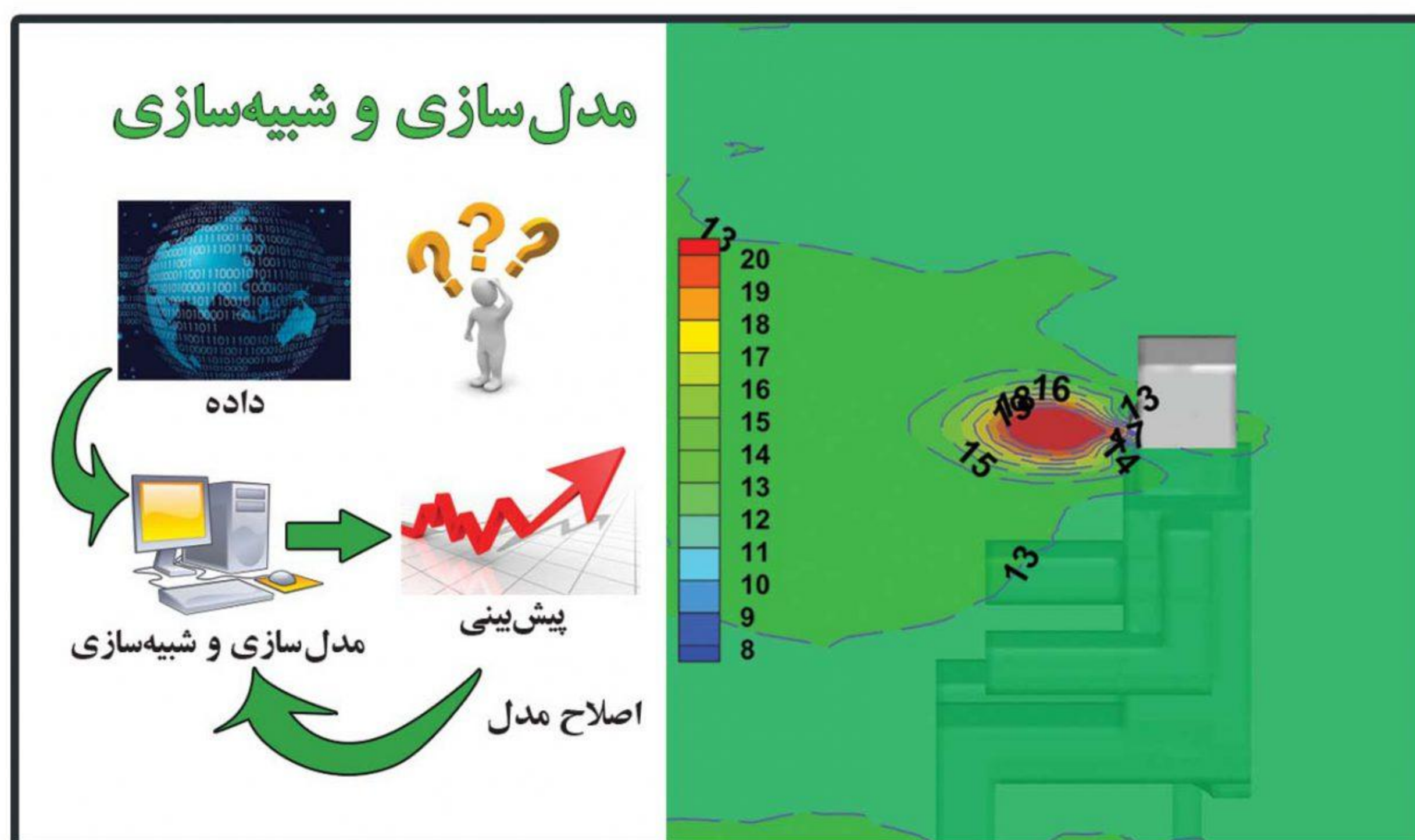


# مدل‌های ریاضی برای

## تخمین مواجهه شغلی با مواد شیمیایی

روش سیستماتیک و جامع در مورد مدل‌های مواجهه و مزیت‌های آنها



مترجم: دکتر نورالدین قراری  
استادیار دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# مدل‌های ریاضی برای تخمین مواجهه شغلی با مواد شیمیایی

ترجمه: دکتر نورالدین قراری

استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار  
دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۱۳۹۸



عنوان و نام پدیدآور	: مدل‌های ریاضی برای تخمین مواجهه شغلی با مواد شیمیایی/ نویسندگان [صحیح: ویراستاران چارلز بی. کیل، کترین ای. سیمونز، تی. رنی آنتونی]؛ ترجمه نورالدین قراری.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، انتشارات، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۳۸۴ ص. : مصور(بخشی رنگی)، جدول(بخشی رنگی)، نمودار(بخشی رنگی).
شابک	: 978-964-8858-25-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Mathematical models for estimating occupational exposure to chemicals, 2nd, 2009.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: آلودگی فضای داخلی - الگوهای ریاضی
موضوع	: Mathematical models Indoor air pollution
موضوع	: بهداشت صنعتی، بهداشت حرفه ای
موضوع	: Industrial hygiene
شناسه افزوده	: کیل، چارلز بی. ، ویراستار
شناسه افزوده	: Keil, Charles B.
شناسه افزوده	: سیمونز، کترین ای. ، ویراستار
شناسه افزوده	: Simmons, Catherine E.
شناسه افزوده	: آنتونی، تی. رنی، ویراستار
شناسه افزوده	: Anthony, T. Renée
شناسه افزوده	: قراری، نورالدین، ۱۳۵۸-، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی.
رده بندی کنگره	: TD۸۸۳/۱۷
رده بندی دیویی	: ۳۶۳/۱۷۹۱۰۱۵۱۱۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۹۲۳۲۴۵



نام کتاب	: مدل‌های ریاضی برای تخمین مواجهه شغلی با مواد شیمیایی
مترجم	: نورالدین قراری
نوبت چاپ	: اول/۱۳۹۸
انتشارات	: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی با همکاری انتشارات برای فردا
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد
چاپ و تکثیر	: انتشارات برای فردا
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۸۸۵۸-۲۵-۹
قیمت	: ۷۰۰۰۰ تومان

تقدیم به همسرم زهرا و دخترم حلما

## پیشگفتار

کتاب حاضر ترجمه کتاب مدل‌سازی ریاضی برای تخمین مواجهه شغلی با مواد شیمیایی می‌باشد که توسط انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (AIHA) منتشر شده است. در این کتاب روش‌های مختلف مدل‌سازی ریاضی با هدف ارزیابی و مدیریت مواجهه توضیح داده شده است. هدف آشنایی متخصصین مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار با اصول، مفاهیم و روش‌های مدل‌سازی ریاضی می‌باشد. مطالعه مطالب این کتاب در ارزیابی ریسک مواجهه و تصمیم‌گیری بهتر و نیز آگاهی از علوم پشت مواجهه‌های شغلی کمک‌کننده خواهد بود.

دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار در واحدهای درسی همچون، مدل‌سازی در بهداشت حرفه‌ای، معرفی مدل‌های انتشار آلودگی هوا و دینامیک سیالات محاسباتی در تهویه صنعتی می‌توانند از این کتاب استفاده کنند. با وجود اینکه مواد و روش‌های مورد استفاده در این کتاب روش‌های متداول و عملی مورد استفاده در رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار می‌باشد، اما روش‌های مدل‌سازی ریاضی در اکثر علوم مهندسی مشابه می‌باشند، از این رو کتاب حاضر می‌تواند توسط دانشجویان علوم مهندسی بخصوص مهندسی ایمنی، مهندسی بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE)، مهندسی بهداشت محیط، مهندسی مکانیک، مهندسی تهویه مطبوع، مهندسی محیط‌زیست و سایر دانشجویان علاقمند به حوزه مدل‌سازی آلاینده‌ها در مقاطع مختلف مورد استفاده قرار گیرد. بدیهی است که هر کاری خالی از اشکال نبوده و ترجمه حاضر نیز از این امر مستثنی نیست لذا مترجم کتاب از توصیه‌ها و پیشنهادات کلیه خوانندگان محترم در این زمینه استقبال می‌کند.

مترجم کتاب - پاییز ۱۳۹۸

## فهرست مطالب

مقدمه .....	۱۵
<b>فصل اول: چرا مدل؟ .....</b>	<b>۱۹</b>
۱-۱ مقدمه .....	۱۹
۲-۱ مدل سازی مواجهه در متن ارزیابی ریسک .....	۱۹
۳-۱ چرا جامعه بهداشت حرفه‌ای در برابر مدل سازی مواجهه مقاومت می‌کند؟ .....	۲۱
۴-۱ چرا مدل در حالی که شما می‌توانید اندازه‌گیری کنید؟ .....	۲۱
۵-۱ واقعاً مدل چیست؟ .....	۲۳
۶-۱ وجود یا عدم وجود ایمان به این که شما قبلاً مدل سازی می‌کردید! .....	۲۵
۷-۱ آیا شما برای شروع آماده‌اید؟ .....	۲۶
۸-۱ منابع .....	۲۷
<b>فصل دوم: قوانین عمومی مدل‌های فیزیکی - شیمیایی .....</b>	<b>۲۹</b>
۱-۲ مقدمه .....	۲۹
۲-۲ بقاء جرم .....	۲۹
۳-۲ پارامترهای سیستم هوای داخل .....	۳۰
۱-۳-۲ حجم اتاق .....	۳۰
۲-۳-۲ آرایش فضایی تهویه .....	۳۱
۳-۳-۲ جریان هوا .....	۳۲
۴-۳-۲ ویژگی‌های اختلاط .....	۳۴
۵-۳-۲ منابع آلاینده .....	۳۵
۶-۳-۲ غلظت‌های هوا و مواجهه کارگر .....	۳۵
۴-۲ مدل‌های تهویه صفر .....	۳۶
۵-۲ روش‌های حل .....	۳۸
<b>فصل سوم: مدل سازی نرخ تولید آلاینده .....</b>	<b>۴۵</b>
۱-۳ مقدمه .....	۴۵
۲-۳ تعادل جرم .....	۴۵
۳-۳ ضرایب انتشار .....	۴۷

۴۸	۴-۳ مدل‌های فشار بخار
۴۸	۱-۴-۳ غلظت فشار بخار اشیاع
۵۱	۲-۴-۳ پخش بعلت پر شدن ظرف مایع
۵۲	۵-۳ تبخیر از سطوح باز ( مخازن روباز)
۵۴	۶-۳ پخش از مخازن تحت فشار
۵۸	۷-۳ مدل‌های گاز رها شده از محصول مورد استفاده
۵۸	۸-۳ یک نکته در مورد پخش ذرات
۵۸	۹-۳ منابع
۶۱	<b>فصل چهارم: مدل جعبه‌ای اختلاط کامل</b>
۶۱	۱-۴ مقدمه
۶۱	۲-۴ تهیه مدل
۶۱	۱-۲-۴ تعادل جرم
۶۲	۲-۲-۴ تعادل جرم هوای اتاق
۶۴	۳-۲-۴ فرضیات عمومی برای مدل جعبه‌ای اختلاط کامل (WMB)
۶۴	۴-۲-۴ حل شکل بسته مدل جعبه‌ای اختلاط کامل (WMB)
۶۶	۵-۲-۴ ساده سازی وابسته به زمان مدل جعبه‌ای اختلاط کامل (WMB)
۶۷	۳-۴ حل‌های حالت پایدار
۶۸	۱-۳-۴ زمان رسیدن به حالت پایدار
۶۹	۴-۴ کاهش غلظت
۷۱	۵-۴ ضرایب اختلاط
۷۴	۶-۴ میانگین مواجهه‌ها در طول زمان
۷۴	۷-۴ اثرات جریان هوا به غیر از هوای ناشی از تهویه مکانیکی
۷۴	۱-۷-۴ تهویه طبیعی
۷۴	۲-۷-۴ نفوذ به داخل و خارج ساختمان
۷۵	۳-۷-۴ تهویه اجباری
۷۶	۸-۴ مدل جعبه‌ای اختلاط کامل (WMB) با چندین جریان هوا
۷۷	۹-۴ منابع



**فصل پنجم: اتاق‌های دارای اختلاط کامل و شرایط متغیر ..... ۷۹**

- ۱-۵ مقدمه ..... ۷۹
- ۲-۵ حل عددی تعادل جرم دیفرانسیلی ..... ۷۹
- ۳-۵ فرایندهای دوره ای ..... ۸۳
- ۴-۵ فشار مخالف ..... ۸۷
- ۵-۵ کاهش نمایی نرخ انتشار ..... ۹۱
- ۱-۵-۱ ثابت نرخ تبخیر برای پخش کم حلال ..... ۹۷
- ۲-۵-۵ اعتباربخشی مدل ..... ۹۸
- ۶-۵ منابع ..... ۹۹

**فصل ششم: مدل میدان نزدیک/میدان دور (مدل دو-جعبه‌ای) با نرخ ثابت انتشار آلاینده ..... ۱۰۱**

- ۱-۶ مقدمه ..... ۱۰۱
- ۲-۶ توسعه مدل ..... ۱۰۱
- ۳-۶ کاهش غلظت ..... ۱۰۶
- ۴-۶ اعتباربخشی مدل ..... ۱۰۷
- ۵-۶ نرخ جریان پاکسازی موضعی ..... ۱۰۹
- ۶-۶ منابع ..... ۱۱۰

**فصل هفتم: مدل‌های پخش پیچک توربولانسی ..... ۱۱۱**

- ۱-۷ مقدمه ..... ۱۱۱
- ۲-۷ ملاحظات اولیه ..... ۱۱۱
- ۳-۷ پخش توربولانسی کروی بدنبال خروج ضربه‌ای آلاینده از منبع - بدون وجود جریان جابجایی ..... ۱۱۳
- ۴-۷ پخش توربولانسی کروی بدنبال خروج ضربه‌ای آلاینده از منبع - با وجود جریان جابجایی ..... ۱۱۵
- ۵-۷ محاسبه برای پخش‌های غیر کروی ..... ۱۱۸
- ۶-۷ پخش توربولانسی نیم کره‌ای با نرخ ثابت انتشار آلاینده - بدون وجود جابجایی هوا ..... ۱۱۹
- ۷-۷ پخش توربولانسی نیم کره‌ای با نرخ ثابت پخش آلاینده - با وجود جریان جابجایی هوا .. ۱۲۲
- ۸-۷ محاسبه حدود مواجهه میانگین وزنی زمانی (TWA) ..... ۱۲۳
- ۹-۷ یک روش عددی ..... ۱۲۳

۱۲۸	۱۰-۷ ضمیمه فنی ۱ - مشتقات شکل کروی معادله.....
۱۳۱	۱۱-۷ ضمیمه فنی ۲- کد متلب مورد استفاده برای تولید شکل ۷-۵.....
۱۳۳	۱۲-۷ منابع.....
<b>۱۳۵</b>	<b>فصل هشتم: مدل های مبتنی بر دانش(دانش محور).....</b>
۱۳۵	۱-۸ مقدمه.....
۱۳۵	۲-۸ WORKBOOK و WORKSPERT.....
۱۳۶	۱-۲-۸ WORKSPERT.....
۱۳۷	۲-۲-۸ WORKBOOK.....
۱۳۹	۳-۸ تخمین و ارزیابی مواجهه با مواد، نرم افزار مدل سازی EASE.....
۱۴۰	۴-۸ مطالعات اعتباربخشی.....
۱۴۰	۵-۸ منابع.....
<b>۱۴۳</b>	<b>فصل نهم: مدل های آماری عوامل موثر بر مواجهه.....</b>
۱۴۳	۱-۹ مقدمه.....
۱۴۴	۲-۹ مدل های آماری.....
۱۴۵	۱-۲-۹ مدل های رگرسیون خطی.....
۱۴۶	۲-۲-۹ مدل های ترکیبی.....
۱۴۷	۳-۲-۹ مدل های رگرسیون لگاریتمی.....
۱۴۸	۴-۲-۹ سایر مدل های رگرسیون.....
۱۴۸	۳-۹ استراتژی های توسعه مدل.....
۱۴۹	۱-۳-۹ توسعه یک مدل مفهومی.....
۱۴۹	۲-۳-۹ جمع آوری اطلاعات روی عوامل موثر بر مواجهه.....
۱۵۰	۳-۳-۹ ارزیابی داده های مواجهه.....
۱۵۱	۴-۳-۹ ارزیابی عوامل موثر بر مواجهه.....
۱۵۲	۵-۳-۹ ساخت مدل های رگرسیون چندگانه.....
۱۵۲	۶-۳-۹ استفاده از روش های استاندارد برای ارزیابی مدل ها.....
۱۵۲	۴-۹ اعتباربخشی مدل.....
۱۵۲	۱-۴-۹ اعتباربخشی داخلی از طریق تقسیم داده ها.....
۱۵۳	۲-۴-۹ اعتباربخشی بیرونی با استفاده از سایر منابع اطلاعاتی.....
۱۵۳	۳-۴-۹ ارزیابی با استفاده از روش های مونت کارلو.....

۱۵۴	۵-۹ مثال‌های کاربردی.....
۱۵۴	۱-۵-۹ شناخت فاکتورهای مواجهه برای اقدامات کنترلی.....
۱۵۵	۲-۵-۹ پیش‌بینی مواجهه‌ها.....
۱۵۶	۳-۵-۹ ارزیابی روند زمانی.....
۱۵۶	۶-۹ خلاصه.....
۱۵۷	۷-۹ منابع.....
<b>۱۶۱</b>	<b>فصل دهم: عدم قطعیت .....</b>
۱۶۱	۱-۱۰ مقدمه.....
۱۶۱	۲-۱۰ عدم قطعیت: چگونه بوجود می‌آید؟.....
۱۶۲	۳-۱۰ LIBBY: یک مثال از تغییرپذیری طبیعی در مقابل فقدان دانش.....
۱۶۲	۱-۳-۱۰ شرایط اول: فقدان دانش بالاست اما خیلی بالا نیست.....
۱۶۳	۲-۳-۱۰ شرایط دوم: برخی اطلاعات فراهم شده است- فقدان دانش پایین آمده، اما هنوز بالاست.....
۱۶۳	۳-۳-۱۰ شرایط سوم: داده‌های واقعی جمع‌آوری شده- فقدان دانش بسیار کمتر شده است.....
۱۶۴	۴-۳-۱۰ شرایط چهارم: تغییرپذیری واقعی تعیین شده است- فقدان دانش وجود ندارد.....
۱۶۵	۴-۱۰ عدم قطعیت در بهداشت حرفه‌ای.....
۱۶۶	۵-۱۰ مدل‌سازی و عدم قطعیت.....
۱۶۷	۶-۱۰ روش‌های مدل‌سازی قطعی و عدم قطعیت.....
۱۶۹	۷-۱۰ روش‌های مدل‌سازی آماری: آنالیز مونت کارلو.....
۱۷۳	۸-۱۰ حرف آخر.....
۱۷۴	۹-۱۰ منابع.....
<b>۱۷۵</b>	<b>فصل یازدهم: مدل‌سازی مواجهه و آنالیز تصمیم‌گیری بیزین .....</b>
۱۷۵	۱-۱۱ مقدمه.....
۱۷۵	۲-۱۱ ارزیابی مواجهه و تصمیم‌گیری بر اساس بیزین.....
۱۷۷	۳-۱۱ شبیه‌سازی یک و دو بعدی مونت کارلو.....
۱۸۰	۴-۱۱ تصمیم‌گیری با مدل‌های رقابتی.....
۱۸۴	۵-۱۱ نکات پایانی.....
۱۸۷	۶-۱۱ منابع.....

## فصل دوازدهم: انتخاب مدل ..... ۱۸۹

- ۱-۱۲ مقدمه ..... ۱۸۹
- ۲-۱۲ من باید کدام مدل را استفاده کنم؟ ..... ۱۸۹
- ۳-۱۲ رهنمودهای کلی انتخاب ..... ۱۹۰
- ۴-۱۲ استفاده از یک روش طبقه‌بندی ..... ۱۹۱
- ۵-۱۲ منابع ..... ۱۹۶

## فصل سیزدهم: مدل‌سازی مواجهه پوستی ..... ۱۹۷

- ۱-۱۳ مقدمه ..... ۱۹۷
- ۲-۱۳ زمینه ..... ۱۹۷
- ۳-۱۳ مدل‌سازی احتمال مواجهه پوستی ..... ۱۹۸
- ۴-۱۳ مدل‌سازی احتمال ریسک پوستی ..... ۱۹۹
- ۱-۴-۱۳ تخمین دز معادل OEL پوستی با استفاده از OEL تنفسی ..... ۲۰۰
- ۲-۴-۱۳ تخمین مواجهه پوستی با فرض جذب کامل یا جزئی ..... ۲۰۱
- ۳-۴-۱۳ تخمین مواجهه پوستی با استفاده از میانگین دز روزانه ..... ۲۰۷
- ۴-۴-۱۳ تخمین مواجهه پوستی با استفاده از مدت زمان قابل قبول مواجهه پوستی ..... ۲۱۶
- ۵-۴-۱۳ تخمین تماس دست به دهان مربوط به مواجهه پوستی ..... ۲۱۷
- ۶-۴-۱۳ استخراج حد غلظت سطحی مبتنی بر ریسک ..... ۲۱۹
- ۵-۱۳ مدل‌سازی مواجهه - چه کاری با مواجهه پوستی و تخمین‌های ریسک می‌توان انجام داد؟ ..... ۲۲۳
- ۶-۱۳ ارزیابی روش‌ها برای مدل‌سازی مواجهه شغلی ..... ۲۲۴
- ۱-۶-۱۳ استانداردسازی جمع‌آوری و گزارش اطلاعات ..... ۲۲۴
- ۲-۶-۱۳ تفسیر داده‌ها ..... ۲۲۴
- ۳-۶-۱۳ الگوهای فعالیت در مواجهه پوستی محیط کار ..... ۲۲۵
- ۴-۶-۱۳ ارزیابی اثربخشی اقدامات کنترلی ..... ۲۲۵
- ۷-۱۳ نیازهای تحقیق مدل‌سازی پوستی ..... ۲۲۵
- ۸-۱۳ مثال‌هایی از ارزیابی مواجهه پوستی ..... ۲۲۶
- ۱-۸-۱۳ مثال ۱. ارزیابی غربالگری دز جذب شده پوستی ..... ۲۲۶
- ۲-۸-۱۳ مثال ۲. ارزیابی احتمال مواجهه پوستی و ارزیابی خطر برای بنزن ..... ۲۲۸
- ۳-۸-۱۳ مثال ۳. تخمین مدت زمان قابل قبول مواجهه پوستی ..... ۲۳۳

۲۳۴	۱۳-۸-۴ مثال ۴- ارزیابی مواجهه پوستی با سرب از طریق جذب پوستی و مواجهه دست به دهان.....
۲۳۸	۱۳-۸-۵ مثال ۵- استخراج غلظت سطحی قابل قبول برای سرطانها.....
۲۴۰	۱۳-۹ منابع.....
<b>۲۴۷</b>	<b>فصل چهارده: REACH- یک دلیل نوین و مهم برای یادگیری مدل سازی.....</b>
۲۴۷	۱۴-۱ مقدمه.....
۲۴۷	۱۴-۲ REACH چیست و چه معنایی برای بهداشت حرفه ای دارد؟.....
۲۴۸	۱۴-۳ ارزیابی و مدل سازی.....
۲۴۹	۱۴-۴ منابع.....
<b>۲۵۱</b>	<b>فصل پانزدهم: دینامیک سیالات محاسباتی.....</b>
۲۵۱	۱۵-۱ مقدمه.....
۲۵۲	۱۵-۲ اصول CFD.....
۲۵۴	۱۵-۳ مراحل مدل سازی CFD.....
۲۵۵	۱۵-۳-۱ مرحله ۱: تعریف مسئله دینامیک سیال.....
۲۵۷	۱۵-۳-۲ مرحله ۲: تولید دامنه کامپیوتری.....
۲۶۰	۱۵-۳-۳ مرحله ۳: فرموله کردن یک مسئله خوش طرح.....
۲۶۷	۱۵-۳-۴ مرحله ۵: ارزیابی همگرایی.....
۲۶۹	۱۵-۳-۵ اعتباربخشی مدل با داده‌های تجربی.....
۲۷۰	۱۵-۳-۶ پس پردازش.....
۲۷۱	۱۵-۴ مثال‌هایی از مطالعات انجام شده.....
۲۷۲	۱۵-۵ مزایای CFD.....
۲۷۴	۱۵-۶ منابع.....
<b>۲۷۷</b>	<b>فصل شانزدهم: مدل‌های پخش پلوم هوا.....</b>
۲۷۷	۱۶-۱ مقدمه.....
۲۷۷	۱۶-۲ توسعه مدل پلوم.....
۲۷۸	۱۶-۳ مدل‌های پخش پلوم مربوط به بهداشت حرفه‌ای.....
۲۷۹	۱۶-۴ مدل پلوم میدان نزدیک.....
۲۸۰	۱۶-۵ مدل پلوم میدان میانی.....
۲۸۱	۱۶-۶ منابع.....

۲۸۳	فصل هفده: بازسازی مواجهه .....
۲۸۳	۱-۱۷ مقدمه‌ای بر بازسازی مواجهه .....
۲۸۵	۲-۱۷ توسعه مدل برای بازسازی مواجهه .....
۲۸۵	۳-۱۷ مدل‌های مبتنی بر دز برای راه‌های ورودی .....
۲۸۷	۴-۱۷ بازسازی مواجهه تجمعی .....
۲۸۸	۵-۱۷ ارتباط بین غلظت و زمان .....
۲۸۹	۶-۱۷ بازسازی مواجهه - یک روش ۱۲ مرحله‌ای .....
۲۹۰	۷-۱۷ منابع اطلاعات .....
۲۹۱	۱-۷-۱۷ جزئیات سابقه کار .....
۲۹۲	۲-۷-۱۷ اصول و دستورالعمل‌های ارزیابی مواجهه .....
۲۹۹	۳-۷-۱۷ داده‌های از دست داده .....
۲۹۹	۸-۱۷ بازسازی مواجهه و مدل بهداشت حرفه‌ای .....
۲۹۹	۹-۱۷ مطالعات موردی مربوط به بازسازی مواجهه .....
۲۹۹	۱-۹-۱۷ انجام تست محصول .....
۳۰۴	۲-۹-۱۷ انجام بازسازی مواجهه برای افراد .....
۳۰۹	۱۰-۱۷ انجام اعتباربخشی برای داده‌های بازسازی مواجهه و دز .....
۳۱۳	۱۱-۱۷ منابع .....
۳۲۳	ضمیمه ۱: اصول حساب دیفرانسیل و انتگرال مقدماتی مورد استفاده در مدل‌سازی .....
۳۴۱	ضمیمه ۲: منابع اطلاعات فشار بخار .....
۳۵۳	فهرست راهنما .....