
بسم الله الرحمن الرحيم

شرح جامع

شیمی کاربردی

(اصول محاسبات شیمی صنعتی، شیمی صنعتی ۱و۲، اصول تصفیه آب و پسابهای صنعتی و خوردگی فلزات)

«شیمی»

مولف: مصطفی جباری

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

تقدیم به

همهٔ پدران و مادران زحمت‌کش و دلسوز

پیشگفتار مولف

به‌نام خدایی‌که در این نزدیکی است

دانشی که به‌کار بسته نشود ،مانند گنجی است که از آن خرج نشود.
پیامبر اکرم (ص)

سپاس بی‌کران خداوندی را که توفیق ارائهٔ تألیفی دیگر به بنده عنایت فرمود.
کتاب پیش رو شرحی است بر ۵ درس تخصصی رشتهٔ شیمی کاربردی که شامل: اصول محاسبات شیمی صنعتی، شیمی صنعتی ۱ و ۲، اصول تصفیهٔ آب و پساب‌های صنعتی و خوردگی فلزات می‌باشد.

در گزینش منابع و عناوین و دسته‌بندی محتوا، موارد متفاوتی چون سرفصل‌های مصوب شورای عالی انقلاب فرهنگی، منابع پیشنهادی شورا، منابع رایج و متقن، جزوات درسی اساتید برجسته و به نام دانشگاه‌های کشور و همچنین محتوای سؤالات آزمون‌های ورودی دانشگاه‌ها مد نظر قرار گرفته‌اند.

در سطح آموزش عالی به دلیل گستردگی مطالب، تألیف کتابی که در بر گیرنده‌ی تمامی وجوه و محتوا باشد، امری ناشدنی است؛ لذا در گزینش مطالب و بسط آن‌ها، سعی شده تا نقطهٔ بهینه‌ای از حجم کتاب و ارزش مطالب انتخاب شود؛ بدین معنی که می‌توان گفتکتاب پیش‌رو، کامل‌ترین کتابی‌ست که با این حجم می‌توان تألیف کرد؛ به‌طوری‌که بسیاری از مطالب مورد نیاز را در بر گیرد، در عین حال که حجمی قابل تحمل داشته باشد.

به علت توضیحات کاملی که برای مطالب پر اهمیت نگاشته شده و همچنین با توجه به انطباق سرفصل‌های این کتاب با سرفصل‌های تدریس بیشتر اساتید، می‌توان گفت که کتاب پیش‌رو علاوه بر کمک به داوطلبان شرکت در آزمون، برای استفادهٔ سایر دانشجویان به عنوان منبع درسی یا کمک درسی نیز مفید خواهد بود. همچنین با توجه به تفکیک مباحث، برای دانشجویان رشته‌های دیگر از جمله مهندسی مواد (بخش خوردگی)، مهندسی شیمی (بخش مکانیک سیالات، انتقال گرما و انتقال جرم) ومجموعهٔ منابع طبیعی (بخش تصفیهٔ آب) نیز قابل استفاده است.

***

گنجاندن حجم وسیعی از مطالب در ساعات محدود تدریس برخی درس‌ها عملی نیست، لذا بیشتر اساتید برخی قسمت‌ها را جهتتدریس عمیق‌تر بخش‌های مهم‌تر به ناچار حذف می‌کنند. هر کدام از موارد حذف شده شاید در برخی دانشگاه‌ها تدریس شوند، اما به دلیل نبود توافق عمومی، در کنکور مورد پرسش قرارنمی‌گیرند؛ از این‌رو سرفصل‌های کنکور نیز با سرفصل‌های رایج اساتید منطبق‌تر است تا سرفصل‌های پیشنهادی شورای عالی انقلاب فرهنگی. شاید لازم باشد این سرفصل‌ها که قریب به ۲۰ سال از تصویب‌شان گذشته و شرایط مقتضی زمانِ تصویب نیز تغییر یافته است، مورد بازبینی قرار گیرند. در تألیف این کتاب، سعی بر این بوده که همهٔ موارد مذکور لحاظ شود.

هیچ‌یک از کارهای بشری خالی از نقص نیست. حجم بالای کار و مدت زمان محدود، اشکالات گریزناپذیری را به تألیف کتاب وارد می‌کند. به این موارد، دانش ناقص نگارنده را هم بیفزائید. لذا پیشاپیش از اشکالات احتمالی موجود در کتاب، متواضعانه پوزش می‌طلبم و صمیمانه خواهشمندم این موارد را برای اصلاح در چاپ بعدی با بندهدر میان بگذارید(Jabbari.Mostafa@Gmail.com).

کتاب حاضر، نتیجهٔ کارگروهی جمعی از برترین دانشجویان کشور است که توصیه‌ها و راهنمایی‌های اساتید نیز همراه آن شده. ذکر نام تمامی دوستانی‌که در شکل‌گیری کتاب به‌نوعی دست داشته‌اند در این‌جا ممکن نیست؛ اما لازم است از عزیزانی که نقشی برجسته‌تر ایفا کرده‌اند، تشکر و قدردانی کنم؛ چراکه «من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق». پیشاپیش از دوستانی که نام‌شان سهواً از قلم افتاده است، پوزش می‌طلبم.

از فرد فرد آقایان: **وحید افشار** (دارندهٔ مدال نقرهٔ المپیاد شیمی کشوری و رتبهٔ ۸۴کنکور سراسری)که با تجربهٔ ازشمند مشارکت در تألیف خود، در نگارش فصل اول از بخش اول و **رضا رضائیه راد** که در نوشتن فصل سوم از بخش اول، بنده را همراهی کردند؛ از خانم‌ها: **فائزه وحید** و **اکرم نوری** که به ترتیب در نگارش قسمت‌هایی از فصل دوم خوردگی فلزات و تألیف سؤالات تألیفی شیمی صنعتی ۲ مشارکت داشتند؛ از آقای **حمید رفیعی**که در نگارش قسمت‌هایی از شیمی صنعتی۲ دست داشت، از دوست عزیزم آقای **میثم خسروی پویا** به خاطر نگارش و تهیهٔ ضمیمه‌های اصول تصفیهٔ آب و از اساتید بزرگوار شیمی کاربردی دانشگاه تهران، جناب آقای دکتر توسلی و سرکار خانم ظفرقندی، با تمام وجود سپاس‌گزارم.

از مجموعهٔ انتشارات ارشد که هر کدام به‌نوعی موجبات تألیف کتاب را فراهم نمودند، قدردانی خود را اعلام می‌دارم.

***

مدرسی که محصل نیز باشد، در هر دو سمت میز آموزش حضور داشته و کم و بیش از چند و چون روحیات سمت مقابل خود آگاه است. از این‌رو کلام چنین معلمی شاید تأثیرگذارتر و ملموس‌تر از کسی باشد که تنها در یک سوی این میز حضور دارد. لذا لازم است از همکار و دوست گرامی، آقای سید مجتبی باقری که در انتقال بنده از سمت شاگردیِ میز آموزش به سمت معلمی، نقش مؤثری داشتند، تشکر ویژه داشته باشم. اگر این مختصر، نوشتهٔ قابلی شده باشد، بی‌شک سهم عمده‌ای از آن، مرهون جسارت مثال زدنی مدیران آموزشی کارآمدی نظیر ایشان در میدان دادن به جوانان در امر تدریس است. به‌امید روزی که اساتید و مدیران علمی کشور با دانشجویان و پویندگان علم در فضای «اعتماد» تعامل داشته باشند و به آن‌ها فرصت و فضای شکوفایی استعدادهایشان را بدهند.

مصطفی جباری

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مولف ۵

بخش اول: اصول محاسبات شیمی صنعتی ۱

فصل اول: مقدمه‌ای بر محاسبات مهندسی شیمی ۷
۱-۱) مقدمات ۷
۱-۲) تعاریف اولیه ۱۲
۱-۳ تبدیل معادلات ریاضی به نمودار و برعکس (نمودارهای نیمه‌لوگ، تمام لوگ و مثلثی) ۲۳
۱-۴) روابط استوکیومتری (روابط جرمی، مولی، درصد وزنی، عیار مولی) ۲۶
فصل دوم: موازنه‌ی مواد ۴۱
مقدمه: ۴۱
۲ـ۱ موازنهی مواد ۴۱
۲ـ۱ـ۱ طبقه‌بندی موازنهی جرم ۴۲
۲ـ۱ـ۲ـ تجزیهی خشک و اُرسات ۴۳
۲ـ۲ مسایل موازنهٔ مواد با حل مستقیم ۴۷
۲ـ۳ـ موازنهٔ مواد با استفاده از روش‌های جبری ۵۳
۲ـ۳ مسائل شامل جسم رابط ۶۰
۲-۴- محاسبات جریان برگشتی (RECYCLE)، جریان کنارگذر (BY PASS) و جریان زُدایش (PURGE) ۶۹
فصل سوم: گاز، بخار، مایع و جامد ۸۵
۳-۱ کلیات ۸۵
۳ـ۲ـ گازهای ایده‌آل ۸۵
۳ـ۲ـ۱ قوانین حاکم بر گاز ایده‌آل ۸۶
۳ـ۲ـ۲ـ جرم ویژه و چگالی گازهای ایده‌آل ۸۸
۳ـ۲ـ۳ـ مخلوط گازهای کامل ۸۹
۳ـ۳ـ گازهای حقیقی ۹۰
۳ـ۳ـ۱ـ معادلات حالت گازهای حقیقی ۹۰
۳-۳-۲- ضریب تراکم پذیری (Z) ۹۲
۳-۴- فشار بخار ۹۵
۳-۴-۱- رابطهٔ فشار بخار با دما و فشار ۹۶
۳-۵- اشباع شدگی ۹۶
۳-۵-۱- تعادلات گاز- مایع در سیستم‌های چندجزئی ۹۷
۳-۶- اشباع جزئی و رطوبت ۹۹
۳-۶-۱- اشباع نسبی (رطوبت نسبی) ۹۹
۳-۶-۲- اشباع مولی ۱۰۰
۳-۶-۳- اشباع مطلق ۱۰۱

عنوان ..... صفحه

۳-۷- موازنه مواد شامل میعان و تبخیر ۱۰۱
۳-۸- پدیدههای فازی ۱۰۲
۳-۸-۱- قانون فازها ۱۰۳
فصل چهارم: موازنهٔ انرژی ۱۰۵
۴-۱- مفاهیم و واحدها ۱۰۵
۴-۲- ظرفیت گرمایی ۱۱۰
۴-۲-۱- برآوردن (تخمین) ظرفیت گرمایی ۱۱۴
۴-۳- محاسبهٔ تغییرات آنتالپی ۱۱۶
۴-۴-۱- گرمای ذوب (FUSION) ۱۱۸
۴-۴-۲- گرمای تبخیر ۱۱۸
۴-۴-۳- منحنیهای جسم مرجع (جسم مقایسه): ۱۱۹
۴-۵- موازنهٔ عمومی انرژی ۱۲۲
۴-۵-۱- موازنهٔ انرژی در سیستمهای بسته (بدون واکنش) ۱۲۲
۴-۵-۲-موازنهٔ انرژی در سیستمهای باز (بدون واکنش شیمیایی) ۱۲۴
۴-۶- تحولات برگشتپذیر و موازنهٔ انرژی مکانیکی ۱۲۹
۴-۷- موازنهٔ انرژی همراه با واکنش شیمیایی ۱۳۰
۴-۷-۱-گرمای استاندارد تشکیل (ΔH_f°) ۱۳۰
۴-۷-۲- گرمای احتراق ۱۳۲
فصل پنجم: موازنهٔ همزمان انرژی و مواد ۱۳۵
۵-۱- مقدمه ۱۳۵
۵-۲- نمودارهای آنتالپی – غلظت ۱۴۸
۵-۲-۱- تهیه منحنی آنتالپی – غلظت ۱۴۸
۵-۲-۲- حل مسئله به طریق ترسیمی با استفاده از منحنی آنتالپی – غلظت ۱۵۶
۵-۳ منحنیهای رطوبت سنجی و کاربرد آنها ۱۶۴
تستهای آخر بخش ۱۷۹
پاسخ تستهای آخر بخش ۱۸۳

بخش دوم شیمی صنعتی ۱

قسمت اول: مکانیک سیالت (انتقال مومنتم) ۱۹۱
فصل اول: تعاریف اولیه ۱۹۱
فصل دوم: استاتیک سیالات: سیالات در حالت سکون ۱۹۳
۲-۱- ماهیت سیالات ۱۹۳
۲-۲- سیالات تراکمپذیر و تراکمناپذیر ۱۹۴
۲-۳- اصل پاسکال برای فشار در یک نقطه ۱۹۴
۲-۴- تعادل هیدرواستاتیکی (تغییر فشار عمودی در اثر نیروی جاذبه) ۱۹۶

عنوان ..... صفحه

۲-۵- اصل ارشمیدسی ۱۹۷
۲-۵- مطابق قانون ارشمیدس ۱۹۷
۲-۶- کشش سطحی ۱۹۸
فصل سوم: سیالات جاری ۲۰۰
۳-۱- گرانروی، قانون گرانروی نیوتون ۲۰۰
۳-۱-۱- ماهیت گرانروی در سیالات ۲۰۱
۳-۱-۲ قانون گرانروی نیوتن ۲۰۲
۳-۱-۳- ضریب گرانروی مطلق یا دینامیکی ۲۰۲
۳-۱-۴- واحدهای گرانروی ۲۰۳
۳-۲- سیالات نیوتونی و غیر نیوتونی ۲۰۴
۳-۲-۱- سیالات نیوتونی ۲۰۴
۳-۲-۲- سیالات غیر نیوتونی ۲۰۴
۳-۲-۲-۱- سیالات پلاستیک بینگهام یا پلاستیک ایده‌آل ۲۰۵
۳-۲-۲-۲- سیالات پلاستیک حقیقی ۲۰۶
۳-۲-۲-۳- سیالات شبه پلاستیک ۲۰۶
۳-۲-۲-۴- سیالات منبسط شونده (اتساعی) ۲۰۷
۳-۲-۳- جریان وابسته به زمان ۲۰۷
۳-۲-۳-۱- مایعات تیکسوتروپیک ۲۰۷
۳-۲-۳-۲- مواد رئوتپیک ۲۰۷
۳-۲-۳-۳- سیالات ویسکوالاستیک ۲۰۸
فصل چهارم: سینماتیک حرکت سیالات ۲۰۹
۴-۱ آشنایی ۲۰۹
۴-۲- سیالات ایده‌آل و حقیقی ۲۰۹
۴-۳- جریان پایا و ناپایا ۲۱۰
۴-۴- انواع حرکت سیالات؛ جریان آرام، آشفته و یکنواخت ۲۱۰
۴-۴-۱- جریان آرام ۲۱۰
۴-۴-۲- جریان آشفته ۲۱۰
۴-۴-۳- جریان یکنواخت ۲۱۱
۴-۵- مطالعهٔ تجربی جریان‌های آرام و آشفته ۲۱۱
۴-۶- عدد رِینُولدز و محاسبهٔ آن ۲۱۲
فصل پنجم: روش‌های بررسی جریان سیال ۲۱۵
معادلات اصلی جریان سیالات ۲۱۵
۵-۱- معادلهٔ پیوستگی: موازنهٔ جرم در سیال متحرک ۲۱۵
۵-۲- معادلهٔ برنولی؛ کار و انرژی در جریان سیالات ۲۱۷
۵-۲-۱- کاربرد معادلهٔ برنولی و معادله پیوستگی ۲۲۰

عنوان ..... صفحه

۵-۲-۱- کار پمپ در معادلهٔ برنولی، محاسبه قدرت تلمبه‌ها در یک خط انتقال ۲۲۲
فصل ششم: کاربردهای مکانیک سیالات؛ وسایل اندازه‌گیری ۲۲۷
۶-۱ اندازه‌گیری فشار: مانومتر (فشار سنج) ۲۲۷
۶-۱-۱- مانومتر مایع ۲۳۰
۶-۲- اندازه‌گیری سرعت جریان سیال ۲۳۱
۶-۲-۱- لولهٔ پیتوت ۲۳۱
۶-۲-۲- جریانسنج ونتوری (ونتوری متر) ۲۳۳
۶-۲-۳- اُریفیس‌متر (روزنهسنج) ۲۳۵
۶-۲-۴- روتامتر ۲۳۶
قسمت دوم: تراکُنش گرما (انتقال حرارت) ۲۳۷
فصل اول: اصول و انواع تراکنش گرما ۲۳۷
فصل دوم: انتقال گرما بهروش رسانش ۲۳۸
۲-۱ فرمول فوریه ۲۳۸
۲-۳- رسانندگی گرمایی (K) ۲۳۹
۲-۳- رسانش در حالت پایا – یک‌بعدی ۲۴۰
۲- ۳- ۱- مقدمه ۲۴۰
۲-۳-۲ دیوارهٔ تخت ۲۴۱
۲-۳-۳ نارسایی و مقادیرR ۲۴۳
۲-۳-۴ سیستم‌های شعاعی – استوانه‌ها ۲۴۳
شرایط مجازی جابجایی ۲۴۶
۲-۳-۵ ضریب تراکنش گرمای کل ۲۴۷
۲-۳-۶ ضخامت بحرانی عایق ۲۴۹
۲-۳-۷ سیستم‌های با چشمهٔ گرمایی ۲۵۰
۲-۳-۷-۱ دیوارهٔ تخت با چشمه‌های گرمایی ۲۵۰
۲-۳-۸ استوانه با چشمه‌های گرمایی ۲۵۲
۲-۳-۹ سیستم‌های رسانش-جابجایی ۲۵۴
۲-۳-۱۰ مقاومت تماس گرمایی ۲۵۶
فصل سوم: انتقال گرما در سیالات ۲۶۰
۳-۱ انتقال گرما - در مبدل‌های گرمایی ۲۶۰
۳-۱-۱ جریان ناهمسو و جریان همسو ۲۶۲
۳-۲ موازنهٔ انرژی ۲۶۴
۳-۲-۱ موازنهٔ آنتالپی در مبدل‌های گرمایی ۲۶۴
۳-۲-۲ موازنهٔ آنتالپی در چگالنده‌ها ۲۶۵
۳-۳ شارگرما و ضریب‌های انتقال گرما ۲۶۵
۳-۳-۱ دمای متوسط جریان سیال ۲۶۶

عنوان ..... صفحه

۳-۳-۲ ضریب کلی انتقال گرما ۲۶۶
۳-۳-۳ محاسبهٔ انتگرال در سطح کل؛ اختلاف دمای میانگین لگاریتمی (LMTD) ۲۶۶
۳-۳-۴ در شرایطی که LMTD صحت ندارد ۲۶۸
۳-۴ ضرایب تکوند انتقال گرما ۲۷۰
۳-۴-۲ محاسبه مقاومت از روی ضریب کلی ۲۷۳
۳-۴-۴ حالت‌های خاص ضریب کلی ۲۷۴
۳-۴-۵ رده‌بندی ضرایب تکوند انتقال گرما ۲۷۴
فصل چهارم: مبدل‌های گرمایی، چگالنده‌ها و بخارکن‌ها ۲۷۵
۴-۱ مقدمه ۲۷۵
۴-۲ مبدل‌های گرمایی ۲۷۵
۴-۲-۱ طرح کلی مبدل گرمایی ۲۷۵
۴-۲-۲ مبدل‌های گرمایی پوسته-لوله‌ای (SHELL AND TUBE) ۲۷۶
۴-۲-۲-۱ مبدل تک‌پاس ۱-۱ ..... ۲۷۶
۴-۲-۲-۲ مبدل‌های چندپاس ۲۷۶
مبدل ۲-۴ ..... ۲۷۷
۴-۲-۲-۳ الگوهای دما در مبدل‌های چندپاس ۲۷۸
۴-۲-۳ مبدل‌های صفحه‌ای ۲۷۸
۴-۲-۴ مبدل‌ها با سطح گسترش یافته ۲۸۱
۴-۲-۴-۱ انواع سطوح گسترش یافته ۲۸۲
۴-۲-۴-۲ مبدل‌های هوا–خنک ۲۸۲
۴-۲-۵ مبدل‌های تیغه‌دار ۲۸۳
۴-۳ چگالنده‌ها وبخارکن‌ها ۲۸۳
۴-۳-۱ چگالنده‌های پوسته-لوله‌ای ۲۸۳
۴-۳-۲ چگالنده‌های رطوبت‌گیر ۲۸۴
۴-۳-۳ چگالنده‌های تماسی ۲۸۵
۴-۳-۴ بخارکن‌ها ۲۸۵
۴-۴ اختلاف دمای متوسط لگاریتمی در مبدل‌ها ۲۸۶
قسمت سوم: انتقال جرم ۲۹۵
فصل اول: معرفی فرآیندهای انتقال جرم ۲۹۵
مقدمه: ۲۹۵
۱-۲ روش‌های جداسازی ۲۹۵
۱-۳ روش‌های انتقال جرم ۲۹۵
۱-۳-۱ تماس مستقیم دو فاز نامحلول با یکدیگر ۲۹۶

عنوان ..... صفحه

فصل دوم: نفوذ مولکولی و انواع آن ۲۹۸
۲-۱ مقدمه ۲۹۸
۲-۲ نفوذ مولکولی ۳۰۰
۲-۳ نفوذ مولکولی یک جهته در حالت پایا در سیالات در حال سکون و در حرکت آرام ۳۰۲
۲-۳-۱ نفوذ مولکولی در گازها ۳۰۳
۲-۳-۲ حالت‌های مختلف با توجه به رابطهٔ بین N_A و N_B ۳۰۴
۲-۳-۳ نفوذ در حالت پایا در مخلوط‌های چند جزئی ۳۰۵
۲-۳-۴ تعیین ضریب نفوذ مولکولی در گازها ۳۰۸
۲-۴ تشابه بین انتقال مومنتم، انتقال گرما و انتقال جرم ۳۱۷
۲-۴-۲ انتقال گرما ۳۱۹
۲-۵ اعداد بی‌بعد ۳۲۰
تستهای آخر بخش ۳۲۵
پاسخ تست‌های آخر بخش ۳۲۶

بخش سوم: شیمی صنعتی ۲

فصل اول: عملیات مختلف جداسازی ۳۳۱
۱-۱ تبلورمجدد ۳۳۱
۱-۲ تبخیر ۳۳۱
۱-۲-۱ تبخیرکننده‌های یک یا چند مرحله‌ای ۳۳۲
۱-۲-۲ انواع تبخیرکننده‌ها ۳۳۲
۱-۲-۳ عملکرد تبخیرکننده‌های چند لوله‌ای ۳۳۲
۱-۲-۴ موازنهٔ جرم و آنتالپی برای تبخیرکنندهٔ یک مرحله‌ای ۳۳۳
۱-۳ استخراج ۳۳۳
۱-۴ عملیات مرطوبسازی ۳۳۴
۱-۴-۱ انواع رطوبت ۳۳۴
۱-۵ جذب و دفع گازها ۳۳۴
۱-۵-۱ حلالیت در سیستم‌های دوتایی ۳۳۵
۱-۵-۲ حلالیت در سیستم‌های چند جزئی ۳۳۵
۱-۵-۳ انتخاب حلال برای عمل جذب ۳۳۶
۱-۶ رسوب دادن ۳۳۶
۱-۷ تقطیر ۳۳۶
۱-۷-۱ انواع تقطیر ۳۳۷
۱-۸ مراحل تقطیر با استفاده از قانون رائول ۳۳۸
۱-۸-۲ تعادل بخار با محلول آزئوتروپ ۳۳۹

عنوان ..... صفحه

فصل دوم: تقطیر و محاسبات مربوط به آن ۳۴۱
سیستمهای چند جزئی ۳۵۸
سیستمهای چند جزئی – محلولهای ایدهآل ۳۶۷
عملیات تقطیر جزء به جزء ۳۶۹
موازنه کلی آنتالپی ۳۶۹
بخش غنی‌سازی ۳۷۰
انواع جوشاور ۳۹۱
جریانهای جانبی ۳۹۷
اتلاف گرما ۳۹۸
محصولات بسیار خالص و بازده سینی ها ۴۰۱
تبخیر و سرریزی مولهای مساوی ۴۰۱
بخش غنی‌سازی، مبرد کامل- جریان برگشتی در نقطه حباب ۴۰۲
تعیین محل سینی خوراک ۴۰۷
جریان برگشتی کامل یا نسبت جریان برگشتی بینهایت ۴۰۷
مبردها ۴۱۴
مبردهای جزئی ۴۱۵
دستگاههای مجاورتی مداوم (برجهنای پر شده) ۴۲۴
واحد انتقال ۴۲۴
سیستمهای چند جزئی ۴۳۰
اجزاء کلیدی ۴۳۳
حداقل نسبت جریان برگشتی ۴۳۳
غلظتهای محصولات ۴۳۷
تستهای آخر بخش ۴۵۹
پاسخ تستهای آخر بخش ۴۶۴

بخش چهارم: اصول تصفیه آب

فصل اول: اصول تصفیه آب و پسآب‌های صنعتی ۴۶۹
۱- مقدمه؛ کلیات ۴۶۹
۱-۱- خواص آب ۴۶۹
۱-۱-۱- وزن مخصوص ۴۶۹
۱-۲-۲- بالا بودن گرمای ویژهٔ آب ۴۶۹
۱-۱-۳- قطبیت و حلالیت ۴۷۰
۱-۱-۴- انبساط به همراه انجماد: ۴۷۰
۱-۱-۵- کشش سطحی بالا ۴۷۰
۱-۲- چرخهٔ آب در طبیعت ۴۷۰

عنوان ..... صفحه

۱-۳- منابع تأمین آب: ۴۷۰
۱-۴- شیمی آب‌های طبیعی ۴۷۱
۱-۴-۱- مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهندهٔ آب‌های طبیعی ۴۷۲
۱-۴-۱-۱- کلسیم ۴۷۲
۱-۴-۱-۲- منیزیم (Mg^{2+}) ۴۷۳
۱-۴-۱-۳- سدیم (Na^{+}) ۴۷۳
۱-۴-۱-۴- پتاسیم (K^{+}) ۴۷۳
۱-۴-۱-۵- کربنات و بیکربنات ۴۷۳
۱-۴-۱-۶- سولفات (SO_4^{2-}) ۴۷۴
۱-۴-۱-۷- کلرید (Cl^{-}) ۴۷۴
۱-۴-۱-۸- نیترات ۴۷۴
۱-۴-۱-۹- سیلیس، آهن، منگنز، فلوئور ۴۷۴
۱-۵- مصارف مهم آب ۴۷۵
فصل دوم: آلودگی آبها ۴۷۷
۲-۱- فاضلاب‌ها و پساب‌ها ۴۷۸
۲-۱-۱- پتانسیل و ظرفیت اکسیداسیون آب‌ها ۴۷۸
۲-۱-۱-۱- BOD یا اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ۴۷۹
۲-۱-۱-۲- COD یا اکسیژن لازم شیمیایی ۴۷۹
۲-۱-۱-۳- اهمیت و مقادیر BOD و COD ۴۸۰
۲-۱-۲- باکتری‌ها و ویروس‌ها ۴۸۱
۲-۱-۳- مواد شیمیایی ۴۸۱
۲-۲- آلودگی‌های کشاورزی ۴۸۳
۲-۳- سایر آلاینده‌ها ۴۸۴
۲-۳-۱- مواد جامد و رسوبات ۴۸۴
۲-۳-۲- گرما ۴۸۴
۲-۳-۳- مواد پرتوزا (رادیواکتیو) ۴۸۴
۲-۳-۴- مواد نفتی ۴۸۵
۲-۴- آلودگی آب‌های زیرزمینی ۴۸۵
فصل سوم: آب و بهداشت عمومی ۴۸۷
۳- ۱- املاح محلول در آب و اثرات آن‌ها ۴۸۷
۳-۱-۱- مس ۴۸۷
۳-۱-۲- روی ۴۸۷
۳-۱-۳- سرب ۴۸۷
۳-۱-۴- آرسنیک ۴۸۸

عنوان ..... صفحه

۳-۱-۵- آهن ۴۸۸
۳-۱-۶- منگنز ۴۸۸
۳-۱-۷- کادمیم ۴۸۸
۳-۱-۸- باریم ۴۸۸
۳-۱-۹- سلنیم ۴۸۹
۳-۱-۱۰- آلومینیوم ۴۸۹
۳-۱-۱۱- نقره ۴۸۹
۳-۱-۱۱- جیوه ۴۸۹
۳-۱-۱۲- کلسیم و منیزیم ۴۸۹
۳-۱-۱۳- سیانید (سیانور CN^-) ۴۸۹
۳-۱-۱۴- کلریدها و سولفات‌ها ۴۸۹
۳-۱-۵- آمونیاک، نیتریت و نیترات آب‌ها ۴۹۰
۳-۱-۱۶- ید و فلوئور ۴۹۰
۳-۲- ذرات معلق در آب و کدورت (TURBIDITY) ۴۹۰
۳-۲-۱- زیبایی آب ۴۹۰
۳-۲-۲- قابلیت صاف شدن ۴۹۰
۳-۲-۳-ضدعفونی کردن ۴۹۱
۳-۲-۴- جذب کاتیون‌ها ۴۹۱
۳-۳- رنگ، بو و طعم آب ۴۹۱
۳-۴- ته مانده TDS ۴۹۲
۳-۵- PH و قلیائیت آب ۴۹۳
۳-۶- سختی آب ۴۹۶
۳-۷- فلوئور و بهداشت دندان ۴۹۷
۳-۸- باکتری‌های بیماری‌زا ۴۹۷
۳-۹- ویروس‌ها ۴۹۷
۳-۱۰- خطرات تماس مواد غذایی با آب‌های آلوده ۴۹۸
فصل چهارم: تصفیهٔ آب‌های شهری ۴۹۹
۴-۱- ذخیره‌سازی آب ۴۹۹
۴-۲- انعقاد و ته نشینی مواد کلوئیدی ۴۹۹
۴-۲-۱- مکانیسم انعقاد ۵۰۰
۴-۲-۲- عوامل مؤثر در انعقاد ۵۰۰
۴-۲-۴- کمک منعقدکننده‌ها ۵۰۳
۴-۲-۵- تعیین میزان مادهٔ منعقدکننده و کمک منعقدکننده ۵۰۵
۴-۳- عبور آب از صافی؛ استفاده از صافی در تصفیهٔ آب ۵۰۶
۴-۳-۱- انواع صافی‌ها ۵۰۶

عنوان ..... صفحه

۴-۳-۳- عوامل مهم مؤثر در کارکرد صافی‌ها ۵۰۷
۴-۴- ضدعفونی کردن آب ۵۰۸
۴-۴-۱- گاز کلر ۵۰۹
۴-۴-۲- حذف کلر اضافی ۵۱۰
۴-۴-۳- دی اکسید کلر (ClO_2) ۵۱۱
۴-۴-۴- انواع کلریناسیون برای ضدعفونی کردن آب ۵۱۱
۴-۴-۴- هیپوکلریت قلیایی ۵۱۱
۴-۵- روش‌های دیگر قلیایی ۵۱۲
۴-۴-۵- گندزدایی با اوزون ۵۱۲
۴-۵-۲- ضدعفونی با آهک ۵۱۲
۴-۵-۳- ضدعفونی با استفاده از نقره ۵۱۲
۴-۵-۴- ضدعفونی به کمک ید ۵۱۲
۴-۵-۵- ضدعفونی مواد دیگر ضدعفونی کننده ۵۱۲
۴-۶- روش‌های ضدعفونی فیزیکی ۵۱۳
۴-۵-۱- اشعهٔ UV ۵۱۳
۴-۶-۲- جوشانیدن ۵۱۳
۴-۶-۳- نور خورشید ۵۱۳
۴-۶-۴- امواج ۵۱۳
۴-۷- روش‌های ویژهٔ تصفیه آب با استفاده از فرآیندهای غشایی ۵۱۳
فصل پنجم: آب و کشاورزی ۵۱۵
۵-۱- عوامل مؤثر کشاورزی ۵۱۵
۵-۲- کیفیت آب کشاورزی ۵۱۶
۵-۲-۱- TDS در آب کشاورزی ۵۱۶
۵-۲-۲- نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) و درصد سدیم ۵۱۷
۵-۲-۳- غلظت بی‌کربنات سدیم باقی مانده (RSC) ۵۲۰
۵-۲-۴- عناصر مغذی؛ فسفر و ازت ۵۲۰
۵-۲-۵- عناصر کمیاب ۵۲۰
۵-۲-۶- کلریدها ۵۲۱
۵-۳- تأثیر دما ۵۲۱
۵-۴- تأثیر PH ۵۲۲
فصل ششم: کیفیت آب‌های صنعتی ۵۲۳
۶-۱ مقدمه ۵۲۳
۶-۲ اشکالات مهم در آب جوشاورها ۵۲۳
۶-۲-۱ سارد (سارویه) و نشست در جوشاورها ۵۲۴
۶-۲-۲- خوردگی ۵۲۶

عنوان..... صفحه

۶-۲- ۳ شکنندگی قلیایی..... ۵۳۰
۶-۲- ۴ پدیدههای حمل، کف و غلیان در آب جوشاور..... ۵۳۰
۶-۳ اشکالات مهم در آب برجهای خنک‌کننده و مبدل‌های گرمایی..... ۵۳۱
۶-۴ اصلاح کیفیت آب‌های صنعتی مورد استفاده در جوشاورها..... ۵۳۱
۶-۴-۱ گاززدائی..... ۵۳۲
۶-۴-۲ سبک کردن آب..... ۵۳۳
۶-۵- باکتری آهن؛ حذف آهن و منگنز موجود در آب..... ۵۳۷
۶-۶-حذف سیلیس..... ۵۳۸
۶-۷- روش‌های جلوگیری از اشکالات محتمل در جوشاورها و خنک‌کننده‌ها..... ۵۳۹
۶-۷-۱- تصفیه داخلی آب جوشاور جهت جلوگیری از ایجاد سارویه..... ۵۳۹
۶-۷-۲- جلوگیری از خوردگی فلزات..... ۵۴۰
۶-۷-۳- جلوگیری از شکنندگی قلیایی..... ۵۴۱
۶-۷-۴- جلوگیری از پدیده‌های حمل، کف و غلیان..... ۵۴۱
۶-۷-۵- جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها در آب خنک‌کننده‌ها..... ۵۴۱
۶-۸- تعادل کربناتی و اظهارنظر در مورد خاصیت خورندگی آب دارد و تمایل به تشکیل سارویه..... ۵۴۱
۶-۸-۱ تیلمانز..... ۵۴۱
۶-۸-۲ کارهای لانژلیه..... ۵۴۲
۶-۸-۳ ضریب پایداری رایزنر..... ۵۴۴
ضمیمه ۱..... ۵۴۵
مبادله کننده‌های یونی و کاربرد آن‌ها..... ۵۴۵
۱- تعریف و تاریخچهٔ کوتاه..... ۵۴۵
۲- انواع مبادله کننده‌ها..... ۵۴۵
- مبادله کننده‌های آلی کاتیونی..... ۵۴۶
- مبادله کننده‌های آنیونی..... ۵۴۶
- مبادله کننده‌های آمفوتر..... ۵۴۶
۳- خواص مبادله کننده‌ها..... ۵۴۶
۳-۱- آماس (SWELLING) رزین..... ۵۴۶
۳-۲- ظرفیت رزین..... ۵۴۷
۴- تمایل نسبی رزین برای یون‌های مختلف..... ۵۴۷
۴-۲- مبادله کننده‌های آنیونی..... ۵۴۷
۵-۲- حذف قلیائیت..... ۵۵۰
۵-۳- FLEC MINERAL ACID (FMA) :..... ۵۵۱
ضمیمه ۲..... ۵۵۴
تصفیه شیمیایی آبها..... ۵۵۴
تهنشینی شیمیایی..... ۵۵۴

عنوان ..... صفحه

نرمسازی آب بهروش تهنشینی شیمیایی ۵۵۴
تعادل کاتیون آنیونی و دیاگرام بار (BAR) ۵۵۴
روش نرمسازی لایم ۵۵۵
روش نرمسازی لایم- سودا ۵۵۶
نرم سازی آب به روش لایم اضافی ۵۵۶
نرمسازی آب بهروش لایم- سودای اضافی ۵۵۷
ضمیمه ۴ ..... ۵۶۱
اصول نمونه‌برداری آب و فاضلاب (برای آزمایشات فیزیکی و شیمیائی) ۵۶۱
ب) نمونه‌برداری از فاضلاب ۵۶۵
وسایل نمونه‌برداری ۵۶۷
تست‌های آخر بخش ۵۶۸
پاسخ تست‌های آخر بخش ۵۶۹

بخش پنجم: خوردگی فلزات

فصل اول: آشنایی ۵۷۳
۱- مقدمه ۵۷۳
۱-۱-هزینه‌های خوردگی ۵۷۳
۱-۲- تعریف خوردگی ۵۷۳
۱-۳- خسارات ناشی از خوردگی ۵۷۳
۱-۳-۱- ظاهر ۵۷۳
۱-۳-۲- خواباندن کارخانه ۵۷۴
۱-۳-۳- آلوده شدن محصول ۵۷۴
۱-۳-۴- نشت یا از بین رفتن محصولات با ارزش ۵۷۴
۱-۳-۵- اثرات بر روی ایمنی ۵۷۴
۱-۴- مزایای خوردگی ۵۷۴
۱-۵- مفهوم الکترود ۵۷۵
۱-۶- مفهوم پیل الکتروشیمیایی ۵۷۶
فصل دوم: ترمودینامیک و سینتیک خوردگی ۵۷۷
۲-۱- ترمودینامیک خوردگی ۵۷۷
۲-۱-۱- تعادل شیمیایی و الکتروشیمیایی ۵۷۹
۲-۱-۲- الکترودهای مرجع ۵۷۹
۲-۱-۳- منحنی‌های پوربه؛ پتانسیل بر حسب PH ۵۸۱
۲-۲- سینیتیک خوردگی ۵۸۲
۲-۲-۱- پلاریزاسیون (قطبیدگی) ۵۸۲
۲-۲-۳- انواع نمودارهای پلاریزاسیون ۵۹۲
فصل سوم: روئیدن شدن؛ اثر محیط و عوامل محیطی برخوردگی ۵۹۳

۳-۱- روئین شدن و فلزات روئینه ۵۹۳
۳-۱-۱- پتانسیل FLADE: ۵۹۵
۳-۱-۲- انتخاب فلز مناسب در صنعت ۵۹۵
۳-۱-۳- روش‌های ترسیم منحنی‌های اکتیو – پاسیو ۵۹۶
۳-۲- اثرات محیطی بر خوردگی ۵۹۶
۳-۲-۱- اثر اکسیژن یا اکسنده‌ها ۵۹۷
۳-۲-۲- اثر سرعت سیال یا تلاطم الکترولیت ۵۹۷
۳-۲-۳- اثر دما ۵۹۹
۳-۲-۴- اثر غلظت و محیط خورنده ۵۹۹
۳-۲-۵- اثر اتصال گالوانیکی ۶۰۰
۳-۲-۵-۱- موارد استفادهٔ اثر گالوانیک ۶۰۱
۳-۲-۵-۲- آلیاژهای متداول ۶۰۲
۳-۲-۶- اثر عوامل متالوژیکی ۶۰۳
فصل چهارم: انواع خوردگی ۶۰۵
۴-۱- خوردگی یکنواخت ۶۰۵
۴-۱-۱- روش‌های جلوگیری از خوردگی یکنواخت یا کاهش آن ۶۰۶
۴-۲- خوردگی گالوانی یا دو فلزی ۶۰۶
۴-۲-۱- عملکرد پیل گالوانیکی ۶۰۶
۴-۲-۲- نیروی الکتروموتوری (EMF) و سری گالوانیک ۶۰۷
۴-۲-۳- عوامل مؤثر بر خوردگی گالوانیکی ۶۱۰
۴-۳- خوردگی‌های موضعی (LOCALIZED CORROSION): ۶۱۲
۴-۳-۱- خوردگی شیاری یا شکافی CREVICE CONRROSION ۶۱۴
۴-۳-۲- خوردگی رشته‌ای یا زیر پوششی (FILLIFORM CORROSION) ۶۱۵
۴-۳-۳- خوردگی حفرهای یا سوزنی (PITTING CORROSION) ۶۱۶
۴-۳-۴ – خوردگی بین‌دانه‌ای یا مرزدانه‌ای (INTERGRANULAR CORROSION) ۶۲۰
۴-۳-۵- خوردگی بیولوژیکی(BIOLOGICAL CORROSION) ۶۲۲
۴-۳-۶- خوردگی انتخابی یا جدایشی (زدایشی) (SELECTIVE LEACLING OR PARTING) ۶۲۳
۴-۳-۷- خوردگی تنشی (STRESS CORROSION) و SCC ۶۲۴
فصل پنجم: روش‌های جلوگیری از خوردگی و کنترل آن ۶۳۱
۵-۱- انتخاب مواد ۶۳۱
۵-۱-۱- فلزات و آلیاژها ۶۳۱
۵-۱-۲- خواص فلزات ۶۳۲
۵-۱-۳- غیر فلزات ۶۳۲
۵-۲- تغییرات عوامل محیطی ۶۳۲
۵-۲-۱- کاهش دما ۶۳۲
۵-۲-۲- کاهش سرعت ۶۳۲
۵-۲-۳- خارج کردن اکسیژن و اکسیدکننده‌ها ۶۳۳

عنوان ..... صفحه

۵-۲-۴- تغییر غلظت ۶۳۳
۵-۳-بازدارنده‌ها ۶۳۳
۵-۳-۱-انواع بازدارنده‌ها ۶۳۳
۵-۳-۲- مشکل استفاده از بازدارنده‌ها ۶۳۵
۵-۴- نکات مربوط به طراحی ۶۳۵
۵-۴-۱- ضخامت فلز و آلیاژ ۶۳۵
۵-۴-۲- رعایت قواعد طراحی ۶۳۵
فصل ششم: روش‌های کنترل خوردگی ۶۳۷
۶-۱-حفاظت کاتدی ۶۳۷
۶-۱-۱- حفاظت با اعمال جریان الکتریکی ۶۳۸
۶-۱-۲- حفاظت کاتدی با استفاده از آند فداشونده ۶۳۹
۶-۲- خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان ۶۴۰
۶-۲-۱- آندها ۶۴۱
۶-۲-۲- نکات مهم در طراحی سیستم حفاظت ۶۴۱
۶-۳-حفاظت آندی ۶۴۲
۶-۴- مقایسه حفاظت کاتدی و آندی ۶۴۳
۶-۵- پوشش‌ها (COATINGS) ۶۴۳
۶-۵-۱- انواع پوشش‌ها ۶۴۳
۶-۶- انواع محیط‌ها و انتخاب مواد به‌منظور کنترل خوردگی ۶۴۴
۶-۶-۱- محیط‌های اسیدی ۶۴۴
۶-۶-۲- محیط‌های قلیایی ۶۴۵
۶-۶-۳- محیط‌های اتمسفری ۶۴۵
۶-۶-۴- محیط‌های آبی ۶۴۵
۶-۶-۵- خاک ۶۴۵
فصل هفتم: بخش ویژه ـ ترمودینامیک و پایداری فلزات ـ منحنی‌های پوربه (E/PH) ۶۴۷
واکنش‌های خوردگی در دیگ‌های بخار ۶۵۳
تستهای آخر بخش ۶۵۵
پاسخ تستهای آخر بخش ۶۶۱
پیوستها ۶۶۶

بخش اول

اصول محاسبات شیمی صنعتی ۱

عناوین اصلی

- فصل اول: مقدمه‌ای بر محاسبات مهندسی شیمی
- فصل دوم: موازنه جرم
- فصل سوم: گاز، بخار، مایع و جامد
- فصل چهارم: موازنهٔ انرژی
- فصل پنجم: موازنه جرم و انرژی

فصل اول

مقدمه‌ای بر محاسبات مهندسی شیمی

۱-۱) مقدمات

علم شیمی نیز مانند بسیاری علوم دیگر با اندازه‌گیری سروکار دارد (مثل شاخه‌های مختلف علم فیزیک) و می‌دانیم که در یک اندازه‌گیری «کمیتی» مربوط به یک جسم یا ماده مورد «سنجش» قرار می‌گیرد؛ به‌طور مثال طول قد یک فرد کمیتی است که می‌تواند سنجیده شود.

همان‌طور که به‌خاطر دارید کمیت‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. اصلی ← کمیت‌هایی که (معمولاً) به‌طور مستقل در نظر گرفته می‌شوند.

۲. فرعی ← دیگر کمیت‌ها که با توجه به کمیت‌های اصلی تعریف می‌شوند.

در زیر نام ۶ کمیت اصلی مربوط به سیستم بین‌المللی آحاد (SI) و نیز واحد اصلی اندازه‌گیری آن‌ها عنوان شده است:

کمیت	طول	جرم	زمان	دما	مقدار ماده	شدت جریان الکتریکی
واحد اندازه‌گیری (نماد)	متر (m)	کیلوگرم (kg)	ثانیه (s)	کلوین (K)	مول (mol)	آمپر (A)

📖 **نکته:** از این میان با طول، جرم و زمان بیش‌تر سروکار داریم.

می‌توان با کمک این کمیت‌ها، مفاهیم دیگری مثل سطح، حجم، نیرو، انرژی و ... را تعریف نمود.

مثال

شتاب (تغییرات سرعت در واحد زمان) با کمک کدام کمیت‌های اصلی تعریف می‌شود؟

حل:

شتاب از دو کمیت اصلی طول و زمان مشتق شده است. $\Rightarrow$ $\text{شتاب} \equiv \dfrac{\text{تغییر سرعت}}{\text{تغییر زمان}} = \dfrac{\dfrac{\text{تغییر مکان}}{\text{تغییر زمان}}}{\text{تغییر زمان}} = \dfrac{\text{تغییر مکان}}{(\text{تغییر زمان})^2}$

* بُعد (Dimention) به‌معنای مفهوم یک کمیت است؛ به بیانی دیگر نشان می‌دهد آن کمیت از چه جنسی است. در مثال قبل به‌دست آوردیم که شتاب از جنس $\dfrac{\text{طول}}{(\text{زمان})^2}$ است؛ لازم به ذکر است که بُعد کمیت‌های طول، جرم و زمان را با نمادهای L از Length، M از Mass و T از Time گرفته شده‌اند.

مثال ۱

نیوتن (N) مقدار نیرویی است که به جسمی به جرم ۱ کیلوگرم، شتاب ۱ متر بر مجذور ثانیه می‌دهد. بر این اساس نیرو کدام یک از ابعاد زیر را داراست؟

الف) $M.L.T^{-2}$ ب) $M^{2}.L^{-1}.T$ ج) $M.L.T^{-2}$ د) $M^{2}.L.T^{-1}$

حل:

$$1N = 1kg.1\frac{m}{s^{2}} = 1\frac{kg.m}{s^{2}} \Rightarrow \text{نیرو} = \frac{M.L}{T^{2}} = M.L.T^{-2}$$

گزینه «۱» صحیح می‌باشد.

با کمک ابعاد مربوط به کمیت‌های مختلف و شیوه‌ی «آنالیز ابعادی» می‌توان بسیاری مسایل تئوری را پاسخ داده و فعالیت‌های آزمایشگاهی را کوتاه نمود. به مثال زیر دقت کنید:

مثال

می‌دانیم «شدت جریان حجمی» یک سیال در یک لوله (حجمی از سیال که در واحد زمان از نقطه‌ای معین می‌گذرد) به «اختلاف فشار» در ابتدا و انتهای لوله، «قطر لوله» و «ویسکوزیته‌ی سیال» ـ که دارای بُعد $M.L^{-1}.T^{-1}$ است ـ مرتبط است. یک رابطه بین شدت جریان و موارد دیگر برقرار سازید.

حل:

همان‌طور که از فیزیک دوره‌ی دبیرستان و دانشگاه به خاطر داریم؛ دو طرف یک معادله‌ی فیزیکی باید از یک جنس (با Dimention یکسان) باشند و نیز می‌دانیم که در ضرب و تقسیم اعداد، علاوه بر مقادیر آن‌ها، ابعادشان نیز ضرب و تقسیم می‌شوند؛ پس:

$$\text{شدت جریان حجمی} \propto (\text{اختلاف فشار})^{a} \times (\text{قطر لوله})^{b} \times (\text{ویسکوزیته‌ی سیال})^{c}$$

$$\Rightarrow Q = k\,\Delta p^{a}\, D^{b}\, \mu^{c}$$

$$\Rightarrow L^{3}T^{-1} = k\left(M.L^{-1}.T^{-2}\right)^{a}(L)^{b}\left(M.L^{-1}.T^{-1}\right)^{c}$$

$$\Rightarrow L^{3}T^{-1} = k.M^{a+c}.L^{-a+b-c}.T^{-2a-c}$$

با توجه به یکی بودن ابعاد دو طرف، برابری توان هر کمیت را شرط می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l} T: -1 = -2a - c \\ M: 0 = a + c \end{array}\right\} -1 = -a - c - a \Rightarrow -1 = -(a+c) - a \Rightarrow -1 = 0 - a \Rightarrow a = 1$$

$$\Rightarrow a + c = 0 \Rightarrow 1 + c = 0 \Rightarrow c = -1$$

$$L: 3 = -a + b - c \Rightarrow 3 = -1 + b + 1 \Rightarrow b = 3$$

در نهایت خواهیم داشت:

$$Q = k.\Delta P.D^{۳}.\mu^{-۱}$$

با به‌دست آوردن این معادله، به‌راحتی می‌توان با چند آزمایش مقدار عددی k را نیز به‌دست آورد و دیگر نیازی به آزمایش‌های متعدد نیست!

حال که با کمیت‌ها، انواع‌شان و ابعاد آشنا شدیم؛ به برخی کمیت‌های فرعی مهم و نیز انواع سیستم‌های اندازه‌گیری و واحدهای آن می‌پردازیم:

- **سیستم بین‌المللی آحاد (SI):** یک سیستم مطلق[۱] است، یعنی جرم را به‌عنوان کمیت اصلی در نظر گرفته و نیرو را یک واحد فرعی می‌داند. به برخی از واحدهای فرعی این سیستم اشاره شد؛ در این‌جا به تعریف واحد مربوط به کمیت انرژی می‌پردازیم:

یک ژول (J) مقدار کاری است که نیروی ۱ نیوتنی در جابه‌جایی یک جسم به اندازه‌ی ۱ متر انجام می‌دهد؛ از این تعریف به رابطه‌ی زیر می‌رسیم:

$$\text{کار} = \text{نیرو} \times \text{جابه‌جایی} \Rightarrow w = F.d$$

- **سیستم c.g.s**: در این سیستم، همان‌طور که از نام آن برمی‌آید، واحد اصلی اندازه‌گیریِ کمیت‌های طول، جرم و زمان به ترتیب سانتی‌متر، گرم و ثانیه است. بر این اساس یک «دین» (dyne) نیرویی است که به جسمی با جرم ۱ گرم، شتاب ۱ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه می‌دهد. واحد کار نیز «ارگ» است:

$$۱erg = ۱dyne.cm$$

در این سیستم «گران‌روی» (Viscosity) را چنین تعریف می‌کنند:

$$۱poise = \frac{۱g}{cm.s}$$

بر این اساس گران‌روی که با واحد «پوآز» سنجش می‌شود؛ مقاومتی است که یک سیال در مقابل حرکت از خود نشان می‌دهد.

- **سیستم انگلیسی:** واحد اندازه‌گیری جرم «پوند جرم» (lb_m) است؛ زمان را با واحد ثانیه و طول را با واحد «فوت» (ft) می‌سنجند. بر این اساس واحد نیرو (پوند نیرو (lb_f)) مقدار نیرویی است که به جسمی با جرم یک پوندِ جرمی ($۱lb_m$)، شتابی معادل شتاب ثقل زمین یعنی $۳۲/۱۷۴\frac{ft}{s^{۲}}$ بدهد. به‌طور مشابه موارد قبلی، واحد سنجش انرژی (کار)، $lb_f.ft$ است. در این سیستم دما را با درجه‌ی فارنهایت ($^{\circ}F$) اندازه می‌گیرند.[۲]

قبل از پرداختن به مبحث تبدیل واحدها به معرفی «g_c» می‌پردازیم؛ این کمیت – که در به‌دست آوردن واحدهای فرعی از واحدهای اصلی در تمامی سیستم‌های اندازه‌گیری وجود دارد – ضریبی است جهت تبدیل واحدها به یکدیگر. مثلاً در سیستم SI داریم:

1- Absolute system

۲ ـ درباره‌ی واحدهای دمایی، رابطه‌ی آن‌ها و تبدیلاتشان توضیح خواهیم داد.

$$F \propto m.a \Rightarrow F = \frac{۱}{g_c} ma$$

$$\Rightarrow ۱N = \frac{۱}{g_c}.۱kg.۱\frac{m}{s^۲} \Rightarrow g_c = ۱\frac{kg.m}{N.s^۲}$$

چون مقدار عددی g_c در سیستم SI برابر با ۱ است؛ معمولاً در روابطی که بر اساس واحدهای این سیستم به‌کار می‌روند؛ نوشته نمی‌شود.

مثال

با توجه به تعریف lb_m و lb_f در سیستم انگلیسی، مقدار g_c در این سیستم چیست؟

حل:

$$F = \frac{۱}{g_c} ma \Rightarrow ۱lb_f = \frac{۱}{g_c} \times ۱lb_m \times ۳۲/۱۷۴ \frac{ft}{s^۲} \Rightarrow g_c = ۳۲/۱۷۴ \frac{lb_m.ft}{lb_f.s^۲}$$

جدول ۱-۱ خلاصه‌ی برخی کمیت‌های چند سیستم متداول

کمیت / سیستم	دما	زمان	جرم	طول	نیرو	انرژی	مقدار عددی g_c
SI	کلوین (K)	ثانیه (s)	کیلوگرم (kg)	متر (m)	نیوتن (N)	ژول (J)	۱
c.g.s	سانتی‌گراد $(^\circ C)$	ثانیه (s)	گرم (g)	سانتی‌متر (cm)	دین $(dyne)$	ارگ (erg)	۱
انگلیسی	فارنهایت $(^\circ F)$	ثانیه (s)	پوند جرم (lb_m)	فوت (ft)	پوند نیرو (lb_f)	پوند نیرو ـ فوت $(lb_f.ft)$	۳۲/۱۷۴

در جدول زیر برخی پیشوندهای مربوط به سیستم SI و معانی آن‌ها آورده شده است؛ با این اطلاعات می‌توانیم به پاسخ‌گویی چند مثال مربوط به تبدیل واحدها بپردازیم.

پیشوند	نماد	مفهوم
سانتی	c	$۱۰^{-۲}$
میلی	m	$۱۰^{-۳}$
میکرو	μ	$۱۰^{-۶}$
نانو	n	$۱۰^{-۹}$

پیشوند	نماد	مفهوم
کیلو	k	$۱۰^{۳}$
مگا	M	$۱۰^{۶}$
گیگا	G	$۱۰^{۹}$

برای مشاهده‌ی جدول کامل‌تر می‌توانید به پیوست کتاب مراجعه کنید.

مثال

اگر وزن یک جسم استوانه‌ای به ارتفاع ۱ft و شعاع ۲in برابر با $۱/۹\times۱۰^{۷}\,dyne$ باشد؛ جرم حجمی آن را بر حسب واحدهای اصلی SI محاسبه نمایید. **($۹/۸\,m.s^{-۲}$ = شتاب گرانش زمین)**

حل

بر اساس رابطه‌ی « $\rho=\frac{m}{v}$ » برای یافتن جرم حجمی باید جرم و حجم این قطعه‌ی استوانه‌ای را بیابیم.

ابتدا جرم:

$$w=mg\rightarrow ۱/۹\times۱۰^{۷}\,dyne(\frac{۱N}{۱۰^{۵}\,dyne})=m(kg)\times۹/۸\frac{m}{s^{۲}}\rightarrow ۱۹۰N=۹/۸m\rightarrow m=۱۹/۳۸۸kg$$

حال به محاسبه‌ی حجم می‌پردازیم:

$$V=L\times(\pi r^{۲})=۱ft\times(\frac{۰/۳۰۴۸m}{۱ft})\times\pi\times\left[۲in(\frac{۰/۰۲۵۴m}{۱in})\right]^{۲}\rightarrow V=۲/۴۷۱\times۱۰^{-۳}\,m^{۳}$$

در نهایت، دانسیته به‌دست می‌آید:

$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{۱۹/۳۸۸\,kg}{۲/۴۷۱\times۱۰^{-۳}\,m^{۳}}=۷۸۵۰kg.m^{-۳}$$

همانطور که دقت نمودید؛ چون باید جواب در سیستم SI و با واحدهای اصلی بیان شود؛ در تمام مراحل محاسبه، واحدها به m و kg تبدیل شدند. این جسم یک استوانه‌ی آهنی است.

مثال

سرعت صوت در یک محیط برابر با $۱۱۰۰ft.s^{-۱}$ است؛ در این محیط صوت در یک ساعت چند مایل را طی می‌کند؟

حل:

$$v=۱۱۰۰\frac{ft}{s}\Rightarrow ۱۱۰۰\frac{ft}{s}\times\left(\frac{۳۶۰۰s}{۱hr}\right)\times\left(\frac{۱۲in}{۱ft}\right)\left(\frac{۲/۵۴cm}{۱in}\right)\left(\frac{۱m}{۱۰۰cm}\right)\left(\frac{۱mile}{۱۶۰۹/۳m}\right)=۷۵۰/۰\frac{mile}{hr}$$

صوت در یک ساعت ۷۵۰ مایل را طی می‌کند.

توضیح: همان‌طور که از دوران دبیرستان به خاطر داریم، در تبدیل واحدها از ضرب عدد (با واحد معین) در کسری با ارزش واحد کمک می‌گیریم. این کسر که «ضریب تبدیل» نامیده می‌شود، دارای دو عدد با دو واحد مختلف در صورت و مخرج است؛ به‌گونه‌ای که ارزش صورت و مخرج یکسان باشد. یک مثال از ضریب تبدیل کسر $(\frac{۳۶۰۰s}{۱h})$ است که در پاسخ به مثال بالا به کار رفت و می‌دانیم $۱hr\equiv۳۶۰۰s$.

مثال ۱

نیوتن چند دین است؟

حل:

$$۱N = \frac{۱kg.m}{s^۲} \Rightarrow ۱\frac{kg.m}{s^۲} \times \left(\frac{۱۰۰cm}{۱m}\right) \times \left(\frac{۱۰۰۰g}{۱kg}\right) = ۱۰^۵ \frac{g.cm}{s^۲} = ۱۰^۵ dyne$$

تمرین: ۱ ارگ چند ژول است؟

$$\left[۱erg = ۱۰^{-۷} J : \quad\right]$$

مثال

انرژی جنبشی جسمی به جرم $۳۰۰۰lb_m$ که با سرعت $۲dam.s^{-۱}$ حرکت می‌کند؛ چند ارگ است؟

$$KE = \frac{۱}{۲g_c} mV^۲ \Rightarrow V : ۲\frac{dam}{s}\left(\frac{۱۰m}{۱dam}\right)\left(\frac{۱۰۰cm}{۱m}\right) = ۲۰۰۰\frac{cm}{s}$$

$$m : ۳۰۰۰lb_m \left(\frac{۲۵۳/۶g}{۱lb_m}\right) = ۱۳۶۰۸۰۰g$$

$$KE = \frac{۱}{۲\times۱} \times ۱۳۶۰۸۰۰ \times (۲۰۰۰)^۲ = ۲/۷۲۱۶ \times ۱۰^{۱۲} erg$$

تمرین: شدت جریان حجمی آب حین عبور از یک شیپورک $(nozzle)$ با یک رابطه‌ی تجربی به‌صورت زیر بیان شده است؛ به‌نظر شما این رابطه صحیح است (راهنمایی: از آنالیز ابعادی کمک بگیرید)؟

$$Q = c\frac{\sqrt{۲g}}{\left(۱-\frac{d_۱}{d_۲}\right)^۴}\left(A\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}\right)$$

Q : شدت جریان حجمی
Δp : اختلاف فشار دو انتهای شیپورک
c : عدد بدون بُعد
ρ : جرم حجمی آب
g : شتاب گرانش زمین
A : سطح خارجی شیپورک
$d_۲$ و $d_۱$: قطر دو انتهای شیپورک

۱-۲) تعاریف اولیه

در این بخش به معرفی برخی مفاهیم پر کاربرد، واحدهای اندازه‌گیری آن‌ها و کار با این واحدها می‌پردازیم. در برخی موارد که در قسمت قبلی سخن گفته‌ایم؛ فقط به نام بردن یا توضیحی کوتاه اکتفا می‌کنیم: