالیزور ۴-۴ بیس (تری بوتیل آمونیوم تیل)-۱ و ۱ بی فنیل دی کلرید با کاتالیزورهای انتقال فاز دارای یک مکان فعال
۲۵۰	.....

۲۵۱	..... اثر هم‌زدن و امواج‌دهی فراصوت.
۲۵۳	..... ۵-۴-۸ جمع‌بندی
۲۵۴	..... ۵-۸ جمع‌بندی کلی
۲۵۴	..... منابع
۲۵۷	..... <b>فصل ۹. فراصوت و نانوذرات</b>
۲۵۷	..... مقدمه
۲۶۲	..... ۱-۹ اکسیدهای فلزی
۲۶۲	..... ۱-۱-۹ تیتانیوم‌دی‌اکسید
۲۶۷	..... ۲-۱-۹ نانوکامپوزیت (TiO <sub>2</sub> /CdS)
۲۷۱	..... ۳-۱-۹ نانوکامپوزیت (TiO <sub>2</sub> -Cu <sub>2</sub> O)
۲۷۲	..... ۴-۱-۹ منگنز اکسید
۲۷۲	..... ۱-۴-۱-۹ امواج‌دهی با دستگاه ۲۰ kHz (بدون افزودنی)
۲۷۹	..... ۲-۴-۱-۹ امواج‌دهی با حمام فراصوت
۲۸۴	..... ۳-۴-۱-۹ تفاوت میان نانوذرات سنتز شده در حضور و عدم حضور فراصوت
۲۸۹	..... ۵-۱-۹ روی اکسید
۲۸۹	..... ۱-۵-۱-۹ پودر
۲۹۲	..... ۲-۵-۱-۹ فیلم
۲۹۷	..... ۲-۹ اکسیدهای مضاعف
۲۹۷	..... ۱-۲-۹ بیسموت فریت
۳۰۰	..... ۲-۲-۹ بیسموت تنگستات
۳۰۲	..... ۳-۲-۹ لانتانیم استرانسیوم منگنیت
۳۰۳	..... ۳-۹ سولفیدهای فلزی
۳۰۳	..... ۱-۳-۹ کادمیوم سولفید
۳۰۴	..... ۱-۱-۳-۹ در حضور مواد فعال سطحی
۳۱۱	..... ۲-۱-۳-۹ در عدم حضور مواد فعال سطحی
۳۱۸	..... ۲-۳-۹ پیریت
۳۲۰	..... ۳-۳-۹ سولفیدهای فلزی در بین لایه‌های معدنی
۳۲۰	..... ۱-۳-۳-۹ کادمیوم سولفید و لایه‌های پتاسیم تیتانات
۳۲۳	..... ۲-۳-۳-۹ سولفیدهای کادمیوم و سرب
۳۲۷	..... ۴-۹ سنتز ترکیبات گرافنی
۳۲۷	..... ۱-۴-۹ گرافن اکسید

۳۳۴	.....	۵-۹ جمع‌بندی کلی
۳۳۴	.....	منابع
۳۳۷	.....	<b>فصل ۱۰. فراصوت و پایداری نانوسیال‌ها</b>
۳۳۷	.....	مقدمه
۳۳۹	.....	۱-۱۰ نانوسیال‌های غیرمغناطیسی
۳۴۰	.....	۱-۱-۱۰ نانوسیال‌های بر پایه نانولوله‌های کربنی
۳۴۵	.....	۲-۱-۱۰ نانوسیال‌های $Mg(OH)_2$
۳۴۸	.....	۳-۱-۱۰ نانوسیال‌های $Al_2O_3$
۳۵۶	.....	۲-۱۰ سیال‌های مغناطیسی
۳۵۶	.....	۱-۲-۱۰ مگنتیت
۳۵۶	.....	۱-۲-۱۰ بررسی پایداری
۳۵۸	.....	۲-۱-۲-۱۰ شناسایی نانوذرات
۳۶۲	.....	۳-۱-۲-۱۰ جمع‌بندی
۳۶۳	.....	۲-۲-۱۰ منگنز-روی-فریت
۳۶۳	.....	۱-۲-۲-۱۰ شناسایی ذرات
۳۶۶	.....	۲-۲-۲-۱۰ جمع‌بندی
۳۶۶	.....	۳-۱۰ جمع‌بندی کلی
۳۶۷	.....	منابع
۳۶۸	.....	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۳۸۵	.....	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۴۰۳	.....	نمایه

## پیشگفتار

مطالب این کتاب خلاصه‌ای از کارهای تحقیقاتی انجام‌شده توسط این جانب و دانشجویان بسیار عزیز و پرتلاش در طی سه دهه اخیر است. بخشی از آن، حاصل نزدیک به یک دهه فعالیت پژوهشی این جانب در پروژه‌هایی است که در کشورهای کانادا، فرانسه و امریکا انجام شده است و مابقی مطالب، برگرفته از کارهای پژوهشی است که طی دو دهه توسط دانشجویان بسیار فعال در آزمایشگاه تحقیقاتی سونوشیمی در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفته است. بدون شک، فعالیت‌های انجام‌شده توسط دانشجویان مستعد و پرتلاش نقش بسیار کلیدی در نگارش این کتاب داشته است.

در میان دانشجویان فارغ‌التحصیلی که افتخار استادی آن‌ها را داشته‌ام، دو نفر از آن‌ها در تألیف این کتاب مشارکت و نقش بسیار ارزنده‌ای داشته‌اند. خانم دکتر طیبه سلطانی که هم‌اکنون در دانشگاه آلبرتا کانادا مشغول به کارند و خانم دکتر محبوبه زارگری که علاوه بر دوره دکتری در دو دوره پسادکتری نیز با این جانب همکاری پژوهشی داشته‌اند. هدف از تألیف کتاب *فراصوت: مبانی و نوآوری در کاربرد معرفی اجمالی اصول حاکم بر امواج فراصوت و کاربردهای متنوعی از آن در زمینه‌های مختلف برای علاقه‌مندان به این زمینه است که می‌تواند شامل تمام گرایش‌های شیمی، برخی از گرایش‌های مهندسی و همچنین محققان زیست‌شناسی و پزشکی که از امواج فراصوت در کارهای تحقیقاتی خودشان استفاده می‌کنند، باشد.*

در این کتاب، به بررسی امواج فراصوت (امواج صوتی با فرکانس بالاتر از حد شنوایی انسان) و کاربردهای آن در زمینه‌های متنوعی از قبیل تسریع واکنش‌های شیمیایی، سنتز مواد دارویی و آزادسازی ترکیبات دارویی، افزایش بازده فرایندهای استخراج، جذب و واجذب و تخریب آلاینده‌های بسیار مضر و پایدار، افزایش فعالیت‌های کاتالیزوری، سنتز نانوذرات و نانوکامپوزیت‌ها و نهش فیلم‌های مختلف بر روی بسترهای گوناگون و پایداری نانو سیال‌ها پرداخته شده است.

در پایان لازم است که از دانشجویان فارغ‌التحصیل زیر که از کارهایشان در این کتاب استفاده شده است، کمال تشکر و امتنان را داشته باشیم.

خانم دکتر نرجس غوث، خانم دکتر طاهره روحانی بسطامی، خانم دکتر زهرالسادات شریف‌الحسینی، خانم دکتر طیبه سلطانی، خانم دکتر سیمین حق‌نظری، خانم دکتر اسما اسماعیلی، خانم دکتر سحر صحتی، خانم دکتر ملیحه خیاباز، خانم دکتر محبوبه زارگری، آقای علی اکبر شاملی (کارشناسی ارشد)، آقای عباس حشمتی (کارشناسی ارشد)، آقای مسعود مصطفایی (کارشناسی ارشد)، خانم معصومه طهماسبی (کارشناسی ارشد)، خانم اعظم اصغری (کارشناسی ارشد)، آقای مهدی کریمی (کارشناسی ارشد)، خانم سمانه طاهریان (کارشناسی ارشد)، خانم عارفه طالبیان (کارشناسی ارشد)، آقای اشکان کشاورزی (کارشناسی).

مؤلفان

زمستان ۱۴۰۱