

فیلتراسیون غشایی

تألیف

سَری فوال

ترجمه

دکتر مهدی ارجمند

مهندس هادی رحیمزاده



تهران، ۱۳۹۵

سرشناسه	فولی، گرگ، ۱۹۶۳ - م.
عنوان و پدیدآور	Foley, Greg
مشخصات نشر	فیلتراسیون غشایی/تالیف گرگ فولی : ترجمه مهدی ارجمند، هادی رحیمزاده.
مشخصات ظاهری	تهران: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، ۱۳۹۵.
شابک	۵۲۰ ص: جدول، نمودار.
قیمت	۱-۴۲۲۱-۱۰-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	۲۶۰۰۰۰ ریال
یادداشت	فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: Membrane filtration : a problem solving approach with MATLAB.
موضوع	کتابنامه.
موضوع	جداسازی غشایی
موضوع	Membrane separation
موضوع	فراپالایش
موضوع	Ultrafiltration
موضوع	مهندسی شیمی
موضوع	Chemical engineering
شناسه افزوده	ارجمند، مهدی، ۱۳۴۶ - شهریور - مترجم
شناسه افزوده	رحیمزاده، هادی، ۱۳۶۶ - مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
رده بندی کنگره	۱۳۹۵ : ۴۹ ج / ۲۵ / ۲۴۸ TP
رده بندی دیویی	۶۶۰/۳۰۱۱۱
شماره کتابشناسی ملی	۲۰۳۳۱



فیلتراسیون غشایی

تألیف گرگ فولی

ترجمه دکتر مهدی ارجمند و مهندس هادی رحیمزاده

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

رئیس انتشارات: فرشته حاجی زاده

صفحه آرا: سید محمد شاهری لنگرودی

طراح جلد: سلمان حسن آبادی

ناظر چاپ: بابک احمدیان

چاپ اول: ۱۳۹۵

تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سازمان چاپ دانشگاه آزاد اسلامی

شابک: ۱-۴۲۲۱-۱۰-۹۶۴-۹۷۸ ISBN: 978-964-10-4221-1

قیمت: ۲۶۰۰۰ تومان

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نشانی فروشگاه کتاب: خیابان شریعتی، بین اتوبان همت و حسینیه ارشاد، روبه روی شهرداری منطقه ۳،

دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، تلفن: ۲۲۸۹۵۸۵۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
«ن والقلم و ما یسطرون»

سخن ناشر

بی تردید تعالی علمی و فرهنگی کشور، بازتاب میزان تفکری است که فرهیختگان در مقام عمل به منصه ظهور می‌رسانند در این بین مهم‌تره حساس‌تر از همه، رسالت عالمان و علم‌جویان است. این رسالت، همان‌گونه که درجهت پرورش استعدادها و فردان، با قرائت و مطالعه انجام می‌گیرد، برای پیشبرد اهداف اجتماعی و تعالی فرهنگی، با کتابت و مباحثه نیز محقق می‌شود.

از این‌رو، یکی از مسئولیت‌های هم مراکز فرهنگی در کنار تعلیم و تربیت، نشر آثار علمی است. معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، برای ارتقای سطح علمی دانشجویان و تنویر افکار دانش‌پژوهان، به چاپ کتاب *فیلتراسیون غشایی* اقدام کرده است؛ با این امید که با استمرار فعالیت‌های انتشاراتی، بتواند گامی در راه رشد و بالندگی فرهنگی بردارد.

در کتاب حاضر به تحلیل و طراحی فرآیندهای فیلتراسیون، غشایار، سیستم‌های مایع شامل فیلتراسیون انتها بسته، میکروفیلتراسیون جریان متقاطع، اولترافیلتراسیون، دیافیلتراسیون، هیوفیلتراسیون و اسمز معکوس پرداخته شده است. همچنین علاوه بر ارائه جنبه‌های نظری، مدل‌سازی و ارائه مثال‌های کاربردی و عددی در حل مسائل از نرم افزار متلب (MATLAB) استفاده شده و جنبه‌های کاربردی این نرم افزار در حل مسائل فیلتراسیون غشایی مطرح گردیده است.

پیش از هر چیز، شایسته است از عنایات ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، «استادان ارجمند و نیز از دست‌اندرکاران ویرایش، حروفچینی و چاپ کتاب، قدردانی و تشکر به‌عمل آید.

از صاحب‌نظران گرامی خواهشمند است با ارائه پیشنهادها و درجهت اصلاح نواقص احتمالی این کتاب و تهیه مطالب مناسب متون درسی دانشگاهی، انتشارات این واحد را یاری کنند.

امید است این اثر علمی مورد استفاده استادان و دانش‌پژوهان قرار گیرد.

و من الله التوفیق و علیه التکلان

دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب

فهرست مطالب

۱۹	پیشگفتار
۲۵	مقدمه مترجمین
۲۷	اختصارات
۲۹	فصل اول: معرفی فیلتراسیون غشایی رایعات
۲۹	۱-۱. مقدمه
۳۳	۲-۱. تعاریف و اصطلاحات علمی
۳۳	۱-۲-۱. حالت‌های جریان متقاطع و جریان انتفاشی
۳۸	۱-۲-۲. پارامترهای فرآیندی مهم در فیلتراسیون غشایی
۴۱	۱-۲-۳. دفع ذرات حل شده
۴۲	۱-۳. غشاها و خواص آنها
۴۳	۱-۳-۱. جنس غشا
۴۴	۲-۳-۱. مورفولوژی غشا
۴۴	۴-۱. مازول‌های غشا
۴۵	۱-۴-۱. مازول‌های مارپیچی و صفحه تخت
۴۶	۲-۴-۱. مازول‌های پوسته - لوله
۴۷	۳-۴-۱. ظروف همزن دار
۴۸	۵-۱. خصوصیات شار در فیلتراسیون غشایی

۴۸	۱-۵-۱. فیلتراسیون انتهاسته
۴۹	۱-۵-۲. حالت جریان متقاطع
۵۲	۱-۶. نتیجه گیری ها
۵۲	منابع
۵۳	مطالعات اضافی
۵۴	فصل دوم. فیلتراسیون انتهاسته
۵۴	۱-۲. مقدماتی بر فیلتراسیون انتهاسته
۵۶	۲-۲. معادله ساینمیک فیلتر شده
۵۸	۲-۳. مقاومت ویژه ذرک
۵۸	۲-۳-۱. تراکم پذیری ذرک
۶۵	۲-۳-۲. تأثیر ویژگی های مایع و ذره
۶۷	۲-۳-۳. کمک فیلترها
۶۸	۲-۴. تحلیل و طراحی فیلتراسیون انتهاسته ناپیوسته
۷۰	۲-۴-۱. تحلیل و طراحی DEF ناپیوسته در یک فشار ثابت
۷۸	۲-۴-۲. تحلیل DEF ناپیوسته در شار ثابت مایع فیلتر شده
۸۱	۲-۴-۳. تحلیل DEF ناپیوسته با یک پمپ سانتریفوژ
۸۵	۲-۵. فیلتراسیون پیوسته
۸۸	۲-۶. مدل سازی انتقال محصول در DEF
۹۱	۲-۷. نتیجه گیری ها
۹۲	منابع
۹۳	مسائل
۹۸	مسائل تکمیلی

۱۰۲	فصل سوم: میکروفیلتراسیون جریان متقاطع
۱۰۲	۱-۳. مقدمه
۱۰۳	۲-۳. روش‌های عملیاتی
۱۰۴	۳-۳. خصوصیات شار هنگام عملیات پیوسته
۱۰۷	۴-۳. تئوری‌های میکروفیلتراسیون جریان متقاطع
۱۰۸	۳-۴-۱. پلاریزاسیون غلظتی و نفوذ تحت نیروی برشی
۱۱۱	۳-۴-۲. رویکرد موازنه نیرو
۱۱۶	۳-۴-۳. وابستگی فیزیکی شار
۱۱۸	۳-۵. یک مدل سینتیکی ساده از CFM
۱۲۰	۳-۵-۱. رفتار حالت پایا
۱۲۲	۳-۵-۲. رفتار دینامیکی
۱۲۵	۳-۵-۳. عملیات شار ثابت
۱۲۸	۳-۵-۴. ارتباط مدل سینتیکی با تئوری موازنه نیرو
۱۳۱	۳-۵-۵. دینامیک‌های شار با شار گذار
۱۳۳	۳-۶. طراحی فرایند و تحلیل
۱۳۴	۳-۶-۱. تحلیل یک سیستم پیوسته تغذیه و تزریق مجدد
۱۳۶	۳-۶-۲. مدل سازی دینامیک‌های CFMF ناپیوسته
۱۴۴	۳-۶-۳. عملیات فرایند ناپیوسته با مخزن خوراک
۱۴۷	۳-۷. ویژگی‌های کیک در CFMF
۱۵۱	۳-۸. بهبود شار
۱۵۲	۳-۸-۱. شستشوی برگشتی
۱۵۴	۳-۸-۲. شستشوی متقاطع

- ۱۵۴ ۳-۸-۳. پخش هوا
- ۱۵۵ ۳-۹. بازیابی محصول در CFMF
- ۱۵۶ ۳-۱۰. نتیجه گیری ها
- ۱۵۶ منابع
- ۱۵۸ مسائل
- ۱۶۰ مسائل تکمیلی
- ۱۶۲ فصل پنجم: تنه های شار اولترافیلتراسیون
- ۱۶۲ ۴-۱. مقدمه
- ۱۶۳ ۴-۲. پلاریزاسیون سطحی
- ۱۶۶ ۴-۳. پیش بینی ضرایب انتقال جرم
- ۱۷۰ ۴-۳-۱. پیش بینی ضرایب نفوذ
- ۱۷۴ ۴-۳-۲. پیش بینی ویسکوزیته محلول
- ۱۷۸ ۴-۴. مدل شار محدود (LF)
- ۱۸۵ ۴-۵. مدل فشار اسمزی (OP)
- ۱۹۰ ۴-۵-۱. ویژگی های پیش بینی شده شار توسط مدل فشار اسمزی
- ۱۹۴ ۴-۶. مدل فشار اسمزی با تأثیرات ویسکوزیته
- ۲۰۰ ۴-۶-۱. آیا مدل VOP صحیح است؟
- ۲۰۳ ۴-۷. نتیجه گیری ها
- ۲۰۴ منابع
- ۲۰۵ مسائل
- ۲۰۸ مسائل تکمیلی

۲۱۰	فصل پنجم: طراحی و تحلیل فرایند اولترافیلتراسیون در شار محدود
۲۱۰	۱-۵. مقدمه
۲۱۱	۲-۵. اولترافیلتراسیون پیوسته تغذیه و تزریق مجدد
۲۱۳	۱-۲-۵. تحلیل یک سیستم تک مرحله‌ای
۲۱۴	۲-۲-۵. تحلیل یک سیستم چند مرحله‌ای
۲۱۶	۳-۲-۵. تحلیل یک سیستم چند مرحله‌ای با استفاده از معادلات دیفرانسیل معمولی
۲۱۸	۴-۲-۵. تحلیل یک سیستم چند مرحله‌ای با استفاده از روش ترسیمی
۲۲۰	۵-۲-۵. طراحی یک سیستم تک مرحله‌ای
۲۲۲	۶-۲-۵. طراحی یک سیستم چند مرحله‌ای با مساحت‌های یکسان
۲۲۳	۷-۲-۵. بهینه‌سازی سیستم‌های چند مرحله‌ای
۲۲۶	۸-۲-۵. طراحی با ضریب انتقال جرم وابسته به اسکوزیته
۲۲۹	۳-۵. اولترافیلتراسیون ناپیوسته
۲۳۱	۱-۳-۵. محاسبه شرایط نهایی برای زمان ثابت
۲۳۳	۲-۳-۵. محاسبه زمان عملیات ناپیوسته با حل ODE حاکم
۲۳۵	۳-۳-۵. محاسبه زمان عملیات ناپیوسته با استفاده از توابع خاص
۲۳۸	۴-۳-۵. روش‌های تقریبی برای محاسبه زمان عملیات ناپیوسته
۲۴۲	۴-۵. عملیات ناپیوسته با مخزن خوراک
۲۴۶	۵-۵. عملیات تک‌پاس
۲۴۶	۱-۵-۵. تحلیل تک‌پاس با ضریب انتقال جرم مستقل از ویسکوزیته
۲۴۹	۲-۵-۵. تحلیل تک‌پاس با ضریب انتقال جرم وابسته به ویسکوزیته
۲۵۰	۳-۵-۵. طراحی تک‌پاس با ضریب انتقال جرم ثابت
۲۵۱	۶-۵. گرفتگی غشا و عملیات شار محدود

- ۲۵۲ ۷-۵. نتیجه گیری ها
- ۲۵۳ منابع
- ۲۵۳ مسائل
- ۲۵۷ مسائل تکمیلی
- ۲۵۹ فصل ششم: دیافیلتراسیون در شار محدود
- ۲۵۹ ۶-۱. مقدمه
- ۲۶۰ ۶-۱-۱. دیافیلتراسیون: نادرسته
- ۲۶۰ ۶-۲-۱. روش کاهش حجم
- ۲۶۶ ۶-۲-۲. روش دقیق بازی
- ۲۷۱ ۶-۳-۱. دیافیلتراسیون حجم ثابت
- ۲۷۲ ۶-۳-۱-۱. مصرف آب در CVD
- ۲۷۵ ۶-۳-۲. زمان صرف شده برای CVD
- ۲۷۶ ۶-۳-۳-۱. اولترافیلتراسیون با دیافیلتراسیون حجم ثابت (UFCVD)
- ۲۷۹ ۶-۳-۴. بهینه سازی زمان UFCVD با ضریب انتقال جرم وابسته به ویسکوزیته
- ۲۸۲ ۶-۳-۵. بهینه سازی اقتصادی UFCVD
- ۲۸۵ ۶-۳-۶. بهینه سازی اقتصادی با ضریب انتقال جرم وابسته به ویسکوزیته
- ۲۸۷ ۶-۳-۷. بهینه سازی UFCVD وقتی $C_{Af} < C_{Aopt}$
- ۲۹۰ ۶-۴-۱. مدل سازی دینامیکی فرآیندهای UFDF
- ۲۹۰ ۶-۴-۱-۱. مدل سازی دینامیکی UFCVD
- ۲۹۵ ۶-۴-۲. مدل سازی دینامیکی دیافیلتراسیون حجم متغیر (VVD)
- ۳۰۰ ۶-۴-۳. فرآیندهای تعمیم یافته VVD و بهینه سازی دینامیکی
- ۳۰۱ ۶-۴-۴. دیافیلتراسیون سوسپانسیون ها

۳۰۷	۵-۶. دیافیلتراسیون پیوسته
۳۰۷	۶-۵-۱. UFDF پیوسته دومرحله‌ای
۳۰۹	۶-۵-۲. دیافیلتراسیون جریان متقابل
۳۱۰	۶-۶. دیالیز
۳۱۵	۶-۷. نتیجه‌گیری‌ها
۳۱۶	منابع
۳۱۶	مطالعه اضافی
۳۱۷	مسائل
۳۲۰	مسائل تکمیلی
۳۲۱	فصل هفتم: اولترافیلتراسیون و دیافیلتراسیون با پس‌زنی ناقص
۳۲۱	۷-۱. مقدمه
۳۲۱	۷-۲. تعیین کمیت پس‌زنی
۳۲۴	۷-۳. پلاریزاسیون غلظت
۳۲۵	۷-۴. وابستگی شار به ضریب پس‌زنی ظاهری
۳۲۷	۷-۵. اولترافیلتراسیون پیوسته با تغذیه و تزریق مجدد
۳۲۷	۷-۵-۱. طراحی و تحلیل یک سیستم تک‌مرحله‌ای
۳۲۹	۷-۵-۲. حل مسائل تک‌مرحله‌ای با استفاده از روش ترسیمی
۳۳۱	۷-۵-۳. طراحی و تحلیل سیستم‌های دومرحله‌ای
۳۳۴	۷-۶. اولترافیلتراسیون ناپیوسته
۳۳۴	۷-۶-۱. اولترافیلتراسیون ناپیوسته با پس‌زنی ظاهری ثابت
۳۳۷	۷-۶-۲. اولترافیلتراسیون ناپیوسته با پس‌زنی ذاتی ثابت
۳۳۹	۷-۷. اولترافیلتراسیون ناپیوسته با مخزن خوراک

- ۳۴۰ ۸-۷ اولترافیلتراسیون تک پاس
- ۳۴۳ ۹-۷ دیافیلتراسیون حجم ثابت
- ۳۴۷ ۷-۹-۱ محاسبه زمان دیافیلتراسیون
- ۳۴۸ ۷-۹-۲ UFCVD با ضرایب پس زنی اختیاری
- ۳۵۰ ۷-۹-۳ مدل سازی دینامیکی UFCVD
- ۳۵۳ ۷-۹-۴ بهینه سازی UFCVD با ضرایب پس زنی اختیاری
- ۳۵۶ ۷-۱۰-۱ یافتراسیون: حجم متغیر
- ۳۵۸ ۷-۱۱-۱ جمع بندی
- ۳۵۹ منابع
- ۳۵۹ مطالعات اضافی
- ۳۵۹ مسائل
- ۳۶۲ مسائل تکمیلی
- ۳۶۴ فصل هشتم: مدل فشار اسمزی بکار گرفته شده در اولترافیلتراسیون و دیافیلتراسیون
- ۳۶۴ ۸-۱-۱ مقدمه
- ۳۶۶ ۸-۲-۱ طراحی و تحلیل فرآیند تغذیه و تزریق مجدد UF پیوسته
- ۳۶۶ ۸-۲-۱-۱ طراحی و تحلیل سیستم های تک مرحله ای
- ۳۶۸ ۸-۲-۲-۱ سیستم های چند مرحله ای
- ۳۶۹ ۸-۳-۱ مدل سازی دینامیکی UF ناپیوسته
- ۳۷۰ ۸-۳-۱-۱ UF ناپیوسته با ضریب انتقال جرم ثابت
- ۳۷۳ ۸-۳-۲-۱ UF ناپیوسته با ضریب انتقال جرم وابسته به ویسکوزیته
- ۳۷۶ ۸-۴-۱ اولترافیلتراسیون ناپیوسته با مخزن خوراک
- ۳۷۸ ۸-۵-۱ اولترافیلتراسیون تک پاس

۳۸۲	۸-۶ دیافیلتراسیون حجم ثابت
۳۸۲	۸-۶-۱. بهینه سازی UFCVD - ضریب انتقال جرم ثابت
۳۸۴	۸-۶-۲. بهینه سازی UFCVD - ضریب انتقال جرم وابسته به ویسکوزیته
۳۸۶	۸-۷. اولترافیلتراسیون با غلظت ثابت دیواره
۳۸۹	۸-۸. مدل فشار اسمزی با پس زنی ناقص
۳۹۱	۸-۸-۱. UF تغذیه و تزریق مجدد تک مرحله ای
۳۹۴	۸-۸-۲. مدل سازی دینامیکی UF ناپیوسته
۳۹۶	۸-۸-۳. دیافیلتراسیون حجم ثابت
۳۹۹	۸-۹. انتقال محصول در FEMF
۴۰۱	۸-۱۰. نتیجه گیری ها
۴۰۲	منابع
۴۰۲	مطالعه اضافی
۴۰۲	مسائل
۴۰۴	مسائل تکمیلی
۴۰۶	فصل نهم: اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون
۴۰۶	۹-۱. مقدمه ای بر اسمز معکوس
۴۰۸	۹-۲. تئوری اسمز معکوس
۴۱۳	۹-۲-۱. ترکیب تئوری RO با تئوری پلاریزاسیون غلظت
۴۱۵	۹-۳. پیش بینی فشارهای اسمزی
۴۱۶	۹-۴. چیدمان های فرآیندی در RO
۴۱۷	۹-۵. تحلیل یک سیستم پیوسته تغذیه و تزریق مجدد
۴۲۰	۹-۶. تحلیل یک سیستم تک پاس

۴۲۴	۷-۹. نرم افزار اسمز معکوس
۴۲۵	۸-۹. مقدمه‌ای بر نانوفیلتراسیون
۴۲۷	۹-۹. تئوری نانوفیلتراسیون
۴۲۹	۱۰-۹. نانوفیلتراسیون ناپیوسته با مخزن خوراک
۴۳۳	۱۱-۹. نتیجه‌گیری‌ها
۴۳۳	بیج
۴۳۳	مطالعات اضافی
۴۳۴	مسائل
۴۳۵	مسائل تکمیلی
۴۳۷	فصل دهم: گرفتگی غشا
۴۳۷	۱-۱۰. مقدمه
۴۳۸	۱-۱۰. ۱-۱. گرفتگی از دیدگاه انسداد
۴۴۰	۱-۱۰. ۲-۱. مدل سازی تجربی
۴۴۱	۱-۱۰. ۲-۱. فیلتراسیون انتهابسته
۴۴۱	۱-۱۰. ۱-۲. کیک‌های تراکم‌ناپذیر
۴۴۴	۱-۱۰. ۲-۲. کیک‌های تراکم‌پذیر
۴۴۶	۱-۱۰. ۳-۱. میکروفیلتراسیون جریان متقاطع
۴۴۶	۱-۱۰. ۳-۱. مقاومت ویژه ظاهری
۴۵۱	۱-۱۰. ۴-۱. اولترافیلتراسیون
۴۵۲	۱-۱۰. ۴-۱. گرفتگی غشا و شار محدود
۴۵۴	۱-۱۰. ۴-۲. دینامیک‌های شار در ترکیب ثابت
۴۵۷	۱-۱۰. ۴-۳. دینامیک‌های UF پیوسته با تغذیه و تزریق مجدد

۴۶۱	۱۰-۴-۴. دیافیلتراسیون حجم ثابت
۴۶۳	۱۰-۴-۵. اولترافیلتراسیون با دیافیلتراسیون حجم ثابت (UFCVD)
۴۶۶	۱۰-۵. اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون
۴۶۸	۱۰-۶. نتیجه گیری ها
۴۶۸	منابع
۴۶۹	مسائل
۴۷۱	مسائل تکمیلی
۴۷۲	ضمیمه: پیشینه محاسباتی ریاضیاتی
۴۷۲	A-۱. مقدمه
۴۷۳	A-۲. حساب دیفرانسیل و انتگرال محاسباتی نمادین
۴۷۳	A-۲-۱. مشتق گیری
۴۷۸	A-۲-۲. تقریب های سری برای توابع
۴۸۰	A-۲-۳. انتگرال گیری
۴۸۳	A-۳. حل عددی معادلات جبری غیرخطی
۴۸۳	A-۳-۱. روش نیوتن - رافسون
۴۸۸	A-۴. حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی
۴۹۰	A-۴-۱. روش اویلر برای حل عددی ODE
۴۹۳	A-۴-۲. حل سیستم های ODE با تابع ode45 نرم افزار متلب
۴۹۴	A-۴-۳. معادلات جبری دیفرانسیلی
۴۹۶	A-۵. انتگرال گیری عددی
۴۹۸	A-۶. مشتق گیری عددی
۴۹۹	A-۷. رگرسیون غیرخطی

A-۸ نتیجه گیری

مطالعات اضافی

مسائل

۵۰۱

۵۰۲

۵۰۲

www.ketab.ir

پیشگفتار

اغلب گفته می‌شود که به منظور یادگیری یک زبان خارجی، باید خود را در آن غوطه‌ور نمود. از نظر من نیز آشنایی با مهندسی شیمی و قرآیند نیز به همان میزان غوطه‌وری نیاز دارد. بدین معنی که معادله نویسی و فرمول‌نویسی بسیاری از مسائل به مهارت‌های اساسی مهندسی موازنه جرم و انرژی نیاز دارد. همچنین بدین معنی است که به استفاده از تکنیک‌های محاسباتی و ریاضیاتی به طور منظم نیاز است. پس از سه سال برنامه‌های بین رشته‌ای به مدت ۲۰ سال، برای من مشخص گردیده که تعداد کمی از دانشجویان می‌توانند همزمان با مطالعه دروس بیولوژی یا سایر دروسی که ماهیت کمی کمتر دارند، از عهده مسائل مهندسی به آسانی برای بسیاری از افراد تمرین مداوم مهارت‌های مهندسی لازم است. گلف باز بزرگ و فقه، سیو بالستروس^۱، یکبار گفت: برای اینکه به خودتان بهترین فرصت بازی کردن در حد تواناییتان را بدهید باید خود را برای هر احتمالی آماده کنید. یعنی تمرین کنید. مهندسی نیز شبیه به گلف است، هرچه دانش و مهارت و وقت بیشتری را برای حل کردن تمرین صرف کنند، در انجام مسائل مهندسی بهتر عمل خواهند کرد.

این کتاب تماماً در مورد غوطه‌وری خواننده در زمینه فیلتراسیون غشایی می‌باشد. در اصطلاح بازیکنان فوتبال، این کتاب در مورد تشویق خواننده به «درگیر شدن» با جنبه‌های کمی طراحی و تحلیل فرآیندهای غشایی می‌باشد. بنابراین، کتاب تا حدی از نظر معادلات سنگین می‌باشد که البته ماهیت مهندسی نیز همین است. اما در تمام مسائل، ریاضیات مورد استفاده شده فراتر از چیزی نیست که یک دانشجوی مهندسی از عهده آن برنیاید.

از بسیاری جهات، این یک کتاب کاملاً متعارف است، هر چند که بر مبنای حجم بالای مسائل بوده و تلاش بیشتر دانشجو را می‌طلبد. امروزه نسبت به روش‌های تدریسی که برای دانشجو آسان باشد تمایل زیادی وجود دارد. در نتیجه، کتاب‌ها و نوشته‌های زیادی وجود دارد که به خوبی نوشته شده و حاوی جعبه‌های رنگی و لیست‌های گلوله‌ای بوده که عناوینی مانند 'چیزی که نیاز دارید بدانید'، 'فراگیری نتایج'، 'نکات کلیدی در یادآوری' و غیره، دارند. برخلاف ظاهر جذاب، من فکر می‌کنم که این کتاب‌هایک مسیر بسیار محدود و روش متمرکز یادگیری را در اختیار دانشجو قرار می‌دهند. برای به یاد آوردن کامل از این کتاب خواننده باید قلم و کاغذ، و یک کامپیوتر، در دست داشته باشد. ضمن آنکه خواندن فعال نیز لازم می‌باشد.

زمانی که من به دستاوردهای کاران خود گفتم که من در حال نوشتن یک کتاب در مورد فیلتراسیون غشایی هستم، آن‌ها با من ملاقات کردند. مانند: چگونه می‌توانی یک کتاب کامل در این زمینه بنویسی؟ به من پاسخ می‌دادند. البته این یک سوال منطقی است. فیلتراسیون غشایی به ظاهر یک فرآیند ساده می‌باشد: یک خوراک به یک منبع وارد شده و قسمتی از خوراک، برای مثال قسمت جامد آن، توسط مانع جدا می‌گردد. هنگامی که یک فرد با فعالیت روزانه‌ای مانند فیلتر کردن قهوه فکر می‌کند، به نظر ساده بوده و به سختی ارزش موضوع یک کتاب کامل را پیدا می‌کند. با این حال من در پاسخ به این سوال دو مطلب می‌گویم. اول اینکه فیلتراسیون غشایی شامل هر چیزی می‌شود از فیلتراسیون ساده مواد معلق تا فیلتراسیون مولکول‌های بسیار کوچک مانند یون‌های نمک، که قوانین فیزیکی هر مورد متفاوت هستند. دوم اینکه من به این نکته اشاره می‌کنم که مهندسين در واقع باید بتوانند موارد محاسباتی را انجام دهند، خواه طراحی یک سیستم فیلتراسیون یا تحلیل عملکرد یک سیستم باشد، خواه بهینه‌سازی یک سیستم. تمام این مسائل نیاز به توصیف ریاضی فرآیند داشته و در قالب یک کتاب کامل قرار می‌گیرد. مسائل می‌بایست به صورت زبان ریاضی بیان شده و راه‌حل‌ها نیاز ارائه شوند.

محدوده این کتاب فیلتراسیون غشایی سیستم‌های مایع می‌باشد که شامل فیلتراسیون انتها بسته، میکرو فیلتراسیون جریان متقاطع، اولترافیلتراسیون و دیافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس می‌باشد. هر کدام از این روش‌ها هم از نظر فنی و هم از نظر تئوری در مراحل مختلف توسعه هستند. از اینرو پرداختن به هر موضوع به طور مساوی امکان‌پذیر نمی‌باشد. فصل‌های اولترافیلتراسیون و دیافیلتراسیون (فصل ۴ تا فصل ۸) قلب کتاب را تشکیل می‌دهند. من یک فصل جداگانه (فصل ۷) را انتخاب کردم که به پس‌زنی ناقص می‌پردازد، به این دلیل که فکر می‌کنم که دانشجویان زمانی که از یک موضوع مشخص به یک موضوع کلی می‌روند بهتر مطلب را فرا می‌گیرند.

تمام تاکید در این کتاب بر تئوری و طراحی فرآیند بوده و در مورد ساختمان غشا و طرز ساخت آن اطلاعات بسیار کمی وجود دارد. در واقع این کتاب بیش‌تر یک کتاب مهندسی شیمی است. کتاب‌های بسیار دیگری در دسترس هستند که اطلاعات گسترده‌تری ارائه می‌دهند اما بیش‌تر آن‌ها به عنوان کتاب‌هایی در مورد علم غشا مطرح هستند.

من همواره به دانشجویان خود می‌گویم که حل مسائل در مهندسی دو قسمت دارد؛ فرمول‌سازی مسئله و در واقع انجام محاسبات. بنابراین این کتاب تاکید زیادی بر مباحث بینشی‌های عددی دارد از مدل‌های فرآیندی که توسعه یافته‌اند. محاسبات مهندسی تقریباً با استفاده از روش‌های عددی نیازمند است. بسیاری از مسائل را نمی‌توان با راه‌حل‌های تحلیلی حل نمود و توانایی حل معادلات دیفرانسیل معمولی و جبری غیر خطی یک مهارت برای مهندسیین بشمار می‌آید. در گذشته روش‌های حدس و خطا و روش‌های ترسیمی بسیاری وجود داشته‌اند اما تا زمانی که فرد به خوبی مسئله را فرموله کند منسوخ هستند. امروزه گزینه‌های مختلفی برای بکارگیری روش‌های عددی در کامپیوترهای شخصی وجود دارد اما باید بگوییم که نرم افزار متلب به عنوان پرکاربردترین محیط محاسباتی برای مهندسیین مطرح است.

کار کردن با متلب نیازمند تلاش بوده و بهتر است که خواننده دانش مبانی این نرم افزار را داشته باشد. هر چند که با کمی کردن کدها می توان کارهای زیادی انجام داد. روش برنامه نویسی من تا حد زیادی تحت تاثیر تمریناتم با زبان برنامه نویسی فورترن بوده است، از اینرو استفاده مکرر من از متغیرهای کلی (که لزوماً بهترین روش نیست) که اساساً همان ایده بیان مشترک را در فورترن دارد، به همین خاطر است. خوشبختانه، هیچ یک از مسائل این کتاب به کامپیوتر پر قدرت نیز، نیاز چندانی ندارد. مگر خواننده، حداقل در کوتاه مدت، بهتر است به جواب های درست باشد و زیاد نگران ظرافت های برنامه نویسی نباشد، که البته با تمرین بیشتر و کسب تجربه کار با مطلب حاصل می گردد.

تمام کدهای متلب این کتاب استفاده از متلب R2011b، تهیه شده توسط Mathworks Inc. نوشته شده است. من همچنین از کارهای نمادین ریاضی و بهینه سازی استفاده کرده ام. تمام عملکردهای مورد نیاز که در این کتاب استفاده شده اند در نسخه آموزشی متلب وجود دارند. من توصیه می کنم که خوانندگان پیش از اینکه به راه حل من نگاه کنند راه حل های خودشان را به صورت کد بنویسند. نوشتن کد کامپیوتر یک راه عالی برای یادگیری و توجه به جزئیات می باشد.

زمانی که من در ابتدا تصمیم به نوشتن این کتاب گرفتم می خواستم یک کتاب درسی برای مقطع کارشناسی مهندسی غشا تدوین کنم. هر چند که با پیشرفت کار دیدگاه من، به تدوین یک منبع کامل برای تمام مخاطبین مهندسی غشا در سطوح مختلف، گسترده شد. بنابراین بعید است که تمام کتاب تنها برای یک مازول استفاده شود و مدرسین می توانند با توجه به زمانی که دارند و ساختار کلی برنامه شان بخش هایی از قسمت های مختلف کتاب را انتخاب کنند. از این رو کتاب می تواند به سادگی در تمامی سطوح از سال سوم یک برنامه مهندسی چهارساله تا سطح فوق لیسانس شامل برنامه های بین رشته ای مانند بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار گیرد. همچنان که نوشتن کتاب پیش می رفت برای من معلوم شد که بسیاری از عناوین نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. لازم بود که مدل های فرآیندی را به گونه ای فرموله کنم که در دیگر کتاب ها و یا مقالات تحقیقاتی

نباشند. بنابراین، امیدوار هستم که کتاب مورد توجه دانشجویان PhD و محققین با تجربه نیز قرار گیرد.

من در دانشکده بیوتکنولوژی دانشگاه شهر دوبلین به مدت ۲۵ سال کار کرده‌ام. میل دارم از تمام همکارانم که مرا حمایت کرده و به سادگی کمک کرده‌اند تا از ۲۵ سال کار در بخش آموزش و پژوهش لذت ببرم، تشکر می‌کنم. افراد در DCU بوده‌اند که لازم است از آن‌ها تشکر کنم، هر چند که برخی از شاگردانم، بدهاند و حتی خود نمی‌دانند که به من کمک کرده‌اند. برای درک بهتر موضوعات راهی بهتر از تدریس آن‌ها نیست، در بسیاری از موارد، درست در وسط سخنرانی متوجه برخی مسائل می‌شدم.

بیش‌تر از همه، باید از تمام خانها،م، مخصوصاً همسر، جولی، و پسر کوچکم، لئو، به خاطر حمایت‌های بسیار زیادشان در تمام این سال‌ها تشکر کنم. بدون عشق و حمایت این افراد به ویژه جولی، این کتاب هیچ وقت نوشته نمی‌شد.

گرگ فولی

ایرلند، دوبلین