



# جوشش استخری

مبانی و بهبود انتقال حرارت با استفاده از سطوح میکرو / نانو ساختار

تألیف:

دکتر حمید صفاری

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندس امیر میرزا قیطاقی

دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

سر شناسنامه	: صفاری، حمید، ۱۳۴۳-
عنوان و نام پدید آور	: جوشش استخری: مبانی و بهبود انتقال حرارت با استفاده از سطوح میکرو/ نانو ساختار/ تألیف حمید صفاری، امیر میرزا قیطانی.
مشخصات نشر	: تهران: انشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: د، ۱۷۵ ص.: مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۷۴-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۵۹-۱۸۰.
عنوان دیگر	: مبانی و بهبود انتقال حرارت با استفاده از سطوح میکرو/ نانو ساختار.
موضوع	: گرما - انتقال
موضوع	: Heat - Transmission
موضوع	: نانو سیالات
موضوع	: Nanofluids
شناسه افزوده	: میرزا قیطانی، امیر، ۱۳۶۵-
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
شناسه افزوده	: Shahed Rajaei Teacher Training University
رده بندی کنگره	: QC۲۲۰/ص۷ج۹ ۱۳۹۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۴۰۲۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۴۳۰۳۸۱



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان	: جوشش استخری، مبانی و بهبود انتقال حرارت با استفاده از سطوح میکرو/ نانو ساختار
تألیف	: دکتر حمید صفاری، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران/ مهندس امیر میرزا قیطانی، دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران
ویراستار علمی	: دکتر مهرک رحیمی
ویراستار ادبی	: دکتر یدالله بهمنی
نوبت چاپ	: اول - پاییز ۱۳۹۵
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	: نگین سبز
چاپ	: برهان
طراح جلد	: شهرام طهماسبی
ناظر چاپ	: محمد معتمدی نژاد
کارشناس چاپ و صفحه‌آرا	: نیره فیروزی
کارشناسان	: طاهره کیا/ علی رضایی اهوانوئی
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۱۲۰,۰۰۰ ریال
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۷۴-۳
	: ISBN: 978-600-6594-74-3

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و مترجمین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰،  
 ۲۲۹۷۰۰۴۲، تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srttu.edu، وب سایت: http://Publish.srttu.edu

## پیش‌گفتار

محدودیت منابع انرژی موجب شده افزایش بازدهی فرآیند انتقال حرارت، بهبود توان نیروگاه‌ها، افزایش بازدهی بویلرها و مبادله‌گرها و خنک‌کاری بهینه و نیز افزایش بازدهی انتقال حرارت در جوشش و چگالش در دستور کار محققان قرار گیرد. آهنگ بالای انتقال گرما در جوشش، جزء لاینفک مصارف صنعتی و انرژی است، اما تغییر فاز در شارهای حرارتی کم با راندمان‌های پایین ترمودینامیکی و در شارهای حرارتی زیاد با ناپایداری‌های شدید همراه است. متخصصان از دهه ۱۹۳۰ در تلاش‌اند تا سطوح جامد مبادله‌گر حرارت در تغییر فاز را بهبود دهند؛ لکن میزان تأثیر پارامترهای مؤثر بر افزایش بازدهی فرآیند جوشش به خصوص تغییر ساختار سطح گرمکن، هنوز کاملاً تبیین نشده است. تحقیقات اخیر مهمترین مشخصه‌های سطح در فرآیند تغییر فاز را دو عامل تخلخل و ترشوندگی معرفی می‌نمایند. تخلخل عامل ایجادکننده نیروی مویینگی و ترشوندگی بر روی اندرکنش بین مایع و سطح، دینامیک حباب، سایت‌های هسته‌زایی و غیره تأثیرگذار است. از آنجایی که در سال‌های اخیر، فناوری نانو، امکان تغییر ساختار سطح در ابعاد بسیار کوچک را به وجود آورده است، در حال حاضر تحقیقات در زمینه بهبود جوشش به صورت آزمایشگاهی و با ساخت سطوح جدید دنبال می‌شود. در همین راستا، مؤلفان این کتاب برآنند تا مبانی فرآیند جوشش استخری را تشریح نموده، با توجه به کاربرد این فرآیند، مزایا و روش‌های متداول بهبود آن را مرور کنند. در فصل اول، مقدمه‌ای در مورد مبانی فرآیند جوشش و کاربرد آن در صنعت، مفهوم بهبود فرآیند و مزایای آن و روش‌های بهبود فعال و غیرفعال ارائه می‌شود. فصل دوم، به بررسی دینامیک حباب، هسته‌زایی، رشد و جداسدن حباب و معادلات تجربی آن می‌پردازد. در فصل سوم، معادلات حاکم، اعداد بدون بعد

و روش‌های حل عددی معادلات حاکم بر سی و مقایسه می‌گردد. فصل چهارم، تأثیر ساختار سطح در مقیاس نانو و میکرو بر روی فرآیند جوشش مرور شده و تأثیر تغییرات مورفولوژی، شیمی و ساختار سطح بر روی جوشش استخری بر سی می‌شود. فصل پنجم، در ارتباط با مفهوم ترشوندگی، تعاریف مربوط به نحوه قرارگیری قطره بر روی سطح و پارامترهای دخیل در استاتیک و دینامیک قطره ارائه می‌گردد. در فصل ششم تخلخل سطحی به عنوان مهمترین پارامتر تأثیرگذار در جوشش بررسی و روش‌های ساخت متداول آن مرور می‌شود. فصل آخر نیز به تأثیر استفاده از نانو سیالات به عنوان نسل جدید سیالات خنک‌کننده در جوشش و مکانیزم بهبود آن، اختصاص یافته است.

با توجه به محتوای فوق، کتاب حاضر را می‌توان به عنوان منبع درسی برای مقاطع تحصیلی کارشناسی ارشد و دکترا در رشته‌های مهندسی مکانیک و شیمی معرفی نمود. همچنین محققانی که در حوزه‌های ذکر شده فعالیت می‌نمایند می‌توانند از مباحث مطرح شده بهره‌مند گردند.

از تمام دانشجویان، متخصصان، استادان و صاحب‌نظران درخواست می‌شود با ارائه نظرها، انتقادات و پیشنهادهای ارزنده خویش، نویسندگان را در جهت بهبود هرچه بیشتر کتاب در ویراست‌های آتی یاری نمایند.

با تشکر

**دکتر حمید صفاری**

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

**مهندس امیر میرزا قیطافی**

دانشجوی دکترا مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

تقدیم به:

عالم آل محمد (ص)

علی ابن موسی الرضا (ع)



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل ۱: مبانی جوش استخری

۱	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- کاربردهای فرآیند جوشش
۷	۳-۱- انواع جوشش
۸	۴-۱- جوشش استخری
۱۳	۵-۱- پارامترهای مؤثر در انتقال حرارت جوششی
۱۷	۶-۱- مفهوم بهبود فرآیند جوشش هسته‌ای
۱۸	۷-۱- مزایای بهبود فرآیند جوشش
۲۰	۸-۱- روش‌های بهبود فرآیند جوشش
۲۴	۹-۱- جمع‌بندی

### فصل ۲: بررسی دینامیک حباب

۲۵	۱-۲- مقدمه
۲۷	۲-۲- مشخصه‌های هندسی سطح در سایت‌های جوششی
۳۷	۳-۲- مافوق گرمی موردنیاز شروع هسته‌زایی
۴۱	۴-۲- چگالی سایت‌های هسته‌زایی
۴۵	۵-۲- رشد حباب

۴۷	۶-۲- جداسدن حباب
۴۹	۷-۲- ناحیه حباب‌های مجزا
۵۱	۸-۲- شار حرارتی بحرانی
۵۳	۹-۲- میزان اهمیت مکانیزم‌های مختلف انتقال حرارت جوششی
۵۵	۱۰-۲- جمع‌بندی

### فصل ۳: معادلات حاکم بر جوشش استخری و مدل‌سازی عددی

۵۷	۱-۳- مقدمه
۵۷	۲-۳- معادلات حاکم
۶۸	۳-۳- اعداد بی بعد در فرآیند جوشش
۶۸	۴-۳- روش‌های عددی برای حل معادلات جوشش
۷۳	۵-۳- نتایج مدل‌سازی‌های عددی
۷۸	۶-۳- جمع‌بندی

### فصل ۴: میکرو/ نانوساختارهای سطحی برای بهبود جوشش

۷۹	۱-۴- مقدمه
۸۰	۲-۴- سطوح ساخته شده برای بهبود انتقال حرارت جوششی
۹۷	۳-۴- مسیر توسعه سطوح میکرو/ نانوساختار در جوشش
۹۹	۴-۴- جمع‌بندی

### فصل ۵: تأثیر ترشوندگی در جوشش

۱۰۱	۱-۵- مقدمه
۱۰۳	۲-۵- تعاریف و مفاهیم
۱۱۳	۳-۵- مدل دینامیکی رشد حباب بر سطوح آب‌دوست و آب‌گریز
۱۱۵	۴-۵- نتایج آزمایش‌های تأثیر ترشوندگی بر فرآیند جوشش



۱۲۱	۵-۵- میکرو/ نانو ساختارها در طبیعت
۱۲۶	۵-۶- آب دوستی سطح با نانوساختارها
۱۲۹	۵-۷- جمع بندی

## فصل ۶: تأثیر تخلخل در جوشش

۱۳۱	۶-۱- مقدمه
۱۳۲	۶-۲- مشخصه های ساختار متخلخل برای بهبود جوشش
۱۳۴	۶-۳- روش های ساخت سطوح متخلخل میکرو/ نانوساختار
۱۴۳	۶-۴- جمع بندی

## فصل ۷: استفاده از نانوسیالات در جوشش

۱۴۵	۷-۱- مقدمه
۱۴۶	۷-۲- مطالعات در مورد تأثیر نانوسیالات بر فرآیند جوشش
۱۴۶	۷-۳- تغییر در منحنی جوشش با استفاده از نانوسیالات
۱۵۰	۷-۴- پارامترهای مؤثر در فرآیند جوشش نانوسیالات
۱۵۶	۷-۵- تجهیزات مورد نیاز برای آزمایش جوشش نانوسیالات
۱۵۷	۷-۶- جمع بندی

## مراجع

۱۵۹	مراجع
-----	-------

