

# شبیه‌سازی جریان‌های با سطح آزاد به روش‌های با شبکه و بدون شبکه

ویراست دوم

تصنیف

دکتر محمد جواد کتابداری

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر حمید رضائی



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی  
دانشگاه صنعتی شریف

# شبیه‌سازی جریان‌های با سطح آزاد به روش‌های با شبکه و بدون شبکه (ویراست دوم)

تصنیف: محمدجواد کتابداری، حمید رضایی

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چاپ اول: ۱۴۰۰

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۷۵۰۰۰ تومان

ویرایش و آماده‌سازی کتاب را نویسندگان انجام داده‌اند.

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-246-9

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۴۶-۹

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

فروش اینترنتی: [book.sharif.ir](http://book.sharif.ir)

پست الکترونیکی: [publishing@sharif.ir](mailto:publishing@sharif.ir)

موضوع: سیالات - دینامیک - شبیه‌سازی کامپیوتری

موضوع: Fluid dynamics-computer simulation

موضوع: روش‌های بدون شبکه (آنالیز عددی)

موضوع: Meshfree methods (numerical analysis)

شناسه افزودن: رضایی، حمید، ۱۳۵۸

شناسه افزودن: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

شناسه افزودن:

Sharif University of Technology. Institute of Scientific Publications

رده‌بندی کنگره: T۳۵۷/۵

رده‌بندی دیویی: ۶۲۰/۱۰۶۴

شماره کتابشناسی ملی: ۷۶۰۹۹۰۰

وضعیت رکورد: فیا

سرشناسه: کتابداری، محمدجواد، ۱۳۴۲

عنوان و نام پدیدآور: شبیه‌سازی جریان‌های با سطح آزاد به روش‌های با شبکه و

بدون شبکه / تصنیف محمدجواد کتابداری، حمید رضایی (ویراست ۲)

مشخصات نشر: تهران، دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۴۰۰

مشخصات ظاهری: ۲۷۰ ص.، مصور، جدول

شابک: 978-964-208-246-9

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: چاپ قبلی: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۷

(۲۶۲ ص)

یادداشت: واژه‌نامه

یادداشت: کتاب‌نامه

## بسم الله الرحمن الرحيم

### فهرست مطالب

| هفت | پیشگفتار                                         |
|-----|--------------------------------------------------|
| ۱   | فصل ۱. کلیات                                     |
| ۱   | ۱-۱ مقدمه                                        |
| ۲   | ۲-۱ تانک موج عددی                                |
| ۴   | ۳-۱ روش‌های مبتنی بر شبکه                        |
| ۴   | ۴-۱ روش‌های بدون شبکه                            |
| ۸   | ۵-۱ جمع‌بندی                                     |
| ۹   | فصل ۲. روش‌های شبیه‌سازی سطح آزاد با شبکه        |
| ۹   | ۱-۲ مقدمه                                        |
| ۱۱  | ۲-۲ مروری بر روش‌های موجود در شبیه‌سازی سطح آزاد |
| ۷۷  | ۳-۲ محاسبه کشش سطحی                              |
| ۹۷  | ۴-۲ جمع‌بندی                                     |
| ۹۹  | فصل ۳. معرفی چند روش مؤثر مبتنی بر روش حجم سیال  |
| ۹۹  | ۱-۳ مقدمه                                        |
| ۹۹  | ۲-۳ روش DDAR                                     |
| ۱۱۱ | ۳-۳ روش MFCT                                     |
| ۱۱۲ | ۴-۳ روش MYVM                                     |
| ۱۱۴ | ۵-۳ روش PLIC اصلاح شده                           |
| ۱۱۸ | ۶-۳ جمع‌بندی                                     |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ۱۱۹ | فصل ۴. معرفی روش هیدرودینامیک ذرات هموار                  |
| ۱۱۹ | ۱-۴ مقدمه                                                 |
| ۱۲۲ | ۲-۴ هیدرودینامیک ذرات هموار                               |
| ۱۳۲ | ۳-۴ معرفی روش WCSPH                                       |
| ۱۴۸ | ۴-۴ معرفی روش ISPH                                        |
| ۱۵۱ | ۵-۴ جمع‌بندی                                              |
| ۱۵۳ | فصل ۵. آزمون‌های صحت‌سنجی در شبیه‌سازی سطح آزاد           |
| ۱۵۳ | ۱-۵ مقدمه                                                 |
| ۱۵۳ | ۲-۵ آزمون‌های صحت‌سنجی جریان با سطح آزاد                  |
| ۱۶۰ | ۳-۵ صحت‌سنجی حل عددی کوپل معادلات ناویر-استوکس و سطح آزاد |
| ۱۷۲ | ۴-۵ جمع‌بندی                                              |
| ۱۷۵ | فصل ۶. معرفی چند نرم‌افزار تجاری جهت شبیه‌سازی سطح آزاد   |
| ۱۷۵ | ۱-۶ مقدمه                                                 |
| ۱۷۵ | ۲-۶ نرم‌افزار Fluent                                      |
| ۱۸۱ | ۳-۶ نرم‌افزار ANSYS CFX                                   |
| ۱۸۶ | ۴-۶ نرم‌افزار Flow-3D                                     |
| ۱۹۳ | ۵-۶ نرم‌افزار STAR-CCM+                                   |
| ۱۹۷ | ۶-۶ نرم‌افزار LS-DYNA                                     |
| ۲۰۲ | ۷-۶ معرفی کد SPHysics                                     |
| ۲۰۴ | ۸-۶ جمع‌بندی                                              |
| ۲۰۵ | منابع                                                     |
| ۲۱۷ | پیوست‌ها                                                  |
| ۲۱۹ | پیوست (الف) کد عددی روش FCT                               |
| ۲۲۷ | پیوست (ب) کد عددی روش یانگز                               |
| ۲۴۱ | پیوست (ج) کد عددی روش SPH تراکم‌ناپذیر                    |
| ۲۴۷ | واژه‌نامه انگلیسی-فارسی                                   |
| ۲۵۳ | واژه‌نامه فارسی-انگلیسی                                   |
| ۲۶۳ | فهرست راهنما                                              |

## بیشگفتار

جریان با سطح آزاد معمولاً به جریانی از سیال گفته می‌شود که در آن قسمتی از مرز جریان فقط تحت تأثیر شرایط معینی از فشار قرار داشته باشد در تحلیل این جریان، وضعیت هندسی سطح آزاد از قبل معلوم نیست و باید شبیه‌سازی شود. جریان‌های با سطح آزاد، گستره بسیار وسیعی در پدیده‌های طبیعی دارند. امواج یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌ها در سطح دریاهای و اقیانوس‌ها هستند که عمدتاً در اثر تنش برشی ناشی از باد بوجود می‌آیند. سیستم‌های امواج بسیار پیچیده‌اند و اغلب هم از بلای‌های محلی و هم از طوفان‌هایی که قبلاً در دور دست اتفاق افتاده‌اند، سرچشمه می‌گیرند. انرژی امواج از طریق اصطکاک و اغتشاش و با شدتی که بستگی به ویژگی امواج و عمق آب دارد، تلف می‌شود. لذا استهلاک اساسی موج به دلیل شکست آن در نزدیکی ساحل است که باعث تلاطم آب و آزاد شدن ناگهانی انرژی آن می‌گردد. شبیه‌سازی جریان رودخانه، دریاهای لوله‌های انتقال نفت و گاز و تمام جریان‌های سطحی سیال نیاز به انتخاب یک مدل فازی مناسب دارد تا بتواند به خوبی هرز بین دو سیال را تسخیر نماید.

هدف کتاب حاضر ارائه انواع مدل‌ها و روش‌های شبیه‌سازی سطح آزاد با درجات مختلف پیچیدگی است. در این رابطه از آخرین دستاوردهای تحقیقاتی پروژه‌های دانشجویانی که تحت راهنمایی مؤلف به تحقیق مشغول هستند، بهره گرفته شده است. امید است مطالب آن بتواند برای کلیه دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در رشته‌های مهندسی مکانیک، مهندسی عمران، مهندسی نفت، مهندسی هوافضا و مهندسی دریا که با محیط‌های چندفازی و سطوح آزاد مختلف سر و کار دارند، مفید واقع گردد.

با تشکر از آن دسته از استادان محترم، همکاران ارجمند دانشگاهی و دانشجویان عزیزی که انتقادات و نظرات سازنده آنها در مورد چاپ اول کتاب منجر به ارتقاء و بهبود کتاب در این چاپ شد، تقاضا می‌گردد همچون روال گذشته پیشنهادها و انتقادهای خود را نسبت به مطالب کتاب از طریق ایمیل [ketabdar@aut.ac.ir](mailto:ketabdar@aut.ac.ir) به اطلاع اینجانب برسانند تا در چاپ سوم منظور شود.

دکتر محمدجواد کتابداری

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

فروردین ۱۴۰۰