

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# کنترل کیفیت در صنایع شیمیایی

رشته صنایع شیمیایی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



کنترل کیفیت در صنایع شیمیایی - ۲۱۲۵۲۱

نام کتاب:

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

پدیدآورنده:

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

طیبه کنشلو، اعظم صفاری، بهرام قنبری، رابعه شیخ‌زاده، اعظم یوسفی، قاسم حاجی قاسمی و سیدرضا سیف محدثی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

گوهر دیلمی راد (پودمان‌های اول و دوم) حسین بریجانیان (پودمان سوم) محسن کدیور (پودمان‌های چهارم و پنجم) (اعضای گروه تألیف) - علی پورجوادی (ویراستار علمی) - محمد محمودی (ویراستار ادبی)

مدیریت آماده‌سازی هنری:

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی:

جواد صفری (مدیر هنری) - صبا کاظمی دوانی (طراح جلد) - زهرا راست‌نسب (صفحه‌آرا) - فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد (رسام)

نشانی سازمان:

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)

تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۹۲۶۶-۸۸۳۰، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌گاه: [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir) و [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir)

ناشر:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران-کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج-خیابان ۶۱ (دارو پخش)

تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ:

چاپ هشتم ۱۴۰۴

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان شاء الله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الان عبادتتان این است که کار نکنید. این عبادت است. امام خمینی (قُدَسِ سِرُّه)



۱	پودمان اول: تهیهٔ محلول‌های استاندارد
۵۵	پودمان دوم: پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی
۹۷	پودمان سوم: آزمایش‌های کنترل کیفیت آب
۱۴۵	پودمان چهارم: کاربرد مواد افزودنی در صنایع شیمیایی
۱۹۱	پودمان پنجم: آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد غذایی
۲۴۱	منابع



در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته صنایع شیمیایی طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال دوازدهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا دو واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هریک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. لازم به یادآوری است، کارنامه صادر شده در سال تحصیلی قبل براساس نمره ۵ پودمان بوده است و در هنگام آموزش و سنجش و ارزشیابی پودمان‌ها و شایستگی‌ها، می‌بایست به استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی منتشر شده توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی مراجعه گردد. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی براساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می‌شود و دارای تأثیر زیادی است.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

**پودمان اول:** با عنوان «تهیه محلول‌های استاندارد» که ابتدا تهیه محلول‌های نرمال و سپس سنجش‌های

حجمی اسید و باز و سنجش‌های حجمی اکسایش - کاهش آموزش داده می‌شود.

**پودمان دوم:** عنوان «پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی» نام دارد، که در آن مفاهیم خوردگی، آزمایش‌های خوردگی، مبانی الکتروشیمی خوردگی و انواع پیل‌های الکتروشیمیایی و خوردگی در صنایع مختلف و روش‌های جلوگیری از خوردگی آموزش داده می‌شود.

**پودمان سوم:** دارای عنوان «آزمایش‌های کنترل کیفیت آب» است. در این پودمان ابتدا ضرورت انجام کنترل کیفیت آب بیان شده و هنرجویان به‌طور عملی آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی آب را انجام می‌دهند.

**پودمان چهارم:** «کاربرد مواد افزودنی در صنایع شیمیایی» نام دارد. ابتدا مفاهیم مواد افزودنی مختلف و سپس روش‌های مختلف افزودن مواد افزودنی، سازگاری افزودنی‌ها و اهمیت درجه خلوص آنها آورده شده است و هنرجویان به‌طور عملی با افزودنی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی مواد مختلف کار می‌کنند.

**پودمان پنجم:** با عنوان «آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد غذایی» است که در آن مفاهیم کنترل کیفیت، استانداردهای محلی و بین‌المللی و اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی مواد غذایی آموزش داده می‌شود و هنرجویان به‌طور عملی آزمایش‌های کنترل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی مواد غذایی را انجام می‌دهند.

امید است با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق شود.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**



نظرسنجی کتاب درسی

## سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی بر اساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱- شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت در صنایع

شیمیایی

۲- شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳- شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها

۴- شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این درس، پنجمین درس شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته صنایع شیمیایی در پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی کنترل کیفیت در صنایع شیمیایی شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا دو واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا



آخر سال تحصیلی وجود دارد. کارنامه شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌های قبول شده در مرحله اول ارزشیابی مورد تأیید و لازم به ارزشیابی مجدد نمی‌باشد. همچنین این درس دارای ضریب ۸ است و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**



## پودمان اوّل

### تهیه محلول‌های استاندارد



جداسازی، شناسایی و تعیین مقدار مواد شیمیایی در صنایع، از وظایف مهم شیمیدانان است. محلول‌های استاندارد، یکی از ابزارهایی است که متخصصان شیمی می‌توانند به‌طور خاص و دقیق برای تشخیص یا تعیین غلظت مواد ناشناخته، استفاده کنند.

# واحد یادگیری ۱

## تهیه محلول های استاندارد

### مقدمه

اصولاً شیمییدان ها در آزمایشگاه با محلول های مختلف آبی سروکار دارند. برای تهیه محلول آبی با غلظت مشخص از یک گونه، به آشنایی با تعریف های مختلف غلظت نیاز است و محلول های استاندارد را بر اساس غلظت بیان می کنند. در این پودمان سعی شده است تعریف های مختلف غلظت گونه در محلول بیان شود. علاوه بر آن با کمک روابط مختلف غلظت به روش ساده، چگونگی تهیه محلول های مختلف شرح داده می شود. بسیاری از واکنش ها در حالت محلول انجام می شوند و محاسبه کمی برای این گونه واکنش ها بر مبنای غلظت آنها انجام می شود. هنرجویان با مطالعه این پودمان با روش های حجمی و وزنی تهیه محلول های آبی آشنایی بیشتری پیدا می کنند و در محاسبات کمی از آنها استفاده می کنند.

### استاندارد عملکرد

تهیه محلول های نرمال، سنجش های حجمی «اسید و باز» و «اکسایش و کاهش» را طبق دستور کار انجام دهد.

شایستگی های غیر فنی مورد انتظار این پودمان عبارت اند از:

- ۱ اخلاق حرفه ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای سپرده شده - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت های گروهی، انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت های کار عملی
- ۵ محاسبه و کاربرست ریاضی

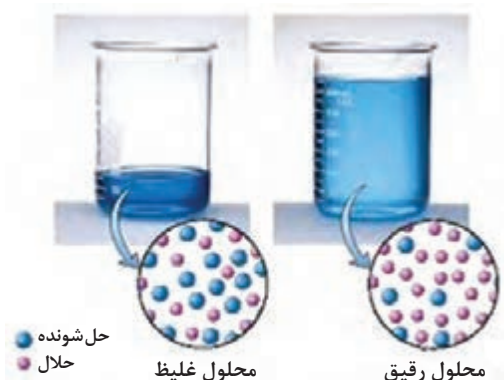
شایستگی های فنی مورد انتظار این پودمان عبارت اند از:

- ۱ محلول نرمال تهیه کنند.
- ۲ سنجش های حجمی اسید و باز را انجام دهند.
- ۳ سنجش های حجمی اکسایش - کاهش را انجام دهند.



## غلظت

در تصویر روبه‌رو به تعداد مولکول‌های حلال و حل‌شونده دقت کنید:



شکل ۱

پیامدهای ناشی از تغییر ناگهانی ارتفاع برای کوهنوردان که در ارتفاعات بالا دچار خطرات تنفسی می‌شوند، این واقعیت را به‌خوبی نشان می‌دهد که صعود به ارتفاعات می‌تواند موجب ناراحتی‌هایی همچون سردرد، حالت تهوع و خستگی شود. این علامت‌ها ناشی از هیپوکسیا است که بر اثر کمبود مقدار اکسیژن موجود در بافت‌های بدن بروز می‌کند. آیا علت آن را می‌دانید؟

بحث‌گروهی  
۱



با افزایش ارتفاع، فشار هوا و تعداد مولکول‌های هوا کاهش می‌یابد در نتیجه هوا رقیق می‌شود



غلظت<sup>۱</sup> یک نمونه، مقدار حل شونده<sup>۲</sup> موجود در یک مقدار مشخص از محلول<sup>۳</sup> یا حلال<sup>۴</sup> را نشان می‌دهد (معادله ۱):

$$\text{معادله ۱} \quad \text{غلظت} = \frac{\text{مقدار گونه یا حل شونده}}{\text{مقدار محلول (حلال)}}$$

اگرچه اصطلاح حل شونده و محلول اغلب برای نمونه‌های مایع به کار می‌روند، اما آنها را می‌توان به نمونه‌های فاز گاز و جامد نیز تعمیم داد. جدول ۱ متداول‌ترین واحدهای مورد استفاده برای بیان غلظت محلول را نشان می‌دهد.

جدول ۱- واحدها و معادلات مختلف غلظت

واحد	معادله	نماد
درصد جرمی	$\times 100 = \frac{\text{گرم حل شونده}}{\text{گرم محلول}} = \text{درصد جرمی}$	%w/w
درصد حجمی	$\times 100 = \frac{\text{میلی لیتر حل شونده}}{\text{میلی لیتر محلول}} = \text{درصد حجمی}$	%v/v
درصد جرمی حجمی	$\times 100 = \frac{\text{گرم حل شونده}}{\text{میلی لیتر محلول}} = \text{درصد جرمی حجمی}$	%w/v
مولاریته	$\frac{\text{مول حل شونده}}{\text{لیتر محلول}} = \text{مولاریته}$	M
نرمالیتی*	$\frac{\text{هم‌ارز گرم‌های حل شونده}}{\text{لیتر محلول}} = \text{نرمالیتی}$	N
مولالیتی**	$\frac{\text{مول حل شونده}}{\text{کیلوگرم حلال}} = \text{مولالیتی}$	m
* و **: در ادامه درس، توضیح مناسب آورده شده است.		

۱- Concentration

۲- Solute

۳- Solution

۴- Solvent

در سال‌های گذشته با غلظت‌های جرمی (وزنی)، حجمی و مولاریته آشنا شده‌اید. در این پودمان غلظت‌های نرمال و مولال ارائه می‌شود.

پرسش ۱



مراحل ساخت یک محلول با غلظت مشخص، از نمونه جامد را با توجه به شکل زیر توضیح دهید.



(الف)

(ب)

(ج)

(د)

(هـ)

(و)

مراحل ساخت یک محلول با غلظت مشخص، از نمونه جامد

پیش از توضیح غلظت نرمال، چند تعریف در مورد محلول‌ها ارائه می‌شود.

بحث‌گروهی

۲



اغلب در زندگی روزمره به کلمه «استاندارد» برخورد کرده‌اید. آیا می‌دانید چرا در بیشتر حوزه‌های زندگی از این واژه استفاده می‌شود؟





## تعریف استاندارد

استاندارد و استاندارد کردن از پایه‌های علم و فناوری است که در پیشرفت صنعت و اقتصاد نقشی به‌سزا دارد. استاندارد عبارت است از «نظمی مبتنی بر نتایج ثابت علوم، فنون و تجربه‌های بشری که به‌صورت قواعد و مقررات» به‌کار می‌رود.

در شیمی و زیست‌شیمی مواد استاندارد به‌معنی استفاده از مواد مرجع است که حاوی مواد مورد بررسی با غلظت شناخته شده است و با استفاده از مواد استاندارد می‌توان غلظت ماده مجهول را در یک نمونه مشخص کرد. برخی کاربردهای محلول‌های استاندارد در آزمایشگاه‌های شیمی عبارت‌اند از:

✓ ارائه یک مرجع

✓ استانداردسازی محلول‌های سنجش حجمی<sup>۱</sup>

✓ تهیه محلول استاندارد ثانویه

✓ تنظیم کردن<sup>۲</sup> تجهیزات

محلول‌های استاندارد به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱ استاندارد اولیه

۲ استاندارد ثانویه<sup>۳</sup>

### ● محلول استاندارد اولیه<sup>۴</sup>

برای یافتن غلظت دقیق محلول‌های تهیه شده در آزمایشگاه، از محلول استاندارد اولیه استفاده می‌شود. خصوصیات استاندارد اولیه به‌شرح زیر است:

۱ دارای ترکیب نسبی مشخص و درجه خلوص بالایی باشد. درجه خلوص آن بهتر است ۹۹.۹٪ باشد (اگر درجه خلوص کمی پایین‌تر از ۹۹.۹٪ باشد، به شرط مشخص بودن مقدار ناخالصی‌ها، قابل قبول است).

۲ در دمای آزمایشگاه پایدار باشد (رطوبت و کربن‌دی‌اکسید را جذب نکند) و ضمن خشک کردن در آن بدون تغییر باقی بماند.

۳ برای جلوگیری از ایجاد مزاحمت با شناساگر، پیش و پس از سنجش حجمی بی‌رنگ باشد.

۴ در دسترس و ارزان باشد.

۵ سمی نباشد.

از موادی که به‌عنوان استاندارد اولیه به‌کار می‌روند، سدیم کربنات برای اسیدها، پتاسیم هیدروژن فتالات به‌عنوان استاندارد اولیه برای بازها و پتاسیم اگزالات برای پتاسیم پرمنگنات را می‌توان نام برد.

### ● محلول استاندارد ثانویه

مطابق ویژگی‌های محلول استاندارد اولیه، بسیاری از مواد مانند سدیم هیدروکسید (سود) که جذب‌کننده رطوبت است، نمی‌توانند به‌عنوان محلول استاندارد اولیه استفاده شوند، زیرا خلوص آنها به مرور دچار تغییر

۱- Titration

۲- Calibration

۳- Secondary Standard Solution

۴- Primary Standard Solution

می‌شود. لذا برای استاندارد کردن محلول و تعیین غلظت دقیق آنها، از یک محلول استاندارد اولیه استفاده می‌شود. برای مثال وقتی به محلول هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار نیاز باشد، محلول با غلظت ۰/۱ مولار از آن تهیه می‌شود، سپس توسط سنجش حجمی با محلول استاندارد اولیه سدیم کربنات، غلظت دقیق محلول هیدروکلریک اسید تعیین می‌شود. محلول هیدروکلریک اسید که غلظت دقیق آن توسط استاندارد اولیه مشخص شده است، محلول استاندارد ثانویه نامیده می‌شود.

استاندارد ثانویه، محلول با غلظت مشخص از یک ماده شیمیایی یا یک واکنشگر است که غلظت دقیق آن توسط استاندارد اولیه تعیین شده است و جسم حل شده در آن نسبت به استاندارد اولیه دارای تفاوت‌های زیر است:

- ۱ خلوص کمتری نسبت به استاندارد اولیه دارد.
  - ۲ پایداری کمتر و واکنش پذیری بیشتری نسبت به استاندارد اولیه دارد.
  - ۳ محلول آن برای مدت طولانی قابل نگهداری نیست.
- بهترین نمونه برای استاندارد ثانویه ماده سدیم هیدروکسید (NaOH) است که شدیداً جاذب آب است. به محض باز شدن ظرف حاوی سدیم هیدروکسید، جذب رطوبت هوا آغاز می‌شود.

نکته

آماده‌سازی محلول‌های استاندارد اولیه و ثانویه باید با حلال‌های خالص صورت گیرد.



## فعالیت عملی ۱



### ناپایداری سدیم هیدروکسید (NaOH) در هوای مرطوب

#### مواد و وسایل لازم:

- سدیم هیدروکسید خشک و بدون آب
- ترازوی آزمایشگاهی با دقت  $\pm 0.01$  گرم
- شیشه ساعت

نکته

- سدیم هیدروکسید بسیار خورنده است و در صورت تماس پوستی می‌تواند سبب تخریب لایه‌های عمیق پوست شود.
- در صورت تماس چشم با سدیم هیدروکسید، می‌تواند موجب عوارضی مانند آب مروارید<sup>۱</sup>، آب‌سیاه<sup>۲</sup> و کوری دائمی شود.
- قرار گرفتن در معرض مستقیم سدیم هیدروکسید، حتی مقدار کم آن، می‌تواند سبب مشکلات حاد تنفسی شود.
- سدیم هیدروکسید می‌تواند با فلزات واکنش دهد و هیدروژن تولید کند که در حضور اکسیژن منجر به آتش‌سوزی می‌شود.
- سدیم هیدروکسید سبب ایجاد خوردگی کف پوش‌های چوبی و سطوح رنگ شده می‌شود.



## روش کار:

- ۱ شیشه ساعت را روی ترازو قرار دهید و جرم آن را صفر کنید.
- ۲ در ظرف سدیم هیدروکسید را باز کنید و با کمک قاشق کمی بلور NaOH را روی شیشه ساعت بریزید و به سرعت جرم آن را یادداشت کنید.
- ۳ پنجره‌های شیشه‌ای ترازو را برای چند دقیقه باز نگه دارید و افزایش تدریجی جرم سدیم هیدروکسید را در واحد میلی گرم مشاهده کنید. این امر به دلیل جذب مولکول‌های آب و کربن دی‌اکسید از هوا، توسط بلورهای سدیم هیدروکسید است.

نکته



- در ظرف حاوی سدیم هیدروکسید را سریع ببندید.
- از یک ظرف شیشه‌ای مانند شیشه ساعت برای اندازه‌گیری جرم استفاده کنید، زیرا سدیم هیدروکسید با ظرف‌های فلزی واکنش می‌دهد.
- محلول‌های استاندارد (اولیه یا ثانویه) در محیط‌های آزمایشگاهی، دارای پایداری محدود هستند. محلول استاندارد سدیم هیدروکسید، با جذب کربن دی‌اکسید، دچار تغییر غلظت و pH می‌شود.

## مثال ۱:

ماده پتاسیم پرمنگنات ( $\text{KMnO}_4$ ) یک ترکیب اکسیدکننده<sup>۱</sup> است و به عبارت دیگر، واکنش‌پذیری زیاد و پایداری کمی دارد. اغلب به دلیل واکنش‌پذیری بالا، محصول اکسید شده آن، منگنز (IV) اکسید ( $\text{MnO}_2$ )، باعث آلوده شدن محتویات ظرف می‌شود. به همین دلیل به عنوان استاندارد اولیه مناسب نیست، اما می‌توان آن را به عنوان یک استاندارد ثانویه استفاده کرد.

پرسش ۲



- الف) با توجه به اینکه موادی که به عنوان استاندارد ثانویه استفاده می‌شوند ترکیبات پایداری نیستند، چرا محلول استاندارد ثانویه، به عنوان محلول استاندارد استفاده می‌شود؟
- ب) برای تعیین حجم نهایی، فقط حجم حلال در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه حجم محلول باید در محاسبات و محلول‌سازی استفاده شود، علت را توضیح دهید.

## مثال ۲ (یادآوری):

محلول هیدروکلریک اسید آزمایشگاهی ۱۱/۹ مولار است. چند مول HCl در ۳۰۰/۰ میلی لیتر این محلول وجود دارد؟

پاسخ:

$$\text{mol HCl} = 300.0 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{11.9 \text{ mol HCl}}{\text{L}} = 0.3 \times 11.9 = 3.57 \text{ mol HCl}$$

بنابراین ۳/۵۷ مول هیدروکلریک اسید در ۳۰۰/۰ میلی لیتر محلول ۱۱/۹ مولار تجاری آن وجود دارد.

۱- در مورد ترکیبات اکسیدکننده، در بخش‌های دیگر این پودمان توضیحات لازم خواهد آمد.



## فعالیت عملی ۲



### تهیه محلول استاندارد اولیه سدیم کربنات

**مواد لازم:** سدیم کربنات بدون آب  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (جرم مولی =  $106/0$  گرم بر مول)، آب مقطر جوشیده سرد شده و **وسایل لازم:** ترازوی آزمایشگاهی با دقت  $\pm 0/01$  گرم، آون، خشکانه<sup>۱</sup>، بشر  $250$  میلی لیتری، بالن حجم سنجی  $250$  میلی لیتری، همزن شیشه‌ای، شیشه ساعت، چراغ گاز، توری و سه پایه، بوتله چینی

#### نکات ایمنی



- استفاده از عینک در هنگام آزمایش توصیه می‌شود.
- بعد از هرگونه تماس و پاشیدگی مواد شیمیایی به پوست بلافاصله محل را با آب فراوان شست‌وشو دهید.
- استنشاق و تماس چشمی با پودر سدیم کربنات خطرناک است.

### روش کار:

۱ گرم سدیم کربنات خالص را در بوتله چینی خشک و تمیز بریزید و به مدت یک ساعت در آون که دمای آن در دمای  $105^\circ\text{C}$  تنظیم شده است، قرار دهید.

#### نکته

گرما دادن سدیم کربنات در دمای  $260^\circ\text{C}$  باعث می‌شود سدیم کربنات آب و گازهای دیگر محبوس در خود را از دست بدهد و به سدیم کربنات خالص تبدیل شود. اگر دما از  $300^\circ\text{C}$  بالاتر رود، سدیم کربنات تجزیه می‌شود.



۲ سپس بوتله چینی را از آون خارج کنید و دهانه آن را با یک شیشه ساعت تمیز یا توسط درپوش خود بوتله بپوشانید و آن را در خشکانه قرار دهید تا خنک شود.

#### نکته

سدیم کربنات قدرت جذب آب از هوای اطراف خود را دارد؛ بنابراین پس از آنکه ظرف محتوای آن کمی در خشکانه خنک شد؛ آن را به یک شیشه تمیز با درپوش کاملاً بسته منتقل کنید و در تمام مدت در خشکانه نگهداری کنید.



۳ شیشه ساعت را روی کفه ترازو قرار دهید و جرم آن را یادداشت کنید. ترازو را صفر کرده و مقدار  $2/65$  گرم سدیم کربنات خشک شده بدون آب را به دقت اندازه‌گیری کنید.

۴ سدیم کربنات را به بشر حاوی  $50$  میلی لیتر آب مقطر انتقال دهید و دوباره شیشه ساعت را برای اطمینان از انتقال تمامی سدیم کربنات به بشر، وزن کنید.

۵ مخلوط را هم بزنید تا سدیم کربنات به‌طور کامل در آب حل شود و سپس با استفاده از قیف آن را به بالن حجم‌سنجی انتقال دهید. بشر را چند بار با آب مقطر جوشیده سرد شده بشویید و در بالن بریزید تا از انتقال کامل سدیم کربنات به بالن حجم‌سنجی اطمینان حاصل کنید.

۶ آب مقطر به بالن حجم‌سنجی اضافه کنید تا حجم محلول به خط نشانه بالن برسد.

۷ در بالن را ببندید و چندین بار بالن را سروته کنید تا مطمئن شوید محتویات آن یکنواخت شده است.

۸ با توجه به مقدار سدیم کربنات اضافه شده در مرحله ۳ غلظت آن را محاسبه کنید.

#### تمرین ۱



با محاسبات نشان دهید برای تهیه ۲۵۰ میلی لیتر محلول سدیم کربنات ۰/۱ مولار، از ۲/۶۵ گرم سدیم کربنات بدون آب استفاده می شود (جرم مولی سدیم کربنات بدون آب،  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ۱۰۶/۰ گرم بر مول).

#### تحقیق کنید ۱



محلول های استاندارد، تا چه زمانی پایدار هستند؟

#### فعالیت عملی ۳



#### تهیه محلول استاندارد اولیه اگزالیک اسید



**مواد لازم:** اگزالیک اسید  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (جرم مولی = ۱۲۶/۱ گرم بر مول)، آب مقطر  
**وسایل لازم:** ترازوی آزمایشگاهی با دقت  $\pm 0.01$  گرم، بشر ۲۵۰ میلی لیتری، بالن حجم سنجی ۲۵۰ میلی لیتری، همزن شیشه ای، شیشه ساعت، قیف

#### نکات ایمنی



- اگزالیک اسید ۰/۱ مولار ممکن است باعث بروز علائم حساسیت در چشم و پوست شود. در هنگام کار از عینک ایمنی و دستکش استفاده شود.
- در صورت تماس و پاشیدگی مواد شیمیایی به پوست، بلافاصله محل را با آب فراوان شست و شو دهید.

#### روش کار:

- ۱ جرم شیشه ساعت را با ترازوی دقیق اندازه گیری و یادداشت کنید. سپس ترازو را صفر کنید و ۳/۲۰ گرم اگزالیک اسید را با دقت اندازه گیری کنید.
- ۲ اگزالیک اسید را به بشر حاوی ۵۰ میلی لیتر آب مقطر انتقال دهید و برای اطمینان از انتقال تمامی مواد به بشر، دوباره جرم شیشه ساعت را اندازه گیری کنید.
- ۳ مخلوط را هم بزنید تا اگزالیک اسید در آب حل شود و سپس با استفاده از قیف آن را به بالن حجم سنجی انتقال دهید.
- ۴ در چندین مرحله، آب مقطر را به بالن حجم سنجی اضافه کنید تا حجم محلول به خط نشانه بالن برسد.
- ۵ چندین بار بالن را سروته کنید، تا مطمئن شوید مواد به طور کامل یکنواخت شده است.
- ۶ با توجه به مقدار اگزالیک اسید اضافه شده در مرحله ۱، غلظت آن را محاسبه کنید.

#### نکته



برای استاندارد کردن سدیم هیدروکسید، می توان از پتانسیم هیدروژن فتالات، سدیم یا پتاسیم اگزالات نیز استفاده کرد.

## غلظت نرمال (نرمالیت)

برای آشنایی با غلظت نرمال (نرمالیت)، نخست باید مفهوم هم‌ارز گرم<sup>۱</sup> (اکی‌والان گرم) را شناخت.

### تعیین هم‌ارز گرم

توجه داشته باشید که تعریف و محاسبه یک هم‌ارز گرم و نرمالیت، تابعی از واکنش شیمیایی است. هم‌ارز گرم هر ماده را می‌توان با کمک معادله (۲) محاسبه کرد که در آن  $E_w$  هم‌ارز گرم،  $M_w$  جرم مولی و  $n$  ظرفیت مؤثر ماده است:

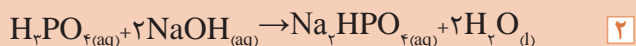
$$E_w = \frac{\text{جرم مولی}}{\text{ظرفیت مؤثر}} \rightarrow E_w = \frac{M_w}{n} \quad \text{معادله ۲}$$

### تعیین ظرفیت مؤثر

الف) در واکنش‌هایی که بین یک اسید و یک باز انجام می‌شود، یک هم‌ارز گرم، مقدار گرم‌های جسمی است که یک مول یون هیدرونیوم<sup>۲</sup> تولید یا مصرف می‌کند در این حالت ظرفیت مؤثر ( $n$ ) برابر تعداد مول هیدرونیوم تولیدشده یا مصرف‌شده در واکنش است. برای مثال اگر  $H_2SO_4$  در واکنش شیمیایی دو مول یون هیدروژن از دست دهد، ظرفیت مؤثر آن برابر ۲، و هم‌ارز گرم آن معادل  $\frac{1}{2}$  مول از  $H_2SO_4$  یعنی ۴۹ گرم خواهد بود. در واکنش (۱) ظرفیت مؤثر سولفوریک اسید برابر یک، اما در واکنش (۲) ظرفیت مؤثر برابر ۲ است.



ظرفیت مؤثر فسفریک اسید در هر یک از واکنش‌های (۱) و (۲) چند است؟



ب) در مورد بازها، یک یون گرم  $OH^-$  معادل یک یون گرم هیدروژن اسیدی است. برای مثال، ۴۰ گرم سود معادل یک هم‌ارز گرم است، زیرا جرم مولی سود  $40 \text{ g mol}^{-1}$  است.

### مثال ۳:

در واکنش زیر ظرفیت مؤثر و هم‌ارز گرم کلسیم هیدروکسید را به دست آورید.

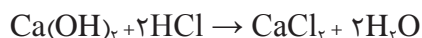
۱- Equivalent weight

۲- هیدرونیوم (Hydronium) نام کاتیون آبی  $H_3O^+$  است.

حل:

(جرم اتمی کلسیم برابر ۴۰، اکسیژن ۱۶ و هیدروژن برابر ۱ g mol<sup>-1</sup> است.)

$$M_w = Ca(OH)_2 = 74 \text{ g mol}^{-1}$$



با توجه به واکنش انجام شده، ظرفیت مؤثر کلسیم هیدروکسید برابر ۲ است؛ بنابراین هم‌ارز گرم چنین محاسبه می‌شود:

$$E_w = \frac{M_w}{n} = \frac{74}{2} = 37 \text{ g}$$

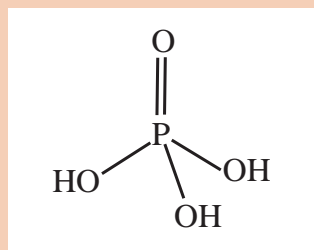
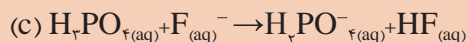
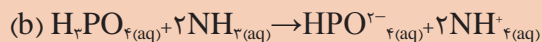
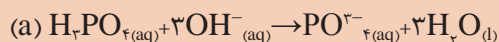
(ج) در واکنش‌های اکسایش - کاهش<sup>۱</sup>، یک هم‌ارز گرم، مقدار گرم‌های جسمی است که یک مول الکترون تولید یا مصرف می‌کند. برای مثال در واکنش زیر یک هم‌ارز گرم از Fe<sup>2+</sup> یک الکترون تولید می‌کند، که معادل جرم اتمی عنصر آهن یعنی ۵۶ گرم است.



تمرین ۲



هم‌ارز گرم فسفریک اسید در واکنش‌های زیر را محاسبه کنید.



### تعریف نرمالیت

محلولی که در یک لیتر آن، یک هم‌ارز گرم از جسم حل شده وجود داشته باشد محلول نرمال، و به تعداد هم‌ارز گرم‌های جسم حل‌شونده در لیتر محلول، نرمالیت می‌گویند. برای محاسبه نرمالیت، ابتدا از تقسیم جرم ماده حل‌شونده بر مقدار هم‌ارز گرم، تعداد هم‌ارز گرم جسم حل‌شونده به دست می‌آید (معادله ۳)، سپس با استفاده از معادله (۴) نرمالیت محلول محاسبه می‌شود.

$$\text{معادله ۳} \quad \text{جرم حل‌شونده} = \frac{m(g)}{E_w} = \text{تعداد هم‌ارز گرم‌های جسم حل شده}$$

۱- Reduction Oxidation در انتهای همین پودمان اشاره خواهد شد.

معادله ۴

$$N = \frac{\text{تعداد هم‌ارز گرم‌های جسم حل شده}}{\text{لیتر محلول}} = \text{نرمالیت}$$

از ادغام معادلات ۲، ۳ و ۴ معادله ۵ بین نرمالیت و مولاریته به دست می‌آید:

$$E_w = \frac{M_w}{n}$$

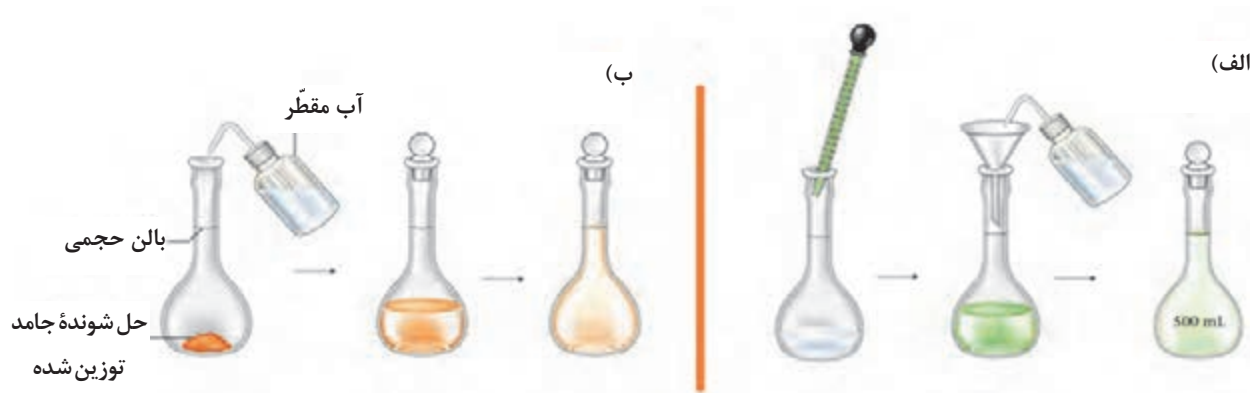
$$\text{تعداد هم‌ارز گرم‌های جسم حل شده} = \frac{m(g)}{E_w}$$

$$N = \frac{\text{تعداد هم‌ارز گرم‌های جسم حل شده}}{\text{لیتر محلول}} = \frac{\frac{m(g)}{E_w}}{L} = \frac{\frac{m(g)}{M_w}}{\frac{n}{L}} = \frac{m(g) \times n}{M_w \times L} = M \times n$$

$$N = M \times n \quad \text{معادله ۵}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

در شکل ۲ مراحل تهیه محلول با نرمالیت مشخص از نمونه‌های مایع و جامد نشان داده شده است.



شکل ۲- تهیه محلول با نرمالیت مشخص از (الف) نمونه مایع (ب) نمونه جامد

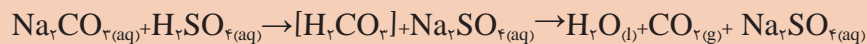
بیشتر بدانید



### تمرین ۳

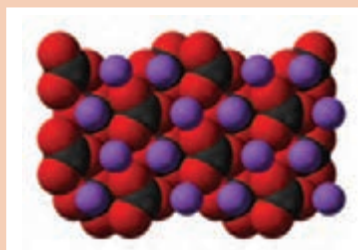
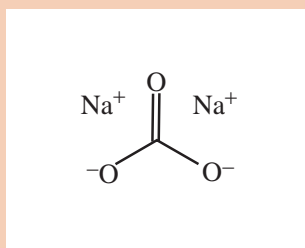


در استاندارد کردن سولفوریک اسید از سدیم کربنات به عنوان استاندارد اولیه استفاده می شود. برای این منظور از یک محلول ۰/۰۵ نرمال از سدیم کربنات ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) طبق واکنش زیر استفاده می شود:



$[\text{H}_2\text{CO}_3]$  یک محصول واسطه است که به طور مستقیم به  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{CO}_2$  تبدیل می شود. چند گرم سدیم کربنات برای تهیه یک لیتر محلول ۰/۰۵ نرمال  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  لازم است؟

$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 105.99 \text{ g mol}^{-1}$  جرم مولی



ساختار شیمیایی و پودر سدیم کربنات

### نکته



ویژگی مهم دیگر یک استاندارد اولیه این است که در صورت امکان وزن اکی والان بالایی داشته باشد، تا خطای توزین کاهش یابد.

### تمرین ۴



اگر ۵۸/۶ گرم باریوم هیدروکسید  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  در ۵/۶۵ لیتر آب حل شده باشد، مولاریته و نرمالیت محلول چقدر خواهد بود؟ (جرم مولی باریوم هیدروکسید  $171.3 \text{ g mol}^{-1}$  است).

### تمرین ۵



۱۰/۸ گرم پتاسیم نیترات ( $\text{KNO}_3$ ) در چه مقدار آب حل شود تا محلول ۰/۲۸ نرمال به دست آید؟ (جرم مولی پتاسیم نیترات  $101.1 \text{ g mol}^{-1}$  است).



## غلظت مولال (مولالیت)

در مواردی که واحدهای غلظت باید از دما مستقل باشند، غلظت مولالیت استفاده می‌شود. مولالیت و نرمالیت به حجم محلولی که حل‌شونده در آن حل شده است، بستگی دارند. از آنجا که حجم، یکی از خواص وابسته به دما است، غلظت‌های مولار و نرمال تابعی از دما هستند و با تغییرات دما تغییر می‌کنند. با استفاده از جرم حلال به جای حجم، غلظت به دست آمده تابعی از دما نخواهد بود. مطابق معادله (۶) غلظت مولالیت، مول حل‌شونده به کیلوگرم حلال تعریف می‌شود.

$$\text{معادله ۶} \quad \text{مول حل‌شونده} / \text{کیلوگرم حلال} = \text{مولالیت}$$

مثال ۴:

مولالیت محلولی که از حل شدن ۲۵ گرم نمک سدیم کلرید در ۲۰ لیتر آب حاصل می‌شود، چقدر است؟ (فرض کنید چگالی آب  $1 \text{ g cm}^{-3}$  ( $1 \text{ g cm}^{-3} = 1 \text{ kg L}^{-1}$ ) است)

پاسخ:

$$\text{NaCl جرم مولی} = (1 \times 22,99 \text{ g mol}^{-1}) + (1 \times 35,45 \text{ g mol}^{-1}) = 58,44 \text{ g mol}^{-1}$$

$$25 \text{ g NaCl} \times \frac{1 \text{ mol NaCl}}{58,44 \text{ g NaCl}} = 0,43 \text{ mol NaCl}$$

$$20 \text{ L آب} \times \frac{(1 \text{ kg})}{(1 \text{ L آب})} = 20 \text{ kg آب}$$

$$\text{مولالیت} = \frac{\text{مول حل‌شونده}}{\text{کیلوگرم حلال}} = \frac{0,43 \text{ mol NaCl}}{20 \text{ kg آب}} = 0,21 \text{ m NaCl}$$

غلظت محلول سدیم کلرید برابر ۰/۲۱ مولال است.

### فعالیت عملی ۴



#### تهیه محلول با غلظت مشخص

روش کار:

(الف) ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۲۵٪ جرمی - جرمی، جرمی - جرمی و حجمی - حجمی از سدیم هیدروکسید، پتاسیم هیدروکسید، سولفوریک اسید، هیدروکلریک اسید و سدیم کلرید را تهیه کنید.

(ب) ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۲۵ مولار از سدیم هیدروکسید، پتاسیم هیدروکسید، سولفوریک اسید، هیدروکلریک اسید و سدیم کلرید را تهیه کنید.

(پ) ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۲۵ نرمال از سدیم هیدروکسید، پتاسیم هیدروکسید، سولفوریک اسید، هیدروکلریک اسید و سدیم کلرید را تهیه کنید.

■ در پایان، بر روی محلول‌های تهیه شده برچسب غلظت و تاریخ بزنید.

## قسمت در میلیون<sup>۱</sup> (ppm) و قسمت در بیلیون<sup>۲</sup> (ppb)

بحث گروهی

۳



به نظر شما، غلظت ذرات گردوغبار در هوا با چه واحدی بیان می شود؟



پراکندگی ذرات گرد و غبار در هوا در روزهای آلوده

به تعداد قسمت‌های حل‌شونده در یک میلیون قسمت از نمونه، ppm و به تعداد قسمت‌های حل‌شونده در یک بیلیون (یا یک میلیارد) قسمت از نمونه، ppb گویند. برای مثال یک نمونه فولاد زنگ‌زن که ۴۵۰ ppm منگنز دارد، شامل ۴۵۰ میلی‌گرم منگنز در یک کیلوگرم فولاد است. جدول ۲ معادله‌های مختلف ppm و ppb را نشان می‌دهد.

پرسش ۴



الف) چرا از غلظت‌های ppm و ppb استفاده می‌شود؟  
ب) اگر آب به‌عنوان حلال در نظر گرفته شود، مقدار قسمت در میلیون و قسمت در بیلیون w/v و w/w یکسان خواهد بود. علت را توضیح دهید.

### مثال ۵:

یک بطری جوهرنمک (جرم‌گیر کاشی و سرامیک) حاوی ۱۳۵ گرم هیدروژن کلرید و ۷۷۵ گرم آب است. درصد جرمی - جرمی HCl را در این جرم‌گیر پیدا کنید.

پاسخ:

$$\text{درصد جرمی - جرمی (وزنی - وزنی)} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100 = \frac{135\text{g}}{(135 + 775)\text{g}} \times 100 = 14.8\%$$

۱- Parts Per Million

۲- Parts Per Billion

جدول ۲ - معادله‌های مختلف ppm و ppb

واحد	معادله
قسمت در میلیون w/v (ppm)	$\text{ppm} \left( \frac{w}{v} \right) = \frac{\text{میلی گرم حل شونده}}{\text{لیتر محلول}}$
قسمت در میلیون w/w (ppm)	$\text{ppm} \left( \frac{w}{w} \right) = \frac{\text{میلی گرم حل شونده}}{\text{کیلوگرم محلول}}$
قسمت در بیلیون w/v (ppb)	$\text{ppb} \left( \frac{w}{v} \right) = \frac{\text{میکروگرم حل شونده}}{\text{لیتر محلول}}$
قسمت در بیلیون w/w (ppb)	$\text{ppb} \left( \frac{w}{w} \right) = \frac{\text{میکروگرم حل شونده}}{\text{کیلوگرم محلول}}$

### مثال ۶:

چند گرم NaCl برای تهیه محلول‌های زیر نیاز است؟  
 الف) ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول (w/v) ۲۵۰۰ ppm سدیم کلرید  
 ب) ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول (w/v) ۱۰٪ سدیم کلرید  
 پ) ۲۵۰ گرم محلول (w/w) ۲۰٪ سدیم کلرید  
 ت) محلول سرم نمکی که در پزشکی برای شست‌وشوی بینی، تمیزکردن زخم و تزریق وریدی استفاده می‌شود محلول سدیم کلرید (w/v) ۰/۹۱٪ است. چگونه می‌توان ۱/۵ لیتر از این محلول را تهیه کرد؟

### پاسخ:

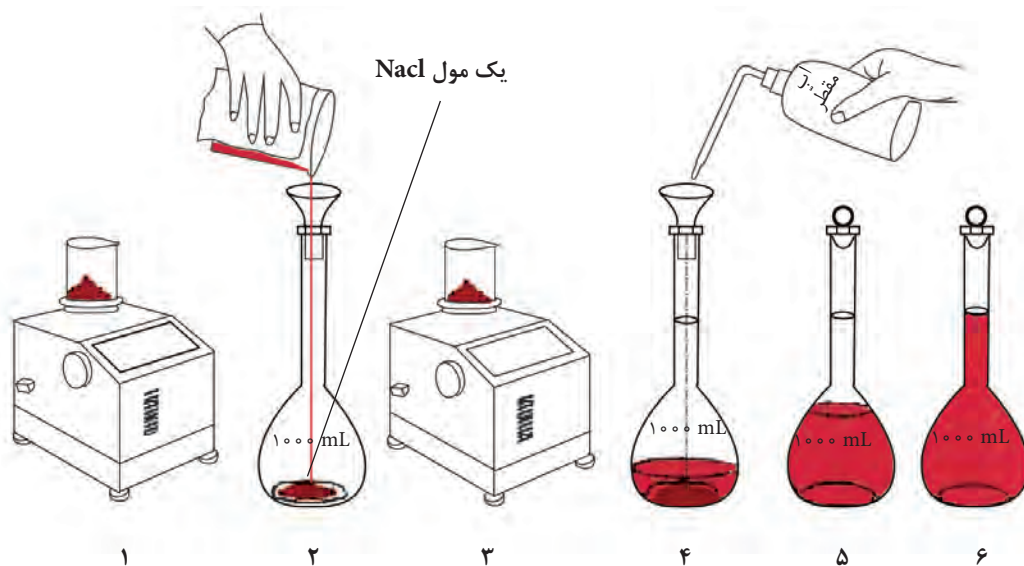
$$\text{الف) } m_{(g)} \text{NaCl} = 250 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{2500 \times 10^{-3} \text{ g}}{\text{L}} = 0.625 \text{ gNaCl}$$

$$\text{ب) } m_{(g)}\text{NaCl} = 250 \cancel{\text{mL}} \times \frac{10 \text{ gNaCl}}{1000 \cancel{\text{mL}} \text{ محلول}} = 25 \text{ gNaCl}$$

$$\text{پ) } m_{(g)}\text{NaCl} = 250 \cancel{\text{g}} \times \frac{20 \text{ gNaCl}}{1000 \cancel{\text{g}} \text{ محلول}} = 50 \text{ gNaCl}$$

ث) محلول ۰/۹۱٪ سدیم کلرید شامل ۰/۹۱ گرم سدیم کلرید در ۱۰۰ میلی لیتر آب است. بنابراین خواهیم داشت:

$$m_{(g)}\text{NaCl} = 1/5 \cancel{\text{L}} \times \frac{1000 \cancel{\text{mL}}}{1 \cancel{\text{L}}} \times \frac{0/91 \text{ gNaCl}}{1000 \cancel{\text{mL}}} = \frac{1/5 \times 1000 \times 0/91}{100} = 13/65 \text{ gNaCl}$$



شکل ۳- تهیه محلول با غلظت مشخص

## مثال ۷:

پلی کلربی فنیل (PCB)<sup>۱</sup> یک ترکیب آلی کلردار است که به طور گسترده به عنوان مایعات دی‌الکتریک، خنک کننده در دستگاه‌های الکتریکی و در مایعات انتقال گرما به کار می‌رود. اگر مقدار ۰/۰۶۰ گرم از PCB در ۴/۶۰۰ کیلوگرم خاک نشت کرده باشد، مقدار این آلاینده را بر حسب (m/m) ppb به دست آورید.

پاسخ:

$$(ppb)(w/w) = \frac{\text{میکروگرم حل شونده}}{\text{کیلوگرم محلول}} = \frac{0/060 \cancel{g}}{4/600 \text{ kg}} \times \frac{10^6 \mu g}{1 \cancel{g}} = 1/30 \times 10^4 \left(\frac{m}{m}\right)$$

تمرین ۶

۵/۰ میلی گرم از یک نوع دارو در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده است. غلظت محلول را بر حسب ppm (w/v)٪، و (w/w)٪ را به دست آورید. (چگالی محلول  $1/0 \text{ g mL}^{-1}$  فرض شود).



## فعالیت عملی ۵



## تهیه محلول‌های ppm و ppb

- ۱ محلول‌های مثال شماره ۶ را در آزمایشگاه تهیه کنید.
- ۲ روی محلول‌های تهیه شده برچسب غلظت و تاریخ بزنید.

## مثال ۸:

براساس استانداردهای جهانی، اگر غلظت سرب در آب شیرین به  $15 \left(\frac{w}{v}\right)$  ppb برسد، اقدامات احتیاطی خاصی باید صورت گیرد. این غلظت را بر حسب  $\text{ppm} \left(\frac{w}{v}\right)$  بیابید. در این غلظت، چه مقدار ( $\mu\text{g}$ ) سرب در یک لیوان آب معمولی (۳۰۰ میلی لیتر) وجود دارد؟

پاسخ:

$$15 \text{ ppb} \times \frac{1 \text{ ppm}}{10^3 \text{ ppb}} = 0/015 \text{ ppm} \left(\frac{w}{v}\right)$$

$$\text{میکروگرم سرب} = 300 \text{ mL} \times \frac{1 \cancel{L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{15 \mu\text{g}}{1 \cancel{L}} = 4/5 \mu\text{g}$$



آب ژاول (سدیم هیپوکلریت) به عنوان مایع سفیدکننده و ضد عفونی کننده، برای شست و شوی لباس (غیر از لباس پشمی، ریون و چرمی)، تمیز و ضد عفونی کردن سطوح استفاده می شود. روش استفاده از این مایع چگونه است؟



آیا تاکنون از ماده جرم گیر (هیدروکلریک اسید) استفاده کرده اید؟  
هر دو این محلول ها به صورت غلیظ استفاده نمی شوند و باید با آب رقیق شوند. علت را بیان کنید.  
به نظر شما، نسبت رقیق سازی این مواد با آب چقدر است؟

محاسبات رقیق سازی برای تهیه صحیح محلول رقیق، یکی از فرایندهای اصلی آماده سازی نمونه در کارهای روزانه شیمی دان ها، در آزمایشگاه ها است. برای مثال هیدروکلریک اسید آزمایشگاهی ۱۱/۹ مولار است که بیشتر مواقع در آزمایشگاه ها بعد از رقیق سازی با آب غلظت نهایی آن به ۶/۰ تا ۱/۰ مولار می رسد. تغییر رنگ و غلظت محلول ها در فرایند رقیق سازی در شکل های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

محلول رقیق → حلال + محلول غلیظ



تعداد مول های حل شونده پس از رقیق سازی = تعداد مول های حل شونده پیش از رقیق سازی

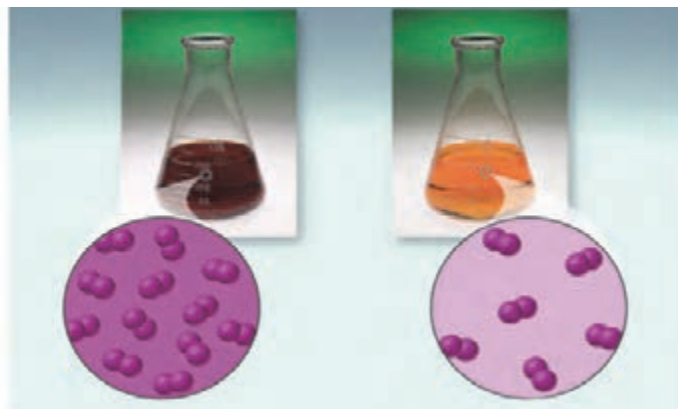
شکل ۴- رقیق سازی محلول ها



← غلیظ → رقیق

شکل ۵- مقایسه ظاهری محلول های غلیظ و رقیق





محلل رقیق (تعداد ذرات حل‌شونده کمتر در واحد حجم) / محلل غلیظ (تعداد ذرات حل‌شونده بیشتر در واحد حجم)  
 شکل ۶- تغییر رنگ و غلظت محلول‌ها در فرایند رقیق‌سازی

نکته



تعداد مول‌های حل‌شونده در محلول‌های اولیه و رقیق شده یکسان است، ولی با افزایش حلال، حجم و مولاریته آنها تغییر کرده است. زیرا تعداد مول حل‌شونده از حاصل ضرب مولاریته در حجم به دست می‌آید (معادله ۷).

تعداد مول‌های حل‌شونده در محلول اولیه = تعداد مول‌های حل‌شونده در محلول رقیق

$$M_i \times V_i = M_f \times V_f \rightarrow \text{حجم} \times \text{مولاریته} = (\text{مقدار ثابت}) \text{ مول حل‌شونده} \quad \text{معادله ۷}$$

مقدار  $M_i$  مولاریته اولیه،  $V_i$  حجم اولیه،  $M_f$  مولاریته نهایی و  $V_f$  حجم نهایی پس از رقیق‌سازی است.

بیشتر بدانید



با جابه‌جایی در معادله (۷) خواهیم داشت:

$$M_f = M_i \times \frac{V_i}{V_f} \quad \text{معادله ۸}$$

این معادله نشان می‌دهد مولاریته پس از رقیق‌سازی ( $M_f$ ) از حاصل ضرب مولاریته اولیه ( $M_i$ ) در نسبت حجم اولیه به حجم نهایی ( $\frac{V_i}{V_f}$ ) به دست می‌آید. عبارت ( $\frac{V_f}{V_i}$ ) را ضریب رقیق‌سازی<sup>۱</sup> گویند (معادله ۹).

$$\text{معادله ۹} \quad (DF) = \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \rightarrow DF = \left( \frac{V_f}{V_i} \right) = \left( \frac{M_i}{M_f} \right)$$

فرض کنید ۵۰/۰ میلی‌لیتر محلول ۲/۰۰ مولار به حجم ۲۰۰/۰ میلی‌لیتر رقیق شده است. حجم محلول با ضریب ۴ (از ۵۰/۰ میلی‌لیتر به ۲۰۰/۰ میلی‌لیتر) افزایش یافته است؛ لذا غلظت محلول باید با ضریب ۴ کاهش یابد (از ۲/۰۰ مولار به ۰/۵۰۰ مولار).

$$DF = \left( \frac{V_f}{V_i} \right) = \left( \frac{M_i}{M_f} \right) \rightarrow DF = ((200/0) / (50/0)) = \left( \frac{M_i}{M_f} \right) \rightarrow 4 = \left( \frac{2/00}{M_f} \right) \rightarrow M_f = 0/500$$

## قوانین رقیق سازی

- ۱ واحدهای حجم برای هر دو حجم اولیه ( $V_i$ ) و نهایی ( $V_f$ ) باید یکسان باشد.
- ۲ غلظت‌های ( $M_i$ ) و ( $M_f$ ) فقط به مولاریته محدود نمی‌شوند، بلکه می‌توانند به سایر واحدهای غلظت نیز تعمیم داده شوند.

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 \quad \text{و} \quad N_1 V_1 = N_2 V_2$$

### مثال ۹:

برای هیدروکلریک اسید با مشخصات زیر، غلظت برحسب مولاریته را به دست آورید.

$$M_w = 36.47 \text{ g mol}^{-1}, d = 1.19 \text{ g mL}^{-1}, a = 37\% (w/w)$$

پاسخ:

$$M \text{ mol L}^{-1} = \frac{37\% \text{ g HCl}}{100 \text{ گرم محلول}} \times \frac{1.19 \text{ g محلول}}{1 \text{ میلی لیتر محلول}} \times \frac{1000 \text{ میلی لیتر محلول}}{1 \text{ لیتر محلول}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{36.47 \text{ g HCl}}$$

$$= 12.07 \text{ mol L}^{-1} (M)$$

### مثال ۱۰:

سدیم هیدروکسید کاربرد بسیار زیادی در صنایع مختلف، از جمله: تولید صابون و مواد شوینده و پاک کننده، کاغذسازی، دباغی، تصفیه آب، صنایع نساجی، پتروشیمی و استخراج نفت، تولید محصولات لبنی، صنایع فلز و تولید شیشه، روی، آلومینیم، گالوانیزه و آبکاری دارد، و به همین دلیل سالیانه میلیون ها تن از آن در سراسر جهان تولید می‌شود. محاسبه کنید برای تهیه ۲ کیلوگرم محلول سود ( $\text{NaOH}$ ) با غلظت  $(w/w)$  ۲۰٪، چند گرم سدیم هیدروکسید مورد نیاز است؟

پاسخ: ضرایب تبدیل در این مسئله:

$$20\% \left( \frac{w}{w} \right) = \frac{20 \text{ g NaOH}}{100 \text{ گرم محلول}}$$

$$1000 \text{ گرم محلول} = 1 \text{ کیلوگرم محلول}$$

$$\rightarrow 2 \text{ کیلوگرم محلول} \times \frac{20 \text{ g NaOH}}{100 \text{ گرم محلول}} \times \frac{1000 \text{ گرم محلول}}{1 \text{ کیلوگرم محلول}} = 400 \text{ g NaOH}$$

این محلول با حل کردن ۴۰۰/۰ گرم سدیم هیدروکسید در مقدار مناسبی حلال و رقیق کردن آن تا رسیدن به وزن ۲/۰ کیلوگرم تهیه می‌شود.

تمرین اضافی



الف) چگونه می‌توان از محلول (w/v) ۲۵٪ سدیم کلرید ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول NaCl ۰/۹۵ (w/v) (سرم نمکی) تهیه کرد؟  
ب) در مخزن ۱ محلول ۸۰٪ و در مخزن ۲ محلول ۲۰٪ الکل نگهداری می‌شود، چند لیتر از این دو محلول باید با هم مخلوط شوند تا ۱۲ لیتر محلول ۶۰٪ الکل تهیه شود؟  
پ) یک مخزن حاوی ۴۰ لیتر محلول نمک ۵٪ است، چه مقدار محلول ۲۰٪ نمک باید اضافه شود تا محلول ۱۰٪ تهیه شود؟

بحث گروهی

۵



به نظر شما، آیا با استفاده از معادله‌های رقیق‌سازی می‌توان از محلول رقیق، محلول غلیظ تهیه کرد؟ چرا؟

## فعالیت عملی ۶



### رقیق‌سازی محلول‌های غلیظ به‌طور عملی



محلول‌های تهیه شده در فعالیت عملی ۵ را به ترتیب زیر رقیق کنید.

الف) از محلول ۲۵۰۰ ppm سدیم کلرید، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۲۵ ppm تهیه کنید.

ب) از محلول (w/v) ۱۰٪ سدیم کلرید، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم کلرید (w/v) ۰/۹۱ تهیه کنید.

پ) از محلول (w/w) ۲۰٪ سدیم کلرید، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم کلرید (w/w) ۱۰٪ تهیه کنید.

ت) ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۱۰ درصد جرمی/جرمی هیدروکلریک اسید با مشخصات

$$a = ۳۷\%(w/w) \text{ و } d = ۱/۱۹ \text{ gml}^{-۱}, M_w = ۳۶/۵ \text{ gml}^{-۱}$$

را تهیه نمایید.

ث) ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد جرمی/جرمی سولفوریک اسید با مشخصات

$$a = ۹۸\%(w/w) \text{ و } d = ۱/۸۴ \text{ gml}^{-۱}, M_w = ۹۸/۱ \text{ gml}^{-۱}$$

را تهیه نمایید.

■ در پایان، بر روی محلول‌های غلیظ و رقیق تهیه شده برچسب غلظت و تاریخ بزنید.



هر روز در بخش‌های گوناگون زندگی، انواع مواد شیمیایی مصرف می‌شود که در اغلب آنها، اسیدها و بازها نقش مهمی ایفا می‌کنند. با توجه به شکل زیر، نمونه‌هایی از آنها را ذکر کنید.



چند نمونه گیاه کاکتوس

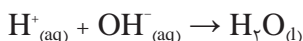
برخی از کاکتوس‌ها، تمایل به خاک قلیایی دارند و برخی در خاک‌های اسیدی به خوبی رشد می‌کنند. ولی بیشتر آنها در خاک نزدیک به اسیدی رشد مناسبی دارند. اما گونه‌های کمی هستند که به طور کلی خاک اسیدی را نمی‌پسندند (برای مثال stapeliaها). تحقیق کنید، دوستداران کاکتوس چگونه خاک و آب محیط کشت این گیاهان را کنترل می‌کنند؟

در ابتدا محلول‌های اسیدی و بازی برحسب بعضی خواص فیزیکی و شیمیایی که به راحتی قابل تشخیص هستند، تعریف شدند. برای مثال محلولی با طعم ترش که رنگ شناساگرها را تغییر می‌دهد (تورنسل را قرمز می‌کند) و با فلزات فعال مانند روی و منیزیم واکنش می‌دهد و هیدروژن آزاد می‌کند، اسید و محلول لزج با طعم تلخ که تورنسل را آبی می‌کند، باز نامیده می‌شود. اما به همراه توسعه شناخت ساختار ماده، دانشمندان درباره رابطه متقابل خواص اسیدی و بازی و ساختار موادی که دارای چنین خصوصیتی هستند، تحقیقات بیشتری به عمل آوردند و نظریات جدیدی را ارائه کردند.

## نظریهٔ اسیدها و بازها

**نظریهٔ آرنیوس<sup>۱</sup>:** در سال ۱۸۸۷ آرنیوس تعریفی از اسیدها و بازها ارائه داد.

- همهٔ اسیدها دست کم دارای یک یون  $H^+$  و همه بازها دارای یون  $OH^-$  هستند.
- اسیدها مانند سولفوریک اسید بدون آب یا استیک اسید ۱۰۰٪ بدون آب غیرالکترولیت هستند (جریان برق را عبور نمی‌دهند). ولی محلول آبی آنها رسانای الکتریسیته است.
- واکنش اسید - باز، برهم‌کنش یون‌های هیدروژن و هیدروکسید و تولید مولکول آب براساس واکنش زیر است.



در واکنش بالا aq نشان‌دهندهٔ فاز آبی و l نشان‌دهندهٔ فاز مایع است.



الف) با توجه به نظریهٔ آرنیوس، تفاوت هیدروژن کلرید خالص و هیدروکلریک اسید چیست؟  
ب) بر اساس نظریهٔ آرنیوس، یک مثال برای باز بیاورید.

سوانت آرنیوس (۱۸۵۹-۱۹۲۷)

پرسش ۵



نکته

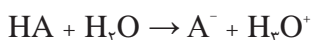


محدودیت‌های تعریف آرنیوس:

- تعریف آرنیوس از اسید و باز متکی بر آب و واکنش‌های اتفاق افتاده در محلول‌های آبی است و در تفسیر واکنش‌های اسیدی و بازی در غیاب آب ناتوان است.
  - در این نظریه، باز دارای یون هیدروکسید ( $OH^-$ ) است؛ در صورتی که آمونیاک ( $NH_3$ ) دارای خواص بازی است؛ ولی گروه  $OH^-$  ندارد.
- لذا نیاز به تعریف جامع‌تری وجود دارد.

## نظریهٔ برونستد - لوری<sup>۲</sup>

در سال ۱۹۲۳ ژوهانس - ان - برونستد<sup>۳</sup> و توماس ام لوری<sup>۴</sup> مستقل از یکدیگر مفهوم گسترده‌تری برای اسیدها و بازها ارائه دادند. بر اساس این نظریه، یک واکنش اسید - باز با انتقال پروتون همراه است. در این تعریف ماده‌ای که پروتون از دست می‌دهد، اسید است،



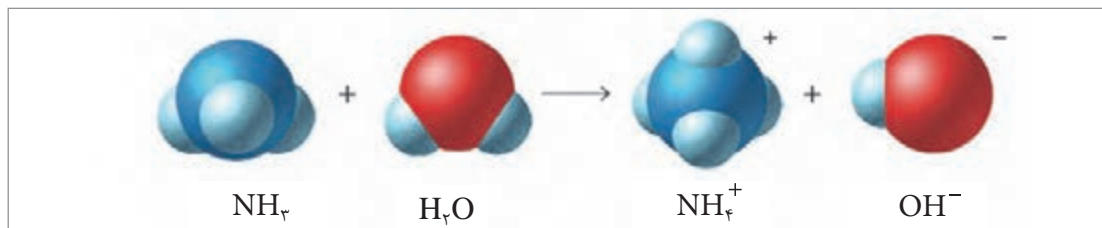
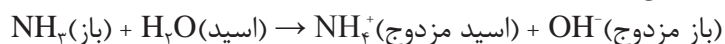
۱- Arrhenius Theory

۳- Johannes- N Bron sted

۲- Bron sted- Lowry Theory

۴- Thomas- M Lowry

و ماده‌ای که پروتون می‌پذیرد، باز است (شکل ۷).



شکل ۷- واکنش یک اسید با یک باز شامل انتقال پروتون از اسید به باز

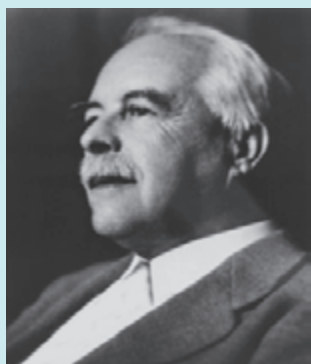
در این صورت واکنش یک اسید با یک باز شامل انتقال پروتون از اسید به باز خواهد بود. این نظریه بر وابستگی اسید و باز به یکدیگر تأکید می‌کند؛ یعنی یکی بدون حضور دیگری واکنش نمی‌دهد. اسید قوی‌تر، آسان‌تر پروتون خود را از دست می‌دهد و باز قوی‌تر، راحت‌تر پروتون می‌پذیرد.

جفت اسید - باز را که با از دست دادن و به‌دست آوردن پروتون به هم مربوط می‌شوند، یک جفت اسید - باز مزدوج می‌نامند.  $\text{NH}_4^+$  اسید مزدوج باز  $\text{NH}_3$  و  $\text{NH}_3$  باز مزدوج اسید  $\text{NH}_4^+$  است. همچنین  $\text{OH}^-$  باز مزدوج اسید  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{H}_2\text{O}$  اسید مزدوج باز  $\text{OH}^-$  است.

به عبارت دیگر، باز برای تبدیل شدن به اسید مزدوج یک پروتون می‌گیرد؛ لذا باز مثبت به‌دست می‌آورد و اسید باز مثبت از دست می‌دهد یا ضمن تبدیل به باز مزدوج بار منفی به‌دست می‌آورد. مثال‌های زیر گویای این مطلب است:

اسید مزدوج $\xrightarrow{+\text{H}^+}$ باز	باز مزدوج $\xrightarrow{-\text{H}^+}$ اسید
$\text{NH}_3 \xrightarrow{+\text{H}^+} \text{NH}_4^+$	$\text{NH}_4^+ \xrightarrow{-\text{H}^+} \text{NH}_3$
$\text{OH}^- \xrightarrow{+\text{H}^+} \text{H}_2\text{O}$	$\text{HSO}_4^- \xrightarrow{-\text{H}^+} \text{SO}_4^{2-}$
$\text{O}^{2-} \xrightarrow{+\text{H}^+} \text{OH}^-$	$\text{HNO}_3 \xrightarrow{-\text{H}^+} \text{NO}_3^-$



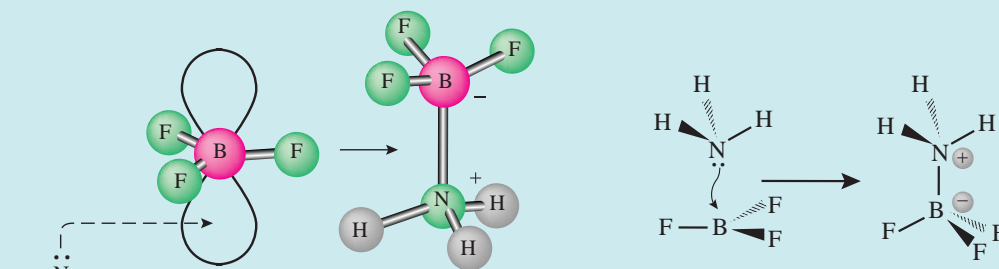


گیلبرت نیوتون لوئیس (۱۸۷۵-۱۹۴۶)

### نظریه لوئیس:

گیلبرت لوئیس<sup>۱</sup> در سال ۱۹۲۳ مفهوم وسیع‌تری از اسیدها و بازها را مطرح نمود و پدیده‌های اسید و باز را از قید پروتون آزاد کرد. اساس این تعریف تبادل جفت الکترون در واکنش است.

مطابق این نظریه، ماده‌ای با جفت الکترون غیرمشترک که با آن می‌تواند با یک اتم، مولکول یا یون پیوند کوالانسی تشکیل دهد، باز، و ماده‌ای که می‌تواند با پذیرفتن یک جفت الکترون از یک باز پیوند کوالانسی تشکیل دهد اسید است. اسید لوئیس باید برای دریافت جفت الکترون از باز، اوربیتال خالی<sup>۲</sup> داشته باشد (شکل زیر). بنابراین، یون پروتونیم یا هیدرونیوم ( $H_3O^+$ ) خود یک اسید لوئیس است.



نمایش انتقال الکترون به اوربیتال خالی در نظریه لوئیس

برخی مواد گاهی به‌عنوان اسید و گاهی به‌عنوان باز عمل می‌کنند. این‌گونه مواد را دوخصلتی یا آمفوتر<sup>۳</sup> گویند. برای مثال، آب در واکنش با استیک‌اسید به‌عنوان باز، و در واکنش با آمونیاک به‌عنوان اسید عمل می‌کند.



۱- Gilbert N. Lewis

۲- اربیتال: به فضای سه‌بعدی در اطراف هسته که احتمال حضور الکترون در آن بیش از ۹۰٪ باشد، اربیتال گویند.

۳- Amphotric

برای واکنش‌های تعادلی نام‌برده، ثابت تعادل تعریف می‌شود؛ برای مثال برای آب می‌توان نوشت (معادله ۱۰):



در آب خالص با دمای  $25^\circ\text{C}$  غلظت  $H^+$  و  $OH^-$  مساوی و مقدار آنها  $[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$  است؛ لذا ثابت تعادل آب در دمای  $25^\circ\text{C}$  از معادله (۱۱) به دست می‌آید:

$$K_w = [H^+][OH^-] = (1.0 \times 10^{-7} \text{ M})(1.0 \times 10^{-7} \text{ M}) = 1.0 \times 10^{-14} \text{ M}^2 \quad \text{معادله ۱۱}$$

اگر  $[H^+] = [OH^-]$  باشد محلول خنثی است، اگر  $[H^+] > [OH^-]$  باشد، محیط اسیدی و در صورتی که  $[H^+] < [OH^-]$  باشد، محیط قلیایی (بازی) خواهد بود.

مثال ۱۱:

غلظت یون  $H^+$  را در محلول آبی که غلظت یون  $OH^-$  برابر  $0.025 \text{ M}$  مولار باشد، بیابید.

پاسخ:

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14} \text{ M}^2}{0.025 \text{ M}} = 4.0 \times 10^{-12} \text{ M}$$

در رابطه با کاربردهای مواد آموخته تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

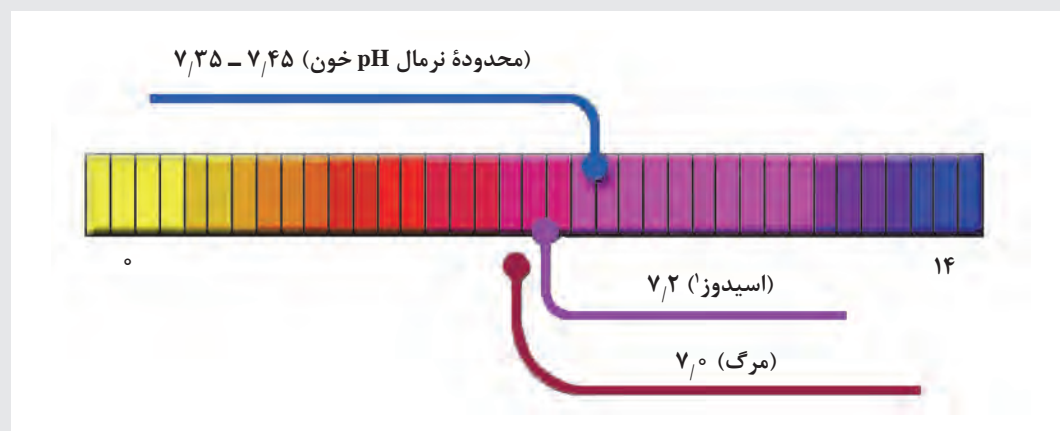
تحقیق کنید  
۳



بحث گروهی  
۷



آیا می‌دانید گستره pH خون یک فرد سالم در محدوده  $7.35 - 7.45$  است؟ و اگر مقدار آن به  $7.0$  کاهش یابد و یا به  $7.8$  افزایش یابد، باعث مرگ می‌شود؟ pH چگونه در بدن تنظیم می‌شود؟



۱- اسیدوز، کاهش سطح بی‌کربنات مایع خارج سلولی و قرار گرفتن pH خون در محدوده اسیدی می‌باشد.

معیار میزان اسیدی بودن یک محلول با یک عدد ساده بیان می‌شود که سورن سن<sup>۱</sup> زیست‌شیمیدان دانمارکی، بر این مقیاس نام pH نهاد. در این مقیاس، به جای گزارش غلظت یون هیدرونیوم، (که عددی کوچکی از  $10^{-14}$  تا  $10^{-1}$  را در بر می‌گیرد) از منفی لگاریتم این غلظت استفاده می‌شود. لذا برای سهولت در محاسبات از متغیر pH به جای  $[H_3O^+]$  استفاده می‌شود که به صورت معادله‌های ۱۲ و ۱۳ تعریف می‌شود:

$$pH = -\log[H^+] \quad \text{معادله ۱۲}$$

$$[H^+] = 10^{-pH} \quad \text{معادله ۱۳}$$

شکل ۸ pHهای مواد غذایی مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۸ - pH متفاوت مواد غذایی

براساس معادلات ثابت تعادل آب می‌توان نوشت:

$$K_w = [H^+][OH^-] = (1.0 \times 10^{-7} M)(1.0 \times 10^{-7} M) = 1.0 \times 10^{-14} M^2$$

بیان غلظت یون  $H^+$  در محلول‌های اسیدی، بازی و خنثی به صورت زیر است:

$[H^+] > 1.0 \times 10^{-7} M$ ,  $pH < 7$ : محلول‌های اسیدی

$[H^+] < 1.0 \times 10^{-7} M$ ,  $pH > 7$ : محلول‌های بازی

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-7} M$ ,  $pH = 7$ : محلول‌های خنثی

افزایش عددی pH به مفهوم کاهش  $[H^+]$  است.

نکته



pOH نیز شبیه pH به صورت معادله (۱۴) تعریف می شود:

$$pOH = -\log[OH^-]$$

معادله ۱۴

در بیان قدرت اسیدی و بازی محلول از مقدار pH استفاده می شود؛ لذا استفاده از pOH معمول نیست. با توجه به ثابت تعادل آب، اگر از دو طرف معادله لگاریتم گرفته شود، خواهیم داشت:

$$-\log([H^+][OH^-]) = -\log([H^+]) + (-\log[OH^-]) = -\log(10^{-14}) = 14$$

$$pH + pOH = 14$$

معادله ۱۵

بنابراین با استفاده از معادله (۱۵)، pH و pOH به یکدیگر قابل تبدیل هستند.

تمرین ۷

pH یک محلول را که در آن  $[H^+] = 6.3 \times 10^{-6} M$  است، محاسبه کنید.



تمرین ۸

الف) غلظت یون  $OH^-$  را در محلول هیدروکلریک اسید که غلظت یون هیدرونیوم در آن  $1.4 \times 10^{-3}$  مولار است، حساب کنید  
ب) pH آب باران جمع شده در یک روز خاص در یک شهر صنعتی ۴/۸۲ است. غلظت یون  $H^+$  را در این آب به دست آورید.  
پ) اگر pH آب پرتقال ۳/۳۰ باشد، غلظت یون  $H^+$  را در آن محاسبه کنید.  
ت) غلظت یون هیدرونیوم را برحسب  $mol L^{-1}$  برای محلول های زیر که مقدار pH آنها داده شده است، محاسبه کنید.



الف) ۲/۴۲      ب) ۱۱/۲۱      پ) ۶/۹۶      ت) ۱۳/۰

## اندازه گیری pH

با استفاده از شناساگرهای مختلف، کاغذ pH و دستگاه pH سنج، می توان ویژگی اسیدی یا بازی مایعات مختلف را تعیین کرد. با انواع معرف ها و کاغذ pH در سال های قبل آشنا شده اید. در ادامه دستگاه pH سنج معرفی می شود:

الکتروود دستگاه pH سنج را باید پیش از استفاده دست کم با دو محلول بافر<sup>۱</sup> استاندارد (معمولاً بافر ۹ و ۴) تنظیم<sup>۲</sup> کنید. دستور کار تنظیم، برای هر نوع pH سنج متفاوت است؛ بنابراین برای تنظیم دستگاه به دفترچه راهنمای دستگاه pH سنج مراجعه نمایید. پیش از تنظیم دستگاه، الکتروود را با آب مقطر شست و شو دهید. شکل ۹، نمونه ای از یک pH سنج را نشان می دهد.

۱- محلول های بافر در کتاب دانش فنی تخصصی توضیح داده شده است.



شکل ۹- یک دستگاه pH سنج و چند نمونه محلول بافر

#### نکته



- ۱ الکترود pH سنج را باید همواره در آب مقطر (یا مطابق با دستورکار سازنده معمولاً در بافر ۷) قرار داد، مگر اینکه برای مدت طولانی از آن استفاده نشود.
- ۲ در صورتی که اولین بار الکترود را استفاده می‌کنید، باید آن را دست‌کم ۱۲ ساعت در آب مقطر بگذارید سپس از آن استفاده کنید.
- ۳ در محلول‌هایی که دارای قدرت یونی ضعیفی هستند، الکترودها سریع پاسخ نمی‌دهند، باید اجازه دهید تا الکترود برای چند دقیقه در محلول باقی بماند. به هم‌زدن خوب محلول به این امر کمک می‌کند.
- ۴ هیچ‌وقت الکترود شیشه‌ای را از قسمت حباب آن با دست نگیرید.

#### فعالیت عملی ۷



#### اندازه‌گیری pH محلول‌های مختلف

با استفاده از شناساگرهای موجود در آزمایشگاه، کاغذ pH و دستگاه pH سنج، ویژگی اسیدی یا بازی چند نمونه میوه، نوشیدنی و مواد غذایی را اندازه‌گیری کنید.

#### مواد و وسایل مورد نیاز:

بشر ۱۰۰ میلی لیتری چند عدد، کاغذ pH، دستگاه pH سنج، محلول‌های بافر با pH ۴، ۷ یا ۱۰، چند نمونه مایعات مختلف مانند سرکه، آب لیمو، آب میوه‌های مختلف، همزن شیشه‌ای.

#### روش کار:

- ۱ ابتدا دستگاه pH سنج را روشن کنید. سپس مطابق روش زیر آن را استاندارد (کالیبره) کنید.
- ۲ دمای مایع مورد آزمایش را اندازه‌گیری کنید.
- ۳ الکترود دستگاه را با استفاده از آب مقطر بشویید و در محلول بافر با pH ۴ قرار دهید و دستگاه را روی ۴ تنظیم کنید.
- ۴ الکترود را از محلول بافر بیرون آورید، با آب مقطر بشویید و در محلول بافر با pH ۷ قرار دهید. دستگاه باید عدد ۷ را نشان دهد. در صورت لزوم با پیچ تنظیم مربوطه روی عدد ۷ تنظیم کنید.

- ۵ حال الکترود دستگاه را با آب مقطر بشویید و در بشر حاوی مایع مورد سنجش قرار دهید. سپس عدد مربوط به pH را یادداشت کنید.
- ۶ مرحله ۴ را در مورد تمامی نمونه‌های مورد سنجش تکرار کنید.
- ۷ هر کدام از نمونه‌ها را با استفاده از کاغذ pH و شناساگرهای مختلف نیز بررسی کنید.
- ۸ نتایج اندازه‌گیری pH را در جدول با یکدیگر مقایسه کنید.

## ثابت تفکیک اسید-باز

### اسیدها و بازهای قوی:

اسیدها و بازهای قوی به‌طور کامل در آب تفکیک می‌شوند. برای مثال، اسیدهای قوی هیدروکلریک اسید (HCl)، نیتریک اسید  $\text{HNO}_3$ ، پرکلریک اسید  $\text{HClO}_4$  و سولفوریک اسید  $\text{H}_2\text{SO}_4$  و بازهای قوی هیدروکسید فلزات قلیایی ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ , ...) هستند.

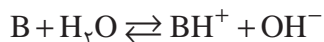
### اسیدها و بازهای ضعیف:

اسیدها و بازهای ضعیف به‌طور کامل تفکیک نمی‌شوند. اگر یک اسید ضعیف تک پروتونی را با HA نمایش دهیم، خواهیم داشت:



و ثابت تفکیک اسیدی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$$



و برای باز ضعیف B خواهیم داشت:

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

در واکنش زیر:



می‌توان ثابت تعادل را برای واکنش تعادلی بالا به‌صورت زیر نوشت:

$$k_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

که  $k_b$  ثابت تفکیک بازی است و مقدار آن برای این واکنش برابر  $1.8 \times 10^{-5}$  مولار است. مقدار  $k_b$  برای بازهای ضعیف مانند آمونیاک کم است.

نکته



■ توجه داشته باشید که بیان غلظت در معادله ثابت تعادل، غلظت تعادلی واکنش‌دهنده‌ها و محصولات است.

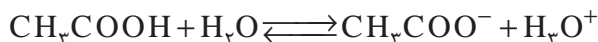
■ غلظت تعادلی واکنش‌دهنده‌ها و محصولات برای حل‌شونده‌های گازی، فشار برحسب اتمسفر است.

برای اجسام جامد، حلال‌ها و مایعات خالص مقدار غلظت تعادلی یک (واحد) در نظر گرفته می‌شود.

## مثال ۱۲:

مقدار pH محلول ۰/۱۰ مولار استیک اسید را که ثابت تفکیک آن  $1.0 \times 10^{-5}$  است، محاسبه نمایید.

پاسخ:



$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

با توجه به اینکه  $\text{H}_3\text{O}^+$  و  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  محصول تفکیک استیک اسید است، لذا غلظت آنها باهم برابر است:

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = y$$

و مقدار استیک اسید باقی‌مانده برابر مقدار اسید اولیه منهای مقدار اسید تفکیک شده:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.10 - y$$

اگر از مقدار تفکیک شده ( $y$ ) در مقابل غلظت اولیه صرف نظر کنیم، خواهیم داشت:

$$y = 0.0 \rightarrow [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.10$$

$$1.0 \times 10^{-5} = \frac{y^2}{0.10} \rightarrow y^2 = 1.0 \times 10^{-6} \rightarrow y = 1.0 \times 10^{-3}$$

با حل معادله درجه ۲ برحسب  $y$  می‌توان غلظت یون هیدرونیوم را به دست آورد.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = y = 1.0 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1.0 \times 10^{-3}) = 3.0$$

تفکیک اسیدها معمولاً با توجه به درجه تفکیک ( $\alpha$ ) بیان و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha = \frac{\text{شمار مولکول‌های تفکیک شده}}{\text{شمار کل مولکول‌های حل شده}}$$

و یا به عبارتی:

$$\alpha = \frac{\text{مول اسید تفکیک شده}}{\text{مول اسید اولیه}}$$

در اسیدهای قوی  $\alpha = 1$  و در اسیدهای ضعیف  $\alpha < 1$  است.

$$\text{درصد تفکیک} = \alpha \times 100$$

در مثال بالا درجه تفکیک و درصد تفکیک استیک اسید عبارت است از:

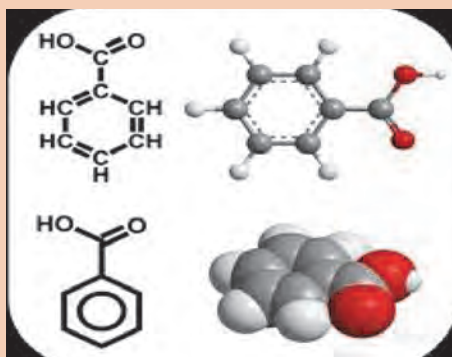
$$\alpha = \frac{\text{غلظت مولار اسید تفکیک شده}}{\text{غلظت مولار اسید اولیه}} = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{0.10} = 1.0 \times 10^{-2}$$

$$\text{درصد تفکیک} = \alpha \times 100 \rightarrow \text{درصد تفکیک} = 1.0$$





الف) pH محلول هیدروکلریک اسید با غلظت  $10^{-2} \times 10^{-8}$  مولار را محاسبه کنید.  
 ب) بنزوئیک اسید (شکل زیر) به عنوان نگه دارنده در صنایع غذایی و همچنین به عنوان دارو در درمان بیماری های قارچی پوست و مو استفاده می شود. ثابت اسیدی آن  $6.5 \times 10^{-5}$  است. مقدار pH را برای محلول  $0.10$  مولار آن محاسبه کنید.  
 پ) pH محلول  $0.1$  مولار از یک اسید تک پروتونه  $6.5$  است. ثابت تفکیک اسیدی آن را بیابید.



بنزوئیک اسید ( $C_6H_5COOH$ )

## سنجش حجمی<sup>۱</sup>

سنجش حجمی (تیتراسیون)، یکی از روش های کمی سریع و دقیق در شیمی تجزیه است که به طور وسیعی برای اندازه گیری غلظت ماده مجهول در یک محلول به کار می رود. این روش به طور کلی شامل اندازه گیری حجم محلول با غلظت مشخصی است که باید با محلول جسم مورد سنجش به طور کامل واکنش دهد. محلولی که غلظت آن معلوم است، محلول استاندارد یا تیتروکننده<sup>۲</sup>، و ماده ای که مقدار آن باید تعیین شود، ماده مورد سنجش یا تیتروشونده<sup>۳</sup> نام دارد. فرایند افزودن محلول استاندارد به ماده مورد سنجش را تا انجام واکنش کامل، سنجش حجمی می نامند.

سنجش حجمی معمولاً با افزودن محلول استاندارد از یک بورت و یا از یک وسیله اندازه گیری حجمی دیگر به حجم معینی از محلول ماده مورد سنجش انجام می گیرد تا واکنش بین آنها کامل شود (شکل ۱۰). نقطه ای که در آن مقدار واکنشگر استاندارد افزوده شده از نظر شیمیایی دقیقاً هم ارز ماده مورد سنجش است، نقطه هم ارزی<sup>۴</sup> نامیده می شود (زمانی تیتراسیون کامل است که محلول استاندارد کافی برای واکنش با تمام ماده مورد سنجش اضافه شده باشد). در این لحظه تعداد هم ارز گرم های محلول استاندارد اضافه شده با تعداد هم ارز گرم های ماده مورد سنجش طبق معادله (۱۶) برابر است.

$$N_1 V_1 = N_2 V_2 \quad \text{معادله ۱۶} \quad \text{(تیتروشونده)} \quad \text{(محلول استاندارد)}$$

۱- Titration

۲- Titrant

۳- Analyte

۴- Equivalence Point



همان‌طور که می‌دانید، شناساگر<sup>۱</sup> ماده‌ای است که در محیط‌های اسیدی و بازی به‌طور واضح رنگ‌های مختلف ایجاد می‌کند. شناساگر معمولاً به ظرف واکنش اضافه می‌شود تا با تغییر رنگ، پایان زمان برهم‌کنش محلول استاندارد و ماده مورد سنجش را نشان دهد. استفاده از شناساگرها می‌تواند نقطه پایانی<sup>۲</sup> را نشان دهد. پس از تکمیل واکنش ماده مورد سنجش با محلول استاندارد، محلول استاندارد با شناساگر وارد واکنش می‌شود و تغییراتی (مثل تغییر رنگ) ایجاد می‌کند که قابل تشخیص است.

نقطه هم‌ارزی نقطه‌ای است که در آن محلول استاندارد و ماده مورد سنجش یکدیگر را کاملاً خنثی می‌کنند. به عبارت دیگر، در نقطه هم‌ارزی، هم‌ارزهای محلول استاندارد و ماده مورد سنجش برابر می‌شود اما هنوز رنگ محلول تغییر نکرده است، ولی نقطه پایانی، نقطه‌ای است که رنگ تغییر می‌کند و سنجش حجمی پایان می‌پذیرد. توجه داشته باشید که نقطه پایانی و نقطه هم‌ارزی به‌ندرت یکی هستند. در حالت ایده‌آل، باید نقطه هم‌ارزی و نقطه پایانی یکسان باشد ولی به دلیل استفاده از شناساگر برای مشاهده نقاط پایانی، این مورد به‌ندرت اتفاق می‌افتد؛ در نتیجه، تفاوت بین نقطه پایانی و نقطه هم‌ارزی، خطای سنجش حجمی<sup>۳</sup> نامیده می‌شود. در واقع در سنجش حجمی ابتدا واکنش زیر انجام می‌شود:

نقطه هم‌ارزی  $\rightarrow$  یا نسبت استوکیومتری ماده مورد سنجش + محلول استاندارد

در ادامه خواهیم داشت:

(تغییر رنگ) شناساگر واکنش یافته  $\rightarrow$  شناساگر + محلول استاندارد

توجه داشته باشید که با اندازه‌گیری دقیق میزان محلول استاندارد اضافه‌شده (با استفاده از بورت)، مقدار نمونه را می‌توان تعیین کرد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- وسایل مورد نیاز در هنگام سنجش حجمی

چرا در سنجش حجمی، فقط چند قطره شناساگر استفاده می‌شود؟  
در سنجش حجمی، افزایش محلول استاندارد را با تغییر بسیار کم رنگ از شناساگر باید ادامه داد. علت چیست؟

بحث‌گروهی  
۸



۱- Indicator

۲- End Point

۳- Titration Error

نکته



- برای یک سنجش حجمی موفق، به نکات زیر باید توجه شود:
- محلول استاندارد یا تیتروکننده، باید استاندارد اولیه باشد یا استاندارد شود (استاندارد ثانویه)
- واکنش باید به یک نقطه هم‌ارزی پایدار و مناسب پایان پذیرد.
- نقطه هم‌ارزی باید قابل تشخیص باشد.
- حجم یا جرم دقیق محلول استاندارد و نمونه باید دقیقاً مشخص باشد.
- واکنش باید محصولات مشخص تولید کند و هیچ واکنش جانبی پیچیده‌ای وجود نداشته باشد.
- واکنش باید در نقطه هم‌ارزی کامل باشد. به عبارت دیگر، تعادل شیمیایی باید به تولید محصولات مطلوب منجر شود.
- سرعت واکنش باید به اندازه کافی زیاد باشد.

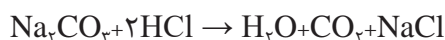
## فعالیت عملی ۸



### سنجش حجمی به منظور استاندارد کردن محلول هیدروکلریک اسید



هیدروکلریک اسید شرایط استاندارد اولیه را ندارد؛ بنابراین پیش از استفاده باید غلظت دقیق آن با یک محلول استاندارد اولیه تعیین گردد. با استفاده از سدیم کربنات تمهیه شده در فعالیت آزمایشگاهی (۴) و با توجه به واکنش زیر می‌توان غلظت دقیق هیدروکلریک اسید را تعیین کرد:



**مواد لازم:** سدیم کربنات  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ۰/۱ مولار استاندارد، هیدروکلریک اسید با غلظت تقریبی ۱/۰ مولار، آب مقطر، شناساگر نارنجی متیل

**وسایل لازم:** بورت ۵۰ میلی لیتری، پی پت ۱۰ و ۲۵ میلی لیتری، ارلن ۱۰۰ میلی لیتری، بشر ۱۰۰ میلی لیتری، بالن حجم سنجی ۲۵۰ میلی لیتری، پی پت پرکن، قیف، کاغذ سفید، گیره و پایه

نکات ایمنی



- در هنگام کار از عینک ایمنی استفاده کنید و در صورت هرگونه تماس و یا پاشیدگی مواد شیمیایی به پوست، بی درنگ محل را با آب فراوان شست و شو دهید.
- هنگام کار از دستکش استفاده کنید.
- هیدروکلریک اسید ۱/۰ مولار تحریک کننده چشم و پوست است.

نکته



در عمل سنجش حجمی، افزایش محلول استاندارد باید به صورت قطره‌ای و در حال هم‌زدن مانند شکل صورت گیرد.

شیوه سنجش حجمی صحیح

## روش کار:

- ۱ پی پت ۲۵ میلی‌لیتری را با مقدار کمی هیدروکلریک اسید ۱/۰ مولار شست‌وشو دهید.
- ۲ برای تهیه محلول هیدروکلریک اسید به غلظت ۰/۱ مولار، با استفاده از پی‌پت، ۲۵ میلی‌لیتر از هیدروکلریک اسید ۱/۰ مولار را به بالن حجم‌سنجی ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال دهید و با آب مقطر تا خط نشانه به حجم برسانید.
- ۳ چندین بار بالن را سروته کنید تا مطمئن شوید محتویات آن کاملاً مخلوط شده است.
- ۴ پی‌پت ۱۰ میلی‌لیتری را با محلول سدیم کربنات شست‌وشو دهید و سپس ۱۰ میلی‌لیتر از همان محلول را با پی‌پت به ارلن انتقال دهید.
- ۵ دو یا سه قطره شناساگر نارنجی متیل را به محلول سدیم کربنات در ارلن تا ایجاد رنگ زرد کم‌رنگ، اضافه کنید.
- ۶ بورت ۵۰ میلی‌لیتری را با محلول هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار شست‌وشو دهید، سپس آن را پر کنید با گیره به پایه ببندید و هواگیری کنید.
- ۷ کاغذ سفید را زیر ارلن قرار دهید و سنجش حجمی محلول سدیم کربنات را با محلول هیدروکلریک اسید در حال هم‌زدن پیوسته، تا رسیدن به رنگ قرمز ادامه دهید. آنگاه محلول را برای متعادل شدن  $\text{CO}_2$  تا نزدیک دمای جوش گرما دهید. اگر رنگ قرمز از بین رفت و رنگ زرد ایجاد شد، سنجش حجمی را ادامه دهید. در صورتی که رنگ قرمز پایدار بماند، فرایند سنجش حجمی به پایان رسیده است.
- ۸ حجم هیدروکلریک اسید مصرفی را یادداشت کنید و سنجش حجمی را دو بار دیگر تکرار کنید.
- ۹ غلظت هیدروکلریک اسید را تعیین کنید.

دلیل استفاده از کاغذ سفید زیر ارلن چیست؟

پرسش ۶



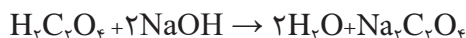
## فعالیت عملی ۹



### سنجش حجمی به منظور استاندارد کردن محلول سدیم هیدروکسید



سدیم هیدروکسید شرایط استاندارد اولیه را ندارد؛ بنابراین قبل از استفاده باید غلظت دقیق آن با یک محلول استاندارد اولیه تعیین شود. با استفاده از اگزالیک اسید تهیه شده در فعالیت آزمایشگاهی (۷)، با توجه به واکنش زیر می‌توان غلظت سدیم هیدروکسید را تعیین کرد:



### مواد لازم:

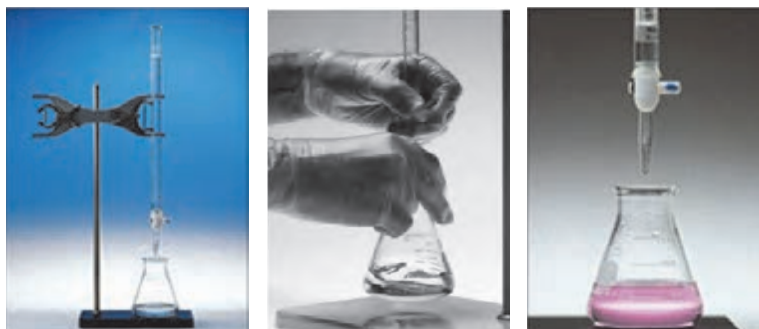
اگزالیک اسید  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ۰/۱ مولار استاندارد، سدیم هیدروکسید با غلظت تقریبی ۰/۱ مولار، آب مقطر، شناساگر فنول‌فتالین

### وسایل لازم:

بورت ۵۰ میلی‌لیتری، پی‌پت ۱۰ میلی‌لیتری، ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری، بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری، پی‌پت پرکن، قیف، کاغذ سفید، گیره و پایه



- اگزالیک اسید ۰/۱ مولار ممکن است باعث بروز علائم حساسیت در چشم و پوست شود.
- سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار در تماس با پوست و چشم به شدت خورنده است.
- شناساگر فنول فتالین به علت استفاده از حلال اتانول به شدت آتش‌زا و تحریک‌کننده چشم است.



شکل ۱۱- طرح ساده‌ای از آزمایش سنجش حجمی



- الف) چرا در هنگام آزمایش از وسایل حفاظت شخصی باید استفاده کرد؟  
 ب) در صورت تماس پوستی با مواد شیمیایی، چه اقداماتی باید انجام شود؟

### روش کار:

- ۱ پی‌پت ۱۰ میلی‌لیتری را با مقدار کمی اگزالیک اسید استاندارد شست‌وشو دهید و سپس ۱۰ میلی‌لیتر از همان محلول را با پی‌پت به ارلن انتقال دهید.
- ۲ دو قطره شناساگر فنول فتالین به محلول اگزالیک اسید اضافه کنید.
- ۳ بورت ۵۰ میلی‌لیتری را با محلول سدیم هیدروکسید شست‌وشو دهید. با همان محلول آن را پر کنید با گیره به پایه متصل نموده و هواگیری کنید.
- ۴ کاغذ سفید را زیر ارلن قرار دهید و سنجش حجمی محلول اگزالیک اسید را با محلول سدیم هیدروکسید تارسیدن به رنگ صورتی روشن (شکل ۱۰) ادامه دهید و حجم سدیم هیدروکسید مصرفی را یادداشت کنید.
- ۵ سنجش حجمی را دو بار دیگر تکرار کنید.
- ۶ غلظت سدیم هیدروکسید را تعیین کنید.

### فعالیت عملی ۱۰



#### سنجش حجمی اسید و باز قوی

**مواد لازم:** سدیم هیدروکسید با غلظت مجهول، هیدروکلریک اسید استاندارد شده ۰/۱ مولار، آب مقطر، شناساگر نارنجی متیل

**وسایل لازم:** بورت ۵۰ میلی‌لیتری، پی‌پت حبابدار ۲۵ میلی‌لیتری، ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری، پی‌پت پرکن، قیف، کاغذ سفید، گیره و پایه



- ❑ در هنگام کار از عینک ایمنی استفاده کنید و بعد از هرگونه تماس و یا پاشیدگی مواد شیمیایی به پوست، بی‌درنگ محل را با آب فراوان شست‌وشو دهید.
- ❑ هنگام کار از دستکش استفاده کنید.
- ❑ هیدروکلریک اسید ۱/۰ مولار تحریک‌کننده چشم و پوست است.

## روش کار:

- ۱ پی‌پت ۲۵ میلی‌لیتری را با محلول سدیم‌هیدروکسید مجهول شست‌وشو دهید و سپس ۲۵ میلی‌لیتر از همان محلول را با پی‌پت به ارلن انتقال دهید.
- ۲ دو یا سه قطره شناساگر نارنجی‌متیل را به محلول سدیم‌هیدروکسید در ارلن تا ایجاد رنگ زرد کم‌رنگ ادامه دهید.
- ۳ بورت ۵۰ میلی‌لیتری را با محلول هیدروکلریک اسید استاندارد شده ۰/۱ مولار شست‌وشو دهید. سپس با همان محلول بورت را پر کنید و با گیره به پایه ببندید و هواگیری کنید.
- ۴ کاغذ سفید را زیر ارلن قرار دهید و سنجش حجمی محلول سدیم‌هیدروکسید مجهول را با محلول هیدروکلریک اسید در حال هم‌زدن پیوسته ادامه دهید تا با افزایش یک قطره اسید رنگ محلول قرمز شود.
- ۵ حجم هیدروکلریک اسید مصرفی را یادداشت کنید و سنجش حجمی را دو بار دیگر تکرار کنید.
- ۶ غلظت سدیم‌هیدروکسید را با استفاده از معادله زیر تعیین کنید.

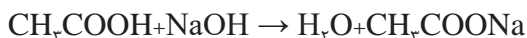
$$N_{\text{اسید}} \times V_{\text{اسید}} = N_{\text{باز}} \times V_{\text{باز}}$$

## فعالیت عملی ۱۱



### تعیین مقدار استیک اسید در سرکه سفید

سرکه، محلول رقیقی از استیک اسید است. هدف این آزمایش تعیین مقدار استیک اسید در سرکه سفید توسط سنجش حجمی با سدیم‌هیدروکسید استاندارد شده فعالیت عملی (۸)، است. واکنش سنجش حجمی به صورت زیر است:



**مواد لازم:** سدیم‌هیدروکسید استاندارد شده با غلظت مشخص (۰/۱ مولار)، سرکه سفید، آب مقطر، شناساگر فنول‌فتالین

**وسایل لازم:** بورت ۵۰ میلی‌لیتری، پی‌پت حبابدار ۲۵ میلی‌لیتری، ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری، بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری، پی‌پت پرکن، قیف، کاغذ سفید، گیره و پایه



نکته‌های ایمنی مربوط به این آزمایش چیست؟

## روش کار:

- ۱ پی پت ۲۵ میلی لیتری را با محلول سرکه شست و شو دهید.
- ۲ برای رقیق سازی سرکه، با استفاده از پی پت، ۲۵ میلی لیتر از سرکه سفید را به بالن حجم سنجی ۲۵۰ میلی لیتری انتقال دهید و با آب مقطر تا خط نشانه به حجم برسانید.
- ۳ چندین بار بالن را سروته کنید تا مطمئن شوید محتویات آن کاملاً مخلوط شده است.
- ۴ پی پت ۲۵ میلی لیتری را با محلول سرکه رقیق شده شست و شو دهید و سپس ۲۵ میلی لیتر از همان محلول را با پی پت به ارلن انتقال دهید.
- ۵ دو یا سه قطره شناساگر فنول فتالئین را به محلول سرکه سفید رقیق شده در ارلن اضافه کنید.
- ۶ بورت ۵۰ میلی لیتری را با محلول سدیم هیدروکسید استاندارد شده شست و شو دهید و با همان محلول آن را پر کنید و با گیره به پایه ببندید و هواگیری نمایید.
- ۷ کاغذ سفید را زیر ارلن قرار دهید و سنجش حجمی محلول سرکه سفید را با سدیم هیدروکسید استاندارد در حال هم زدن، ادامه دهید تا به نقطه پایانی برسد. در نقطه پایانی با افزایش یک قطره سدیم هیدروکسید رنگ محلول صورتی روشن می شود (مطابق شکل ۱۲).
- ۸ حجم سدیم هیدروکسید مصرفی را یادداشت کنید و سنجش حجمی را دو بار دیگر تکرار کنید.
- ۹ غلظت استیک اسید را در سرکه برای محلول رقیق شده و سرکه اولیه به دست آورید.
- ۱۰ درصد استیک اسید را در سرکه اولیه تعیین کنید.



(۳)

(۲)

(۱)

شکل ۱۲- شیوه سنجش حجمی محلول سرکه با سدیم هیدروکسید استاندارد



## فعالیت عملی ۱۲



### سنجش حجمی pH سنجی اسید قوی با باز قوی

**مواد لازم:** محلول هیدروکلریک اسید مجهول، سدیم هیدروکسید با غلظت استاندارد ۰/۱ مولار، آب مقطر  
**وسایل لازم:** دستگاه pH سنج، الکترود شیشه‌ای، مغناطیس (مگنت)، همزن مغناطیسی، بشر ۲۵۰ میلی لیتری، بورت ۵۰ میلی لیتری، استوانه مدرج ۵۰ میلی لیتری

#### روش کار:

- ۱ استوانه مدرج ۵۰ میلی لیتری را با مقدار کمی هیدروکلریک اسید مجهول شست و شو دهید و سپس ۵۰ میلی لیتر از همان محلول را به بشر انتقال دهید.
- ۲ مغناطیس همزن را وارد بشر کنید و آن را روی دستگاه همزن مغناطیسی قرار دهید (مطابق شکل ۱۳).
- ۳ الکترود دستگاه pH سنج را پس از تنظیم با دو محلول بافر مناسب، با آب مقطر بشویید و وارد بشر نمایید. به طوری که با بدنه و کف بشر و مغناطیس همزن برخورد نداشته باشد.
- ۴ بورت ۵۰ میلی لیتری را با محلول سدیم هیدروکسید استاندارد شست و شو دهید و با همان محلول آن را پر کنید با گیره به پایه ببندید و هواگیری کنید.
- ۵ با افزایش تدریجی سود ۰/۱ مولار از بورت، pH محلول را پس از هر افزایش یادداشت کنید. ابتدا مقادیر ۰/۵ یا ۱/۰ میلی لیتر اضافه شود و در نزدیکی نقطه هم‌ارزی (هنگامی که تغییرات pH زیاد می‌شود) ۰/۲ میلی لیتر اضافه شود. پس از نقطه هم‌ارزی افزایش سود، به صورت ۰/۵ یا ۱/۰ میلی لیتر ادامه یابد.
- ۶ سنجش حجمی را تا دو برابر حجم مربوط به نقطه هم‌ارزی ادامه دهید.
- ۷ منحنی تغییرات pH را برحسب حجم سود مصرفی، روی کاغذ میلی متری رسم کنید.
- ۸ با تعیین نقطه عطف منحنی<sup>۱</sup>، غلظت هیدروکلریک اسید مجهول را به دست آورید.



شکل ۱۳- یک نمونه همزن مغناطیسی

pH سنج‌ها به طور مستقیم برحسب واحد pH درجه بندی می‌شود. بنابراین در سنجش حجمی اسید-باز می‌توان تغییرات pH را برحسب حجم تیتروکننده به دست آورد و با رسم منحنی سنجش حجمی pH سنجی، نقطه پایانی را تعیین کرد و غلظت محلول مجهول را به دست آورد.

نکته

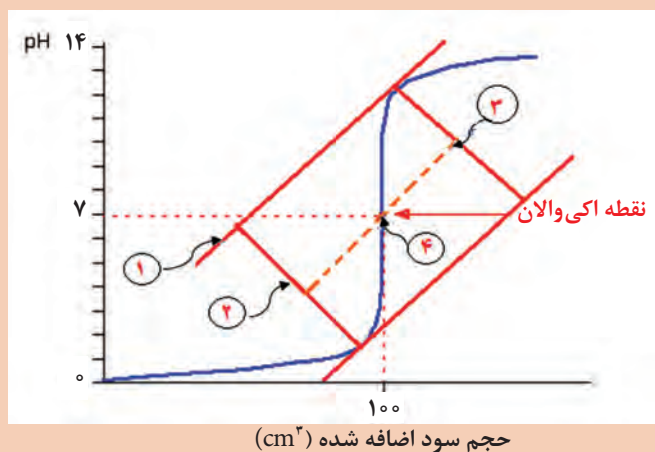


۱- جایی که منحنی تغییر علامت می‌دهد.



### تعیین نقطه هم‌ارزی از روی منحنی تیتراسیون

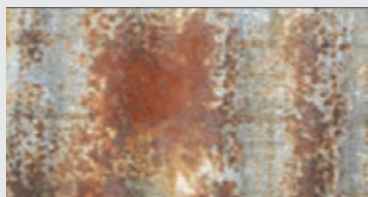
در حالت کلی منحنی‌های تیتراسیون S شکل هستند (شکل زیر) و یا رسم تغییرات pH بر حسب حجم واکنشگر نمودار به دست می‌آید. نقطه هم‌ارزی در منحنی‌هایی که شیب تندی دارند از وسط بخش شیب‌دار منحنی (نقطه عطف نمودار) تعیین می‌گردد. در این روش دو خط موازی مماس بر قسمت‌های خمیده منحنی S شکل رسم نموده و در محل تماس، دو خط عمود بر آنها رسم می‌شود. وسط دو خط عمود را به هم وصل کرده نقطه تلاقی آن با منحنی نقطه پایانی است.



روش نصف کردن در تعیین نقطه هم‌ارزی

### اکسایش - کاهش

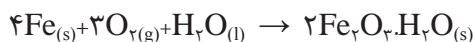
تغییر رنگ ظروف نقره‌ای و سبز شدن سطوح مس به چه علت است؟

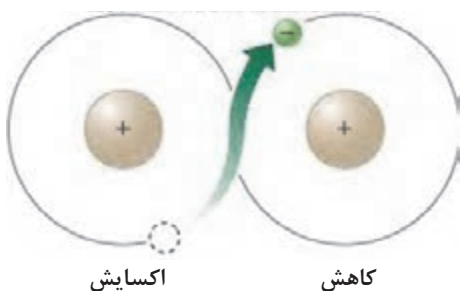


بحث‌گروهی  
۹

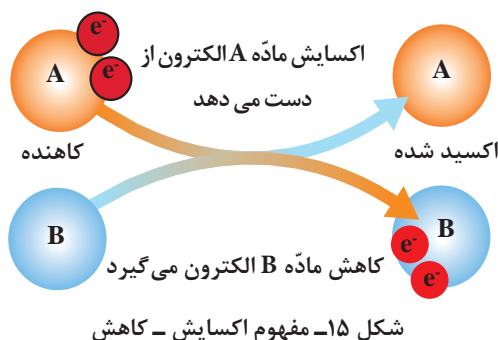


زنگ‌زدن آهن در هوای مرطوب نتیجه واکنش شیمیایی آهن با رطوبت موجود در هوا است که طبق واکنش زیر انجام می‌شود:





شکل ۱۴- انتقال الکترون در واکنش‌های اکسایش - کاهش

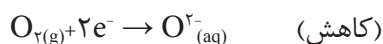
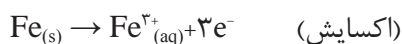
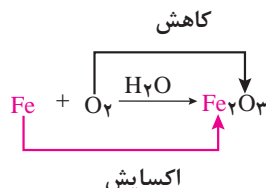


شکل ۱۵- مفهوم اکسایش - کاهش

واژه اکسایش برای واکنش‌هایی به کار می‌رود که اکسیژن با ماده دیگر ترکیب شود. هر واکنش شیمیایی که با انتقال الکترون بین دو یا چند اتم یا مولکول همراه باشد، به نام واکنش‌های اکسایش-کاهش<sup>۱</sup> (ردوکس)<sup>۲</sup> تعریف می‌شود. به این ترتیب هر واکنش اکسایش-کاهش شامل دو رویداد همزمان از دست دادن الکترون (اکسایش) و گرفتن الکترون (کاهش) است (شکل ۱۴).

در یک واکنش شیمیایی، عامل اکسنده ماده‌ای است که می‌تواند باعث از دست دادن الکترون در ماده دیگر شود. بنابراین، عامل اکسنده، الکترون به دست می‌آورد و کاهش می‌یابد، برعکس کاهنده ماده‌ای است که می‌تواند به ماده دیگر الکترون بدهد، بنابراین، کاهنده، الکترون از دست می‌دهد و اکسید می‌شود (شکل ۱۵). شیمی‌دان‌ها معمولاً از اصطلاحات اکسنده و کاهنده استفاده می‌کنند تا واکنش دهنده‌ها را در واکنش‌های اکسایش-کاهش توصیف کنند.

هر واکنش اکسایش - کاهش از دو نیم‌واکنش تشکیل شده است. در یکی از آنها با انجام اکسایش، الکترون تولید می‌شود (نیم‌واکنش آندی) و در دیگری الکترون مصرف می‌شود (نیم‌واکنش کاتدی).



بنابراین نیم‌واکنشی که در آن ماده واکنش دهنده یک یا چند الکترون از دست می‌دهد و به همان میزان بار الکتریکی مثبت (+) به دست می‌آورد، به عنوان نیم‌واکنش اکسایش (آندی) و نیم‌واکنشی که در آن ماده واکنش دهنده یک یا چند الکترون به دست می‌آورد و به همان میزان بار الکتریکی منفی (-) کسب می‌کند، نیم‌واکنش کاهش (کاتدی) شناخته می‌شود.

همزمان با تولید الکترون‌ها در نیم‌واکنش اکسایش، در نیم‌واکنش کاهش الکترون‌ها به مصرف می‌رسند و یا به

۱- Reduction-Oxidation

۲- Redox



عبارت دیگر نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش هم‌زمان انجام می‌گیرند، این نیم‌واکنش‌ها مکمل یکدیگرند و انجام هر یک به تنهایی امکان‌پذیر نیست. از طرف دیگر، انتخاب اکسایشی یا کاهشی بودن این نیم‌واکنش‌ها اختیاری نیست. تمایل نسبی عناصر یا یون‌های شرکت‌کننده در واکنش به از دست دادن یا گرفتن الکترون، معیار این انتخاب است. عنصر یا یونی که تمایل بیشتری به از دست دادن الکترون داشته باشد، نیم‌واکنش اکسایش (آندی) و عنصر یا یونی که تمایل به گرفتن الکترون داشته باشد، نیم‌واکنش کاهش (کاتدی) را تشکیل می‌دهد.

الف) الکتریسیته لازم برای به حرکت درآوردن خودروها چگونه از باتری تأمین می‌شود؟

ب) چرا آهن در محیط مرطوب زنگ می‌زند؟

پ) قدرت رنگ‌بری سدیم‌هیپوکلریت، ماده فعال در سفیدکننده‌های خانگی، به چه علت است؟

### عدد اکسایش:

برای نشان دادن درجه اکسایش عناصر در ترکیبات مختلف، از عدد اکسایش استفاده می‌شود. برحسب قرارداد، عدد اکسایش عبارت است از تعداد بارهای مثبت یا منفی که هر عنصر در ترکیب با یون مورد نظر، با خود حمل می‌کند. بنابراین عدد اکسایش کلیه عناصر در حالت عنصری، یعنی پیش از اینکه الکترونی از دست بدهند یا بگیرند صفر است؛ درحالی‌که در ترکیبات مخالف صفر است. برای مثال، عدد اکسایش آهن و اکسیژن در حالت عنصری ( $\text{Fe}$  و  $\text{O}_2$ ) برابر صفر، و در ترکیب  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  برای آهن و اکسیژن به ترتیب  $+3$  و  $-2$  است.

### قوانین تعیین عدد اکسایش به صورت زیر است:

۱) عدد اکسایش هر عنصر در حالت آزاد صفر است. عدد اکسایش کلر در  $\text{Cl}_2$ ، هیدروژن در  $\text{H}_2$  و سدیم در  $\text{Na}$  صفر است.

۲) برای یون‌های تک‌اتمی، بار یون برابر عدد اکسایش است.  $\text{Li}^+$  عدد اکسایش  $+1$  و  $\text{Ba}^{2+}$  عدد اکسایش  $+2$  و  $\text{I}^-$  عدد اکسایش  $-1$  است. همه فلزات قلیایی در ترکیبات خود  $+1$ ، قلیایی خاکی  $+2$  و آلومینیم در تمام ترکیباتش  $+3$  است.

۳) عدد اکسایش اکسیژن در بیشتر ترکیب‌ها  $-2$  است مانند ( $\text{MgO}$ ). در هیدروژن پراکسید ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) و یون پراکسید ( $\text{O}_2^{2-}$ )،  $-1$  است.

۴) عدد اکسایش هیدروژن  $+1$  است، به جز مواقعی که با فلزات پیوند برقرار می‌کند ( $\text{LiH}$ ,  $\text{CaH}_2$ ,  $\text{NaH}$ ). در این حالت عدد اکسایش برابر  $-1$  است.

۵) فلوئورید در تمام ترکیب‌های خود عدد اکسایش  $-1$  دارد. سایر هالوژن‌ها ( $\text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ) در ترکیب‌ها دارای عدد اکسایش منفی هستند، ولی در ترکیب با اکسیژن دارای عدد اکسایش مثبت می‌شوند.

۶) در یک مولکول خنثی مجموع عدد اکسایش تمام اتم‌ها برابر صفر است. در یون‌های چنداتمی مانند  $\text{NH}_4^+$  مجموع عدد اکسایش تمام عناصر باید برابر بار یون شود. در این حالت عدد اکسایش هیدروژن  $+1$  است و عدد اکسایش نیتروژن به روش زیر به دست می‌آید:

$$x + 4(+1) = +1 \rightarrow x = -3$$

پس عدد اکسایش نیتروژن  $-3$  به دست می‌آید.

### مثال ۱۳:

با استفاده از قوانین نام‌برده، عدد اکسایش تمام عناصرها را در ترکیب‌های زیر بیابید.



### پاسخ:

الف) اکسیژن عدد اکسایش ۲- دارد و لیتیم ۱+ که در مجموع در مولکول خنثی خواهیم داشت:

$$(2(+1)) + (-2) = 0$$

ب) عدد اکسایش هیدروژن ۱+ و اکسیژن ۲- است. با توجه به خنثی بودن مولکول نیتریک اسید  $\text{HNO}_3$  داریم:

$$+1 + x + 3(-2) = 0 \rightarrow x = +5$$

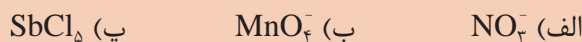
ج) عدد اکسایش اکسیژن ۲- است و برای یون چنداتمی  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  داریم:

$$(x \times 2) + (7(-2)) = -2 \rightarrow 2x = 14 - 2 \rightarrow x = +6$$

تمرین ۹

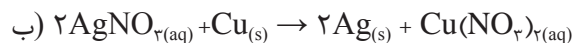
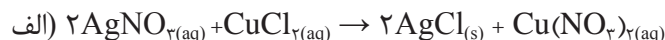


عدد اکسایش تمام عناصرها را در ترکیب‌های زیر به‌دست آورید.

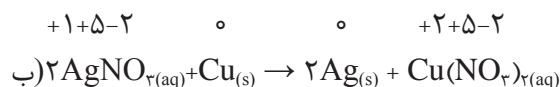
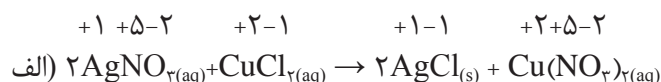


### مثال ۱۴:

عدد اکسایش هر عنصر را در واکنش‌های زیر به‌دست آورید. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشخص کنید کدام واکنش اکسایش، و کدام کاهش است؟ چرا؟



### پاسخ:



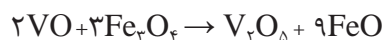
واکنش ب یک واکنش اکسایش - کاهش است، زیرا عدد اکسایش نقره از ۱+ به صفر و مس از صفر به ۲+ تغییر یافته است. نقره الکترون گرفته است پس کاهش یافته است و مس الکترون از دست داده است، یعنی اکسید شده است. واکنش الف بدون تغییر اعداد اکسایش است؛ بنابراین واکنش اکسایش - کاهش نیست.

در نیم‌واکنش اکسایش، عدد اکسایش افزایش می‌یابد، و در نیم‌واکنش کاهش، عدد اکسایش کاهش می‌یابد.

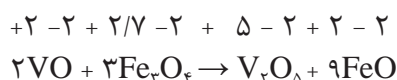


### مثال ۱۵:

در واکنش زیر کاهنده کدام است؟



پاسخ:



عدد اکسایش وانادیم از ۲ به ۵ افزایش یافته است یعنی اکسید شده و خود عامل کاهنده است.

## موازنه واکنش‌های اکسایش – کاهش

■ موازنه از طریق نیم‌واکنش‌ها: برای موازنه واکنش‌های اکسایش – کاهش، مراحل زیر به ترتیب انجام شود:

– مشخص کردن اجزای اکسیدشده و کاهش یافته

– نوشتن نیم‌واکنش‌های اکسایش – کاهش

– موازنه اتم‌ها در هر نیم‌واکنش به جز H و O، موازنه اتم O با افزایش  $H_2O$ ، موازنه اتم H با افزایش  $H^+$

– موازنه بار با افزایش الکترون به سمت راست نیم‌واکنش اکسایش و سمت چپ نیم‌واکنش کاهش

– یکسان کردن تعداد الکترون‌ها در دو نیم‌واکنش

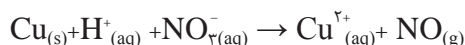
– ترکیب دو نیم‌واکنش

– ساده کردن واکنش

– نشان دادن حالت ترکیب‌ها و معادله کلی واکنش

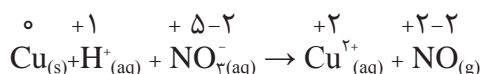
### مثال ۱۶:

واکنش بین محلول نیتریک اسید رقیق و فلز مس را موازنه کنید.

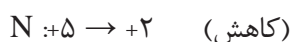


پاسخ:

مرحله اول: تعیین عدد اکسایش و کاهش عنصرها



تغییر عدد اکسایش:



### مرحله دوم: نوشتن نیم‌واکنش‌ها

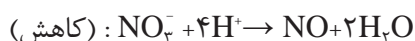
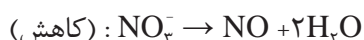


### مرحله سوم:

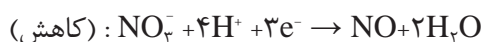
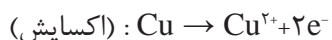
– موازنه اتم‌ها در هر نیم‌واکنش به جز H و O

– موازنه اتم O با افزایش  $\text{H}_2\text{O}$

– موازنه اتم H با افزایش  $\text{H}^+$



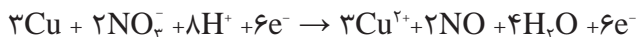
مرحله چهارم: موازنه بار با افزایش الکترون به سمت راست نیم‌واکنش اکسایش و سمت چپ واکنش کاهش



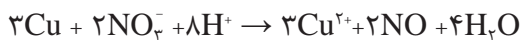
مرحله پنجم: یکسان کردن تعداد الکترون‌ها در دو نیم‌واکنش



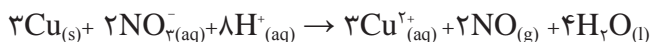
مرحله ششم: ترکیب دو نیم‌واکنش



مرحله هفتم: ساده کردن واکنش



مرحله هشتم: نشان دادن حالت ترکیب‌ها و معادله کلی واکنش

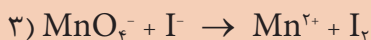
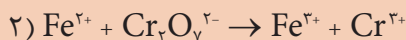
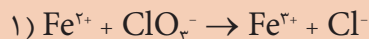


برخی یون‌ها در طرفین واکنش یکسانند و در واکنش شیمیایی تغییر ماهیت نداده‌اند، این گونه یون‌ها را یون‌های ناظر یا تماشاگر گویند. مثل یون سولفات در واکنش زیر:

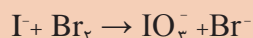




الف) واکنش‌های زیر را موازنه کنید:



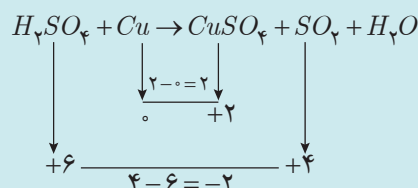
ب) واکنش زیر را در محیط اسیدی موازنه کنید:



**موازنه از طریق تغییر عدد اکسایش:** از آنجا که تفکیک واکنش به نیم‌واکنش‌های اکسایش - کاهش در اغلب موارد کار ساده‌ای نیست، به منظور بررسی اکسایش - کاهش گونه‌های یک واکنش، با روش ساده‌تری آشنا می‌شوید.

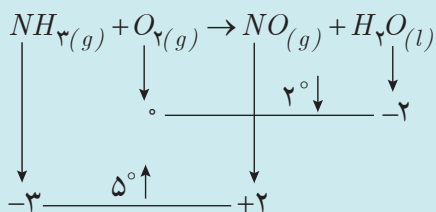
همان‌طور که می‌دانید: «در یک واکنش اگر عدد اکسایش یک عنصر افزایش یابد، آن عنصر اکسید شده است و اگر عدد اکسایش عنصری کاهش یابد، آن عنصر کاهش یافته است».

مثلاً در واکنش زیر مس با افزایش عدد اکسایش اکسید شده است و گوگرد کاهش یافته است.



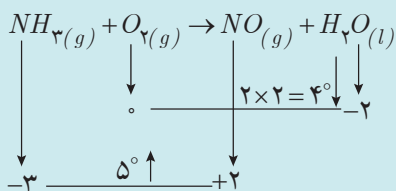
عنصرهایی مانند اکسیژن و هیدروژن که در واکنش‌های اکسایش - کاهش شرکت نمی‌کنند، اجزای ناظر نامیده می‌شوند.

برای موازنه واکنش‌های اکسایش - کاهش به روش تغییر عدد اکسایش، روش‌های مختلفی وجود دارد. اساس همه آنها پذیرش این واقعیت است که تعداد الکترون‌های آزاد شده توسط گونه اکسیدشونده باید برابر تعداد الکترون‌هایی باشد که گونه کاهش یافته دریافت می‌کند.

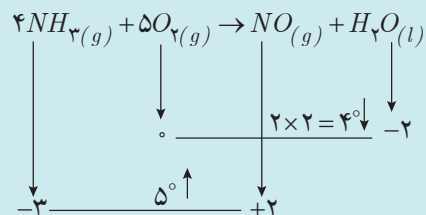


مراحل موازنه واکنش‌های اکسایش - کاهش به روش تغییر عدد اکسایش:

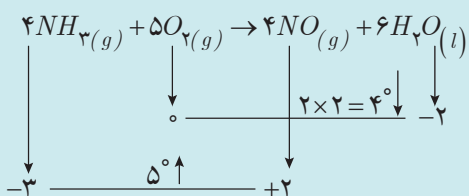
۱ در ابتدا عنصرهای اکسید شده و کاهش یافته در واکنش شناسایی می‌شود و تغییر عدد اکسایش برای هر یک محاسبه می‌شود.



۲ چنانچه در یک واکنش یک عنصر به طور کامل اکسید و عنصر دیگر به طور کامل کاهش یابد، تغییر عدد اکسایش هر عنصر در تعداد اتم‌های آن عنصر در طرف اول ضرب می‌شود.



۳ تغییر درجه عنصر اکسایش یافته، ضریب عنصر کاهش یافته و تغییر درجه عنصر کاهش یافته ضریب عنصر اکسایش یافته در طرف اول قرار می‌گیرد. به این عمل جابه‌جایی ضریب‌ها گویند.



۴ موازنه سایر عناصرها به ترتیب زیر انجام می‌گیرد:

(الف) عنصرهای فلزی

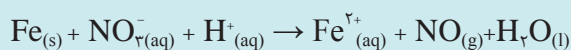
(ب) عنصرهای نافلزی

(پ) بار الکتریکی

(ت) هیدروژن

(ث) اکسیژن

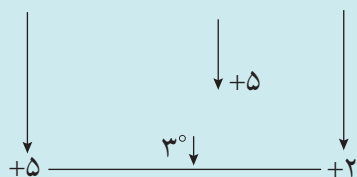
واکنش زیر را به روش تغییر عدد اکسایش موازنه کنید.



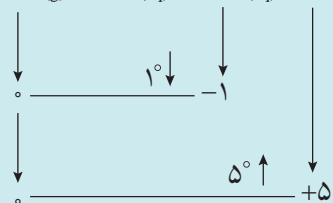




۱ در برخی واکنش‌ها، قسمتی از یک عنصر تغییر درجه می‌دهد، ولی بخش دیگر از همان عنصر در طرف دوم بدون تغییر درجه باقی می‌ماند:



۲ واکنش‌هایی که در آنها بخشی از یک عنصر کاهش و در مقابل بخش دیگر اکسید می‌شود:

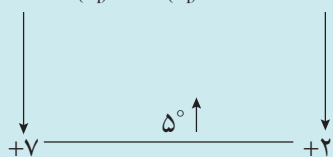
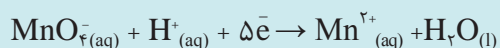
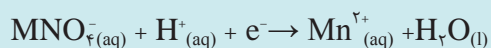


در موازنه هر دو نوع واکنش، تعویض ضرایب در **طرف دوم** انجام می‌شود و بقیه مراحل مشابه واکنش‌های قبلی است.

واکنش‌های مربوط به نکته ۱ و ۲ را با تغییر عدد اکسایش موازنه کنید.



اگر یک معادله، تنها شامل فرایند اکسایش و یا فرایند کاهش باشد، به آن واکنش‌ها، نیم‌واکنش اکسایش-کاهش گویند. برای موازنه این نیم‌واکنش‌ها فقط کافی است تغییر درجه اکسایش یا کاهش ضریب الکترون قرار گیرد. برای مثال:



## سنجش حجمی اکسایش - کاهش

سنجش حجمی اکسایش - کاهش، برهم‌کنش بین ماده مورد سنجش و محلول استاندارد در یک واکنش اکسایش - کاهش است. در این سنجش حجمی نیز مشابه سنجش حجمی اسید - باز به شناساگری نیاز است که تغییر رنگ واضح ایجاد کند. در نزدیکی نقطه هم‌ارزی تغییرات زیادی که در رنگ شناساگر ایجاد می‌شود، نشان‌دهنده تبدیل از یک شکل (اکسایش یا کاهش) به شکل دیگر (کاهش یا اکسایش) است. برخی روش‌های سنجش حجمی اکسایش - کاهش به‌طور گسترده برای تعیین فلزاتی که دارای چندین عدد اکسایش هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها شامل:

- ۱ تبدیل یون‌های فلزی به یک حالت اکسایش بالاتر با استفاده از عامل اکسنده مانند سدیم پراکسید
- ۲ تبدیل یون‌های فلزی ماده مورد سنجش به حالت اکسایش پایین با استفاده از یک عامل کاهنده مانند گوگرد دی‌وکسید.

واکنش یون پرمنگنات را در محیط اسیدی بنویسید و موازنه کنید.

تمرین ۱۰



## فعالیت عملی ۱۳

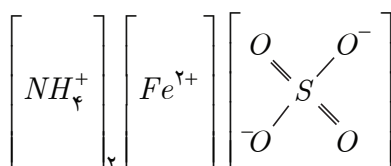


### سنجش حجمی اکسایش - کاهش

**الف) تعیین غلظت محلول پتاسیم پرمنگنات توسط سدیم‌آگزالات:** اساس این روش بر این است که بسیاری از مواد کاهنده در محیط‌های اسیدی و قلیایی می‌توانند با پتاسیم پرمنگنات ترکیب شوند و یون پرمنگنات را به منگنز با اعداد اکسایش ۲، ۳، ۴+ و یا ۶+ تبدیل کنند. پایان واکنش بدون به‌کار بردن هیچ‌گونه شناساگری قابل تشخیص است؛ زیرا رنگ تند و بنفش پرمنگنات در محلول‌های بی‌رنگ به‌خوبی قابل مشاهده است.

**مواد لازم:** پتاسیم پرمنگنات خشک با درصد خلوص بالا، سدیم‌آگزالات خالص، هیدروکلریک اسید غلیظ، محلول سولفوریک اسید ۲ نرمال و ۱ مولار، آمونیوم آهن (II) سولفات ( $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) نمک مور)، آب مقطر، پشم شیشه. ساختار فیزیکی و شیمیایی نمک مور در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

**وسایل لازم:** ترازو با دقت  $\pm 0.01$ ، خشکانه، آون، ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری، بالن حجم‌سنجی ۱۰۰ میلی‌لیتری، بورت ۵۰ میلی‌لیتری، پی‌پت ۱۰ میلی‌لیتری، بشر ۲۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتری، قیف و میله شیشه‌ای، گیره و پایه، شیشه ساعت، چراغ گاز، سه‌پایه و توری



شکل ۱۶- آمونیوم آهن (II) سولفات (نمک مور)

## مراحل انجام آزمایش

**۱- تهیه محلول پتاسیم پرمنگنات با غلظت تقریبی ۰/۱ نرمال:** در حدود ۱/۶ گرم پتاسیم پرمنگنات خشک خالص را با ترازو اندازه گیری کنید و در یک بشر یک لیتری بریزید و به آن ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر در حال هم زدن بیفزایید. دهانه بشر را با یک شیشه ساعت بپوشانید و آن را به مدت ۳۰ دقیقه بجوشانید. بشر را با در بسته برای مدت یک روز در محیط تاریکی قرار دهید.

پس از این مدت یک قیف را با پشم شیشه تمیز پر کنید و با نوک میله شیشه ای، پشم شیشه را فشار دهید تا در مرکز قیف توده فشرده ای تشکیل شود (توجه داشته باشید فشردن پشم شیشه را با دست انجام ندهید چون ذرات ریز پشم شیشه خرد شده به دست آسیب می زند). قیف را در سه مرحله با حلال های مختلف شست و شو دهید. یک بار با کمک مخلوط هیدروکلریک اسید: آب ۵:۲۷:۷ (۲ حجم هیدروکلریک اسید ۵ حجم آب) و ۵ بار با آب مقطر نیم گرم و ۵ بار با آب مقطر سرد شست و شو دهید سپس در یک شیشه قهوه ای صاف کنید، در آن را کاملاً ببندید و در محل تاریکی نگهداری کنید.

**۲- تهیه محلول سدیم اگزالات ۰/۱ نرمال به عنوان استاندارد اولیه:** مقدار یک گرم سدیم اگزالات خالص را به مدت دو ساعت در دمای  $110 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  خشک کنید و در خشکانه سرد کنید. ۰/۶۷ گرم سدیم اگزالات خشک را با ترازوی تجزیه ای با دقت  $0.001 \pm$  روی یک شیشه ساعت اندازه گیری کنید و به یک بالن حجم سنجی ۱۰۰ میلی لیتری منتقل کنید. ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به بالن حجم سنجی اضافه کنید و آن را تا حل شدن سدیم اگزالات هم بزنید. در حال هم زدن، حجم محلول را با آب مقطر تا خط نشانه به حجم برسانید.

## ۳- استاندارد کردن محلول پتاسیم پرمنگنات با محلول سدیم اگزالات ۰/۱ نرمال

■ بورت را با آب مقطر بشویید، یک بار دیگر با محلول پتاسیم پرمنگنات تهیه شده شست و شو دهید و با همان محلول پر کرده، هواگیری کنید.

■ ۲۵ میلی لیتر از محلول استاندارد سدیم اگزالات را به یک ارلن ۲۵۰ میلی لیتری منتقل کنید و ۱۰ میلی لیتر محلول سولفوریک اسید ۲ نرمال به آن اضافه کنید. محلول را تا دمای  $80-90^{\circ}\text{C}$  برای افزایش سرعت واکنش گرم کنید.

نکته

اجازه ندهید محلول بجوشد.

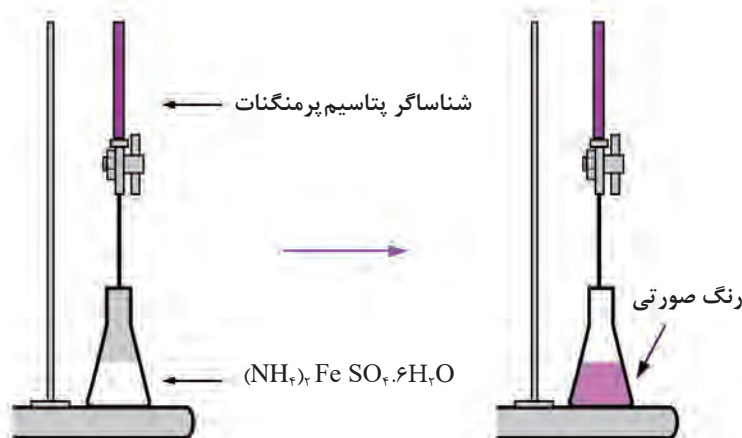


- ضمن هم زدن ارلن، محلول پتاسیم پرمنگنات را به تدریج اضافه کنید تا رنگ صورتی کم رنگ ظاهر گردد و این رنگ مدت ۳۰ ثانیه ثابت بماند. حجم پتاسیم پرمنگنات مصرفی را یادداشت کنید. توجه داشته باشید اگر دمای محلول سدیم اگزالات از  $60^{\circ}\text{C}$  کمتر شود، محلول باید گرم شود.
- آزمایش را دو بار دیگر تکرار کنید و میانگین حجم مصرفی پتاسیم پرمنگنات را به دست آورید.
- با استفاده از رابطه  $N_1 V_1 = N_2 V_2$  نرمالیت محلول پتاسیم، پرمنگنات را به دست آورید.
- معادله کلی واکنش را بنویسید و موازنه کنید.

## ب) اندازه‌گیری غلظت آهن موجود در نمونه روش کار:



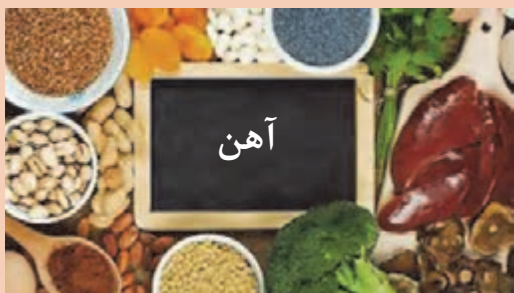
۱/۵-۱/۰ گرم آمونیوم آهن (II) سولفات  $(\text{NH}_4)_2\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (نمک مور)، را به ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل کنید. ۴۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید یک مولار به آن اضافه کنید تا حل شود. محلول حاصل را مطابق شکل ۱۷ با پتاسیم پرمنگنات استاندارد شده سنجش کنید. سنجش حجمی را سه بار تکرار کنید و غلظت آهن (II) را در نمونه بیابید.



شکل ۱۷- اندازه‌گیری آهن توسط پتاسیم پرمنگنات

معادله کلی واکنش سنجش حجمی در فعالیت ۱۳ - ب را بنویسید، موازنه کنید.

پرسش ۹



الف) چرا نباید محلول سدیم اگزالات اسیدی بجوشد؟  
ب) در ارتباط با میزان آهن موجود در مواد غذایی مختلف گزارشی تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.  
پ) با مراجعه به تارنمای سازمان ملی استاندارد ایران، و تهیه استاندارد شماره ۵۵۰۹ (روش اندازه‌گیری مقدار آهن کل در غذاهای رژیمی)، کاربردهای عملی مربوط به این پودمان را مشخص کنید.

تحقیق کنید  
۵



## ارزشیابی شایستگی تهیه محلول‌های استاندارد

<p><b>شرح کار:</b></p> <p>چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار سپرده شده را با دقت انجام دهد.</p> <p>هنگام کار مراقب باشد که وسایل صدمه نبیند.</p> <p>پس از انجام کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</p>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <p>تهیه محلول‌های نرمال، سنجش‌های حجمی «اسید و باز» و «اکسایش و کاهش» را طبق دستور کار انجام دهد.</p>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>■ رعایت مسائل ایمنی حین کار</p> <p>■ انجام کار طبق دستورکار</p>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>شرایط مکان: آزمایشگاه</p> <p>شرایط دستگاه: تمیز و آماده برای کار</p> <p>زمان: یک جلسه آموزشی</p> <p>ابزار و تجهیزات: لوازم آزمایشگاهی شیشه‌ای، انواع ترازو، pH سنج، گرم‌کن برقی</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تهیه محلول‌های نرمال	۱	
۲	سنجش‌های حجمی اسید و باز	۲	
۳	سنجش‌های حجمی اکسایش و کاهش	۲	
۴			
<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی</p> <p>۲- نگرش: صرفه‌جویی</p> <p>۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش</p> <p>۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی</p> <p>۵- مستندسازی: گزارش نویسی</p>			
میانگین نمرات			*
* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.			



## پودمان دوم

# پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی



فرایندهای خوردگی منجر به از بین رفتن تجهیزات و سازه‌های فلزی و اتلاف بسیار زیاد منابع انرژی و مواد می‌شود. بنابراین جلوگیری از خوردگی در صنایع شیمیایی از اهمیت زیادی برخوردار است.

## واحد یادگیری ۲

### پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی

مقدمه:

فرایند خوردگی فلزات واکنشی تدریجی، خودبه‌خودی و پیوسته است و اغلب از سطح فلز آغاز می‌شود و تا درون آن نفوذ می‌کند. کنترل خوردگی از سه جنبه ایمنی، اقتصادی و کاهش مصرف منابع طبیعی حائز اهمیت است. از آنجا که فرایند خوردگی با سرعت کم رخ می‌دهد، می‌توان با آن مقابله کرد. با این وجود هر سال خوردگی خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به سامانه‌های مختلف به‌ویژه سامانه‌های فلزی وارد می‌کند. هنرجویان در این پودمان با مفاهیم خوردگی، خسارت‌های ناشی از خوردگی، انواع محیط‌های خوردنده، آزمایش‌های خوردگی، مبانی الکتروشیمی خوردگی، انواع پیل‌های الکتروشیمیایی، انجام فعالیت‌های عملی مرتبط، خوردگی در صنایع مختلف و روش‌های جلوگیری از خوردگی آشنا می‌شوند.

### استاندارد عملکرد

به‌کارگیری روش‌های حفاظت از خوردگی در صنایع شیمیایی طبق دستور کار

شایستگی‌های غیرفنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی، انجام وظایف و کارهای سپرده شده، پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های عملی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ مفاهیم خوردگی را به کار گیرند.
- ۲ پیل‌های الکتروشیمیایی را به کار گیرند.
- ۳ روش‌های جلوگیری از خوردگی را به کار برند.

## پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی

بحث گروهی

۱



به تصویرهای زیر نگاه کنید. به نظر شما این رویدادها چرا اتفاق می افتند؟



خوردگی<sup>۱</sup>، از بین رفتن یک جسم بر اثر عوامل فیزیکی و شیمیایی محیط اطراف خود تعریف می شود. تمام اجسام، چه فلزی و چه غیرفلزی، در طبیعت دچار تخریب و خوردگی می شوند. ولی خوردگی اصطلاحی است که بیشتر در مورد فلزات به کار برده می شود. سرعت خوردگی اجسام فلزی بسیار بیشتر از غیرفلزاتی نظیر پلاستیک، سنگ، چوب و غیره است، یکی از مثال های ساده خوردگی، زنگ زدن آهن است که لایه ای به رنگ زرد مایل به قهوه ای روی سطح آهن ایجاد می شود. در شکل ۱ مشاهده می شود که یک قطعه در حضور عوامل خورنده موجود در محیط (رطوبت و اکسیژن) خورده می شود، ولی اگر پوشش محافظ در برابر خوردگی روی این قطعه قرار گیرد، فرایند خوردگی به راحتی اتفاق نمی افتد.

قطعه بدون پوشش مناسب



قطعه با پوشش مناسب



شکل ۱- قطعه فلزی حفاظت نشده و قطعه حفاظت شده در برابر عوامل خورنده موجود در هوا (رطوبت و اکسیژن)



جهان پیرامون ما به صورت پیوسته در حال تغییر است. این تغییرات می‌تواند سازنده و یا مخرب باشند. تمامی وسایل و تجهیزاتی که انسان با آنها سروکار دارد، مانند ساختمان‌ها، ماشین‌ها و غیره، هیچ کدام از آسیب‌های ناشی از خوردگی در امان نیستند. سالیانه هزینه و انرژی بسیاری صرف مقابله با آن می‌شود.

## فرایند خوردگی

خوردگی فرایندی خودبه‌خودی است که منجر به تولید گونه‌های پایدارتر از نظر سطح انرژی می‌شود. فلزات در اثر خوردگی با محیط اطراف خود واکنش می‌دهند و به ترکیب‌های پایدار مانند اکسید، سولفید یا کربنات تبدیل می‌شوند. این فرایند تدریجی اما پیوسته است و اغلب از سطح فلز آغاز می‌شود و تا درون آن نفوذ می‌کند. از آنجا که خوردگی با سرعت کم رخ می‌دهد، لذا می‌توان با آن مقابله کرد. با وجود این هر سال خوردگی خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به سامانه‌های مختلف به ویژه سامانه‌های فلزی وارد می‌کند. اغلب فرایندهای خوردگی در محیط‌های مایع یا گاز صورت می‌گیرند و تنها در برخی شرایط خاص، واکنش خوردگی جامد - جامد اتفاق می‌افتد. خوردگی جامد - جامد بین دو فلز در حال لغزش و ارتعاش اتفاق می‌افتد و در اثر سایش حفره و شیار ظاهر می‌شود. این نوع خوردگی در اجزای موتورها، قطعات خودرو و اجزایی که به هم متصل شده‌اند، و یا در تماس هستند، مشاهده می‌شود. خوردگی در هر نوع و در هر شرایط، در مقیاس اتمی و مولکولی رخ می‌دهد که با چشم غیرمسلح (بدون میکروسکوپ) قابل مشاهده نیست. بنابراین بررسی عملی خوردگی در این مقیاس امکان‌پذیر نیست.

### خسارت‌های ناشی از خوردگی

کنترل خوردگی از سه جنبه ایمنی، اقتصادی و کاهش منابع طبیعی حائز اهمیت است. تجهیزات، ماشین‌آلات و قطعات در کارخانه‌ها در اثر خوردگی شکسته می‌شوند که علاوه بر خسارت مالی، خسارت‌های جانی نیز می‌تواند داشته باشد. در زیر به چند مثال خوردگی در صنایع اشاره می‌شود:

- ۱ زنگ زدن فولاد و چدن در تانک‌ها و لوله‌های آب صنایع مختلف و سازه‌های مستقر در آب دریاها مانند سکوها و پایه پل‌ها و اسکله‌ها؛
- ۲ نشت آب از سامانه لوله‌کشی‌های فلزی ساختمان‌های مسکونی در اثر سوراخ‌شدگی و ترک‌های ناشی از پوسیدگی؛
- ۳ خوردگی فلزات مس، آلومینیم و چدن در سامانه‌های خنک‌کننده؛
- ۴ خوردگی آلیاژها در فرایندهای شیمیایی مانند آلیاژهای پایه آهن، مس و نیکل؛
- ۵ خوردگی آگروز خودرو در اثر تماس فلز با گازهای حاصل از احتراق؛
- ۶ خوردگی پره‌های توربین‌های گازی در اثر تماس با گازهای داغ ناشی از احتراق؛
- ۷ تخریب سازه‌های بتنی و سنگی در اثر واکنش با رطوبت و آلودگی‌های اسیدی موجود در هوا از قبیل؛ اکسیدهای گوگرد و نیتروژن.

از نظر ایمنی نیز باید به مسائل خوردگی توجه کرد که آلاینده‌های سمی فلزات سنگین وارد مواد غذایی و دارویی نشود، به خصوص وقتی که واکنشگاه‌های با فشار بالا برای تولید مواد غذایی و دارویی استفاده می‌شوند، جنس داخلی واکنشگاه‌ها باید از موادی انتخاب شوند که دچار خوردگی نشوند. خوردگی سبب کاهش منابع طبیعی می‌شود. برای مثال، فولاد از سنگ آهن به دست می‌آید، لذا برای تولید

فولاد بیشتر، سنگ آهن بیشتری از معدن‌ها استخراج می‌شود و مقدار سنگ آهن به‌شدت در طبیعت کاهش می‌یابد. به‌علاوه هزینه‌های زیادی برای تبدیل آن به فولاد خام و محصولات فولادی صرف می‌شود؛ بنابراین کاهش مقدار خوردگی سبب کاهش زیان اقتصادی و حفاظت از منابع ملی می‌شود. نمونه‌هایی از خوردگی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- الف) خوردگی فایبرگلاس تقویت شده با PVC، ب) خوردگی کشتی توسط آب دریا، پ) خوردگی در هوا، ت) خوردگی در صنعت نفت، ث) پمپ چدن با سرعت بالا که با ورود تصادفی اسید با سرعت بالا در پمپ، آسیب خوردگی را تشدید می‌کند، ج) اکسایش در دمای بالا و ایجاد خوردگی، چ) خوردگی در سامانه‌های آب‌پاش، ح) زهکش آب باران از جنس آلومینیم، به‌طور معمول مقاوم در برابر خوردگی، که با پیچیده شدن سیم مسی در اطراف آن یک پیل گالوانی ایجاد شده است، خ) خوردگی در موتور وسایل نقلیه با ایجاد سوراخ‌های اطراف لوله مخزن بنزین و خطر نشت آن، د) خوردگی در یک زانوی مسی، ذ) خوردگی شدید لوله‌های تحت فشار گاز.

### محیط‌های خورنده

نوع خوردگی، واکنش‌های خوردگی و سرعت خوردگی مواد به‌شدت تحت تأثیر محیط اطراف آنها قرار دارد. آب، خاک، جو و گازهای خشک جزء محیط‌هایی هستند که در مطالعات خوردگی بسیار حائز اهمیت هستند که به هر یک از آنها اشاره خواهد شد.

آب: بسیاری از سازه‌های مهم مانند مخازن آب گرم و سرد، لوله‌ها، اتصالات، شیرها، پمپ‌ها، مبدل‌های گرمایی، دیگ‌های بخار، توربین‌ها، کشتی‌ها، ساختمان‌ها و سازه‌های ساحلی در معرض خوردگی ناشی از آب قرار دارند.

در سامانه‌هایی که آب در مدار بسته در گردش است، مانند پکیج‌های سرمایشی و گرمایشی، خوردگی پس از مدتی متوقف می‌شود. علت را توضیح دهید.

عامل‌هایی که روی خوردگی فلزات در محیط‌های آبی مؤثر هستند عبارت‌اند از:

۱ غلظت اکسیژن حل شده

۲ دما

۳ مقدار pH

۴ نمک‌های معدنی حل شده در آب

۵ مواد آلی

۶ جلبک‌ها و باکتری‌ها

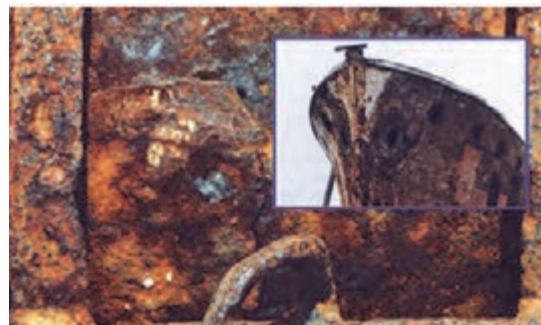
۷ شدت جریان آب (دبی آب)

در زمینه تک‌تک عامل‌های مؤثر بر خوردگی فلزات در محیط‌های آبی آب‌ها تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۱



آب دریا الکترولیتی است که به صورت طبیعی حاوی غلظت بالایی از نمک‌های مختلف به ویژه سدیم کلرید است، به همین دلیل یکی از خورنده‌ترین محیط‌های طبیعی برای فلزات به حساب می‌آید. در شکل ۳ نمونه‌هایی از خوردگی آب دریا نشان داده شده است.



شکل ۳- نمونه‌هایی از خوردگی آب دریا

### خاک:

بسیاری از تأسیسات فلزی در زیر زمین مدفون هستند و در معرض تأثیر خورنده خاک قرار دارند. برای مثال، در اثر خوردگی لوله‌های اصلی آبرسانی و فاضلاب ساخته شده از فولاد و چدن، مقدار زیادی از محتویات آنها در اثر نشت هدر می‌رود. سوراخ شدن لوله‌های فولادی انتقال گاز طبیعی دفن شده در زیر زمین در اثر فرایند خوردگی می‌تواند باعث آتش‌سوزی و انفجار شوند (شکل ۴).

برخی دیگر از خسارت‌های خوردگی در خاک عبارت‌اند از:

الف) مخزن‌های فولادی نفت و بنزین که در زیر زمین نگهداری می‌شوند باید از خوردگی محافظت شوند تا نشت آنها به محیط زیست آسیب نرساند.

ب) خوردگی در پایه دکل‌های انتقال نیرو، علاوه بر هزینه‌های مستقیم تعمیر خسارات خوردگی و نیز احتمال فروافتادن دکل‌های فشار قوی به سبب خوردگی، می‌تواند منجر به آشفته‌گی جدی در توزیع برق یک منطقه شود.

ج) تیرهای فولادی تأسیسات، مثل پل‌ها و سازه‌هایی که درون خاک قرار دارند، مستعد خوردگی و فروریختن می‌باشند. عوامل مؤثر بر خوردگی خاک عبارت‌اند از: رطوبت، مقدار pH خاک، پتانسیل اکسایش - کاهش<sup>۱</sup>، حضور نمک‌ها و فعالیت میکروبی.



شکل ۴- نمونه‌ای از خوردگی لوله‌های دفن شده

### جو زمین:

خوردگی جو عبارت از خوردگی مواد در تماس با هوا، آلودگی‌های خودروها و کارخانه‌های صنعتی است. آلودگی گازهای خروجی خودروها، پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها عمدتاً از گازهای گوگرد دی‌کسید یا گوگرد تری‌اکسید و انواع اکسیدهای نیتروژن و کربن مونوکسید هستند که در اثر تماس با رطوبت هوا سبب ایجاد باران‌های اسیدی می‌شوند. باران‌های اسیدی سبب از بین رفتن بسیاری از ساختارهای فلزی موجود در فضای آزاد مانند قطعات فلزی مورد استفاده در ساختمان‌ها، قطعات فلزی پل‌ها، دکل‌های برق و بدنه خودروها می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵- نمونه‌هایی از خوردگی جو

در زمینه طبقه‌بندی خوردگی جو و طبقه‌بندی جوها بر حسب شدت خوردگی آنها، تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۲





## گازهای خشک:

واکنش بین فلز و هوا یا اکسیژن در غیاب فاز آبی، سبب اکسایش سطح فلز می‌شود. افزایش دما نقش مهمی در فرایند اکسایش ایفا می‌کند. اغلب خوردگی‌های این دسته در دماهای بالا چشمگیر و محسوس می‌شود که به خوردگی دمای بالا نیز معروف است (شکل ۶). آلیاژهای مورد استفاده در توربین‌های گازی، موتورهای جت، کوره‌های صنایع پالایش و پتروشیمی مواردی هستند که نیاز به انتخاب آلیاژ مناسب و طراحی دقیق در دماهای بالا دارند. اکسیژن، بخار گوگرد، کلر و آمونیاک گونه‌هایی هستند که حتی در شرایط خشک سبب خوردگی فلزات می‌شوند.



شکل ۶- نمونه‌هایی از خوردگی در دمای بالا

## فعالیت عملی ۱



### مقایسه محیط‌های خورنده در خوردگی قطعات آهنی

مواردی که قبل از انجام آزمایش خوردگی باید مورد توجه قرار گیرد:



#### ۱- آماده کردن قطعات فلزی:

پرداخت کاری به وسیله سنباده یک روش ساده برای تمیز کردن سطح نمونه است. چنانچه رسوبات موجود بر روی سطح، بسیار ضخیم باشند، ابتدا باید با استفاده از روش‌های مکانیکی مانند کاردک زدن، سائیدن با سنباده خشن، شن‌پاشی و یا روش‌های شیمیایی (استفاده از حلال‌ها و مواد شیمیایی) سطح نمونه را تمیز کرده و سپس تمیزکاری با سنباده را انجام داد.

نکته



در تمام این مراحل از گرم شدن بیش از حد نمونه در اثر سایش جلوگیری شود. به‌منظور اجتناب از آلوده شدن نمونه‌ها با چربی پوست دست، از تماس با انگشتان باید جلوگیری شود.

#### ۲- اندازه‌گیری و توزین قطعات تمیز شده:

قطعات آماده شده برای هر آزمایش، باید به‌طور دقیق با ترازوی با دقت  $\pm 0.001$  گرم توزین شوند و اندازه دقیق آنها توسط کولیس تعیین شود. بعد از توزین و تعیین اندازه، باید بلافاصله برای انجام آزمایش در محیط خورنده قرار گیرد؛ در غیراین صورت در خشکانه قرار داده شود.

### ۳- آماده کردن محیط‌های مختلف خورنده

- باید توجه داشت که قطعه فلزی به‌طور کامل در تماس با محیط خورنده باشد و از پوشاندن آن پرهیز شود.
- نمونه‌ها باید طوری در محیط قرار گیرند که قابل دسترس باشند.
- از نگه داشتن قطعه با گیره‌هایی که در محیط خورده می‌شوند، جلوگیری شود.

### ۴- زمان آزمایش:

مدت زمانی که هر قطعه در محیط خورنده قرار می‌گیرد، بسیار مهم است. معمولاً در زمان‌های اولیه سرعت خورده شدن فلز بسیار زیاد است و سپس کاهش می‌یابد. یک روش متداول، انجام ۵ دوره ۴۸ ساعته است. در طی انجام آزمایش ۵ دوره، هر ۴۸ ساعت یک‌بار توسط هنرجویان نمونه‌ها مشاهده و عکس گرفته شود و برای هر دوره محلول‌های تازه تهیه و با محلول قبلی جایگزین شود. به هنگام گزارش نتایج خوردگی، باید زمان آزمایش ذکر شود.

### ۵- سرعت خوردگی:

سرعت خوردگی را می‌توان با توجه به میزان کاهش وزن، تغییر ضخامت سطح و یا برحسب عمق حفره‌ها، بیان کرد.

با توجه به اینکه میزان خورده شدن یک جسم در محیط خورنده به مدت زمان تماس آن با محیط خورنده بستگی دارد، بنابراین خوردگی را با سرعت خوردگی که در آن تأثیر زمان نیز لحاظ شده است، بیان می‌کنند. میزان خورده شدن یک جسم در یک محیط به سطح تماس آن بستگی دارد (با افزایش سطح تماس خوردگی افزایش می‌یابد).

یکی از روش‌های ساده برای تخمین سرعت خوردگی فلز، استفاده از آزمون غوطه‌وری است. در این آزمون، فلز به‌طور کامل در محیط خورنده قرار داده می‌شود، سپس از روی تغییرات وزن فلز، سرعت خورده شدن از معادله ۱ تعیین می‌گردد:

$$R = \frac{534W}{DAT} \quad \text{معادله ۱}$$

$W$  = اختلاف جرم اولیه و نهایی پس از آزمون خوردگی برحسب میلی‌گرم (mg)،  $D$  = چگالی فلز برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $\text{g/cm}^3$ )،  $A$  = مساحت قطعه برحسب اینچ مربع ( $\text{in}^2$ )،  $T$  = زمان تماس فلز با محیط برحسب ساعت (h)،  $R$  = سرعت خوردگی برحسب میلی‌اینچ در سال ( $\text{mpy}$ )<sup>۱</sup>

عوامل مؤثر بر سرعت خوردگی را نام ببرید.

پرسش ۲



۱- Miliinch per year (mpy)

## ۶- تفسیر آزمایش های خوردگی:

مطالعات خوردگی همیشه باید در بر گه های مخصوص نوشته شود؛ اعم از اینکه بررسی خوردگی در محل کار قطعه و یا بررسی های آزمایشگاهی باشد. این کار سبب می شود تا هنگام بررسی نتایج، تمام جزئیات آزمایش در دسترس باشند.

تحقیق کنید  
۳



ارائه گزارش های خوردگی باید شامل چه جزئیاتی باشد؟ در این باره تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

از آنجا که بیشتر سازه های احداث شده از جنس فولاد هستند، در این آزمایش تأثیر عوامل بسیار ساده و عمده طبیعی مانند آب و اکسیژن، بر روی خوردگی فولاد بررسی می شوند.

**وسایل مورد نیاز:** قطعه آهنی به ضخامت ۱ تا ۲ میلی متر، به طول ۴ و عرض ۲ سانتی متر (۷ عدد)، لوله آزمایش بزرگ (۷ عدد)

### روش کار:

۱ هفت قطعه آهنی آماده کنید. بهتر است کلیه قطعات دارای اندازه یکسان و عاری از پلیسه و لبه های برنده باشند. پیش از شروع آزمایش، باید قطعه فلزی عاری از اکسیدهای سطحی، آلودگی ها و چربی شود. طبق دستور زیر، قطعه های آهنی را تمیز کنید. بدین منظور ابتدا قطعات را با استون شست و شو دهید تا هر گونه مواد روغنی، چربی و گریس موجود پاک شود. قطعه را توسط یک گیره فلزی بگیرید و توسط استن بشوئید. پس از شست و شو با آب مقطر آب کشی کنید و قطعه را در هیدروکلریدریک اسید یا سولفوریک اسید ۱۰ درصد دست کم به مدت ۵ دقیقه غوطه ور کنید. با این عمل کلیه اکسیدهای سطح فلز پاک می شود. قطعه را با کمک گیره بگیرید و خارج کنید و با آب مقطر بشوئید. سپس خشک کنید و تا شروع آزمایش در یک محیط خشک مانند خشکانه نگهداری کنید.

۲ هفت بشر ۲۰۰ میلی لیتری آماده کنید و به ترتیب زیر، محیط های خورنده را آماده نمایید و قطعه های آهنی را مطابق دستور زیر در آنها قرار دهید:

بشر ۱: قطعه آهنی تمیز شده کاملاً غوطه ور در آب شهری

بشر ۲: قطعه آهنی تمیز شده کاملاً غوطه ور در آب شهری جوشیده و عاری از اکسیژن محلول

بشر ۳: قطعه آهنی تمیز شده کاملاً غوطه ور در آب مقطر جوشیده و عاری از اکسیژن محلول

بشر ۴: قطعه آهنی تمیز نشده کاملاً غوطه ور در آب شهری

بشر ۵: قطعه آهنی تمیز شده تا نصف غوطه ور در آب شهری

بشر ۶: قطعه آهنی تمیز در آب نمک ۵ درصد

بشر ۷: قطعه آهنی تمیز در لوله خالی

۳ نتایج را پس از یک هفته بررسی کنید از نمونه ها عکس بگیرید. آزمایش را در ۴ دوره با محلول های تازه تهیه شده تکرار نمایید (دقت کنید در طول یک هفته حجم آب بشرها به خصوص بشرهای باز پایین نیاید) و نتایج را ثبت کنید.

نکته



شایان ذکر است به دلیل اینکه از نظر عملیاتی امکان این اندازه گیری ها برای هنرجو وجود ندارد، بهتر است هنرجویان در هفته بعدی که وارد آزمایشگاه می شوند نمونه های مورد آزمایش را مشاهده و بررسی کنند.

۴ مشاهدات خود را گزارش کنید.



الف) در هر مورد علت اصلی خوردگی را مشخص کنید و واکنش‌های مربوط را بنویسید.  
 ب) تفاوت‌های عمده بین بشرها را مشخص کنید.  
 پ) کدام روش برای حفاظت از قطعه آهنی در مقابل خوردگی مناسب‌تر است؟  
 ت) با مقایسه نمونه‌های ۱ و ۲ تأثیر اکسیژن محلول را بر خوردگی توضیح دهید.

## فعالیت عملی ۲



### اثر pH آب بر خوردگی قطعات آهنی

**مواد مورد نیاز:** هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال، سود ۰/۱ نرمال، ۷ عدد قطعه آهنی  
**وسایل مورد نیاز:** pH متر، ترازوی دقیق الکترونیکی، کولیس

#### روش کار:

- ابتدا محلول‌های آبی با pHهای ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ را با استفاده از هیدروکلریک اسید و سود ۰/۱ نرمال با حجم ۱۰۰ میلی لیتر تهیه کنید.
- قطعه‌های آهنی آماده و تمیز شده با اندازه‌های یکسان را مطابق روش شرح داده شده در آزمایش ۱ تمیز کنید. قطعه‌های آماده و تمیز شده با اندازه یکسان را در هر محلول طوری قرار دهید که کاملاً در آن فرو روند.
- پس از گذشت ۴ ساعت هر قطعه را خارج کنید، با آب مقطر بشویید و خشک کنید و به مدت دو ساعت در خشکانه قرار دهید. سپس طول، عرض و جرم آن را یادداشت کنید.
- قطعه‌ها را دوباره در محلول تازه قرار دهید و پس از یک هفته هر قطعه را از محلول خارج کنید عملیات بالا را تکرار کنید.
- نتایج به دست آمده را در جدولی مشابه جدول زیر یادداشت کنید.

ردیف	pH محلول	یا $[H^+]$ یا $[OH^-]$ ( $molL^{-1}$ )	جرم اولیه (g)	جرم نهایی بعد از ۴ ساعت (g)	اختلاف جرم بعد از ۴ ساعت (g)	سرعت خوردگی (mpy) بعد از ۴ ساعت	جرم نهایی بعد از یک هفته (g)	اختلاف جرم بعد از یک هفته (g)	سرعت خوردگی (mpy) بعد از یک هفته
۱	۲	$[H^+] = 10^{-2}$							
۲	۴	$[H^+] = 10^{-4}$							
۳	۶	$[H^+] = 10^{-6}$							
۴	۸	$[OH^-] = 10^{-6}$							
۵	۱۰	$[OH^-] = 10^{-4}$							
۶	۱۲	$[OH^-] = 10^{-2}$							





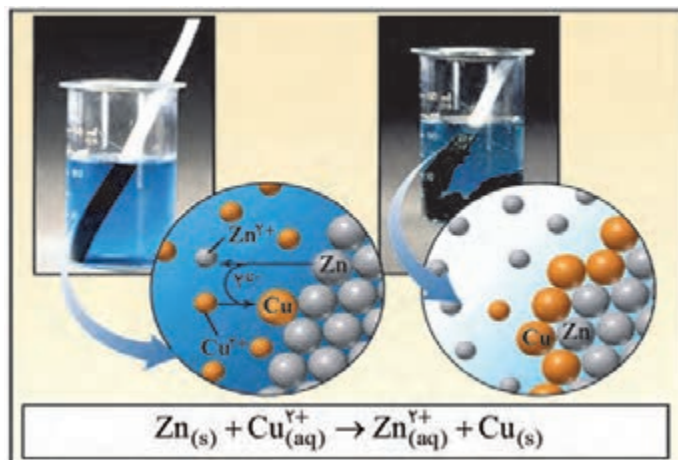
الف) آیا تغییر رنگی در محلول‌ها و یا قطعه‌های آهنی دیده می‌شود؟  
 ب) نمودار اختلاف جرم آهن را برحسب pH پس از گذشت ۴ ساعت و یک هفته رسم کنید.  
 پ) نمودار سرعت خوردگی آهن را برحسب pH پس از گذشت ۴ ساعت و یک هفته رسم نمایید. با توجه به محاسبات سرعت خوردگی در فعالیت آزمایشگاهی ۱، چه تفاوتی در نمودار مشاهده می‌شود؟ چرا؟  
 ت) چرا نمودار سرعت خوردگی آهن برحسب pH هنگامی که واکنش در ظرف درباز یا در بسته انجام شود، متفاوت خواهد بود.  
 ث) نمودار تغییرات سرعت خوردگی برحسب pH چگونه است؟

## مبانی الکتروشیمی خوردگی

فرایند خوردگی یکی از فرایندهای الکتروشیمیایی است که در آن مبادله الکترون صورت می‌گیرد. این دسته از واکنش‌ها، واکنش‌های الکتروشیمیایی نامیده می‌شوند. بر این اساس لازم است برای آشنایی با موضوع خوردگی، پیل‌ها<sup>۱</sup> و تعادل الکتروشیمیایی معرفی شوند.

### ماهیت الکتریکی واکنش‌های اکسایش – کاهش

الکتروشیمی شاخه‌ای از علم شیمی است که به مطالعه واکنش‌هایی می‌پردازد که در آنها مبادله الکترون صورت می‌گیرد؛ بنابراین در یک واکنش الکتروشیمیایی یک گونه الکترون می‌گیرد و گونه دیگر الکترون از دست می‌دهد. گونه‌ای که الکترون می‌گیرد، کاهش می‌شود و عدد اکسایش آن کاهش می‌یابد. گونه دیگر که الکترون از دست می‌دهد، اکسید می‌شود و عدد اکسایش آن افزایش می‌یابد؛ بنابراین یک واکنش الکتروشیمیایی شامل دو نیم‌واکنش، اکسایش و کاهش است.  
 واکنش‌های الکتروشیمیایی مانند واکنش‌های شیمیایی می‌توانند خودبه‌خودی<sup>۲</sup> یا غیرخودبه‌خودی<sup>۳</sup> باشند.



یک واکنش خودبه‌خودی واکنشی است که بدون نیاز به عامل محرک خارجی (اعمال جریان یا پتانسیل الکتریکی از طریق مدار خارجی) انجام می‌شود. شکل ۷ خورده شدن قطعه روی در محلول مس سولفات و تشکیل مس فلزی را نشان می‌دهد.

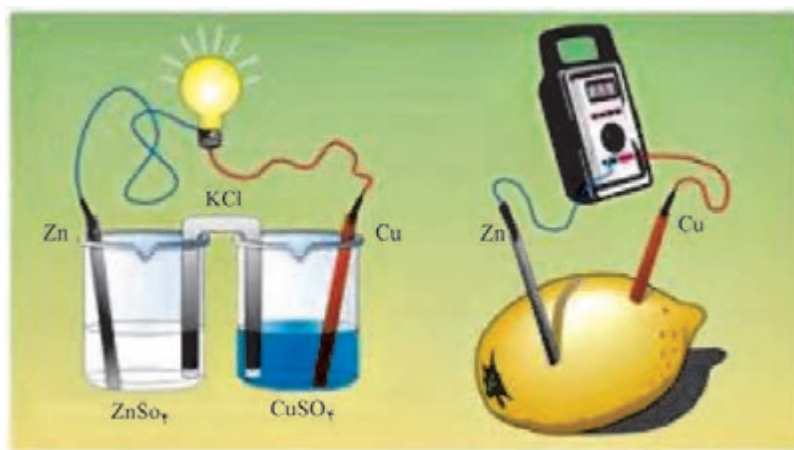
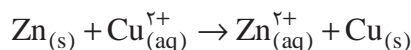
شکل ۷- واکنش الکتروشیمیایی خودبه‌خودی قطعه روی در محلول مس سولفات

۱- Cells

۲- Spontaneously

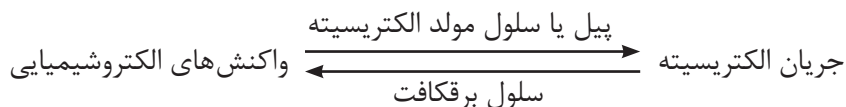
۳- Non-Spontaneously

پیلی که در آن واکنش الکتروشیمیایی خودبه‌خودی صورت می‌گیرد و با انجام واکنش شیمیایی، انرژی الکتریکی تولید می‌شود، پیل مولد جریان الکتریسیته یا پیل گالوانی<sup>۱</sup> (ولتائی<sup>۲</sup>) نامیده می‌شود. مدار خارجی پیل گالوانی علاوه بر سیم‌های رسانای حامل جریان، می‌تواند شامل ولت‌سنج و لامپ باشد. در این پیل آند قطب منفی و کاتد قطب مثبت است. به عنوان نمونه اگر در واکنش زیر الکترون‌های جدا شده از فلز روی ابتدا از یک مدار الکتریکی عبور کنند و سپس به یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$  برسند، پیل الکتروشیمیایی ولتایی یا گالوانی ساخته می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸- نمای ساده‌ای از یک پیل مولد جریان الکتریسیته

در واکنش غیر خودبه‌خودی، یک عامل محرک خارجی باعث انجام آن می‌شود. به پیل الکتروشیمیایی که در آن واکنش غیر خودبه‌خودی انجام می‌شود، پیل برقکافت<sup>۳</sup> (الکترولیز) گفته می‌شود که مدار خارجی آن شامل یک منبع تغذیه<sup>۴</sup> و یا یک باتری است که به پیل، جریان الکتریکی اعمال می‌کند تا باعث انجام واکنش غیر خودبه‌خودی شود. در پیل برقکافت برای انجام واکنش الکتروشیمیایی، انرژی الکتریکی مصرف می‌شود. در این نوع از پیل‌ها کاتد، قطب منفی و آند، قطب مثبت است؛ لذا به‌طور کلی می‌توان نوشت:



۱- Galvanic Cell

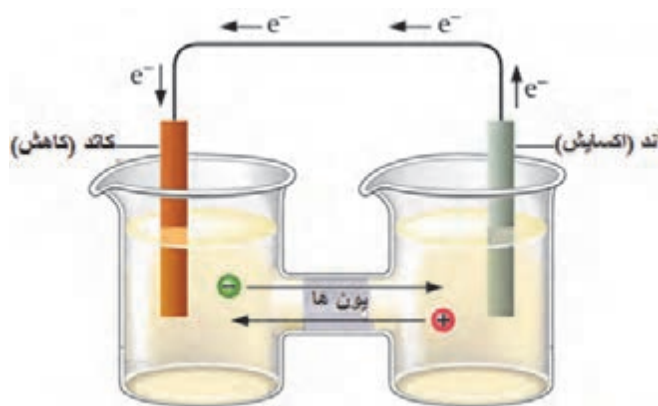
۲- Voltaic Cell

۳- Electrolysis Cell

۴- Power Supply

قواعد زیر را در مورد پیل‌های مولد الکتریسیته و پیل‌های برق‌کافت باید به خاطر سپرد:

- ۱ واکنش آندی از نوع اکسایش و واکنش کاتدی از نوع کاهش است.
- ۲ در الکترولیت، آنیون‌ها (یون‌های با بار منفی) به سمت آند و کاتیون‌ها (یون‌های با بار مثبت) به سمت کاتد مهاجرت می‌کنند.
- ۳ درون پیل دو الکترود قرار دارد که هر دو از اجسام رسانا (گرافیت یا فلز) ساخته شده‌اند. الکترودی که در آن، نیم‌واکنش اکسایش انجام می‌شود، آند و الکترودی که نیم‌واکنش کاهش بر روی آن انجام می‌شود، کاتد نام دارد.
- ۴ در یک پیل گالوانی الکترودها در آند تولید می‌شوند و از طریق مدار خارجی به سمت کاتد حرکت می‌کنند لذا جهت جریان از قطب منفی (آند) به سمت قطب مثبت (کاتد) در نظر گرفته می‌شود (شکل ۹).

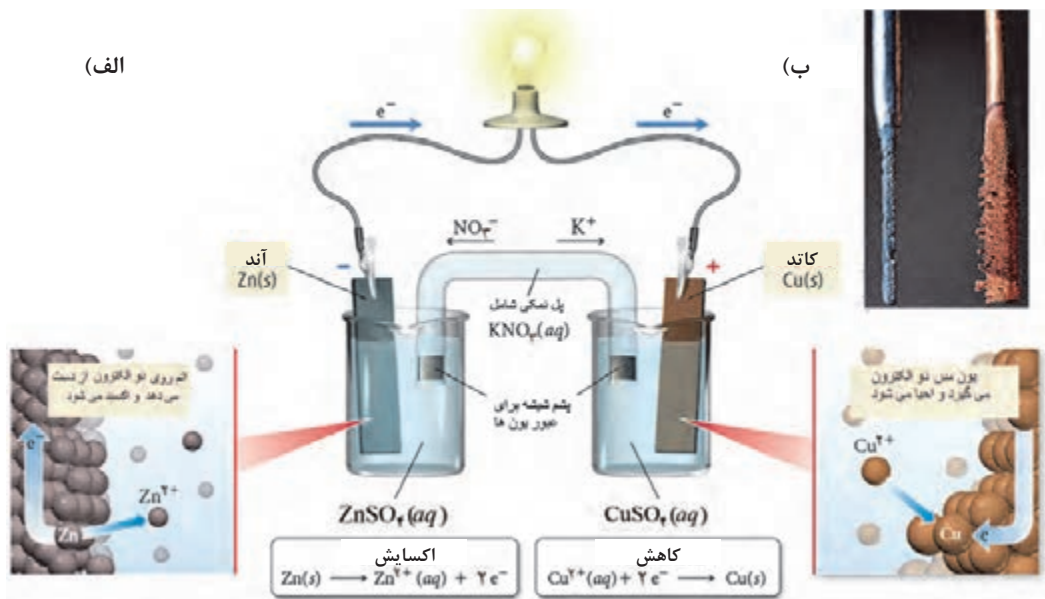


شکل ۹- نمایی از یک پیل مولد الکتریسیته

در یک پیل الکتروشیمیایی گالوانی، تغییرات جرم الکترودها (کاهش جرم آند و افزایش جرم کاتد)، نسبت بین تعداد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در هر یک از مناطق کاتدی و آندی به هم می‌خورد؛ به نحوی که در منطقه آندی تعداد کاتیون‌های  $Zn^{2+}$  و در منطقه کاتدی تعداد آنیون‌های  $SO_4^{2-}$  افزایش می‌یابد. برای برقراری تعادل یونی در مناطق کاتدی و آندی از محلول پتاسیم نیترات به عنوان پل نمکی استفاده می‌شود که محلول‌های دو الکترود توسط آن به هم مرتبط هستند. پیل گالوانی فوق را به صورت زیر نشان می‌دهند:



علامت || به مفهوم استفاده از پل نمکی است. طبق قرارداد، در نمایش پیل‌های الکتروشیمیایی، همیشه آند را در سمت چپ و کاتد را در سمت راست می‌نویسند. پیل مورد نظر را پیل دانیل<sup>۱</sup> گویند (شکل ۱۰). واکنش کلی پیل دانیل مشابه واکنشی است که با قرار دادن میله‌ای از جنس روی در محلول مس (II) سولفات (شکل ۱۰) انجام می‌شود، با این تفاوت که این واکنش در پیل دانیل در دو ظرف جداگانه انجام می‌شود.



شکل ۱۰- الف) نمایی از پیل دانیل (ب) واکنش روی - مس در پیل دانیل

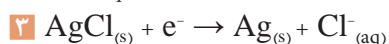
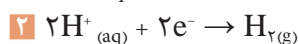
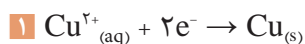
دلیل اصلی جداگانه نگه داشتن دو محلول مس (II) سولفات و روی سولفات چیست؟

پرسش ۵

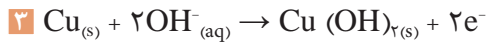
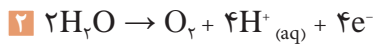


## نیروی محرکه پیل های الکتروشیمیایی

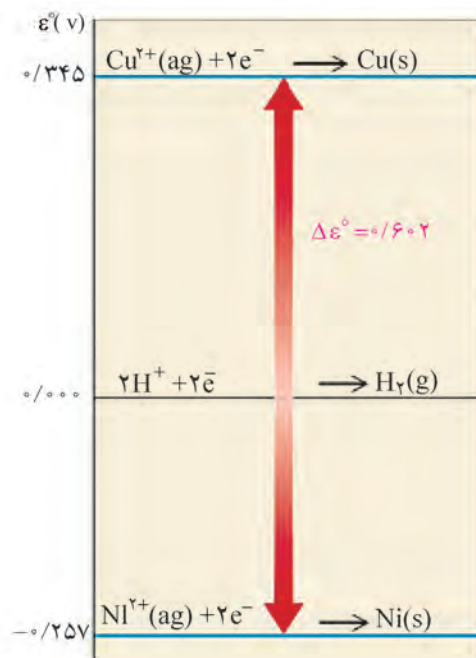
هر پیل الکتروشیمیایی شامل دو الکترود و یک محلول الکترولیت است که درون یک ظرف جاسازی شده است. هر یک از الکترودها تمایل خاصی به گرفتن و از دست دادن الکترون دارند که به پتانسیل الکترود معروف است. تمایل الکترودها در گرفتن و از دست دادن الکترون نسبی است؛ یعنی ممکن است یک الکترود خاص در کنار یک الکترود تمایل به جذب الکترون داشته باشد و در کنار الکترود دیگر تمایل به از دست دادن الکترون داشته باشد (شکل ۱۱). به هر حال قدرت الکترون دهنده گی و الکترون گیرندگی تمام الکترودها یکسان نیست. الکترودی که تمایل نسبی آن برای گرفتن الکترون بیشتر باشد، به عنوان کاتد، و الکترودی که تمایل نسبی آن به گرفتن الکترون کمتر باشد، به عنوان آند شناخته می شود. هر چقدر اختلاف قدرت الکترودها در گرفتن و از دست دادن الکترون بیشتر باشد، واکنش کلی پیل بهتر انجام می شود و در نتیجه کارایی پیل بیشتر است. همان طور که اشاره شد یک واکنش الکتروشیمیایی از دو نیم واکنش آندی (اکسایش) و کاتدی (کاهش) تشکیل شده است. در زیر به چند نمونه از نیم واکنش ها اشاره می شود:



نمونه‌هایی از نیم‌واکنش‌های آندی:



تمایل هریک از این نیم‌واکنش‌ها برای انجام شدن با بقیه متفاوت است و در عمل برای بیان میزان تمایل هر نیم‌واکنش برای انجام شدن، از کمیت پتانسیل الکترودی استفاده می‌شود. در شکل ۱۱ تمایل الکترون‌دهندگی و الکترون‌گیرندگی برای مس و نیکل با هم مقایسه شده است. پتانسیل کاهش نیکل بسیار کمتر از مس است پس نیکل الکترون‌دهنده و مس در مقایسه با آن الکترون‌گیرنده است.



شکل ۱۱- مقایسه پتانسیل کاهش الکترودی مس و نیکل نسبت به الکترود استاندارد هیدروژن

۱ در یک الکترود، پتانسیل اکسایش و کاهش از نظر کمی برابرند، ولی علامت‌های آنها مخالف است.

۲ پتانسیل الکترودی در شرایط استاندارد (شرایط استاندارد دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، غلظت گونه‌های محلول  $1\text{M}$  مولار و گونه‌های گازی شکل با فشار جزئی  $1\text{ atm}$  است) را پتانسیل الکترودی استاندارد گویند و آن را با  $E^{\circ}$  یا  $E^{\circ}$  نشان می‌دهند.

نکته



جدول‌های پتانسیل الکترودی بر اساس پتانسیل کاهش یا پتانسیل اکسایش مرتب شده‌اند. جدول ۱ بر اساس پتانسیل کاهش استاندارد ارائه شده است. باید توجه داشت برای به‌دست آوردن پتانسیل اکسایش، کافی است که اعداد جدول در یک منفی ضرب شود.

نیروی محرکه هر پیل طبق معادله ۲ از اختلاف پتانسیل الکترودی کاتد و آند محاسبه می‌شود.

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_c - E^{\circ}_a \quad \text{معادله ۲}$$

$E_{\text{cell}}^{\circ}$ : پتانسیل پیل (نیروی محرکه پیل) بر حسب ولت،  $E_c^{\circ}$ : پتانسیل کاهش استاندارد کاتد و  $E_a^{\circ}$ : پتانسیل کاهش استاندارد آنود است.

جدول ۱- پتانسیل کاهش استاندارد الکترودها (دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، غلظت گونه‌های  $1\text{M}$ )

نیم واکنش	$E^{\circ} (\text{V})$	نیم واکنش	$E^{\circ} (\text{V})$
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	۲٫۸۷	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	۰٫۴۰
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	۱٫۹۹	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	۰٫۳۴
$\text{Co}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^+$	۱٫۸۲	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	۰٫۲۷
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	۱٫۷۸	$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	۰٫۲۲
$\text{Ce}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}^{3+}$	۱٫۷۰	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	۰٫۲۰
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	۱٫۶۹	$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	۰٫۱۶
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	۱٫۶۸	<b><math>2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2</math></b>	<b>۰٫۰۰</b>
$2\text{e}^- + 2\text{H}^+ + \text{IO}_3^- \rightarrow \text{IO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	۱٫۶۰	$\text{Fe}^{3+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-۰٫۰۳۶
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	۱٫۵۱	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-۰٫۱۳
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	۱٫۵۰	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-۰٫۱۴
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	۱٫۴۶	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-۰٫۲۳
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	۱٫۳۶	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-۰٫۳۵
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	۱٫۳۳	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-۰٫۴۰
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	۱٫۲۳	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-۰٫۴۴
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	۱٫۲۱	$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-۰٫۵۰
$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	۱٫۲۰	$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-۰٫۷۳
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	۱٫۰۷	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-۰٫۷۶
$\text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	۱٫۰۰	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-۰٫۸۳
$\text{AuCl}_4^- + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au} + 4\text{Cl}^-$	۰٫۹۹	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-۱٫۱۸
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	۰٫۹۶	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-۱٫۶۶
$\text{ClO}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_2^-$	۰٫۹۵۴	$\text{H}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}^-$	-۲٫۲۳
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}$	۰٫۹۱	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-۲٫۳۷
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	۰٫۸۰	$\text{La}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{La}$	-۲٫۳۷
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}$	۰٫۸۰	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-۲٫۷۱
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	۰٫۷۷	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-۲٫۷۶
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	۰٫۶۸	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$	-۲٫۹۰
$\text{MnO}_4^- + \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$	۰٫۵۶	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-۲٫۹۲
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	۰٫۵۴	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-۳٫۰۵
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	۰٫۵۲		

در هنگام نوشتن معادله شیمیایی پیل‌ها، به منظور تعیین جهت انجام واکنش کلی پیل، باید الکترودها و نیم‌واکنش‌های مربوط به گونه‌ای انتخاب شوند که الکترودی با تمایل نسبی بیشتر برای گرفتن الکترون به عنوان کاتد، و الکترودی که تمایل به دهندهی الکترون دارد، به عنوان آند به کار رود. در این صورت واکنش کلی پیل در جهت نوشته شده، خود به خودی و نیروی محرکه پیل مثبت است؛ در غیر این صورت واکنش نوشته شده غیرخودبه‌خودی و نیروی محرکه پیل هم منفی خواهد بود.

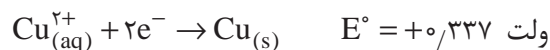
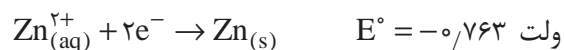
### مثال ۱:

اگر پیلی با الکترودهایی از جنس مس (Cu) و روی (Zn) طراحی شده باشد، با توجه به پتانسیل کاهش استاندارد (جدول ۱):

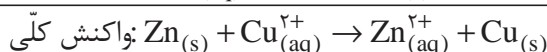
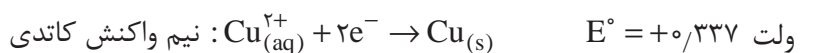
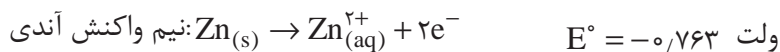
الف) نیم واکنش‌های کاتدی، آندی و واکنش کلی پیل را بنویسید.  
ب) نیروی محرکه پیل را محاسبه کنید.

### پاسخ:

الف)

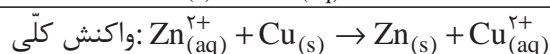
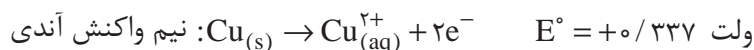
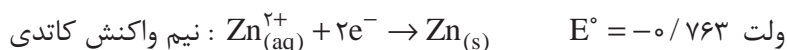


با مقایسه پتانسیل کاهش روی و مس  $E_{\text{zn}}^{\circ} < E_{\text{cu}}^{\circ}$  می‌توان گفت نیم‌واکنش آندی مربوط به روی، نیم واکنش کاتدی کاهش مس است.



$$\text{ب) } E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{c}}^{\circ} - E_{\text{a}}^{\circ} \rightarrow E_{\text{cell}}^{\circ} = +0.337 - (-0.763) = 1.1 \quad \text{ولت}$$

در مثال قبل، اگر کاتد روی و آند مس در نظر گرفته شود، خواهیم داشت:



$$\text{ولت } E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{c}}^{\circ} - E_{\text{a}}^{\circ} \rightarrow E_{\text{cell}}^{\circ} = -0.763 - (0.337) = -1.1$$

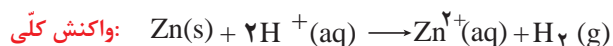
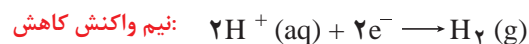
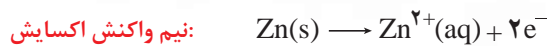
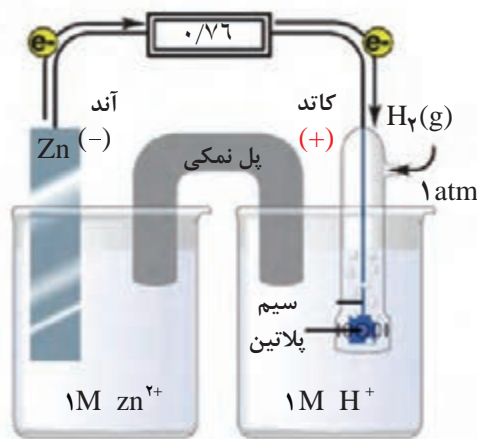


در این حالت، واکنش به صورت غیر خود به خودی است و با عبور جریان الکتریکی قابل انجام است. این پدیده در صفحه‌های بعد، تحت عنوان پیل برقکافت پیگیری خواهد شد.

### پتانسیل استاندارد الکترودها:

برای محاسبه نیروی محرکه پیل‌های الکتروشیمیایی، به پتانسیل‌های اکسایش و کاهش الکترودی نیاز است. تعیین پتانسیل‌های الکترودی برای هر الکترود جداگانه امکان‌پذیر نیست، زیرا انجام نیم‌واکنش‌های آنها به تنهایی میسر نیست. به همین منظور، الکترودی به عنوان مرجع و پتانسیل آن به عنوان مبنا برگزیده می‌شود تا بتوان پتانسیل الکترودهای دیگر را نسبت به آن سنجید. مطابق قرارداد بین‌المللی، الکترود هیدروژن به عنوان مرجع و پتانسیل کاهش آن در حالتی که مواد واکنش‌دهنده و محصولات در شرایط استاندارد باشند، برابر با صفر انتخاب شده است. شرایط استاندارد برای پیل‌ها زمانی فراهم است که غلظت گونه‌های محلول  $10^{-1}$  مولار و گونه‌های گازی شکل با فشار جزئی  $10^{-1}$  atm و دمای  $25^{\circ}\text{C}$  باشد.

برای تعیین پتانسیل استاندارد الکترودهای دیگر در شرایط استاندارد باید پیلی طراحی شود که کاتد آن هیدروژن و آند آن الکترود موردنظر باشد. از آنجا که پتانسیل کاهش استاندارد الکترود هیدروژن برحسب قرارداد صفر است، پس نیروی محرکه این پیل برابر پتانسیل اکسایش الکترود موردنظر است. برای مثال اگر مطابق شکل ۱۲ در شرایط استاندارد پیلی با کاتد هیدروژن و آند روی طراحی شود، نیروی محرکه پیل برابر  $0.76\text{V}$  و ولت خواهد بود که این مقدار پتانسیل اکسایش الکترود روی برابر  $0.76\text{V}$  و ولت خواهد بود.



شکل ۱۲- الکترود استاندارد هیدروژن در تعیین پتانسیل الکترودی روی



## مثال ۲:

پتانسیل‌های کاهش استاندارد الکترودهای مس و آهن به ترتیب برابر  $+0.337$  و  $-0.44$  ولت است. چنانچه این دو الکتروود در طراحی یک پیل الکتروشیمیایی مورد استفاده قرار گیرند: الف) کدام یک از این دو الکتروود آند و کدام کاتد است؟ ب) ولتاژ (نیروی محرکه) پیل چقدر است؟ ج) نیم‌واکنش‌ها و معادله کلی پیل چگونه است؟

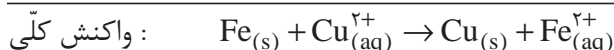
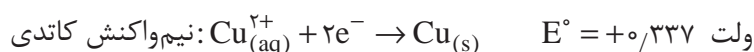
## پاسخ:

الف) باتوجه به پتانسیل‌های کاهش استاندارد الکترودها می‌توان نتیجه گرفت که الکتروود آهن آند و الکتروود مس نقش کاتد را دارد، زیرا در این شرایط پتانسیل کاهش استاندارد آهن کمتر است و الکترون دهنده خواهد بود و مس، نقش الکترون گیرندگی دارد.

ب)

$$\text{ولت } E_{\text{cell}}^{\circ} = E_c^{\circ} - E_a^{\circ} \rightarrow E_{\text{cell}}^{\circ} = +0.337 - (-0.44) = +0.777$$

نیروی محرکه پیل:

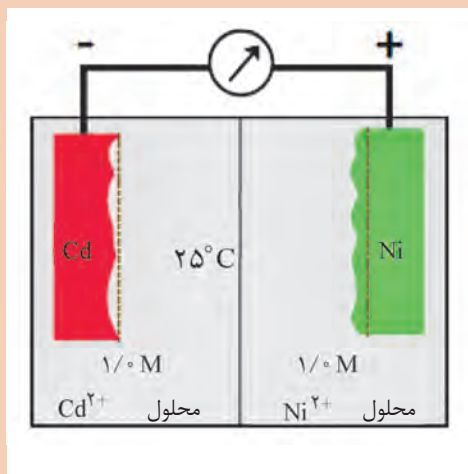


باتوجه به پتانسیل‌های کاهش استاندارد (جدول ۱)، نیم‌واکنش‌ها، واکنش کلی و نیروی محرکه پیل با الکترودهای مس و نقره در شرایط استاندارد را مشخص کنید.

تمرین ۱



تمرین ۲



شکل روبه‌رو یک پیل گالوانی را نشان می‌دهد. کاتد، آند، نیم‌واکنش‌های کاتدی و آندی، واکنش کلی، نیروی محرکه پیل و نماد پیل را مشخص کنید.

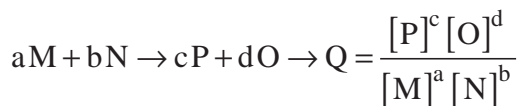
نمایی از یک پیل گالوانی

## رابطه نیروی محرکه پیل و غلظت گونه‌ها (معادله نرنست)<sup>۱</sup>

بیشتر پیل‌های الکتروشیمیایی در شرایطی غیر از حالت استاندارد کار می‌کنند که دارای نیروی محرکه‌ای برابر  $E$  هستند که با نیروی محرکه پیل در شرایط استاندارد ( $E^\circ$ ) یکسان نیست. برای به‌دست آوردن پتانسیل کاهش در شرایط غیراستاندارد، یعنی غلظت  $C$  و دمای  $T$ ، از رابطه نرنست (معادله ۳) استفاده می‌شود:

$$E = E^\circ - \frac{2.3RT}{nF} \log Q, \quad Q = \frac{[\text{حاصل ضرب غلظت محصولات به توان ضرایب}]}{[\text{حاصل ضرب غلظت مواد اولیه به توان ضرایب}]}$$

معادله ۳



$E$ : پتانسیل الکتروود یا پیل بر حسب ولت

$E^\circ$ : پتانسیل استاندارد الکتروود یا پیل بر حسب ولت

$R$ : ثابت عمومی گازها برابر  $\frac{8.314 \text{ J}}{\text{mol.k}}$

$T$ : دمای مطلق (کلوین)

$n$ : تعداد الکترون‌های شرکت‌کننده در نیم‌واکنش موازنه شده

$F$ : عدد فاراده و مقدار آن  $96487$  ( $96500$ ) کولن

با قراردادن مقدارهای عددی کمیت‌های فوق در معادله نرنست، در دمای  $25^\circ\text{C}$ ، معادله ۴ به‌دست می‌آید:

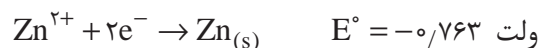
$$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log Q$$

معادله ۴

مثال ۳:

پتانسیل کاهش الکتروود روی را که غلظت یون‌های آن  $0.1$  مولار باشد، در دمای  $25^\circ\text{C}$  به‌دست آورید.

پاسخ:



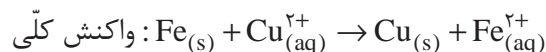
$$E = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log Q = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log \frac{1}{[\text{Zn}^{2+}]} = -0.763 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{1}{0.1} = -0.7926 \text{ ولت}$$

مثال ۴:

پتانسیل‌های کاهش استاندارد الکتروودهای مس و آهن به ترتیب برابر  $+0.337$  و  $-0.44$  ولت است. واکنش پیل را بنویسید و مقدار پتانسیل آن را در شرایط استاندارد و در حالتی که در دمای  $25^\circ\text{C}$  غلظت یون مس  $0.1$  مولار و غلظت یون آهن  $0.1$  مولار باشد، محاسبه کنید.

پاسخ:

باتوجه به جدول پتانسیل کاهش استاندارد، داریم:  $E_{Fe}^{\circ} < E_{Cu}^{\circ}$ . پس در الکتروود آهن واکنش اکسایش و الکتروود مس واکنش کاهش انجام می‌شود. آهن آند یا قطب منفی و مس کاتد یا قطب مثبت است. در شرایط استاندارد، داریم:



$$E_{cell}^{\circ} = E_c^{\circ} - E_a^{\circ} \rightarrow E_{cell}^{\circ} = +0.337 - (-0.44) = +0.777 \text{ ولت}$$

در شرایط غیراستاندارد برای محاسبه نیروی محرکه پیل از معادله نرنست استفاده می‌شود:

$$E = E^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log Q \rightarrow E_{cell} = +0.777 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{[Fe^{2+}]}{[Cu^{2+}]} = +0.777 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{1}{0.1} = +0.7474 \text{ ولت}$$

تمرین اضافی



پتانسیل کاهش الکتروود حاصل از قرارگرفتن یک قطعه پلاتین در محلولی که غلظت یون های  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  به ترتیب برابر  $2/0$  و  $0.02$  مولار است، در دمای  $25^{\circ}C$  چقدر است؟

تمرین اضافی



اگر پتانسیل کاهش الکتروود ( $0.01$  مولار)  $Sn^{2+}$  و ( $x$  مولار)  $Sn^{4+}$  در دمای  $25^{\circ}C$ ، برابر  $0.20916$  ولت باشد، غلظت یون های  $Sn^{4+}$  در این شرایط چقدر است؟

مثال ۵:

پتانسیل پیل دانیل (مثال ۱) را در حالتی که در دمای  $25^{\circ}C$ ، غلظت یون مس  $0.5$  مولار و غلظت یون روی  $0.8$  مولار باشد، محاسبه کنید.

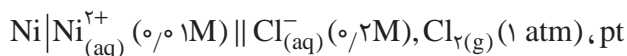
پاسخ:

$$E_{cell} = E_{cell}^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log Q \rightarrow E_{cell} = 1.1 - \frac{0.0592}{n} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

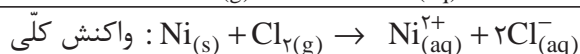
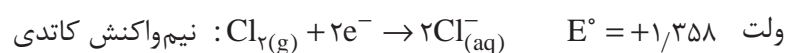
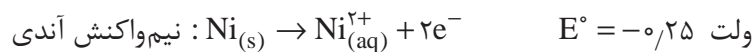
$$= 1.1 - 0.0296 \log \frac{0.8}{0.5} = 1.09 \text{ ولت}$$

### تمرین اضافی

نیروی محرکه پیل زیر را در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  مشخص کنید:



پاسخ:



پتانسیل پیل در شرایط استاندارد:

$$E_{\text{cell}}^{\circ} = E_{\text{c}}^{\circ} - E_{\text{a}}^{\circ} \rightarrow E_{\text{cell}}^{\circ} = +1.358 - (-0.25) = +1.608 \text{ ولت}$$

پتانسیل پیل در شرایط ذکر شده:

$$\begin{aligned} E_{\text{cell}} &= E_{\text{cell}}^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log Q = E_{\text{cell}}^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log \frac{[\text{Ni}^{2+}][\text{Cl}^{-}]^2}{P_{\text{Cl}_2}} \\ &= +1.608 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{0.1 \times (0.2)^2}{1} = +1.708 \text{ ولت} \end{aligned}$$

نیروی محرکه پیل زیر را در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  مشخص کنید:

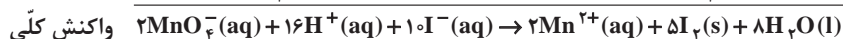
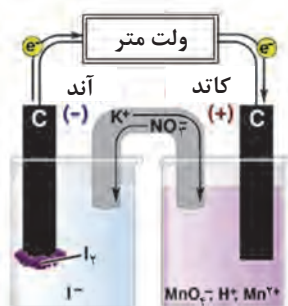


تمرین اضافی





الکترودها در پیل‌های الکتروشیمیایی عموماً دو نقش دارند: در واکنش‌های الکتروشیمیایی پیل شرکت می‌کنند، تکمیل مدار الکتریکی و هدایت الکترون‌ها را به عهده دارند. این گونه الکترودها را الکترودهای فعال گویند. اگر الکترودهای فقط هدایت جریان الکترونی را به عهده داشته باشند و در واکنش الکتروشیمیایی نقش نداشته باشند (مانند الکترودهای کربن در پیل ولتایی شکل زیر)، الکترودهای غیرفعال نامیده می‌شوند.



پیل ولتایی با الکترودهای غیرفعال

وجود ناخالصی‌های فلزی در محیط الکترولیت، یک پیل گالوانی ایجاد می‌کند که یکی از فلزات نقش کاتد و دیگری نقش آند را خواهد داشت. الکترودهای خوردگی در محیط الکترولیت می‌تواند رطوبت هوا باشد. در فعالیت ۳ از آب شهری به عنوان الکترولیت استفاده شده است.

### فعالیت عملی ۳



#### اثر ناخالصی‌های فلزی بر خوردگی قطعات آهنی

وسایل مورد نیاز: قطعه آهنی (به ضخامت ۱ تا ۲ میلی‌متر، طول ۴ و عرض ۲ سانتی‌متر)، ۳ عدد، بشر ۴ عدد، ورق گالوانیزه مشابه قطعه آهنی یک عدد، سیم مسی و سیم لحیم (۶۰٪ قلع و ۴۰٪ سرب)



#### روش کار:

- ۱ ابتدا مطابق دستور کار شماره ۱، قطعه‌های آهنی را چربی‌گیری و زنگ‌بری کنید. ورق گالوانیزه را تنها چربی‌گیری کنید.
- ۲ قطعه‌های آماده شده را مطابق دستور زیر در بشرهای مختلف قرار دهید:
- بشر ۱: قطعه گالوانیزه (پوشش روی) که یک طرف آن با سوهان خراشیده شده و کاملاً غوطه‌ور در آب شهری
- بشر ۲: قطعه آهنی تمیز شده که نوار مسی دور آن پیچیده شده و کاملاً غوطه‌ور در آب شهری

- بشر ۳: قطعه آهنی تمیز شده که به وسیله سیم لحیم (۶۰٪ قلع و ۴۰٪ سرب) پیچیده شده و کاملاً غوطه‌ور در آب شهری
- بشر ۴: قطعه آهنی تمیز در لوله خالی
- ۳ نتایج را پس از یک هفته بررسی کنید و از نمونه‌ها عکس بگیرید.

#### پرسش ۶



الف) در هر مورد علت اصلی خوردگی را مشخص کنید و واکنش‌های مربوطه را بنویسید.  
ب) در کدام مورد پیل الکتروشیمیایی تشکیل می‌شود؟  
پ) آند و کاتد را در موارد تشکیل پیل مشخص کنید.  
ت) تفاوت‌های عمده بین بشرها را مشخص کنید.  
ث) کدام روش برای حفاظت از قطعه آهنی در مقابل خوردگی مناسب‌تر است؟  
ج) واکنش رخ داده در بشرهای ۲ و ۳ را با هم مقایسه کنید.  
چ) سرعت خوردگی را در هر مورد محاسبه کنید.

#### تحقیق کنید ۴



در مورد انواع خوردگی تحقیق کرده و در کلاس ارائه کنید.

#### بیشتر بدانید



#### الکترودهای مورد استفاده در مطالعات خوردگی:

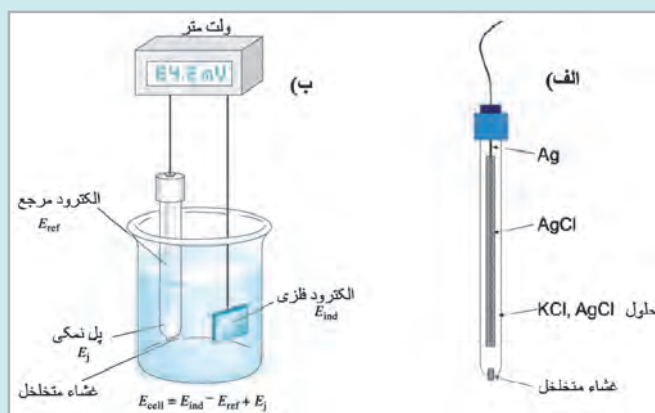
به‌طور کلی الکترودهای مورد استفاده در مطالعات خوردگی شامل الکتروود مرجع<sup>۱</sup>، الکتروود کمکی<sup>۲</sup> و الکتروود کار<sup>۳</sup> به شرح زیر است:

**الکتروود مرجع:** الکتروودی است که پتانسیل آن همواره ثابت است و با قرار گرفتن در محلول‌های مختلف تغییری در پتانسیل آن، به‌وجود نمی‌آید. بنابراین، چون پتانسیل الکتروود مرجع مقدار ثابت و معینی است، با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین الکتروود مرجع و الکتروود فلزی، پتانسیل الکتروود فلزی محاسبه می‌شود. یکی از متداول‌ترین الکتروودها، الکتروود مرجع نقره/نقره کلرید است. شکل صفحه بعد ساختار الکتروود نقره/نقره کلرید و طرح کلی یک پیل الکتروشیمیایی برای تعیین غلظت یون فلزی را با استفاده از الکتروود مرجع نشان می‌دهد.

۱- Reference Electrode

۲- Auxiliary Electrode

۳- Working Electrode



(الف) الکترود مرجع نقره/نقره کلرید  
(ب) نمایش تعیین غلظت یک یون با استفاده از الکترود مرجع

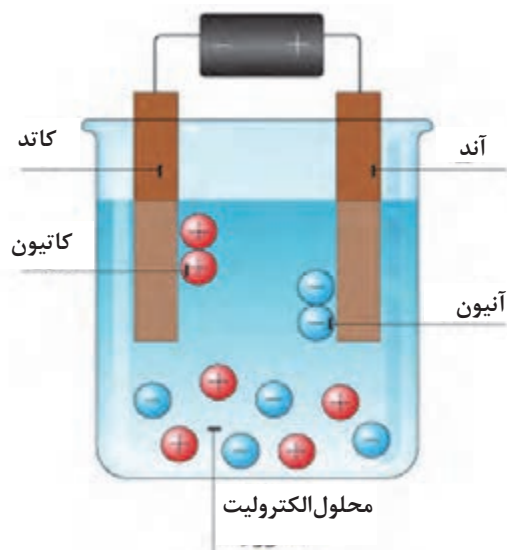
**الکترود کار:** الکترودی است که در واکنش‌های الکتروشیمیایی به عنوان کاتد یا آند عمل می‌کند و واکنش موردنظر توسط آن انجام می‌شود. در مطالعات خوردگی فلز مورد بررسی نقش الکترود کار را به عهده دارد.

**الکترود کمکی:** در یک پیل الکتروشیمیایی، به الکترودی که جهت تکمیل مدار الکتریکی به کار می‌رود و تأمین‌کننده الکترون است، الکترود کمکی گفته می‌شود. این الکترود معمولاً از جنس فلزات بی اثر مانند پلاتین است.

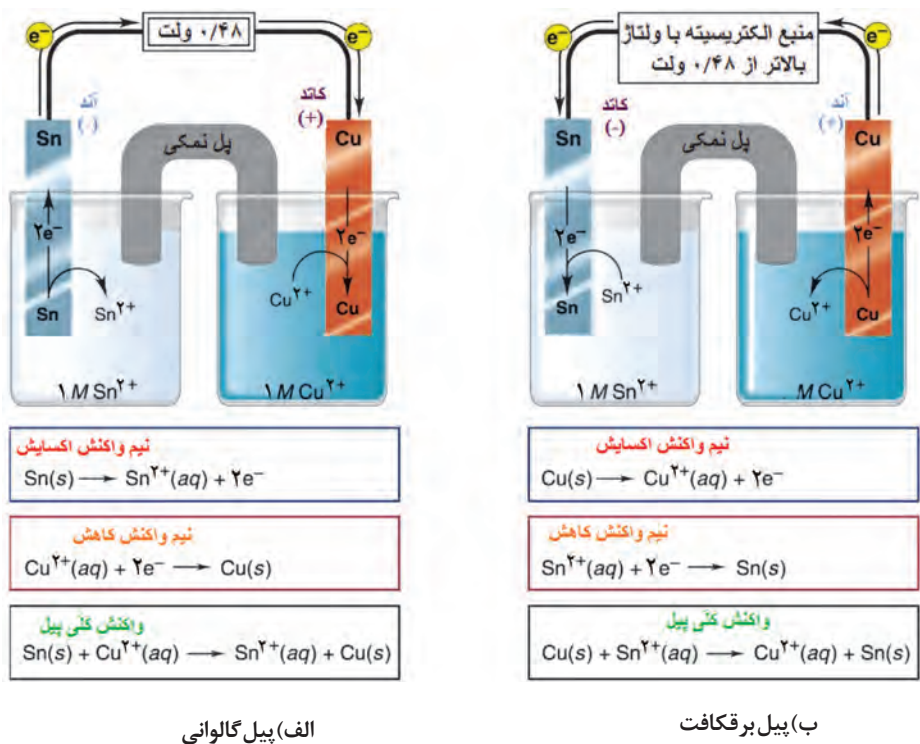
### پیل برقکافت (الکترولیز)

همان‌طور که گفته شد، پدیده‌ای که در آن با به کار بردن جریان الکتریکی در محلول، واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد، فرایند برقکافت نامیده می‌شود. این فرایند عکس پیل‌های مولد الکتریسیته است. شکل ۱۳ اجزای اصلی یک پیل برقکافت را نشان می‌دهد. جریان برق مستقیم<sup>۱</sup> (DC) را می‌توان به کمک یک باتری یا یک سوکننده جریان تأمین کرد. تیغه‌هایی که جریان الکتریسیته را وارد محلول می‌کنند، الکترود نام دارند. الکترودی که به قطب مثبت باتری متصل می‌شود و نیم‌واکنش اکسایش انجام می‌دهد، آند است و الکترودی که به قطب منفی باتری متصل است و نیم‌واکنش کاهش در آن انجام می‌شود، کاتد است. در نتیجه این واکنش‌ها، موادی در الکترودها آزاد می‌شوند. محلولی که آند و کاتد در آن قرار دارند و حاوی یون‌های مثبت و منفی است، **الکترولیت** نامیده می‌شود. در طول مدت برقکافت، کاتیون‌ها به سمت کاتد و آنیون‌ها به سمت آند حرکت کرده و در واکنش‌های اکسایش و یا کاهش شرکت می‌کنند. واکنش‌های انجام شده در پیل‌های برقکافت، به ماهیت محلول، جنس الکترودها، حلال و مواد موجود در محلول بستگی دارد. در شکل ۱۴ و جدول ۲ مقایسه پیل‌های مولد جریان الکتریسیته و برقکافت نشان داده شده است.

۱- Direct Current



شکل ۱۳- نمایی از یک پیل برقکافت



شکل ۱۴- مقایسه عملکرد پیل گالوانی و پیل برقکافت



جدول ۲: مقایسه پیل‌های مولد جریان الکتریسته و برق‌کافت

نوع پیل	نوع واکنش	$E_{\text{cell}}$	فرایند انجام شده	نام الکترود	علامت الکترود	جهت جریان
مولد جریان الکتریسته	خودبه‌خودی	$E_{\text{cell}} > 0$	اکسایش	آند	-	آند به کاتد
			کاهش	کاتد	+	
برق‌کافت (الکترولیز)	غیرخودبه‌خودی	$E_{\text{cell}} < 0$	اکسایش	آند	+	آند به کاتد
			کاهش	کاتد	-	

## فعالیت عملی ۴



### مقایسه پیل‌های گالوانی و برق‌کافت

**وسایل مورد نیاز:** یک سوکندۀ جریان (رکتیفایر)، بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری ۴ عدد، میلی‌ولت‌سنج (گسترۀ ۱۰۰۰- میلی‌ولت) یک دستگاه، سیم‌های رابط و گیره‌های سوسماری، هر کدام ۴ عدد، لولۀ U شکل دو عدد **مواد مورد نیاز:** مس (II) سولفات، قلع (II) سولفات، نیتریک اسید غلیظ، پل نمکی دو عدد، ورقه‌های مسی و قلع یک عدد، (الکترودها می‌توانند خنثی هم باشند)، محلول سیرشده پتاسیم نیترات و آگار

**طرز آماده کردن پل نمکی:** ۵ گرم آگار وارد ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول  $\text{KNO}_3$  غلیظ کرده تادمای جوش حرارت می‌دهند سپس لولۀ شیشه‌ای U شکل را به وسیلۀ محلول داغ پر کرده و اجازه می‌دهند تا سرد شود و به حالت ژلاتینی درآید دو سر لوله را بین دو الکترولیت مربوط به هر یک از الکترودها قرار می‌دهند تا ارتباط الکتریکی بین دو الکترولیت از جریان یونی برقرار شود.

روش دیگر آماده‌سازی پل نمکی پر کردن لولۀ شیشه‌ای U شکل به وسیلۀ محلول سیرشده پتاسیم نیترات و قرار دادن پشم شیشه در دو انتهای لوله است. و یا می‌توان کاغذ صافی خیس شده در محلول سیرشده پتاسیم نیترات را برای ارتباط بین دو ظرف واکنش استفاده کرد.

### روش کار:

۱ محلول‌های یک مولار از نمک‌های قلع (II) سولفات و مس (II) سولفات تهیه کنید.

۲ با استفاده از محلول سیرشده پتاسیم نیترات دو پل نمکی تهیه کنید.

۳ محلول نیتریک اسید  $(\frac{V}{10})$ ٪ ۱۰ تهیه کنید و الکترودهای قلع و مس را ۳ دقیقه در محلول گرم آن قرار دهید تا سطح الکترودها براق و تمیز شوند. سپس با آب مقطر بشویید، در آون با دمای  $110^\circ\text{C}$  خشک کنید و در خشکانه قرار دهید.

۴ پیش از آزمایش، الکترودها را با گیره بردارید و با استفاده از ترازو، جرم آنها را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

۵ با قرار دادن الکترودها (مطابق شکل ۱۴) در محلول‌های الکترولیت، یک پیل گالوانی و یک پیل برق‌کافت تهیه کنید.

۶ پس از ۱۰ دقیقه الکترودها را خارج کنید با آب مقطر بشویید، سپس در آون خشک کنید و پس از سرد شدن، جرم آنها را اندازه‌گیری کنید.

نکته



پرسش ۷



به جای فلز قلع و محلول قلع (II) سولفات، می‌توانید از فلز روی و محلول روی سولفات استفاده کنید.

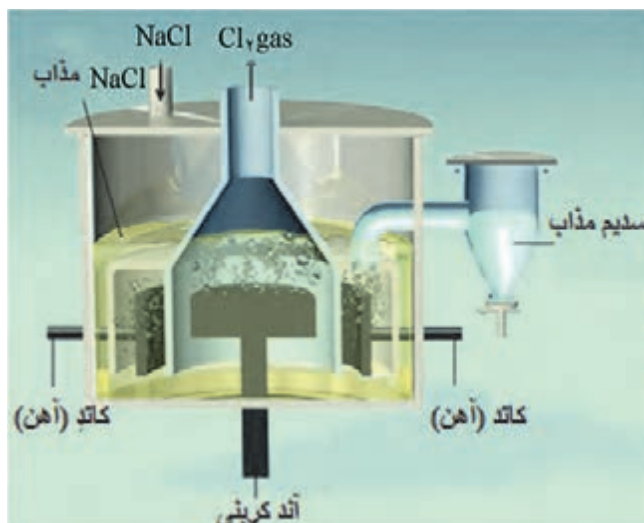
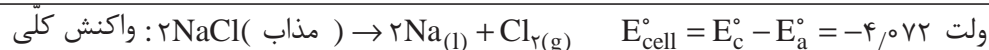
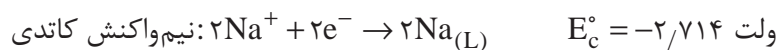
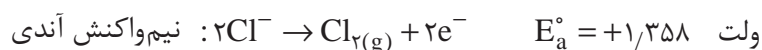
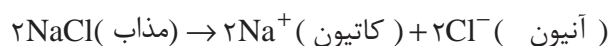
الف) تمامی واکنش‌های انجام شده در سطح الکترودهای کاتد و آند را در پیل گالوانی و پیل برقکافت، بنویسید.  
ب) تغییرات جرم الکترودها پیش و پس از آزمایش را بررسی کنید.

### مثال ۶:

نیم‌واکنش‌های آندی، کاتدی و پتانسیل پیل برقکافت سدیم کلرید مذاب را به دست آورید.

### پاسخ:

باتوجه به شکل ۱۵ در این پیل برقکافت آنیون  $\text{Cl}^-$  به سمت آند و کاتیون  $\text{Na}^+$  به سمت کاتد حرکت می‌کنند و در دو الکترود آند و کاتد به ترتیب اکسایش و کاهش انجام می‌دهند:



ب



الف

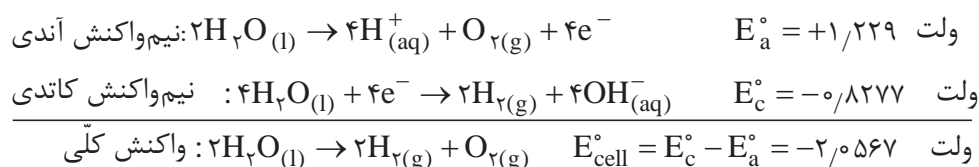
شکل ۱۵- برقکافت سدیم کلرید مذاب

## مثال ۷:

**کاربرد الکترولیز:** الف) الکترولیز آب را در پیل الکترولیتی شکل ۱۶ مورد بررسی قرار دهید. ب) اگر چند قطره سولفوریک اسید غلیظ به آب اضافه شود، نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی و واکنش کلی چگونه خواهد بود؟

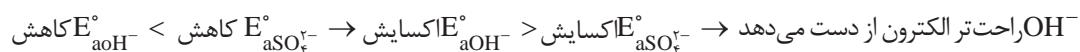
## پاسخ:

الف) نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی آب و واکنش کلی پیل به صورت زیر است:

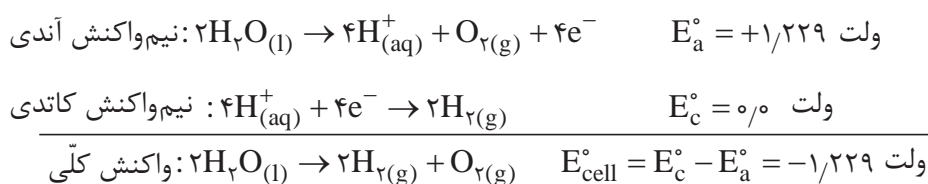


باتوجه به مثال می‌توان گفت، در الکترولیز ممکن است محصول نیم‌واکنش‌های کاتدی و آندی به صورت گاز آزاد شود.

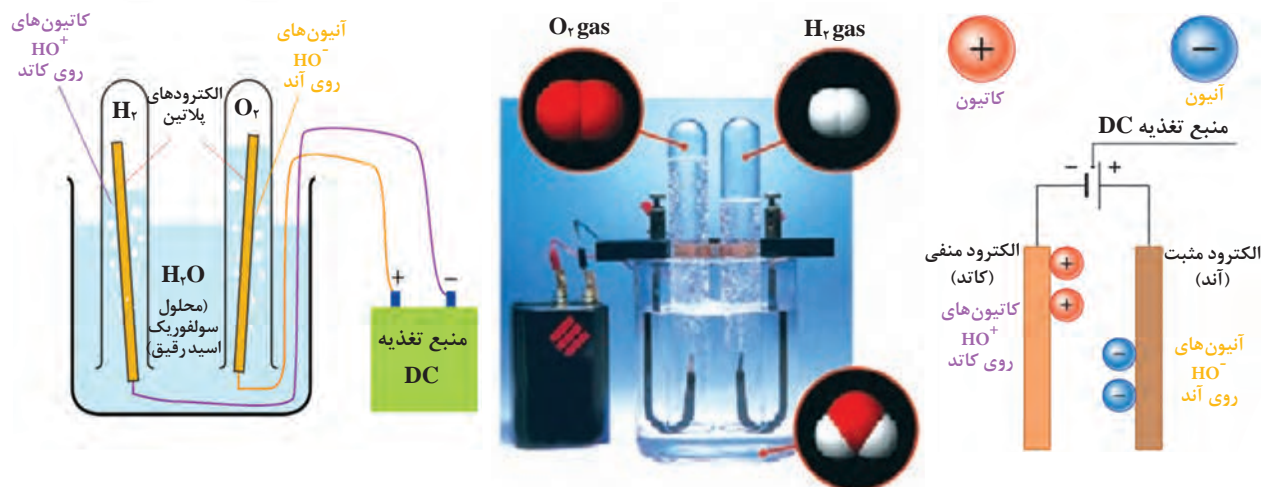
ب) کاتیون  $\text{H}^+$  و آنیون‌های  $\text{OH}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  در محلول الکترولیت حضور دارند. باتوجه به پتانسیل کاهش، در رقابت آنیون‌های  $\text{OH}^-$  (ولت  $+1/229$ ) و  $\text{SO}_4^{2-}$  (ولت  $+2/05$ )، آنیون  $\text{OH}^-$  پتانسیل کاهش کمتری دارد و در نتیجه تمایل آن به از دست دادن الکترون بیشتر است.



باتوجه به حضور اسید در محیط نیم‌واکنش‌های کاتدی، آندی و واکنش کلی پیل به صورت زیر است:



مقایسه قسمت الف و ب نشان می‌دهد که با حضور اسید پتانسیل کمتری برای انجام الکترولیز آب لازم است.



شکل ۱۶- الکترولیز محلول آبی رقیق  $\text{H}_2\text{SO}_4$

## فعالیت عملی ۵



### الکترولیز آب

مطابق شکل ۱۶ با افزایش چند قطره سولفوریک اسید غلیظ به آب مقطر و با اعمال پتانسیل بیشتر از ۱/۲۲۹ ولت الکترولیز آب را انجام دهید.

## فعالیت عملی ۶



### تعیین مقدار مس در محلول مس(II) سولفات

**وسایل مورد نیاز:** یک سوکندۀ جریان (رکتیفایر)، بشر ۴۰۰ میلی لیتری ۱ عدد، گرم کن برقی، سیم های رابط و گیره های سوسماری هر کدام ۲ عدد  
**مواد مورد نیاز:** محلول با غلظت مجهول مس(II) سولفات، نیتریک اسید غلیظ، سولفوریک اسید غلیظ، ورقه مسی یک عدد، الکتروود گرافیت یا پلاتین



نکته ایمنی

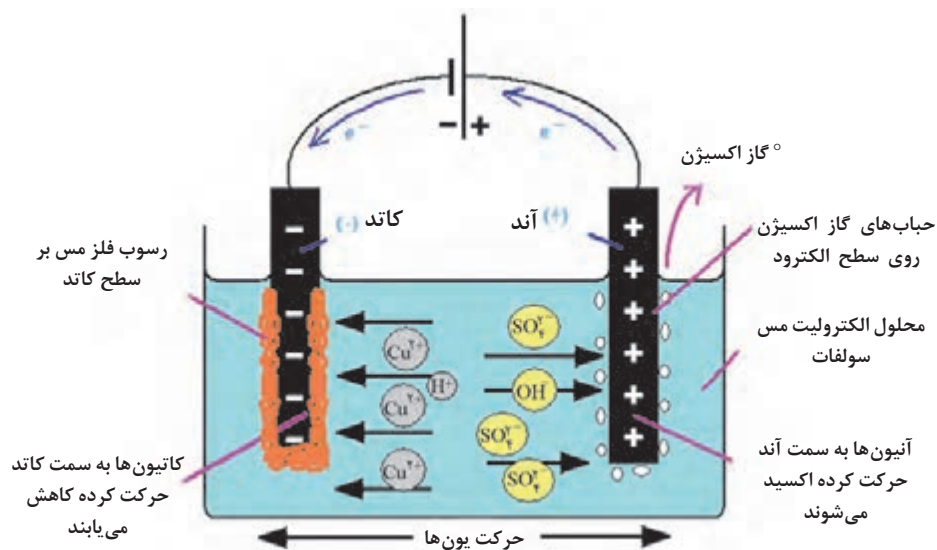


- تماس با چشم، تماس با پوست و استنشاق بخارات نیتریک اسید سبب آسیب های جدی می شود.
- سولفوریک اسید باعث سوختگی شدید پوست و چشم ها می شود. مخلوط آن با آب به شدت گرمازا است و بخارات بسیار آزاردهنده تولید می کند.

### روش کار:

- ۱ محلول نیتریک اسید  $(\frac{V}{V})$  ۱۰٪ تهیه کنید و الکترودها را ۳ دقیقه در محلول گرم آن قرار دهید تا سطح الکترودها برّاق و تمیز شوند. سپس با آب مقطر بشویید، در آون با دمای  $110^{\circ}\text{C}$  خشک کنید و در خشکانه قرار دهید.
- ۲ پیش از آزمایش، الکترودها را با گیره بردارید و با استفاده از ترازو، جرم آنها را اندازه گیری و یادداشت کنید.
- ۳ حجم معینی از نمونه مجهول را در ظرف برقکافت بریزید و ۲ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ و ۱/۵ میلی لیتر نیتریک اسید  $(\frac{V}{V})$  ۱۰٪ به آن اضافه کنید.
- ۴ الکترودها را در ظرف برقکافت مطابق شکل ۱۷ در جای مخصوص خود قرار دهید (کاتد از جنس مس و آنود گرافیت انتخاب شوند) و تا پوشیده شدن حدود ۲ سانتی متر از الکترودها از آب مقطر استفاده کنید.
- ۵ دمای رسوب کردن مس  $50^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$  است. پس از رسیدن به دمای موردنظر، با شدت جریان ۲ آمپر برقکافت را به مدت ۳۰ دقیقه انجام دهید.
- ۶ برای حصول اطمینان از کامل شدن برقکافت مقداری آب مقطر به محلول اضافه کنید تا سطح جدیدی از کاتد در محلول قرار گیرد.
- ۷ شدت جریان را از ۲ آمپر به ۱/۵ آمپر کاهش دهید و آزمایش را تا ۱۰ دقیقه دیگر ادامه دهید.
- ۸ چنانچه پس از این مدت مس بر روی سطح جدید کاتد رسوب نکرد، برقکافت کامل بوده و می توانید کاتد را از مدار خارج کنید.

۹ الکترود کاتد را که مس بر روی آن رسوب کرده است با آب مقطر بشوئید و در آون خشک کنید و پس از سرد شدن به دقت وزن کنید.



شکل ۱۷- برقکافت محلول مس (II) سولفات با الکترودهای کربنی

پرسش ۸



الف) کلیه واکنش‌های انجام شده روی سطح کاتد و آند را بنویسید.  
ب) با توجه به اختلاف جرم کاتد پیش و پس از عمل برقکافت، مقدار مس موجود در نمونه را برحسب مس سولفات ۵ آبه تعیین کنید.

## پیل‌های خوردگی

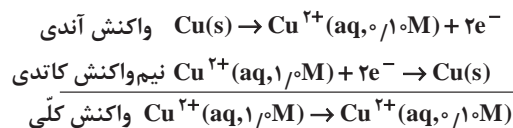
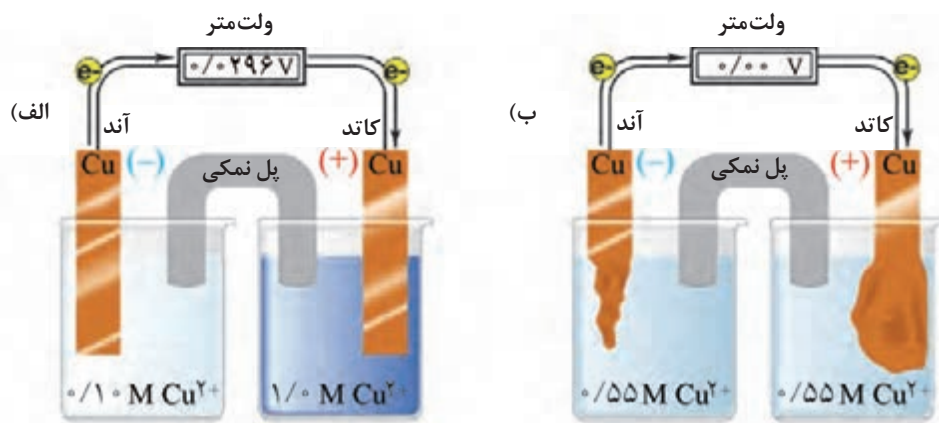
خوردگی در محیط‌های آبی، دارای ماهیت الکتروشیمیایی است که بر مبنای یک پیل گالوانیک عمل می‌کند که به آن پیل خوردگی گفته می‌شود. با توجه به انواع پیل‌های الکتروشیمیایی، واکنش‌های خوردگی می‌تواند منطبق با یکی از انواع پیل‌های خوردگی زیر انجام شود:  
الف) **پیل دو فلزی (گالوانی)²**: پیلی که از دو فلز با جنس‌های مختلف تشکیل می‌شود، پیل گالوانی دوفلزی گفته می‌شود.

تمرین ۳



برای پیل‌های گالوانی  $Al/Ni, Cu/Fe, Cu/Ni, Al/Cu, Cu/Zn$  زیر  
الف) آند و کاتد را مشخص نمائید.  
ب) پتانسیل زوج‌های گالوانی را در شرایط استاندارد محاسبه کنید.  
ج) در هر مورد از زوج‌های گالوانی کدام فلز خورده شده و کدام یک حفاظت می‌شود؟

(ب) پیل غلظتی<sup>۱</sup>: این پیل از قرار گرفتن دو الکترود مشابه در محلول‌های الکترولیت با غلظت‌های متفاوت تشکیل می‌شود. مانند پیلی که از قرار گرفتن فلز مس در محلول مس سولفات غلیظ و الکترود مس دیگر در محلول مس سولفات رقیق‌تر تشکیل می‌شود (شکل ۱۸). خوردگی تا زمانی ادامه می‌یابد که در هر دو محلول، غلظت‌ها برابر شود.



شکل ۱۸- نمونه‌ای از پیل غلظتی

پتانسیل پیل غلظتی حاصل را می‌توان با استفاده از پتانسیل الکترودها و براساس معادله نرنست بیان کرد. هرگاه دو الکترود یکسان در محلول‌های الکترولیت با غلظت‌های متفاوت قرار گیرند، بین دو الکترود یک اختلاف پتانسیل برقرار و یک پیل غلظتی تشکیل می‌شود. پتانسیل پیل غلظتی حاصل را می‌توان با استفاده از پتانسیل الکترودها و بر اساس معادله نرنست بیان کرد. اگر غلظت یون فلزی در محلول الکترولیت رقیق‌تر  $C_1$  و غلظت یون در الکترولیت غلیظ‌تر  $C_2$  باشد، پتانسیل الکترودهای در تماس با این محلول‌ها در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E_1 = E_{\text{M}^{n+}}^{\circ} + \frac{0.0592}{n} \log C_1, \quad E_2 = E_{\text{M}^{n+}}^{\circ} + \frac{0.0592}{n} \log C_2$$

باتوجه به اینکه  $C_1 < C_2$  است، پس  $E_1 < E_2$  خواهد شد؛ یعنی الکترود قرارگرفته در الکترولیت غلیظ‌تر دارای پتانسیل کاهش بزرگ‌تری است؛ بنابراین نقش کاتد را دارد و یون‌های فلزی در سطح آن کاهش می‌یابند. در حالی که الکترود قرار گرفته در محلول رقیق‌تر ( $E_1$ ) دارای پتانسیل کاهش کمتر است و نقش آند را ایفا می‌کند و خورده می‌شود. این پدیده اساس خوردگی اجزای فلزی تجهیزاتی را که در محلول‌های الکترولیت با غلظت‌های متفاوت هستند، تشکیل می‌دهد. در این تجهیزات، قسمتی از فلز که در تماس با الکترولیت رقیق‌تر است، نقش آند دارد و خورده می‌شود.

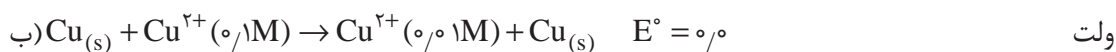
<sup>۱</sup>- Concentration Cell

### مثال ۸:

در یک پیل غلظتی با الکترودهای یکسان مس در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، غلظت یون‌های مس در یکی از الکترودها  $0.1$  مولار و در دیگری  $0.01$  مولار است. الف) کدام الکترود آند و کدام کاتد است؟ ب) واکنش کلی پیل چگونه است؟ ج) نیروی محرکه پیل را محاسبه کنید.

### پاسخ:

الف) چون واکنش نهایی پیل‌های غلظتی فقط رقیق‌شدن الکترولیت یا کاهش غلظت یون‌های مربوط است، پس الکترودی که غلظت یون‌های مس در آن بیشتر ( $0.1$  مولار) است، کاتد و دیگری ( $0.01$  مولار) آند است.



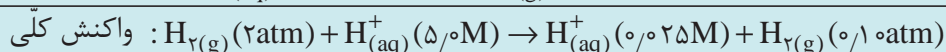
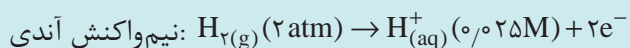
ج) باتوجه به اینکه پیل‌های غلظتی الکترودهای یکسان دارند، نیروی محرکه استاندارد پیل صفر است؛ در نتیجه خواهیم داشت:

$$E_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cell}} - \frac{0.0592}{n} \log Q = 0.0 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{[\text{Cu}^{2+}]_{\text{محصول}}}{[\text{Cu}^{2+}]_{\text{مواد اولیه}}} = -0.0296 \log \frac{0.01}{0.1} = 0.0296 \text{ ولت}$$

بیشتر بدانید



نیروی محرکه پیل غلظتی زیر در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  چنین خواهد بود:



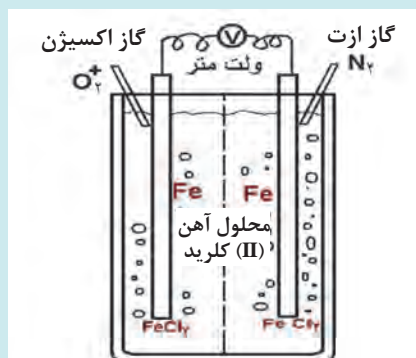
$$E_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cell}} - \frac{0.0592}{n} \log Q = 0.0 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{(0.025)(0.1)}{(5)(2)} = 0.127 \text{ ولت}$$

تمرین ۴



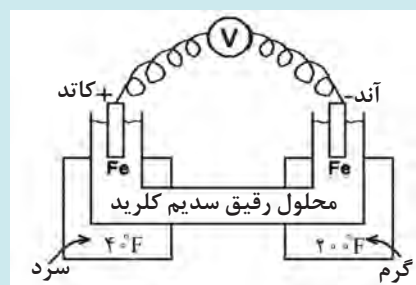
یک پیل غلظتی با الکترودهای یکسان گالیم (Ga) کار می‌کند. غلظت یون‌های گالیم ( $\text{Ga}^{3+}$ ) (III) در یکی از الکترودها  $0.2$  مولار و در دیگری  $0.3$  است. الف) کدام الکترود آند و کدام کاتد است؟ ب) واکنش کلی پیل چگونه است؟ ج) نیروی محرکه پیل را محاسبه کنید.





نمای ساده‌ای از پیل اختلاف دمشی

**پیل اختلاف دمشی<sup>۱</sup>:** این پیل در اثر اختلاف غلظت اکسیژن محلول در الکترولیت‌های اطراف دو الکترود حاصل می‌شود. برای مثال، اگر دو الکترود آهنی در دو محلول آهن (II) کلرید قرار داده شوند و به یکی از محلول‌ها هوا دمیده و از دیگری هواگیری شود، غلظت نابرابری از اکسیژن در دو محلول حاصل می‌شود که سبب اختلاف پتانسیل بین دو الکترود و تشکیل پیل می‌گردد (شکل روبه‌رو).



نمای ساده‌ای از پیل گرمایی

**پیل گرمایی<sup>۲</sup> (اختلاف دما):** این پیل ناشی از اختلاف دمای الکترولیت در اطراف الکترودهای کاتد و آند است و از قرار گرفتن دو الکترود یکسان در الکترولیت‌های با ترکیب مشابه ولی دماهای مختلف به وجود می‌آید (شکل روبه‌رو). در این پیل‌ها اغلب فلز در دمای بالاتر نقش آند و فلز در دمای پایین‌تر به عنوان کاتد عمل می‌کند.

در واقع پیل‌های اختلاف دما یک نوع پیل خوردگی هستند که تأثیر مستقیم دما بر خوردگی فلزات و آلیاژها را در محلول‌های الکترولیت نشان می‌دهند. تشکیل پیل‌های گرمایی در مبدل‌های گرمایی و دیگ‌های بخار مطرح است. این پیل‌ها از مهم‌ترین اجزای باتری‌های گرمایی به شمار می‌آیند.

اندازه پیل خوردگی خیلی کوچک است (کمتر از ۰/۱ میلی‌متر). در حقیقت یک پیل الکتروشیمیایی با اندازه میکرومتری است که به آن پیل موضعی<sup>۳</sup> هم می‌گویند. پیل‌های موضعی زمانی تشکیل می‌شوند که آلیاژ حضور داشته باشد و یا در سطح فلز، لایه‌های رسانای الکتریسیته مانند اکسیدها، سولفیدها و کربن وجود داشته باشد. عملکرد پیل‌های موضعی منجر به تخریب‌های موضعی بر روی سطح فلز مانند حفره‌ای شدن و ترک برداشتن سطح فلز می‌شود.

۱- Different Aeration Cell

۲- Temperature Cell

۳- Local Cell



## فعالیت عملی ۷



### خوردگی دو فلزی

**وسایل مورد نیاز:** میکروآمپرسنج، ولتسنج، سیم‌های رابط و اتصالات از هر کدام دو عدد، بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری ۵ عدد.

**مواد مورد نیاز:** ورقه‌های فلزی روی، مس، آهن، آلومینیم و نیکل از هر کدام یک عدد (با اندازه  $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ )، پل نمکی، کاغذ سنباده، حلال چربی زدا (استون یا الکل)، محلول سدیم کلرید ۳/۵٪ w/w.

### روش کار:

- ۱ هر کدام از الکترودهای فلزی را بعد از سنباده زدن، چربی‌زدایی با الکل و شست‌وشو با آب، خشک کنید.
- ۲ هر یک از الکترودهای فلزی آماده‌سازی شده را مطابق با زوج‌های گالوانی زیر در محلول ۳/۵٪ سدیم کلرید غوطه‌ور کنید و با استفاده از پل نمکی، ۵ پیل گالوانی زیر را تشکیل دهید.  
 $\text{Cu/Ni, Al/Ni, Cu/Fe, Al/Cu, Cu/Zn}$
- ۳ اختلاف پتانسیل بین دو الکترودها را برای هر یک از زوج‌های پیل‌های تشکیل شده، به وسیله ولتسنج اندازه بگیرید.
- ۴ آزمایش انجام شده را به جای محلول سدیم کلرید، در آب شهر نیز تکرار کنید.

پرسش ۹



الف) با استفاده از جدول پتانسیل کاهش استاندارد، آند و کاتد را در هر زوج گالوانی مشخص کنید.  
ب) نیروی محرکه استاندارد هر یک از زوج‌های گالوانی را محاسبه کنید.  
پ) در هر مورد از زوج‌های گالوانیکی کدام فلز خورده شده و کدام یک حفاظت می‌شود؟  
ت) نتایج حاصل از آب شهر را با نتایج به دست آمده در محلول سدیم کلرید مقایسه کنید. چنانچه تفاوتی در نتایج به دست آمده وجود دارد، توضیح دهید.

## فعالیت عملی ۸



### پیل غلظتی (اثر اختلاف غلظت یون فلزی بر خوردگی در اتصال دو فلز یکسان)

**وسایل مورد نیاز:** بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری ۲ عدد، میلی‌ولتسنج (گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌ولت) یک دستگاه، میلی‌آمپرسنج (گستره ۰-۱۰۰۰ میلی‌آمپر) یک دستگاه، سیم‌های رابط و گیره‌های سوسماری هر کدام ۴ عدد، لوله U شکل یک عدد

**مواد مورد نیاز:** سولفوریک اسید غلیظ، مس سولفات ۳۰ گرم، پل نمکی یک عدد، ورقه‌های مسی (با اندازه  $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ) ۲ عدد، آگار، محلول سیر شده پتاسیم کلرید

**طرز آماده‌کردن پل نمکی:** ۵ گرم آگار را وارد ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول KCl غلیظ کنید تا دمای جوش گرما می‌دهند. سپس لوله شیشه‌ای U شکل را به وسیله محلول داغ پر کنید و اجازه دهید تا سرد شود و به حالت ژلاتینی درآید. دو سر لوله را بین دو الکترولیت مربوط به هر یک از الکترودها قرار دهید تا ارتباط الکتریکی بین دو الکترولیت از طریق جریان یونی برقرار شود.

روش دیگر آماده‌سازی پل نمکی، پرکردن لوله شیشه‌ای U شکل با محلول سیر شده پتاسیم کلرید و قراردادن

پشم شیشه در دو انتهای لوله است. همچنین می‌توان کاغذ صافی خیس‌شده در محلول سیرشده پتاسیم کلرید را برای ارتباط بین دو ظرف واکنش استفاده کرد.

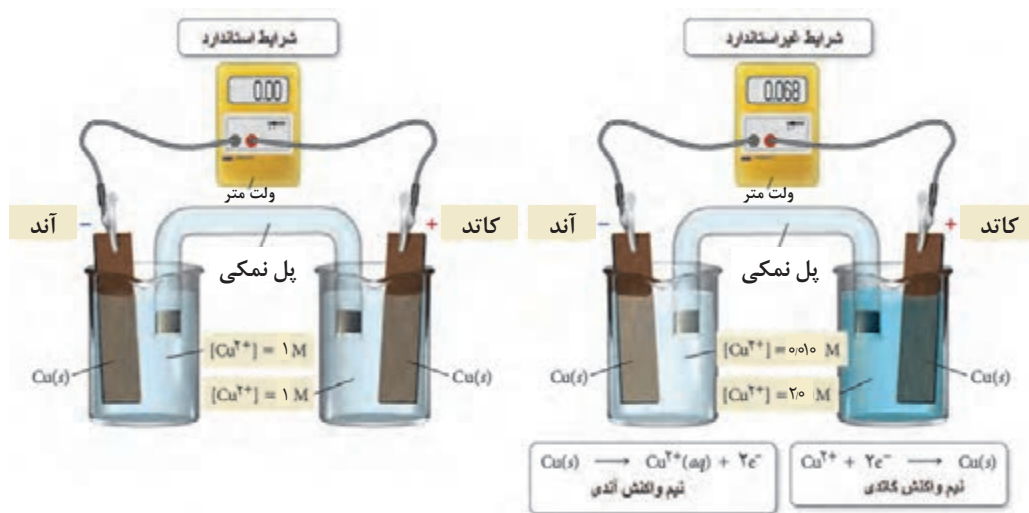
### روش کار:

ابتدا محلول‌های مس سولفات با غلظت‌های ۰.۰۱٪، ۰.۱٪، ۱٪ و ۱۰٪ (w/w) در محلول ۱۰٪ (w/w) سولفوریک اسید تهیه کنید.

۱ در یکی از بشرها، ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول اسیدی مس سولفات ۱۰٪، و در بشر دیگر ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول اسیدی مس سولفات ۰.۱٪ بریزید. سپس هر یک از ورقه‌های مسی آماده‌سازی شده را در یکی از بشرها قرار دهید و به وسیله سیم رابط مطابق شکل ۱۹ به میلی‌آمپرسنج وصل کنید و جریان را اندازه‌گیری کنید. جهت جریان بین دو الکترود را مشاهده و یادداشت کنید. سپس میلی‌ولت‌سنج را در مدار قرار دهید اختلاف پتانسیل بین دو الکترود را اندازه بگیرید.

۲ آزمایش را با استفاده از محلول‌های ۱۰٪ و ۰.۱٪ مس سولفات اسیدی انجام دهید. جریان و اختلاف پتانسیل بین دو ورقه مسی را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

۳ آزمایش را با استفاده از محلول‌های ۱۰٪ و ۰.۰۱٪ مس سولفات اسیدی انجام دهید. جریان و اختلاف پتانسیل بین دو ورقه مسی را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.



شکل ۱۹- نمایی از یک پیل غلظتی مس

الف) علت برقراری جریان و پتانسیل ایجادشده بین دو الکترود را توضیح دهید.  
ب) آند و کاتد پیل‌های تشکیل‌شده را مشخص کنید و در هر مورد واکنش کاتدی و آندی را برای دو نیم‌واکنش بنویسید.  
پ) برای هر آزمایش اختلاف پتانسیل را بر اساس معادله نرنست محاسبه کنید و با مقدار تجربی (اندازه‌گیری‌شده) مقایسه کنید.

پرسش ۱۰



باتوجه به کاربرد فلزات و آلیاژهای فلزی در صنایع مختلف، بحث خوردگی در بیشتر صنایع مطرح است و فرایند خوردگی به صورت مستقیم بر عملکرد آنها تأثیر می‌گذارد و سالیانه هزینه بسیار بالایی صرف تعویض و نگهداری تأسیسات می‌شود. علاوه بر هزینه‌های خوردگی، زندگی بشر نیز به عملکرد درست بسیاری از تأسیسات و سازه‌های فلزی بستگی دارد که در معرض ضررهای خوردگی قرار دارند.

در ارتباط با زیان‌های ناشی از خوردگی بر مصرف انرژی، محیط‌زیست و سلامتی بشر گزارشی تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید

۵



تعدادی از صنایع و تجهیزات شیمیایی که در معرض خوردگی قرار دارند، عبارت‌اند از:

**الف) خوردگی در چاه‌های نفت و گاز:** صنعت نفت و گاز دارای تعداد زیادی محیط خورنده است. چاه‌های نفت شامل هیدروکربن‌های مایع، آب و مقداری گاز (متان و اتان) هستند. نمک‌ها،  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  گونه‌هایی هستند که در این چاه‌ها حضور دارند و می‌توانند در آب چاه‌ها حل شوند و خوردگی را تشدید کنند. در چاه‌های نفت، خوردگی قسمت‌های زیر اتفاق می‌افتد:

- ۱ لوله‌های حفاری چاه نفت
- ۲ تجهیزات تزریق آب به چاه
- ۳ تجهیزات سر چاه
- ۴ تجهیزات و سکوها دریایی

**ب) خوردگی در پالایشگاه نفت خام:** نفت خام که از چاه‌های نفت خارج می‌شود، حاوی مقادیر زیادی آب، نمک‌های مختلف و ذراتی است که باید پیش از رسیدن به پالایشگاه تا حد امکان از آن جدا شود. این مواد بر اساس نفت خامی که از چاه‌های مختلف استخراج می‌شود، دارای تنوع است. خوردگی در پالایشگاه سبب افزایش هزینه‌های تعمیر و تعویض قطعات، افزایش هزینه به دلیل تعطیلی پالایشگاه و هزینه‌های کارکنان است. خوردگی پالایشگاهی در برخی از موارد به دو دسته تقسیم می‌شود: الف) خوردگی در دمای پایین (کمتر از  $260^\circ\text{C}$ ) ب) خوردگی در درجه حرارت بالا (بالای  $260^\circ\text{C}$ )

**پ) خوردگی در دیگ‌های بخار:** دیگ‌ها و مولدهای بخار از اجزای اصلی کارخانجات یا مجتمع‌های پالایشگاهی - پتروشیمی و نیروگاهی هستند که برای تولید بخار مورد نیاز توربین‌های مولد برق، بخار مورد نیاز فرایند و گرمایش استفاده می‌شوند. دیگ‌های بخار بر اساس نوع استفاده، فشار بخار تولیدی، مواد مورد استفاده در ساخت دیگ، گنجایش، شیوه احتراق و گرمایش طبقه‌بندی می‌شوند. برای پیشگیری و کم کردن سرعت خوردگی، آب پیش از ورود به سامانه تولید بخار، تصفیه می‌شود و عوامل تشدیدکننده خوردگی نظیر ذرات معلق، نمک‌ها و اکسیژن محلول از آب حذف می‌شوند؛ به علاوه مواد افزودنی برای افزایش pH آب، حذف اکسیژن و معلق نگه داشتن رسوبات به آب افزوده می‌شود. از مهم‌ترین افزودنی‌ها برای کنترل خوردگی این سازه‌ها استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است.

اما در هر صورت خوردگی رخ می‌دهد. اکسایش در دمای بالا در سطوح لوله‌های در معرض شعله و گازهای

داغ حاصل از احتراق، تورم هیدروژنی<sup>۱</sup> و تشکیل رسوبات رخ می‌دهد که به همین دلیل بازرسی‌های دوره‌ای این سامانه‌ها ضروری است.

**ت) خوردگی در توربین‌ها:** توربین‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: توربین‌های بخار و توربین‌های گازی. در توربین‌های بخار، بخار موردنیاز توسط دیگ‌های بخار (در نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند) و یا واکنشگاه (در نیروگاه‌های هسته‌ای) تأمین می‌شود. در توربین‌های بخار، شکستگی پره‌ها و دیسک‌ها از نتایج آسیب‌های خوردگی است. این پدیده به غلظت ناخالصی‌های ناشی از تبخیر آب<sup>۲</sup> بستگی دارد. قطعات موجود در توربین‌های گازی نظیر پره‌ها و دیسک‌های کمپرسور در معرض خوردگی قرار دارند. محلول‌های آبی سبب خوردگی کمپرسورها می‌شوند. در برخی محیط‌ها مانند نزدیک دریا، رطوبت چنان زیاد است که قطرات آب روی اجزای کمپرسور متراکم می‌شوند. وجود آب سبب ایجاد خوردگی در پره‌ها و دیسک‌های کمپرسور می‌شود.

**ث) خوردگی در خطوط لوله:** از خطوط لوله برای انتقال مواد مختلف به‌ویژه نفت و گاز در مناطق خشکی، ساحل و در بستر یا زیر بستر دریا استفاده می‌شود. عوامل زیادی می‌توانند سبب ایجاد انواع خوردگی در خطوط لوله شوند. اگر سیال درون لوله حاوی  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{S}$  باشد، در این صورت احتمال خوردگی خطوط لوله وجود دارد. بدنه خارجی لوله‌ها که در تماس با آب دریا، خاک و یا جو قرار دارند، در معرض انواع عوامل خوردنده موجود در این محیط‌ها مانند نمک‌های محلول و ذرات معلق در آب، اکسیژن، pH و ریزاندامکان‌ها قرار می‌گیرند.

**راه‌های جلوگیری از خوردگی:** روش‌های گوناگونی برای جلوگیری از خوردگی وجود دارد که عبارت‌اند از: استفاده از پوشش‌های محافظ، حفاظت الکتروشیمیایی (حفاظت کاتدی و آندی)، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی و انتخاب آلیاژ و مواد مناسب در محیط خوردنده.

در زمینه روش‌های گوناگون جلوگیری از خوردگی تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید

۶



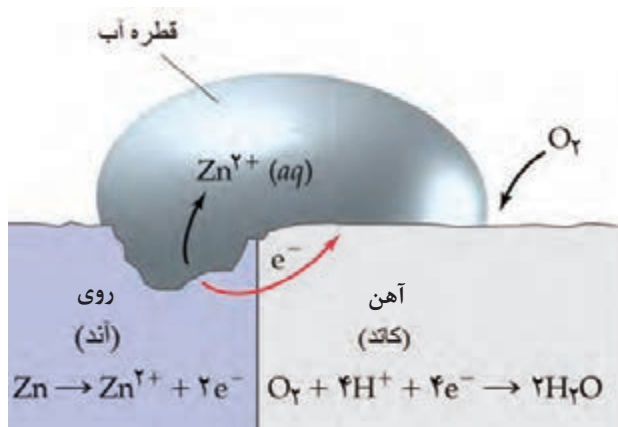
شکل ۲۰ نمای ساده‌ای از فرایند خوردگی آهن را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های پیشگیری از خوردگی فلزات، حفاظت کاتدی است. حفاظت کاتدی اولین بار توسط هامفری دیوی<sup>۳</sup> در سال ۱۸۲۴ میلادی برای حفاظت بدنه کشتی‌های جنگی استفاده شد. حفاظت از طریق کاتد قرار دادن بدنه کشتی با استفاده از جریان اعمال شده با اتصال به یک آند فداشونده<sup>۴</sup> (فلز فعال تر نسبت به بدنه کشتی که دارای پتانسیل کاهش کمتری است) انجام گرفت. در این صورت یک پیل گالوانی بین سازه حفاظت‌شده (کاتد) و آند قربانی‌شونده ایجاد می‌شود که در آن الکترون‌ها به‌طور خودبه‌خودی از آند وارد کاتد می‌شوند. آندهای روی (شکل ۲۱) و منیزیم (شکل ۲۲)، مهم‌ترین آندهای گالوانی برای کاربردهای زیرزمینی هستند.

۱- Hydrogen Swelling انجام فعل و انفعالات شیمیایی که منجر به تولید گاز هیدروژن می‌شود به تورم شیمیایی یا تورم هیدروژنی معروف است.

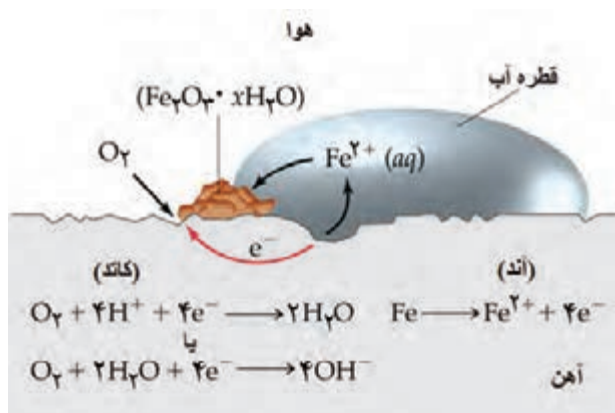
۲- این ناخالصی‌ها از جمله سیلیس است که به دلیل سرعت بالای بخار در توربین مانند گلوله عمل می‌کند و در برخورد با پره‌ها باعث ایجاد خسارت می‌شود.

۳- Humphery Davy

۴- Sacrificial Anode



شکل ۲۱- حفاظت از خوردگی آهن در تماس با فلز روی



شکل ۲۰- فرایند خوردگی آهن

در مورد نیم‌واکنش‌های آندی و کاتدی و واکنش کلی، الف) در فرایند خوردگی آهن (شکل ۲۰)  
ب) حفاظت از خوردگی آهن (شکل ۲۱) تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۷



شکل ۲۲- حفاظت لوله آهنی در خاک به روش آند فدا شونده

استفاده از پوشش‌های معدنی (آبکاری فلزات) و آلی (رنگ‌ها) از مهم‌ترین روش‌های حفاظت قطعات و تجهیزات فلزی هستند که در پودمان عملیات در صنایع پوششی با آنها آشنا خواهید شد.

## پرسش‌های پایانی

- ۱ شش عامل مؤثر و مهم بر خوردگی فلزات را نام ببرید.
- ۲ چند مثال عملی برای خوردگی فلزات در صنایع را بنویسید.
- ۳ چند دلیل عملی برای حفاظت از فلزات در برابر خوردگی را ذکر کنید.
- ۴ سه روش کلی برای جلوگیری از خوردگی را شرح دهید.
- ۵ دلیل اهمیت الکتروشیمی در خوردگی فلزات چیست؟
- ۶ پیل خوردگی، پیل مولد جریان محسوب می‌شود یا پیل برقکافت؟ در پیل خوردگی، فلز مورد نظر که تحت حمله خوردگی قرار می‌گیرد، نقش آند دارد یا کاتد؟ و این الکتروود قطب مثبت است یا منفی؟
- ۷ بر طبق جدول پتانسیل‌های استاندارد کاهش، اتصال کدام یک از فلزات زیر به آهن از خوردگی آن می‌تواند جلوگیری کند (نقش آند فداشونده داشته باشد)؟  
الف) مس  
ب) منیزیم  
ج) روی  
د) آلومینیم
- ۸ افزایش دما چه اثری روی مقدار پتانسیل الکتروودها دارد؟
- ۹ پتانسیل‌های الکتروودی چگونه در تعیین میزان تمایل فلزات برای خورده شدن در محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
- ۱۰ تمایل مس برای خوردگی در محلول مس کلرید با غلظت دسی‌مولار را محاسبه کنید.
- ۱۱ میزان علاقه مس به خوردگی در محیط سولفوریک اسید سانتی‌مولار را محاسبه کنید.

## ارزشیابی شایستگی پیشگیری خوردگی در صنایع شیمیایی

### شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار سپرده شده را با دقت انجام دهد.  
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.  
پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد: به کارگیری روش های حفاظت از خوردگی در صنایع شیمیایی طبق دستور کار

### شاخص ها:

- رعایت مسائل ایمنی حین کار
- انجام کار طبق دستور کار

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: آزمایشگاه

شرایط دستگاه: تمیز و آماده برای کار

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: pH سنج، کولیس، منبع تغذیه DC، ترازوی دقیق ۰/۰۰۰۱ گرم، میلی ولت سنج در گستره ۰-۱۰۰۰ میلی ولت، میلی آمپر سنج در گستره ۰-۱۰۰۰ میکروآمپر، گرمکن صفحه ای، دماسنج، سیم های رابط، وسایل آزمایشگاهی شیشه ای، کپسول های اکسیژن و نیتروژن، الکترود مرجع نقره - نقره کلرید، الکترود کمکی پلاتین، الکترود استاندارد هیدروژن

### معیار شایستگی:

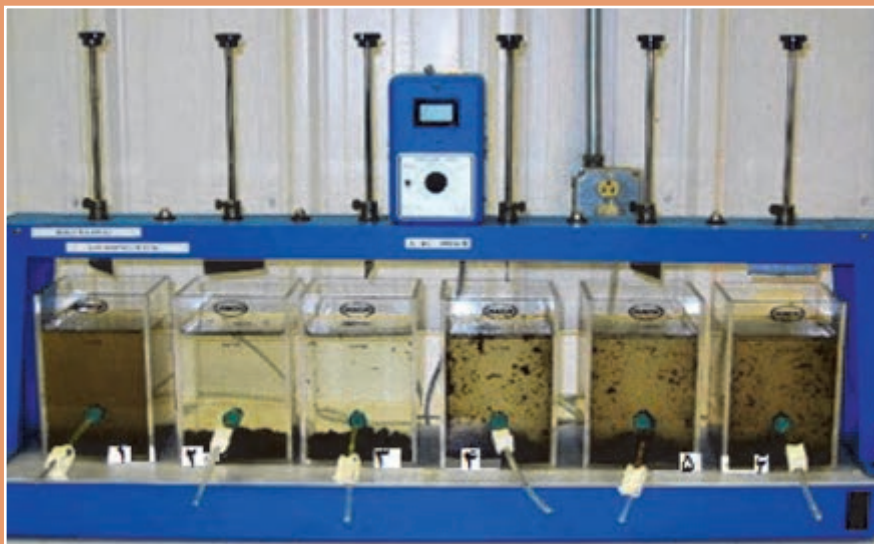
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری مفاهیم خوردگی	۱	
۲	به کارگیری پیل های الکتروشیمیایی	۲	
۳	به کارگیری روش های جلوگیری از خوردگی	۱	
۴			
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		
	۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی		
	۲- نگرش: صرفه جویی		
	۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش	۲	
	۴- شایستگی های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی		
	۵- مستندسازی: گزارش نویسی		
	میانگین نمرات		*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.



پودمان سوم

## آزمایش‌های کنترل کیفیت آب



با انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت آب، می‌توان از سلامت منابع مختلف آبی اطمینان پیدا کرد.



## واحد یادگیری ۳

### انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت آب

#### مقدمه

مهم‌ترین و مفیدترین سیال در صنایع مختلف آب است. انتقال مواد و گرما، انجام واکنش‌های شیمیایی، حل شدن بسیاری از ترکیبات، جداسازی ترکیبات گوناگون از یکدیگر، راه‌اندازی تجهیزات صنعتی از دیگر مصارف آب در صنعت است. در این پودمان اهمیت آب، منابع آن و انواع آب‌ها و ضرورت تصفیه آب آورده شده است. هنرجویان به‌طور عملی آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی آب را انجام می‌دهند.

#### استاندارد عملکرد

انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی آب مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیرفنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

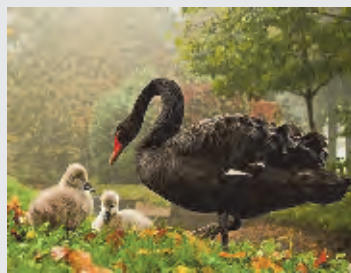
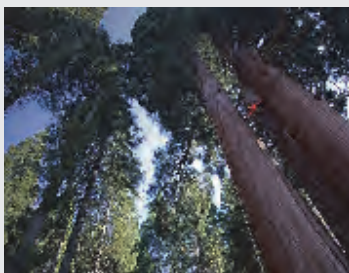
- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام وظایف و کارهای سپرده شده - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به کار به‌موقع - مدیریت مؤثر زمان - استفاده از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در فعالیت‌های گروهی، انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ ضرورت کنترل کیفیت آب را بیان کنند.
- ۲ آزمایش‌های فیزیکی آب را انجام دهند.
- ۳ آزمایش‌های شیمیایی آب را انجام دهند.
- ۴ آزمایش‌های زیست‌شناختی آب را انجام دهند.



به تصویرهای زیر نگاه کنید. چه موضوعی در بین آنها مشترک است؟



## اهمیت آب

واژه آب که معادل عربی آن «ماء» است، ۶۳ بار در قرآن کریم آمده است: این آیات اشاره دارند که زندگی همه جانداران به آب وابسته است و از نقش‌های گوناگون آب در احیای زمین، سرسبزی طبیعت، رویش گیاهان رنگارنگ، پیدایش مرتع‌ها، مزرعه‌ها و باغ‌ها با درختان مختلف و انواع میوه‌ها، سخن رفته است. در آیه ۳۹ سوره مبارکه فصلت، همین پدیده، نشانه تحقق معاد و قدرت خداوند بر زنده کردن دوباره مردگان دانسته شده است: «وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ تَرَى الْأَرْضَ خُشْعَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ وَ رَبَّتْ إِنَّ الَّذِي أَحْيَاهَا لَمُحْيِي الْمَوْتِ إِنَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ» و از جمله آیات قدرت الهی آن که زمین را بنگری خشک و پژمرده که چون ما بر آن آب باران فرود آریم، بردمد و گیاه برآورد و اهتزاز و نشاط و خرمی یابد. باری، آن کس که زمین را زنده کند، مردگان را هم زنده گرداند که او بر هر چیز قادر است».

در صنایع نیز مهم‌ترین و مفیدترین سیال، آب است. انتقال مواد و گرما، انجام واکنش‌های شیمیایی، حل شدن بسیاری از ترکیبات، جداسازی ترکیبات مختلف از یکدیگر، به کار انداختن تجهیزات صنعتی مانند موتور بخار، توربین بخار و توربین آبی از مصارف آب در صنعت است. برای دانستن اهمیت آب در صنایع کافی است بدانید که در سال ۱۳۴۴ شمسی، صنایع جهان سالیانه بیش از صد میلیارد مترمکعب آب مصرف می‌کردند. این میزان در ۳۵ سال بعد (۱۳۷۹ شمسی) به بیش از هزار برابر رسید. بیشتر از یک سوم این میزان آب به شکل فاضلاب‌های صنعتی به محیط زیست تخلیه می‌شود. به دلیل اهمیت زیاد دفع یا انتقال صحیح



فاضلاب شهری در کاهش مرگومیر ناشی از بیماری‌های واگیردار، از دیرباز در بسیاری از شهرهای جهان سامانه انتقال یا دفع فاضلاب بنا شده است. در تخت جمشید با سابقه ۲۵۰۰ سال نیز چنین مجموعه‌ای وجود دارد (شکل ۱).

شکل ۱- سامانه انتقال فاضلاب در تخت جمشید

تصویر زیر، مربوط به گوشه‌ای از سازه‌های آب شوشتر است که باید آن را نماد قدرت مهندسی ایرانیان در تاریخ و از شاهکارهای فنی و مهندسی در جهان دانست. این مجموعه با قدمتی بیش از چهار هزار سال به عنوان نظام آبی تاریخی شوشتر ثبت جهانی شده است. این سازه‌ها مجموعه‌ای به هم پیوسته از پل‌ها، سدها، آسیاب‌ها، آبشارها، کانال‌ها و تونل‌های عظیم انتقال آب هستند. اختراع، طراحی و ایجاد کاریز (قنات)‌های متعدد از سه هزار سال قبل در یزد و دیگر نقاط کشور عزیزمان ایران نشان‌دهنده اهمیت آب برای ایرانیان از یک سو، و توانمندی مردم این سرزمین در طراحی و مهندسی از سوی دیگر است. احداث بندامیر در استان فارس، نهرهای آبیاری در تپه‌های سیلک<sup>۱</sup> کاشان در شش هزار سال قبل، احداث سدهای لاکوریان و سکامی در سیستان و بلوچستان در چهار هزار سال پیش، مثال‌های دیگری از توانمندی ایرانیان است.



بیشتر بدانید



## منابع آب

مهم‌ترین منابع آب عبارت‌اند از: آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و آب‌های شور.

### منابع آب

فیلم آموزشی



**آب‌های زیرزمینی:** این آب‌ها همان بارش‌های آسمان (باران، برف و تگرگ) هستند که پس از عبور از میان خاک و سنگ به شکل چشمه، قنات (کاریز) و یا چاه قابل استفاده خواهند بود. حجم آب‌های زیرزمینی در حدود ۹۶٪ از منابع کل آب‌های شیرین<sup>۱</sup> تخمین زده می‌شود. بیشتر برداشت‌های آب‌های زیرزمینی، صرف کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود و مابقی آن به مصرف آشامیدن مردم جهان می‌رسد. این آب‌ها:

- ۱ معمولاً مواد معلق یا مواد آلی در آنها بسیار کم است، ولی ممکن است دارای ذرات شن باشند.
- ۲ به دلیل حل شدن جزیی مواد معدنی، دارای نمک‌های زیادی هستند.
- ۳ آب چاه‌های کم عمق معمولاً آلوده به ریزجانداران است.
- ۴ pH آب‌های زیرزمینی معمولاً بین ۶/۹ تا ۷/۹ است و گاهی ممکن است حاوی کربن دیوکسید باشند.
- ۵ این آب‌ها در صورتی که حاوی یون‌های آهن یا منگنز باشند، در هنگام مجاورت با هوا اکسید می‌شوند و ذرات زرد - قهوه‌ای رنگی در آنها پدید می‌آید.

تحقیق کنید

۱



الف) آیا در ایران منبع آب زیرزمینی مهمی وجود دارد؟  
ب) طولانی‌ترین کاریز ایران و جهان در کجا قرار دارد و طول آن چقدر است؟

**آب‌های سطحی:** بخشی از بارش‌های باران و برف آب‌های سطحی را تشکیل می‌دهند. این آب‌ها به صورت نهر، تالاب، باتلاق، دریاچه و رودخانه هستند و به مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی می‌رسند. گاهی هم برای این منظور سد، بند<sup>۲</sup>، آبگیر، آبخوان<sup>۳</sup> و مانند این‌ها ساخته می‌شود. این آب‌ها بسته به جنس خاک، یا آلودگی‌های مسیر، کیفیت‌های گوناگونی دارند. همچنین:

- ۱- آب شیرین، به آبی گفته می‌شود که کمتر از ۰/۰۵ در هر ۱۰۰ واحد، نمک‌های غیرحل‌شدنی داشته باشد. منابع محدود آب شیرین، رودخانه‌ها، آبگیرها و بعضی از منابع آب زیرزمینی هستند. منبع نامحدود و پایدار آب شیرین، بخار آب‌های موجود در جو است که به صورت باران و برف و تگرگ، که همه تجدیدپذیرند ظاهر می‌شود.
- ۲- بند یا سد رودخانه‌ای ساختمان بزرگی است که به منظور ذخیره آب برای آبیاری از یک سمت رودخانه، به سمت دیگر نصب می‌شود. اگر نیروی برق آبی نیز تولید شود، ساختمان مربوط معمولاً سد نامیده می‌شود.
- ۳- آبخوان یا سفره آب قسمتی از پوسته زمین است که سوراخ‌ها یا خلل و فرج سنگ‌های آن از آب مملو و اشباع شده باشد. معمولاً منافذ و سوراخ‌های سنگ‌ها بر اثر بارندگی‌های مداوم از آب پر می‌شود و با رسیدن به سطح غیرقابل تراوشی مانند سنگ‌های رسی در همان جا متوقف می‌شود و به شکل چشمه‌سارهای مختلفی در سطح زمین آشکار می‌شود.

- ۱ زلال نیستند و اغلب آلوده به مواد آلی هستند. آلودگی‌های آنها ممکن است شوینده‌ها، مواد نفتی، روغن، آمونیاک، فنول، نیتрат، فسفات (ناشی از کودهای شیمیایی در مناطق کشاورزی)، یا فلزات سنگین باشد.
  - ۲ معمولاً آلوده به ریزاندامکان هستند.
  - ۳ pH این آب‌ها در حدود ۷-۸ است.
- آب‌های شور:** این آب‌ها به شکل اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها برکه‌ها وجود دارند و به دلیل وجود نمک‌های زیاد در آنها (معمولاً بیشتر از ۱۰۰۰ ppm) مناسب آشامیدن، مصرف خانگی، صنعتی و یا کشاورزی نیستند.

## آلودگی و ناخالصی آب

عبارت است از وارد کردن مواد یا انرژی (مانند گرما) در محیط زیست، به طوری که در اثر آن، منابع حیاتی یا سلامتی موجودات زنده در معرض خطر قرار گیرد. با توجه به نقش بسیار مهم آب در زندگی جانداران زمین، کشاورزی و صنعت، آلودگی آب یکی از پرچالش‌ترین مسائل است. آب یکی از مشهورترین حلال‌ها است. این خاصیت تابع عوامل متعددی مانند دما، فشار، pH، هم‌زدن، پتانسیل شیمیایی و غلظت نسبی مواد در آب است. با توجه به قدرت زیاد حل‌پذیری آب، می‌توان گفت که بیشتر مواد تا اندازه‌ای در آب محلول هستند. یک مثال خوب برای آن آب دریا است. دست‌کم ۲۵ عنصر شیمیایی در آب دریا تشخیص داده شده است. آب اقیانوس‌ها و دریاها پس از بخار شدن به صورت ابر و سپس باران درمی‌آید که در موقع باریدن، مقداری گرد و خاک، اکسیژن و کربن‌دیوکسید و دیگر گازها را در خود حل می‌کند. آب در موقع نفوذ در لایه‌های مختلف زمین، ضمن از دست دادن مواد معلق و میکروب‌ها، مقداری از مواد خاک را در خود حل می‌کند. ناخالصی‌های آب بر سه دسته هستند:

- ۱ گازی
- ۲ یونی و مولکولی
- ۳ معلق (کلویدی)

آیا تاکنون آب جوشیده سرد شده را آشامیده‌اید؟ توجه کرده‌اید که چه طعم ناخوشایندی دارد؟ آیا دقت کرده‌اید که خیلی پیش از به جوش آمدن آب درون کتری، حباب‌هایی در سطح داخلی آن تشکیل می‌شود؟ آیا دلیل آن را می‌دانید؟

پرسش ۱



## تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب

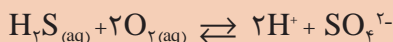
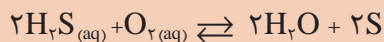
با توجه به نقش مهم آب در مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی، هر یک از این ناخالصی‌ها می‌توانند مضرات متعددی را ایجاد کنند؛ مانند رسوب‌گذاری در تجهیزات انتقال گرما، خوردگی در دستگاه‌ها و سطوح گوناگون، بیماری‌زایی، اخلاص در کاربرد مواد شیمیایی و آلوده کردن محصولات صنعتی. از موارد مهم تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب، وجود برخی از ترکیبات آلی است که نتیجه آن می‌تواند تغییر در مزه، رنگ و بوی آب باشد.

**ناخالصی‌های گازی:** حل‌پذیری گازها در آب تابع دما و فشار جزئی آنها است. با افزایش دمای آب، حل‌پذیری گازها کمتر می‌شود. با افزایش فشار جزئی گاز در تماس با آب، حل‌پذیری آن در آب بیشتر می‌شود. برخی از این گازها عبارت‌اند از: اکسیژن، کربن دیوکسید، نیتروژن، آمونیاک، متان، هیدروژن سولفید. با حل شدن هوا در آب، طعم آن برای آشامیدن بهتر و گوارتر می‌شود. عامل مؤثر دیگر بر مقدار گاز موجود در آب، ریزاندامکان هستند. باکتری‌های هوازی با مصرف اکسیژن محلول در آب، باعث کاهش اکسیژن می‌شوند. اگر میزان اکسیژن در آب به کمتر از ۵ppm برسد، بسیاری از موجودات آبی قادر به ادامهٔ زندگی نخواهند بود و چنین آبی هم آلوده محسوب می‌شود. ولی باکتری‌های غیرهوازی با مصرف بعضی از ناخالصی‌های موجود در آب باعث تولید گازهای متان، آمونیاک، هیدروژن سولفید و یا هیدروژن فسفید ( $\text{PH}_3$ ) می‌شوند. لذا وجود این گازها می‌تواند نشانهٔ آلودگی آب به مواد آلی یا فاضلاب‌های صنایع شیمیایی باشد.

نکته



اکسیژن محلول در آب با هیدروژن سولفید ترکیب می‌شود و مطابق واکنش‌های زیر، گوگرد یا یون سولفات تولید می‌کند.



این گونه واکنش‌های شیمیایی در طبیعت بسیار مهم هستند و به آنها خودپالایی می‌گویند. در نقاطی مانند رودخانه‌ها و آبشارها که آب در مجاورت هوا متلاطم می‌شود، این فرایندها سبب بهبود کیفیت آب می‌شوند و برعکس، وجود برخی از گازها (مثل اکسیژن، کربن دیوکسید و به علت فعالیت زیاد خود) در آب در فرایندهای رسوب‌گذاری و خوردگی بسیار مؤثر هستند.

بیشتر بدانید



در آب‌های طبیعی یون بی‌کربنات و کربن دیوکسید وجود دارد و با کربنیک اسید یک سامانهٔ بافر به وجود می‌آورند که باعث حفظ pH آب‌های طبیعی از نوسانات شدید می‌شود. این موضوع برای زندگی آبزیان بسیار اهمیت دارد. مقدار pH آب‌های طبیعی در گسترهٔ ۵ تا ۸ است. اگرچه pH آب گرم‌های معدنی (به علت وجود هیدروژن سولفید، دیگر ترکیبات گوگردی و کربن دیوکسید) می‌تواند به کمتر از ۲ نیز برسد. با اینکه کربن دیوکسید در اثر تماس هوا با آب مقداری در آن حل می‌شود، ولی در آب‌های زیرزمینی غلظت زیاد آن ناشی از تماس آب با مواد آلی در حال پوسیدن است.

پرسش ۲



آیا تا به حال آب دریا را چشیده‌اید؟ چه مزه و طعمی دارد؟ چرا؟

**ناخالصی‌های یونی و مولکولی:** نمک‌ها پس از حل شدن در آب به صورت کاتیون‌ها (سدیم، آهن، منیزیم، منگنز و کلسیم) و آنیون‌ها (کلرید، سولفات، نیتрат، فسفات، بی‌کربنات، کربنات و هیدروکسید) درمی‌آیند. بسیاری از خصوصیات و فعالیت نمک‌ها ناشی از یونش آنها در آب می‌باشد. حل‌پذیری نمک‌ها در آب بستگی به دما، pH و برخی عوامل دیگر دارد. تلخی آب، به خاطر وجود نمک‌های منیزیم، و مزه گس آن، مربوط به آهن و آلومینیم محلول در آب است. طعم آب دریا به دلیل حضور یون کلر شور و به خاطر یون منیزیم تلخ می‌باشد. معمولاً در آب‌های طبیعی نسبت غلظت کاتیون کلسیم به کاتیون منیزیم نزدیک به دو است، اما در آب دریا این نسبت در حدود ۰/۲ می‌باشد. در نتیجه آب دریا منبع خوبی برای استخراج فلز منیزیم است. گفتنی است که بعضی از مواد مانند شکر (ضایعات خروجی از کارخانجات نیشکر) به صورت مولکولی در آب حل می‌شوند.

مزه گندیدگی آب، ناشی از وجود نمک‌های آلی آب است.

نکته



بحث‌گروهی  
۲



استفاده از آب‌های تصفیه نشده، چه عیب و مشکلاتی را در پی خواهد داشت؟

**ناخالصی‌های معلّق:** ذرات ریز و درشت جامد و غیرمحلول در آب سبب کدر شدن آن می‌شوند. ذرات درشت‌تر، سریع‌تر ته‌نشین می‌شوند و ذرات ریزتر، دیرتر. عمده این مواد عبارت‌اند از: مواد حاصل از فرسایش زمین در رودخانه‌ها یا سیلاب‌ها (خاک و خرده‌ریزه‌های سنگ‌ها)، موجودات زنده اعم از ذره‌بینی (همانند باکتری‌ها و میکروب‌ها) یا بزرگ‌تر (جلبک‌ها و موجودات مشابه آنها)، مواد ریز کلوییدی (مانند سیلیس)، تعلیق‌ها (سوسپانسیون‌ها)، امولسیون‌ها و گل‌ولای. موجودات زنده مزبور در هر محیطی مثل مخازن، آبیگرها و دریاچه‌ها که نور خورشید را برای تأمین انرژی و نیتروژن و فسفر را برای تغذیه فراهم کنند، تمایل به رشد و تکثیر دارند.

به نظر شما وجود آلودگی در آب مصرفی صنایع غذایی و نساجی، چه پیامدهایی دارد؟

بحث‌گروهی  
۳



تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب

فیلم آموزشی



## لزوم تصفیه آب

یکی از شرط‌های حفظ سلامتی و بهداشت انسان، استفاده از آب آشامیدنی سالم است. از آنجا که آب آشامیدنی، در بسیاری از نقاط دارای مواد مضرّ برای انسان (مانند میکروب‌ها، نمک‌های مختلف و مواد شیمیایی) است، لازم است آن را پیش از مصرف و بسته به نوع مصرف تصفیه کرد. تصفیه آب برای مصرف صنعتی دشوارتر و گران‌تر

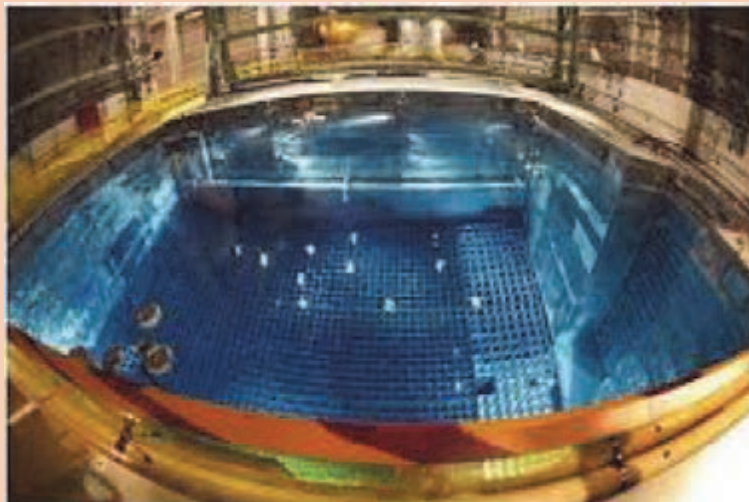


- از تصفیه آب برای آشامیدن است. آب در صنایع شیمیایی کاربردهای گوناگونی دارد از جمله:
- ۱ به عنوان ماده اولیه برای تهیه محصول نهایی (به طور مستقیم یا غیرمستقیم).
  - ۲ به عنوان ماده واسطه برای جداسازی‌های مختلف ترکیبات از یکدیگر.
  - ۳ به عنوان حلال موادی که در واکنش شیمیایی شرکت می‌کنند.
  - ۴ به عنوان سپر حفاظتی در برابر گرما و تابش (آب سنگین مورد استفاده در نیروگاه‌های هسته‌ای).
  - ۵ به عنوان جزء اصلی مواد مصرفی در آتش‌نشانی.

تحقیق کنید  
۲



- ۱ یکی از کاربردهای آب سنگین، در سامانه‌های هسته‌ای است (شکل زیر)، تحقیق کنید که منظور از آب سنگین چیست؟



یک واکنشگاه هسته‌ای با سپر حفاظتی آب سنگین

- ۲ آب مصرفی در کشاورزی، چه کیفیتی باید داشته باشد؟

### هزینه‌های تصفیه آب

به دلیل کاربرد روزافزون آب در مصارف خانگی، کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی، و محدود شدن هرچه بیشتر منابع آب پاک و سالم، نیاز به تصفیه آب پیوسته بیشتر می‌شود. مناسب‌ترین آب برای مصرف صنعتی، آب بدون یون است، ولی مخارج سرمایه‌ای اولیه و هزینه‌های عملیاتی لازم برای آن خیلی زیاد است. البته هزینه تعمیر و جبران خسارت‌های ناشی از تصفیه نکردن آب، اغلب بیشتر از هزینه تصفیه آب است. تصفیه آب در تصفیه‌خانه صورت می‌گیرد و هدف آن کاهش ناخالصی‌های آب تا حد لازم و معقول است. مطلوب‌ترین کیفیت آب صنعتی، آن است که هزینه تصفیه آب کمتر از هزینه ناشی از مصرف آب تصفیه نشده باشد.





در مورد منابع آب اطراف محل زندگی خود تحقیق کنید و درباره نوع کاربرد آنها در کلاس گفت‌وگو کنید.

برای مطالعه و بحث دقیق‌تر در مورد آب، خواص و ویژگی‌های آن از سه دیدگاه فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی پیگیری شده است.

## آب از دیدگاه فیزیکی

در این قسمت، تعدادی از خواص و ویژگی‌های فیزیکی آب در قالب شاخص‌های مهم آب مطالعه می‌شود. سنجش و دانستن غلظت همه ناخالصی‌های آب، اگر ناممکن نباشد، بسیار پرهزینه و طولانی خواهد بود. در اغلب موارد لازم نیست که غلظت هر کدام به‌طور جداگانه مشخص شوند. اما با تعیین چند شاخص مهم آب، می‌توان اطلاعات کافی از مشخصات آن به‌دست آورد. مهم‌ترین شاخص‌های فیزیکی آب عبارت‌اند از: شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب<sup>۱</sup>، میزان کدري<sup>۲</sup>، شاخص رنگ<sup>۳</sup>، رسانایی الکتریکی<sup>۴</sup> آب.

### فعالیت عملی ۱



#### تشخیص آب تصفیه‌شده از تصفیه‌نشده

۱ در گروه‌های سه نفره، جدول مقایسه‌ای از خواص آب‌های مختلف در دسترس تهیه کنید.

ردیف	نوع آب	بو	رنگ	pH	قابلیت شرب
۱	آب لوله‌کشی				
۲	آب مقطر				
۳	آب رودخانه				
۴	آب دریا				
۵	آب چاه				
۶	آب استخر				
۷	...				

۲ جدولی از خصوصیات مهم آب سالم برای انواع کاربردها تهیه کنید.

۱- Total Dissolved Solids

۲- Turbidity

۳- Color Index

۴- Conductivity

## شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب

منظور از غلظت کل مواد جامد محلول در آب (TDS) مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب است. برای سنجش آن، آبی را که با عبور از صافی مخصوص، مواد معلق و کلوییدی آن گرفته شده است، به عنوان نمونه انتخاب می‌کنند. سپس حجم دقیقی از آن را در یک بوتلهٔ چینی وزن شده، می‌ریزند و در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس تبخیر و خشک می‌کنند. تفاوت جرم بوتله پیش از ریختن نمونه و پس از خشک شدن نمونه روی آن، جرم کل مواد جامد محلول در نمونهٔ آب را نشان می‌دهد. اگر این جرم بر حجم نمونه تقسیم شود، غلظت نمک‌های آب به دست می‌آید. معمولاً این غلظت را بر حسب ppm یا میلی گرم در لیتر گزارش می‌کنند. گسترهٔ TDS آب‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- گسترهٔ TDS (ppm) آب‌های مختلف

نوع آب	آب دریا	آب‌های شور	مجاز آشامیدنی	مطلوب آشامیدنی	مطلوب صنعتی
TDS	حدود ۴۰۰۰۰	حدود ۱۰۰۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	حدود ۵۰۰	کمتر از ۱۰۰

## فعالیت عملی ۲



### اندازه‌گیری شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب

مواد لازم: انواع آب‌های در دسترس

وسایل لازم:

- ۱ بشر شیشه‌ای
- ۲ استوانهٔ مدرّج
- ۳ دماسنج (که تا ۱۲۰ سلسیوس را نشان دهد)
- ۴ ترازوی دقیق
- ۵ آون آزمایشگاهی یا گرمکن با گرمای قابل تنظیم

روش کار:

ابتدا جرم بشر شیشه‌ای را با ترازو اندازه‌گیری و یادداشت کنید. حجم معین و دقیقی از آب کارگاه هنرستان خود را (۵۰ سانتی متر مکعب) بردارید و در آن بریزید. بشر را داخل آون با دمای حدود ۷۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید تا تمام آب آن تبخیر شود. اکنون به دقت مقدار جرم بشر را یادداشت کنید. مطابق روش بالا شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب را به دست آورید.

این آزمایش را برای آب‌های موجود دیگر (آب رودخانه، آب استخر، آب چاه) تکرار کنید و شاخص مزبور را برای هر یک به دست آورید. جدولی مانند جدول صفحه بعد تهیه کنید. در ستون مربوط به هر شاخص نوع آب را با علامت ضربدر مشخص کنید.



ردیف	نوع آب	آب دریا	آب شور	مجاز آشامیدنی	مطلوب آشامیدنی	مطلوب صنعتی
	نمونه آزمایشی	حدود ۴۰۰۰۰	حدود ۱۰۰۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	حدود ۵۰۰	کمتر از ۱۰۰
۱	آب رودخانه					
۲	آب استخر					
۳	آب چاه					
۴	آب شهر			×		
۵	...					

### میزان کدري

مواد ریز کلوییدی، کدر بودن نمونه آب را سبب می‌شوند. کدورت در استاندارد چنین تعریف می‌شود: یک خاصیت فیزیکی نمونه که باعث می‌شود نور تابیده شده به نمونه پراکنده و یا جذب شود، ولی عبور نکند. بنابراین برای اندازه‌گیری کدورت، یک منبع نور و دستگاهی برای اندازه‌گیری نور پراکنده شده نیاز است. برای اندازه‌گیری این شاخص، آن را با محلول استاندارد شاخص مقایسه می‌کنند (شکل ۲). واحد کدورت، کدري نمونه آبی است که حاوی یک قسمت در میلیون (۱ ppm) سیلیس باشد. آب آشامیدنی (برای انسان) باید کدري کمتر از ۵ واحد داشته باشد.



شکل ۲- چند نمونه از دستگاه کدورت سنج با نمونه‌های مربوطه

### فعالیت عملی ۳



#### اندازه‌گیری میزان کدري

مواد لازم: آب‌های مختلف

وسایل لازم:

۱- بشر

۲- دستگاه کدري سنج

**روش کار:** مطابق روش کار دستگاه کدري سنج موجود در هنرستان خود، میزان کدري آب‌های مختلف را تعیین نمایید و در جدولی یادداشت کنید.

ردیف	نوع آب	میزان کدري
۱	آب لوله کشی	
۲	آب مقطر	
۳	آب رودخانه	
۴	آب دریا	
۵	آب چاه	
۶	آب استخر	
۷	...	

#### شاخص رنگ

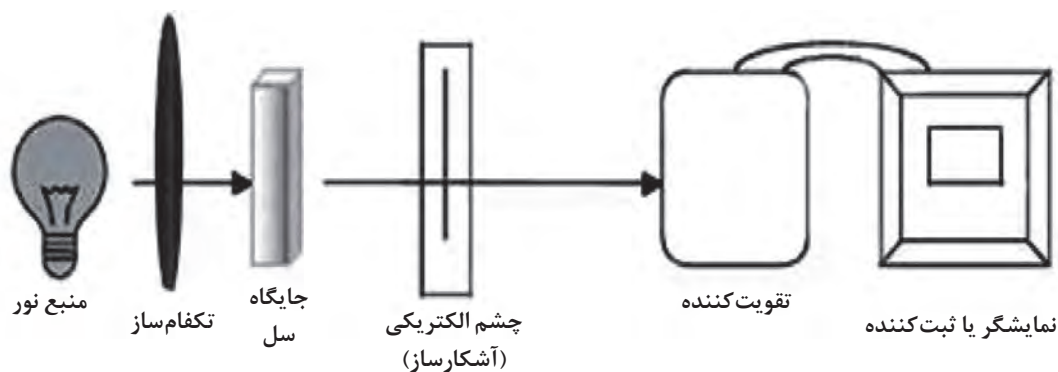
رنگ آب به‌طور کلی به سبب حضور یون‌های فلزی، مواد گیاهی و اجزای خاک است. اصطلاح شاخص رنگ یا واحد رنگ<sup>۱</sup> در واقع به رنگ باقی‌مانده در آب پس از حذف کدري اطلاق می‌شود. برای اندازه‌گیری رنگ آب یا پساب، در روش رنگ‌سنجی از مقایسه آن با رنگ استاندارد یک نمک کمپلکس پلاتین و کبالت استفاده می‌شود. آب خالص بی‌رنگ است، اما مواد معلق یا محلول در آن می‌توانند آب را رنگی کنند. مثلاً یون‌های آهن تولید رنگ قهوه‌ای و اسیدهای آلی، رنگ زرد تولید می‌کنند. برای بی‌رنگ کردن آب می‌توان از فرایندهای اکسایش، جذب سطحی<sup>۲</sup> یا کلوخگی<sup>۳</sup> استفاده کرد. رنگ‌سنجی به اندازه‌گیری طول موج و شدت تابش الکترومغناطیسی منطقه قابل مشاهده از طیف نوری اطلاق می‌شود. به کمک رنگ‌سنجی می‌توان میزان غلظت مواد در محلول‌ها را اندازه‌گیری کرد، زیرا که مقدار رنگ و نور جذب‌شده یا انتقال‌یافته به خواص محلول بستگی دارد.

۱- Color Unit

۲- Adsorption

۳- Agglomeration

دستگاه رنگ‌سنج (شکل ۳) نیز در واقع یک وسیله اندازه‌گیری است که می‌تواند مقدار نور یا طیف عبوری از محلول‌ها را، با مقدار یا طیف نوری که از میان نمونه خالص آن محلول عبور می‌کند، مقایسه کند. در شکل ۴ یک نمونه واقعی دستگاه رنگ‌سنج نشان داده شده است.



شکل ۳- اجزای داخلی دستگاه رنگ‌سنج



شکل ۴- دستگاه رنگ‌سنج

#### فعالیت عملی ۴



##### اندازه‌گیری شاخص رنگ

مواد لازم: آب‌های مختلف

وسایل لازم:

۱ بشر

۲ دستگاه رنگ‌سنج

##### روش کار:

مطابق روش کار دستگاه رنگ‌سنج موجود در هنرستان خود، شاخص رنگ آب‌های مختلف را تعیین و در جدولی یادداشت کنید.

ردیف	نوع آب	شاخص رنگ
۱	آب لوله‌کشی	
۲	آب مقطر	
۳	آب رودخانه	
۴	آب دریا	
۵	آب چاه	
۶	آب استخر	
۷	...	

## رسانایی الکتریکی<sup>۱</sup> آب

رسانایی الکتریکی آب (EC)، نشان‌دهنده قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق است. واحد هدایت الکتریکی، مو بر سانتی متر<sup>۲</sup> یا زیمنس است.

نکته



واحد مقاومت الکتریکی اهم<sup>۳</sup> است و چون هدایت الکتریکی عکس مقاومت است، از این رو واحد آن مو است. مو بر سانتی متر عدد بزرگی است، از این رو معمولاً از واحد میکرومو بر سانتی متر ( $\mu\text{mho/cm}$ ) استفاده می‌شود که یک میلیون برابر کوچک‌تر است. رسانایی الکتریکی آب خالص در  $25^\circ\text{C}$  برابر است با  $0.056 \mu\text{mho/cm}$ . چون در محلول‌ها، یون‌ها جریان برق را منتقل می‌کنند، از این رو EC با TDS رابطه دارد. در محلول‌های رقیق ارتباط این دو متغیر به صورت  $\text{TDS} = 0.5\text{EC}$  است.

## فعالیت عملی ۵



### اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی آب

مواد لازم: آب‌های مختلف

وسایل لازم:

۱- بشر

۲- دستگاه رسانایی‌سنج

روش کار:

مطابق روش کار دستگاه رسانایی‌سنج موجود در هنرستان خود، رسانایی الکتریکی آب‌های مختلف را تعیین، و در جدولی یادداشت کنید.

ردیف	نوع آب	رسانایی الکتریکی
۱	آب لوله‌کشی	
۲	آب مقطر	
۳	آب رودخانه	
۴	آب دریا	
۵	آب چاه	
۶	آب استخر	
۷	...	

## آب از دیدگاه شیمیایی

در این قسمت به مطالعه برخی از خواص آب از دیدگاه شیمی مانند pH، سختی، شاخص قلیائیت و شاخص آلودگی‌های آلی پرداخته شده است.

### غلظت یون هیدروژن (pH)

با دستگاه pH متر، فقط غلظت یون هیدروژن اندازه‌گیری می‌شود، اما به خاطر اهمیت آن در رفتار آب، می‌توان ادعا کرد که هیچ آزمونی بدون تعیین pH آب، کامل نخواهد بود. نمونه‌های زیر دلیلی بر این ادعا هستند:

- حل‌پذیری و غلظت بعضی از گازها، مانند کربن دیوکسید و آمونیاک تابعی از pH آب است.
- در تصفیه آب با رزین‌های تبادل یونی، pH آب ورودی به ستون تبادل باید در گستره مناسب نوع رزین باشد.
- در فرایند زدودن رنگ، بو و مواد آلی از آب (با جذب سطحی روی کربن فعال) تنظیم pH نقشی اساسی دارد.
- در تصفیه زیست شیمیایی پساب‌ها، رشد باکتری‌ها و پیشرفت کار بستگی کامل به تنظیم pH محیط دارد.

برای سنجش pH نمونه‌های آب، می‌توان از شناساگرهای رنگی<sup>۱</sup> استفاده کرد. این روش سریع و بسیار ارزان، اما با دقتی نه چندان زیاد است.

### فعالیت عملی ۶



#### اندازه‌گیری شاخص غلظت یون هیدروژن (pH)

مواد لازم: آب مقطر

وسایل لازم:

- ۱ بشر
- ۲ استوانه مدرج
- ۳ چند شناساگر رنگی مختلف
- ۴ کاغذ pH
- ۵ دستگاه pH سنج

#### روش کار:

ابتدا حجم معینی از انواع آب‌های در دسترس را بردارید و در بشرهای مختلف بریزید. سپس pH آنها را توسط شناساگرهای رنگی، کاغذی و دستگاهی تعیین، و در جدولی یادداشت کنید. از مقایسه آنها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

pH			نوع آب	ردیف
دستگاهی	شناساگر کاغذی	شناساگر رنگی		
			آب لوله‌کشی	۱
			آب مقطر	۲
			آب رودخانه	۳
			آب دریا	۴
			آب چاه	۵
			آب استخر	۶
			...	۷

## سختی آب



به تصویر روبه‌رو بنگرید. به نظر شما این تصویر چه پدیده‌ای را نشان می‌دهد؟

پرسش ۳



اندازه‌گیری سختی یکی از عامل‌های شیمیایی مهم آب است. آب آشامیدنی باید مقداری سختی داشته باشد، سختی آب به کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم مربوط می‌شود. در آب‌های صنعتی، سختی آب با ایجاد رسوب مسئله‌ساز است. انواع سختی آب، به شرح زیر تعریف می‌شود:

**سختی کل<sup>۱</sup> آب:** از آنجا که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب‌های طبیعی بسیار بیشتر از یون‌های دیگر است، از این رو در تصفیه آب، مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم را به‌عنوان سختی کل آب (TH) در نظر می‌گیرند.

۱- Total Hardness



**سختی موقت یا بی کربناتی:** از نظر علمی به بخشی از سختی آب که به صورت نمک‌های بی کربنات است، با گرم کردن از بین می‌رود و به صورت رسوب کربنات از آب جدا می‌شود، سختی موقت گفته می‌شود.

**سختی دائم یا سختی غیر کربناتی:** به بخشی از سختی کل که به صورت نمک‌های غیر کربناتی است (مانند سولفات، کلرید و یا نیترات)، و با گرما دادن تجزیه نمی‌شود، سختی دائم می‌گویند.

**مثال:** در جدول ۲، آزمون ترکیب یک نمونه آب خام تصفیه نشده آمده است:

جدول ۲- ترکیب یک نمونه آب خام

Ca <sup>۲+</sup>	Mg <sup>۲+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>۴</sub> <sup>۲-</sup>	HCO <sub>۳</sub> <sup>-</sup>	یون
۵۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۵۰	۵۰	۱۵۰	۵۰۰	معادل کربناتی <sup>۱</sup> (ppm)

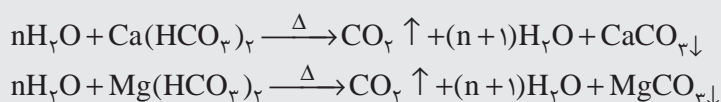
سختی موقت و سختی دائم این نمونه آب را بر حسب معادل کربناتی هر یک به دست آورید.

**حل:**

سختی موقت همیشه برابر یا کمتر از غلظت بی کربناتی، یعنی برابر با ۵۰۰ ppm است.

سختی دائم (غیر کربناتی) بر حسب ppm معادل کربناتی مساوی است با اختلاف سختی کل منهای سختی موقت. پس:  $۵۰۰ + ۳۰۰ - ۵۰۰ = ۳۰۰$

به نظر شما، دلیل تشکیل رسوب در کتری و سماور چیست؟ همچنین در مورد واکنش‌های زیر چه نظری دارید؟



- ۱ کدام یک از نمک‌های زیر باعث سختی موقت آب می‌شوند؟  
کلسیم سولفات، سدیم کربنات، منیزیم بی کربنات، سدیم سولفات
- ۲ به نظر شما مشکل سختی آب چه راهکاری دارد؟

بحث گروهی  
۴



پرسش  
۴



۱- به منظور رسیدن به یک مبنای مشترک در اعلام سختی آب‌ها، مقدار هم‌ارز گرم نمک‌های موجود در آب را در ۵۰ یعنی هم‌ارز گرم کلسیم کربنات ضرب کرده، آن را معادل کربناتی می‌نامند.

## فعالیت عملی ۷



## تعیین سختی کل

مواد و وسایل لازم	
ارلن ۲ عدد کاغذ pH وسایل سنجش حجمی	محلول بافر آمونیوم کلرید + آمونیاک EDTA شناساگر <sup>۱</sup> EBT شناساگر کالکن سود ۲ نرمال

## طرز تهیه محلول بافر

محلول بافر (pH=۱۰): مقدار ۵ گرم آمونیوم کلرید را در آب مقطر حل کنید و پس از افزودن ۵۵ میلی لیتر آمونیاک غلیظ، با آب مقطر آن را به حجم صد میلی لیتر برسانید.

## طرز تهیه محلول ۰/۰۱ نرمال EDTA

۱/۸۶ گرم از نمک ( $\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) دی سدیم اتیلن دی آمین تتراستیک اسید خالص را که در آن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک شده است، به حجم ۵۰۰ میلی لیتر برسانید.

## روش کار اندازه گیری سختی کل

۱ ۲۵ میلی لیتر از نمونه آبی را در ارلن بریزید و ۲-۱/۵ میلی لیتر محلول بافر آمونیوم کلرید + آمونیاک به آن اضافه کنید (pH=۱۰-۱۰/۵).

۲ پس از افزودن ۴ قطره شناساگر EBT، تا تغییر رنگ از قرمز متمایل به بنفش به رنگ آبی خالص با محلول EDTA ۰/۰۱ نرمال سنجش (تیتراژ) کنید. این عملیات باید خیلی سریع انجام شود. حجم مصرفی محلول EDTA را یادداشت کنید ( $V_1$ ).

## روش کار اندازه گیری سختی کلسیم

۱ ۲۵ میلی لیتر از نمونه را در ارلن بریزید و ۱-۱/۵ میلی لیتر سدیم هیدروکسید ۲ نرمال (pH=۱۲) به آن اضافه کنید.

۲ پس از افزودن ۴ قطره معرف کالکن، با EDTA ۰/۰۱ نرمال تا رسیدن به رنگ آبی خالص تیتراژ کنید. حجم مصرفی را یادداشت کنید ( $V_2$ ).

## نمونه محاسبات

به عنوان مثال اگر برای تعیین سختی کل ۲۵ میلی لیتر نمونه آب، ۱۳/۰ میلی لیتر محلول EDTA استاندارد مصرف شده باشد، سختی کل آب به صورت زیر محاسبه می شود:

$$N_1 V_1 = N_2 V_2 \rightarrow N_2 = \frac{13/0 \times 0/01}{25/0} = 5/2 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{eqCa}^{2+} \text{ و } \text{Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

۱- Eriochrome Black T

برای محاسبه سختی برحسب میلی گرم کلسیم کربنات در لیتر آب خواهیم داشت:

$$5/2 \times 10^{-3} \frac{\text{eq Ca}^{2+}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ g CaCO}_3}{2 \text{ eq Ca}^{2+}} \times \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 260 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} = 260 \text{ ppm}$$

در ادامه اگر در تعیین سختی کلسیم ۶/۰ میلی لیتر محلول EDTA استاندارد مصرف شده باشد، سختی کلسیم آب به صورت زیر محاسبه می شود:

$$N_1 V_1 = N_2 V_2 \rightarrow N_2 = \frac{6/0 \times 0/01}{25/0} = 2/4 \times 10^{-3} \frac{\text{eq Ca}^{2+} \text{ و } \text{Mg}^{2+}}{\text{L}}$$

برای محاسبه سختی برحسب میلی گرم کلسیم کربنات در لیتر آب خواهیم داشت

$$2/4 \times 10^{-3} \frac{\text{eq Ca}^{2+}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ g CaCO}_3}{2 \text{ eq Ca}^{2+}} \times \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} = 120 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} = 120 \text{ ppm}$$

برای محاسبه سختی منیزیم:

$$260 - 120 = 140 \text{ ppm}$$

## فعالیت عملی ۸



### اندازه گیری سختی موقت آب (H<sub>t</sub>)



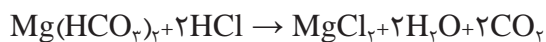
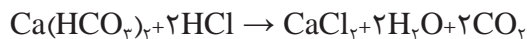
مواد و وسایل مورد نیاز	
آب طبیعی ۱۰۰-۲۰۰ میلی لیتر شناساگر نارنجی متیل محلول استاندارد HCl، ۰/۱N	استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری ارلن ۵۰۰ یا ۲۵۰ میلی لیتری گیره بورت، میله و پایه بورت بورت ۱۰۰ یا ۵۰ میلی لیتری

## روش کار

- یک استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری را ابتدا با آب و سپس با آب مقطر بشویید. آن گاه ۱۰۰ میلی لیتر آب طبیعی را درون آن بریزید تا به خط نشانه ۱۰۰ برسد. تمام آن را به یک ارلن ۲۵۰ یا ۵۰۰ میلی لیتری منتقل کنید.
- ۱ یا ۲ قطره شناساگر نارنجی متیل را اضافه و با محلول استاندارد HCl موجود در بورت تیترا کنید.
- نقطه پایانی سنجش حجمی با تغییر رنگ محلول از زرد به نارنجی مشخص می شود. به محض تغییر رنگ، افزودن محلول HCl را متوقف کنید.
- این آزمایش را با همین مقادیر دو بار دیگر تکرار کنید و میانگین حجم محلول HCl مصرف شده را به دست آورید.

## محاسبه

محلول اسید فقط بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم را خنثی می‌کند.



تعداد هم‌ارزهای اسید به کار رفته در سنجش حجمی معادل تعداد هم‌ارزهای بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب مورد سنجش است.

نظر به اینکه نرمالیت محلول عبارت از تعداد هم‌ارز گرم‌های جسم حل‌شده در یک لیتر محلول، یا تعداد میلی هم‌ارز گرم‌ها در یک میلی لیتر محلول است، حاصل ضرب نرمالیت هیدروکلریک اسید در تعداد میلی لیترهای مصرف‌شده آن در سنجش حجمی برابر با تعداد میلی هم‌ارز گرم‌های بی‌کربنات‌های موجود در ۱۰۰ میلی لیتر آب است. سختی موقت،  $\text{H}_1$ ، با ضرب این حاصل ضرب در عدد ۱۰ به دست می‌آید. سختی موقت را با استفاده از نمونه محاسبات صفحه ۱۱۵ می‌توان محاسبه کرد. براساس فعالیت انجام شده، جدول را پر کنید:

۱	۲	۳	داده / نتیجه
			حجم نمونه آب
			نرمالیت $\text{HCl}$ مصرف‌شده
			حجم $\text{HCl}$ مصرف‌شده
			تعداد هم‌ارز گرم $\text{HCl}$ مصرف‌شده
			تعداد هم‌ارز گرم برای یک لیتر آب
			تعداد میلی هم‌ارز $\text{Ca}^{2+}$ و $\text{Mg}^{2+}$
			سختی موقت میلی هم‌ارز گرم در لیتر

با توجه به فعالیت ۸، مقدار سختی دائم آب را به دست آورید.

پرسش ۵



آب سخت برای نوشیدن مناسب نیست، زیرا نه تنها مزه و گوارایی خود را از دست داده است، بلکه می‌تواند ضررهایی برای دستگاه گوارش یا کلیه‌های انسان داشته باشد. البته از سوی دیگر، معمولاً آشامیدن آب سخت بهبودی زودتر استخوان‌های شکسته را به همراه دارد و بیماری راشیتیسم (نرمی استخوان) هم کمتر در این اشخاص دیده می‌شود.



طبق استاندارد شماره ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ویرایش ۵ مورخه ۱۳۸۸/۱۲/۱۱ میزان مطلوب سختی در آب ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بر حسب کلسیم کربنات و بیشترین مقدار مجاز آن ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب کلسیم کربنات است. گفتنی است که سازمان جهانی بهداشت حدی برای سختی آب توصیه نکرده است و واحد مجاز اشاره شده در آن از نظر فنی - مهندسی و اقتصادی است.



در مورد مزیت سختی آب تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

## شاخص قلیایی آب

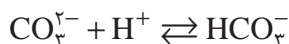
شاخص قلیایی آب برابر با مجموع غلظت یون‌های کربنات، بی کربنات و هیدروکسید موجود در آن است. غلظت آنیون‌های دیگر مانند سیلیکات، بورات یا فسفات در مقایسه با غلظت این سه یون قابل چشم‌پوشی هستند. دانستن شاخص قلیایی آب به همراه دانستن pH آب مهم است. در حقیقت، pH آب نشانه قدرت اسیدی آب، اما شاخص قلیایی نشان دهنده مقاومت آب در برابر تغییرات pH هستند. البته در موارد ضروری تصفیه آب، دانستن غلظت هر یک از آنیون‌ها مهم است و تنها دانستن مجموع غلظت آنیون‌های تشکیل دهنده قلیایی بودن کفایت نمی‌کند.

با توجه به آنچه که گفته شد، با اندازه‌گیری غلظت هر یک از سه آنیون تشکیل دهنده قلیایی بودن (کربنات، بی کربنات و هیدروکسید)، سنجش دو نوع شاخص قلیایی انجام می‌گیرد. این دو نوع شاخص عبارت‌اند از: شاخص قلیایی ساده یا قلیایی بودن نسبت به فنول فتالین (P) و شاخص قلیایی کل یا قلیایی بودن نسبت به نارنجی متیل (M). به منظور اندازه‌گیری شاخص قلیایی یک نمونه آب، از شناساگرهای رنگی (برای مشخص شدن نقطه پایانی سنجش حجمی) و اسید استفاده می‌شود.

### شاخص قلیایی ساده یا قلیایی بودن نسبت به فنول فتالین (P)

فنول فتالین در سنجش شاخص قلیایی ساده استفاده می‌شود و شامل آنیون‌هایی است که در pH بالاتر از ۸/۳ به وسیله یک اسید استاندارد و در حضور شناساگر فنول فتالین تیترو می‌شوند. به این منظور، ابتدا به ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب مورد نظر ۳ تا ۴ قطره فنول فتالین افزوده می‌شود. وجود قلیایی بودن ساده در صورت مشاهده رنگ ارغوانی در محلول و قلیایی بودن ساده صفر در صورت مشاهده نشدن آن، نتیجه آزمایش خواهد بود. سپس، با به هم زدن کامل نمونه و اضافه کردن تدریجی سولفوریک اسید ۰/۰۲ نرمال تا از میان رفتن رنگ ارغوانی به تیتراسیون نمونه آب ادامه داده می‌شود. در این هنگام pH نمونه آب در نقطه پایانی باید در حدود ۸/۳ باشد. در طی این آزمایش، یون هیدروژن اسید مصرف شده، ابتدا یون هیدروکسید را تا رسیدن به این pH خنثی می‌کند و سپس صرف تبدیل یون کربنات به یون بی کربنات

می‌شود. واکنش‌های انجام شده تا این مرحله به صورت زیر است:



از آنجایی که هر هم‌ارز یون هیدروژن (اسید) با یک هم‌ارز هیدروکسید یا کربنات ترکیب می‌شود، پس تعداد هم‌ارزهای اسید مصرف شده با تعداد هم‌ارزهای یون‌های تشکیل دهندهٔ قلیایی بودن برابر می‌باشد. سولفوریک اسید ۰/۰۲ نرمال دارای ۰/۰۲ هم‌ارز یون هیدروژن در هر لیتر است. لذا هر سانتی‌متر مکعب اسید حاوی ۰/۰۲ میلی‌هم‌ارز یون هیدروژن است. به بیان دیگر، با مصرف هر سانتی‌متر مکعب اسید، ۰/۰۲ میلی هم‌ارز شاخص قلیایی خواهیم داشت (و تفاوتی هم نمی‌کند که یون قلیایی هیدروکسید باشد یا کربنات).

با توجه به ۱۰۰ میلی‌لیتر حجم نمونهٔ آب، در هر لیتر آن ۰/۲ میلی هم‌ارز شاخص قلیایی (یعنی ده برابر ۰/۰۲ میلی هم‌ارز) وجود دارد. اگر میلی هم‌ارز در لیتر در ۵۰ ضرب شود، میلی گرم در لیتر معادل کربنات کلسیمی به دست خواهد آمد (زیرا هم‌ارز = جرم مولکولی کلسیم کربنات تقسیم بر ظرفیت ۲ آن). پس هر میلی لیتر (یک سانتی‌متر مکعب) اسید مصرف شده معرف ۰/۲ × ۵۰ یا ۱۰ ppm شاخص قلیایی معادل کلسیم کربنات است.


نکتهٔ ایمنی



- در صورت تماس فنول فتالین با چشم، به مدت دست کم ۱۵ دقیقه چشم‌ها را با آب بشویید. سپس به پزشک مراجعه کنید.
- در صورت تماس با پوست، فوراً آن محل را با آب سرد فراوان بشویید. محل تماس را با پماد سوختگی بیوشانید. همچنین لباس‌ها و کفش‌های آلوده را درآورید و آنها را با آب سرد به خوبی بشویید. سپس به پزشک مراجعه کنید.
- در صورت تنفس، مصدوم را به محوطهٔ هوای آزاد ببرید. اگر تنفس او قطع شده است، به او تنفس مصنوعی بدهید. اگر نفس کشیدن برای مصدوم سخت است، به او اکسیژن بدهید. سپس به پزشک مراجعه شود.

### شاخص قلیایی کل یا قلیایی بودن نسبت به نارنجی متیل (M)

شناساگر نارنجی متیل برای سنجش شاخص قلیایی کل به کار می‌رود و شامل آنیون‌هایی می‌شود که در pH بالاتر از ۴/۳ توسط یک اسید استاندارد و در حضور شناساگر نارنجی متیل تیترو می‌شوند (شکل ۵).



نارنجی متیل (شناساگر رنگی pH)

pH ۳/۱ و کمتر

۳/۱

⇌

pH ۴/۴ و بیشتر

۴/۴

شکل ۵ - شناساگر رنگی نارنجی متیل

برای این کار، ابتدا چند قطره نارنجی متیل به نمونه آبی که شاخص قلیایی ساده آن در مرحله پیش به دست آمد، اضافه می‌شود. سپس تیتراژ کردن نمونه آب ادامه می‌یابد تا رنگ آن از بی رنگ به زرد و سپس به نارنجی متمایل به قرمز تغییر کند، pH در این مرحله باید در حدود ۴/۵ باشد. واکنش‌های شیمیایی این مرحله به قرار زیر هستند:



شاخص قلیایی کل، برابر با مجموع اسید مصرف شده در دو مرحله قلیایی بودن ساده و تغییر رنگ شناساگر نارنجی متیل است. ظاهر شدن بی کربنات ضمن تغییر رنگ نارنجی متیل، برابر با مجموع بی کربنات احتمالی در خود آب و نیز بی کربنات حاصل از تبدیل کربنات در مرحله سنجش شاخص قلیایی ساده است. در مثال پیشین، با استفاده از ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه آب و سولفوریک اسید ۰/۰۲ نرمال، شاخص قلیایی نمونه بر حسب ppm معادل کربناتی برابر خواهد بود با:

$P = 10 \times$  (میلی لیتر اسید مصرف شده تا نقطه بی رنگ شدن رنگ ارغوانی)

$M = 10 \times$  (حجم کل اسید مصرفی بر حسب میلی لیتر)

نکته ایمنی



- از تماس مستقیم نارنجی متیل با بدن و پوست خودداری شود. این ماده ممکن است باعث صدمه رساندن به دستگاه تنفس، گوارش، چشم یا پوست شود.
- در صورت تماس با چشم دست کم ۱۵ دقیقه چشم‌ها را با آب فراوان بشویید (همراه با بلند کردن پلک‌های بالا و پایین). در صورت تماس با پوست یا لباس شست‌وشو با آب و صابون الزامی است.

### رابطه pH و غلظت هر یک از آنیون‌های تشکیل دهنده قلیایی بودن

معمولاً در بین سه آنیون تشکیل دهنده قلیایی بودن، دست کم غلظت یکی از آنها قابل چشم‌پوشی است، زیرا در اثر کم شدن pH آب، یون‌های کربنات به بی کربنات و گاز کربن دی‌اکسید تبدیل می‌شوند. چند مثال کمی در این مورد، در جدول ۳ آورده شده است.

### جدول ۳- ارتباط میان pH و غلظت هر یک از آنیون‌های تشکیل دهنده قلیائیت

مواد موجود در آب	گستره pH
تنها گاز $\text{CO}_2$	کمتر از ۵
غلظت بسیار اندک $\text{OH}^-$ در مقایسه با غلظت کربنات یا بی کربنات	کمتر از ۹
غلظت تقریباً صفر بی کربنات	بیشتر از ۱۱/۵
فقط یون کربنات	بیشتر از ۱۲

در جدول ۴ ارتباط میان غلظت آنیون‌های قلیایی با شاخص‌های قلیایی کل و قلیایی ساده می‌شود.

جدول ۴- ارتباط میان غلظت آنیون‌های قلیایی با شاخص‌های قلیایی کل و قلیایی ساده

غلظت آنیون‌های قلیایی	$P = M$	$P > (M/2)$	$P = (M/2)$	$P < (M/2)$	$P = 0$
هیدروکسید	P	$2P - M$	صفر	صفر	صفر
کربنات	صفر	$2(M - P)$	$2P$	$2P$	صفر
بی‌کربنات	صفر	صفر	صفر	$M - 2P$	M

البته توجه داشته باشید که مثلاً در ستون چهارم از راست، فقط کربنات خواهیم داشت و مقدار شاخص قلیایی ساده نصف شاخص قلیایی کل است. ضمن اندازه‌گیری، شاخص قلیایی تبدیل به بی‌کربنات می‌شود. همچنین، شاخص قلیایی کل بی‌کربنات به کربن دی‌اکسید تبدیل می‌شود. چون غلظت شاخص قلیایی کل بی‌کربنات در این روش اندازه‌گیری برابر با غلظت کربنات اولیه است، اسید مصرفی ضمن اندازه‌گیری شاخص قلیایی کل و شاخص قلیایی ساده مساوی است. در نتیجه مقدار  $P$  نصف  $M$  می‌شود.

**مثال ۱:** برای تعیین شاخص قلیایی، در آزمایشی، ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آبی با سولفوریک اسید ۰/۰۲ نرمال سنجش حجمی می‌شود. برای رسیدن به  $pH = 8.3$ ، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید مصرف شده است. مطلوب است محاسبه  $P$  و  $M$ .

**حل**

چون، شاخص قلیایی به روش استاندارد اندازه‌گیری شده است، پس هر میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۰/۰۲ N مصرف‌شده برابر ۱۰ ppm معادل کربناتی است. تا  $pH$  برابر ۸/۳، فقط  $P$  اندازه‌گیری می‌شود. پس:

$$P = 10 \times 50 = 500 \text{ ppm}$$

چون سنجش حجمی تا  $pH = 4.5$  انجام نشده است، پس نمی‌توان شاخص قلیایی کل را محاسبه کرد.

**مثال ۲:** شاخص قلیایی آبی نسبت به فنول‌فتالئین برابر صفر و نسبت به نارنجی‌متیل به صورت زیر است. مقدار یون‌های کربنات، بی‌کربنات و هیدروکسید موجود در آب محاسبه شود؟

$$M = 330 \text{ ppm (CaCO}_3\text{) برحسب}$$

**حل**

شاخص قلیایی صفر نسبت به فنول‌فتالئین، صفر بودن شاخص قلیایی ساده را نشان می‌دهد و با توجه به جدول ۴، در آب تنها یون بی‌کربنات وجود دارد و مقدار آن برابر مقدار شاخص قلیایی نسبت به نارنجی‌متیل است.

$$[HCO_3^-] = M = 330 \text{ (CaCO}_3\text{ ppm برحسب)}$$



با توجه به اینکه هم‌ارز گرم کلسیم کربنات برابر ۵۰ گرم است، لذا مقدار یون بی کربنات موجود در آب بر حسب هم‌ارز گرم برابر است با:

$$[\text{HCO}_3^-] = 330 \div 50 = 6.6 \text{ میلی‌اکی والان گرم در لیتر}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 0$$

$$[\text{OH}^-] = 0$$

**مثال ۳:** شاخص قلیایی آبی نسبت به فنول فتالین و نارنجی متیل به صورت مقادیر زیر است. مقادیر یون‌های بی کربنات، کربنات و هیدروکسید موجود در آب را محاسبه کنید؟

$$M = 293 \text{ ppm (بر حسب } \text{CaCO}_3 \text{)}$$

$$P = 100 \text{ ppm (بر حسب } \text{CaCO}_3 \text{)}$$

حل

چون مقدار  $P < \frac{M}{2}$  است پس با توجه به جدول (۴) تنها یون‌های کربنات و بی کربنات در آب موجود است و مقدار آنها عبارت‌اند از:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 2P = 2 \times 100 = 200 \text{ ppm (بر حسب } \text{CaCO}_3 \text{)}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 200 \div 50 = 4 \text{ میلی‌هم‌ارز گرم در لیتر}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = M - 2P = 293 - 2 \times 100 = 93 \text{ ppm (بر حسب } \text{CaCO}_3 \text{)}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 93 \div 50 = 1.86 \text{ میلی‌هم‌ارز بر لیتر}$$

$$[\text{OH}^-] = 0$$

### نکات قابل توجه در مورد ارتباط میان pH و شاخص قلیایی

۱ یون‌های هیدروکسید و کربنات غلظت قابل توجهی در pH‌های قلیایی دارند و شاخص قلیایی ساده نماد غلظت آنهاست. به طوری که شاخص قلیایی ساده در pH کمتر از ۸/۳ وجود ندارد. پس افزایش شاخص قلیایی ساده، به معنای افزایش pH است.

۲ با کاهش شاخص قلیایی ساده و افزایش شاخص قلیایی کل، از میزان pH آب کاسته می‌شود.







۳ با کاهش pH آب به کمتر از ۴/۵، مقدار شاخص قلیایی کل به صفر می‌رسد.

۴ با توجه به موارد بالا، دو pH ۴/۵ و ۸/۳ در تصفیه آب مهم هستند.

۵ pH آب طبیعی به هر دو شاخص قلیایی ساده و کل بستگی دارد (جدول ۵).

### جدول ۵- ارتباط میان رنگ شناساگر، pH، شاخص قلیایی ساده و شاخص قلیایی کل

pH	< ۰	۰ - ۴/۵	۴/۵ - ۸/۳	۸/۳ - ۱۲/۰	> ۱۲/۰
شرایط	به شدت اسیدی	اسیدی	اسیدی و خنثی	بازی	به شدت بازی
رنگ	نارنجی	بی‌رنگ	بی‌رنگ	صورتی مایل به ارغوانی	بی‌رنگ
تصویر برای شناساگر فنل فتالین					
شاخص قلیایی ساده		(P = ۰) بی‌رنگ	(P = ۰) بی‌رنگ	ارغوانی (P > ۰)	(P > ۰)
شاخص قلیایی کل	(M = ۰)	نارنجی متمایل به قرمز (M = ۰)	زرد (M > ۰)		(M > ۰)

pH	۲	۳	۴	۴/۵	۴/۵ - ۸/۳	> ۸/۳
شرایط	اسیدی	اسیدی	اسیدی	اسیدی		
تصویر برای شناساگر متیل نارنجی						
شاخص قلیایی ساده	بی‌رنگ (P = ۰)	بی‌رنگ (P = ۰)	بی‌رنگ (P = ۰)	بی‌رنگ (P = ۰)	بی‌رنگ (P = ۰)	(P > ۰)
شاخص قلیایی کل	نارنجی متمایل به قرمز (M = ۰)	نارنجی متمایل به قرمز (M = ۰)	نارنجی متمایل به قرمز (M = ۰)	نارنجی متمایل به قرمز (M = ۰)	زرد (M > ۰)	زرد (M > ۰)

آیا توجه کرده‌اید که آب رودخانه‌ها با وجود ورود مواد زیاد به آنها، چرا این قدر تمیز می‌مانند؟ آیا دلیل آن را می‌دانید؟

تحقیق کنید  
۵



متأسفانه برخی از صنایع، شهرها و مزارع با رها کردن پساب خود در رودها، برکه‌ها و دریاها موجب مرگ آبزیان می‌شوند (شکل ۶). خوشبختانه در سال‌های اخیر با فرهنگ‌سازی، وضع و اجرای قوانین زیست‌محیطی در جهت کاهش موارد تلاش می‌شود. حتی در مواردی برای پیشگیری از نابودی نسل ماهیان، تعداد زیادی بچه‌ماهی

پس از پرورش در محیط‌های حفاظت‌شده به محل‌های زیست آنها رها می‌شود. در شکل ۷، آغاز رهاسازی بچه‌ماهی‌های استخوانی در سفیدرود استان گیلان را می‌بینید.



شکل ۷- آغاز رهاسازی بچه‌ماهی‌های استخوانی در سفیدرود



شکل ۶- مرگ تعداد زیادی ماهی به دلیل رها کردن پساب در رودخانه

## فعالیت عملی ۹



### تعیین شاخص‌های قلیایی ساده و کل



مواد و وسایل مورد نیاز	
سولفوریک اسید $0.02\text{ N}$ شناساگر فنول فتالین و نارنجی متیل	ارلن بورت ۵۰ میلی لیتر استوانه مدرج

### روش کار

- در ارلن ۲۵ میلی لیتر آب مقطر بریزید، ۲ تا ۳ قطره شناساگر نارنجی متیل و ۲ قطره سولفوریک اسید  $0.02\text{ N}$  اضافه کنید، رنگ نارنجی ظاهر می‌شود (نمونه شاهد).
- ۲۵ میلی لیتر از نمونه آب را در یک ارلن تمیز بریزید و به آن ۱۰-۸ قطره شناساگر فنول فتالین اضافه کنید و سپس با سولفوریک اسید  $0.02\text{ N}$  تیترا کنید تا محلول بی‌رنگ شود. حجم اسید مصرفی را یادداشت کنید ( $V_1$ ).
- در ادامه سنجش حجمی به محلول فوق ۲ تا ۳ قطره شناساگر نارنجی متیل اضافه کنید. محلول زردرنگ می‌شود. دوباره با سولفوریک اسید  $0.02\text{ N}$  آن را سنجش کنید تا محلول نارنجی رنگ شود (مشابه رنگ محلول شاهد) حجم اسید مصرفی را یادداشت کنید ( $V_2$ ). ( $V_2$  حجم کل است که  $V_1$  را نیز دربر می‌گیرد).

### محاسبه

با توجه به نمونه محاسبات صفحه ۱۱۵ معادل کربناتی شاخص  $M$  و  $P$  محاسبه گردد.

## شاخص آلودگی‌های آلی

بعضی از مواد آلی به صورت ذرات کلوییدی محلول در آب هستند. آلاینده‌های آلی ممکن است باعث ایجاد بو، رنگ و طعم نامطبوع در آب شوند. به خاطر تنوع زیاد مواد آلی و نیاز به آزمایش‌های طولانی و گاهی پرهزینه، روش معمول این است که ناخالصی‌های آلی را با چند آزمون شاخص گزارش کنند. این آزمون‌های شاخص در عین سهولت و ارزانی، نشانه‌های خوبی از آلودگی آب به مواد آلی هستند. واحد این شاخص‌ها  $\text{mg/L}$  یا  $\text{ppm}$  است. سنجش میزان مواد آلی موجود در آب، به روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. مانند اندازه‌گیری مواد فرّار، اندازه‌گیری کل مواد جامد،  $\text{BOD}^1$ ،  $\text{COD}^2$  و  $\text{DO}^3$  است.

اما اندازه‌گیری مواد فرّار و سنجش کل مواد جامد دارای خطا است. بنابراین اغلب، سنجش اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی ( $\text{BOD}$ )، اکسیژن‌خواهی شیمیایی ( $\text{COD}$ ) و اندازه‌گیری کل کربن آلی ( $\text{TOC}^4$ ) برای به دست آوردن مقدار مواد آلی موجود در آب انجام می‌شود.

### اکسیژن‌خواهی شیمیایی ( $\text{COD}$ )

این شاخص، مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش مواد آلی موجود در آب است و از مقدار اکسندہ‌های به کار رفته، به دست می‌آید. با دانستن این شاخص، می‌توان، همهٔ مواد آلی موجود در آب را که قابل اکسایش توسط کرومیک‌اسید و تبدیل کربن به گاز کربن دی‌اکسید هستند، (در واقع به طور غیرمستقیم) مشخص کرد. البته در برخی از موارد می‌توان پتاسیم‌پرمنگنات را نیز به عنوان مادهٔ اکسندہ به کار برد. اما به دلیل ضعیف‌تر بودن قدرت اکسندگی پتاسیم‌پرمنگنات، همهٔ مواد آلی اکسید نمی‌شوند و  $\text{COD}$  کوچک‌تری به دست می‌آید. لذا، اکسندۀ استاندارد برای سنجش  $\text{COD}$ ، پتاسیم دی‌کرومات است و در چند ساعت قابل انجام است. پتاسیم دی‌کرومات نمک شش ظرفیتی کروم است و رنگ نارنجی درخشانی دارد. پس از ترکیب اکسیژن آن با مواد آلی، به رنگ سبز کدر کروم اکسید سه ظرفیتی درمی‌آید (شکل ۸).



شکل ۸- پتاسیم دی‌کرومات (نارنجی رنگ) و کروم (III) اکسید (سبز رنگ)

۱- Biological Oxygen Demand

۲- Chemical Oxygen Demand

۳- Dissolved Oxygen

۴- Total Organic Carbon



- ۱ شاخص COD نشان دهنده همه مواد آلی تجزیه پذیر و تجزیه ناپذیر با باکتری است. برای نمونه، مقدار کمی شاخص COD در فاضلاب رقیق به ۴۰۰ ppm نمی‌رسد.
- ۲ آزمایش اندازه‌گیری اکسیژن‌خواهی شیمیایی در کتاب «راهنمای هنرآموز» آورده شده است، در صورت صلاحدید هنرآموزان محترم انجام شود.

## آب از دیدگاه زیست‌شناختی

در این قسمت به مطالعه برخی از خواص زیست‌شناختی آب پرداخته شده است. در آب‌های طبیعی، به‌ویژه آب‌های سطحی، علاوه بر مواد معلق تعداد بسیار زیادی موجودات کوچک (با ریشه گیاهی و یا حیوانی) وجود دارند. بسیاری از آب‌های سالم ممکن است دارای تعداد زیادی باکتری باشند. همچنین آب‌های قلیایی و گذرنده از لایه‌های گچی و آهکی دارای باکتری‌های زیادتری هستند که به‌نظر می‌رسد اغلب آنها بی‌ضرر باشند. حتی بسیاری از آنها برای به‌دست آوردن آب بهداشتی مهم هستند. در هر صورت تعداد کل میکروب‌های موجود در آب نباید از حد معینی بیشتر باشد، در غیر این صورت احتمال وجود باکتری‌های بیماری‌زا (مانند اسهال و وبا) را نیز افزایش می‌دهد.

### شاخص بهداشتی بودن آب



شکل ۹- باکتری اشرشیا کلیفرم

از باکتری اشرشیا کلیفرم<sup>۱</sup> (شکل ۹) به‌عنوان شاخص بهداشتی بودن آب استفاده می‌شود. این شاخص نشانه آلودگی آب به فاضلاب‌های انسانی است و بنابراین بهداشتی بودن آب را مدنظر دارد. باکتری کلیفرم روده‌ای به تعداد میلیونی در روده بزرگ انسان وجود دارد. دلایل استفاده از کلیفرم روده‌ای به‌عنوان شاخص بهداشتی بودن آب عبارت‌اند از:

- ۱ در برابر شرایط نامساعد محیط مقاومت بالایی دارد؛ به‌طوری که اگر به‌خاطر نامساعد بودن محیط، کلیفرم روده‌ای از بین برود، می‌توان مطمئن بود که هیچ ویروس و یا باکتری بیماری‌زایی نمی‌تواند در آن محیط وجود داشته باشد.
- ۲ تعداد این باکتری بسیار زیاد است. بنابراین، حتی در اثر رقیق شدن‌های مکرر هم می‌توان اطمینان داشت که کلیفرم روده‌ای وجود دارد.
- ۳ طرز تشخیص این باکتری در مقایسه با باکتری‌های بیماری‌زا، بسیار ساده و ارزان است. با توجه به مراتب فوق می‌توان گفت که آلودگی آب طبیعی به این باکتری می‌تواند هشدار به احتمال آلودگی آب به باکتری‌های بیماری‌زا و فاضلاب‌های انسانی باشد. در نتیجه اقدامات لازم برای بهداشتی کردن آب مطرح می‌شود.



در مورد روش‌های شناسایی و شمارش باکتری‌ها تحقیق کنید و گزارش آن را در کلاس ارائه کنید.

### اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی

با دانستن این شاخص، می‌توان همهٔ مواد آلی موجود در آب را که توسط باکتری‌ها تجزیه می‌شوند، مشخص کرد. استاندارد به کار رفته در این روش ۵ روزه است و با  $BOD_5$  نشان داده می‌شود. این میزان عبارت است از سنجش اکسیژنی که در دمای  $20^\circ$  درجهٔ سلسیوس و به مدت ۵ روز به وسیلهٔ باکتری‌های موجود در آب صرف اکسایش مواد آلی موجود در آب شود. از آنجا که در روش سنجش COD، هم مواد تجزیه پذیر و هم مواد تجزیه ناپذیر توسط باکتری‌ها ممکن است وارد شوند، معمولاً در یک نمونه، مقدار COD آن از مقدار BOD بیشتر است.

نکته



- در صورتی که BOD یک نمونهٔ آب نزدیک به یک میلی گرم در لیتر باشد، «خوب»،  $3 \text{ mg/L}$ ، «مشکوک به آلوده بودن» و بیش از  $5 \text{ mg/L}$  «آلوده» محسوب می‌شود. در بیشتر کشورها حتی فاضلاب تصفیه شده با BOD بیشتر از  $20 \text{ mg/L}$  مجاز به ورود به آب‌های سطحی یا زیرزمینی نیست.  
- آزمایش تعیین اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی در کتاب «راهنمای هنرآموز» آورده شده است، در صورت صلاحدید هنرآموزان محترم انجام شود.

تفاوت BOD با COD در این است که BOD شاخصی از مواد آلی قابل تجزیهٔ بیولوژیکی است، در حالی که COD شاخص کل ترکیبات آلی موجود در فاضلاب است، یعنی مواد آلی غیرقابل تجزیهٔ بیولوژیکی را نیز دربر می‌گیرد، به همین دلیل معمولاً مقادیر COD بیشتر از BOD است. در فاضلاب شهری نسبت COD به BOD معمولاً عددی نزدیک به ۲ است، هر قدر که این نسبت بالاتر رود، نشان می‌دهد که فاضلاب دارای مواد پیچیدهٔ آلی است. معنای این موضوع، آن است که در فرایند تصفیه، باید تصفیه شیمیایی مقدم بر تصفیهٔ بیولوژیکی باشد.

### کل کربن آلی یا TOC

چنانچه نمونه فاضلاب مورد نظر تحت حرارت سوخته شود، کربن آلی نمونه به دی اکسیدکربن تبدیل می‌شود. با اندازه گیری مقدار کربن دی اکسید، شاخص TOC به دست می‌آید. در واقع این شاخص مقداری از کل کربن موجود را نشان می‌دهد (فقط کربن آلی).

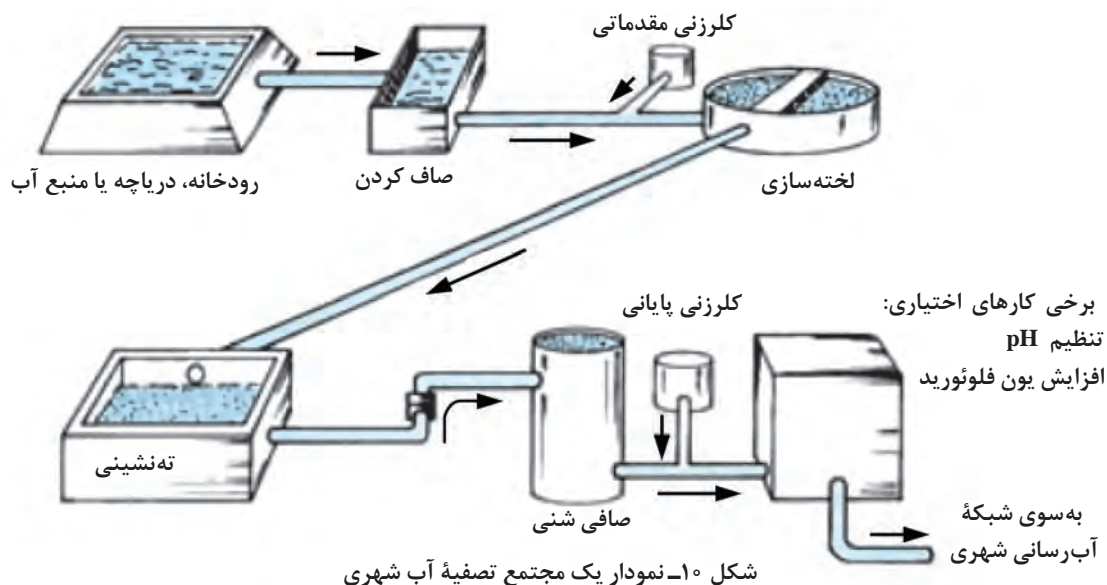
### تصفیهٔ آب



آب آشامیدنی شهر یا روستای محل زندگی شما از کجا تأمین و چگونه تصفیه می‌شود؟



در این بخش انواع روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی تصفیه آب آورده شده است. مهم‌ترین فرایندهای تصفیه آب (شکل ۱۰)، کاهش سختی، انعقاد و لخته‌سازی، گاززدایی، صاف کردن و گندزدایی است.



## مراحل مختلف تصفیه آب آشامیدنی

### مناسب‌سازی آب<sup>۱</sup>

برای بهسازی و مناسب‌سازی آب دو روش موجود است که انتخاب میان آنها براساس امکان‌سنجی فنی-اقتصادی<sup>۲</sup> انجام می‌گیرد:

**الف) حذف و یا کاهش ناخالصی‌های آب در تصفیه‌خانه (تصفیه خارجی):** اگر برای رهایی از مشکلات ناشی از وجود ناخالصی‌ها در آب، سعی شود آنها را پیش از ورود آب به داخل واحد صنعتی حذف کنند، در آن صورت تصفیه آب در خارج از سامانه انجام می‌گیرد و آن را تصفیه خارجی می‌نامند. روش‌هایی چون آهک‌زنی، استفاده از رزین‌های تبادله‌گر یون و صاف کردن، تصفیه خارجی محسوب می‌شوند.

**ب) افزایش مواد کمکی به آب در محل مصرف (تصفیه داخلی):** اگر دبی آب کم باشد، ممکن است هزینه تصفیه خارجی برای حذف کامل ناخالصی‌ها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد. در آن صورت با افزودن مواد شیمیایی مناسب به آب در محل مصرف از مشکلات احتمالی می‌کاهند که به آن تصفیه داخلی می‌گویند. با گسترش نیاز به آب با خلوص بیشتر، تصفیه داخلی از اهمیت زیادی برخوردار شده است و در کمتر واحد صنعتی است که نیاز به تصفیه داخلی نباشد. استفاده از مواد شیمیایی برای تنظیم pH، یا تزریق مواد ضدخوردگی یا ضد رسوب به آب در داخل واحد را تصفیه داخلی می‌گویند. در صورت کاربرد تجهیزات با یک مسیر بسته برای جریان آب مانند تهویه مطبوع خانگی، تنها تصفیه داخلی (استفاده از مواد شیمیایی در محل) اقتصادی است.

۱- Water Conditioning

۲- Feasibility Study





تصویر زیر چه پدیده‌ای را نشان می‌دهد؟ آیا علت آن را می‌دانید؟



کف صابون در آب نرم



کف صابون در آب سخت

### کاهش سختی موقت آب

یک راه برای کاهش سختی موقت آب آن است که آهک به آب اضافه شود. آهک یا آهک زنده همان کلسیم‌اکسید است که به مقدار فراوان از تجزیهٔ گرمایی سنگ‌آهک ( $\text{CaCO}_3$ ) در کوره به‌دست می‌آید.

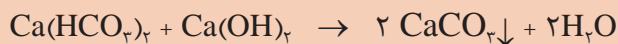
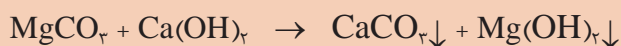


آهک با ترکیبات کلسیم و منیزیم ترکیب می‌شود و رسوب‌های کلسیم‌کربنات و منیزیم‌هیدروکسید تولید می‌کند که خیلی کم‌محلول هستند. این دو ترکیب با تأمین زمان کافی ته‌نشین می‌شوند. سپس با استفاده از عملیات صاف کردن آب حاصل، می‌توان آب را کاملاً صاف و زلال کرد.

نکته

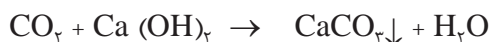


منیزیم‌کربنات نسبت به منیزیم‌هیدروکسید بسیار محلول است.



مشاهده می‌شود که برای حذف هر مول سختی منیزیمی به دو مول آب‌آهک احتیاج است. چون منیزیم‌کربنات به‌مقدار زیادی محلول است ولی منیزیم‌هیدروکسید تقریباً در آب نامحلول است از این رو هدف باید ایجاد رسوب منیزیم‌هیدروکسید باشد.

سختی منیزیمی هم باید به‌صورت منیزیم‌هیدروکسید نامحلول رسوب داده شود. برای این منظور باید یون هیدروکسید ( $\text{OH}^-$ ) را توسط یک مادهٔ قلیایی مانند  $\text{NaOH}$  یا  $\text{Ca(OH)}_2$  وارد نمونه آب کرد. برای حذف همهٔ کربن دی‌اکسید موجود در آب (اگر مقدار کربن دی‌اکسید از ۲۰ ppm بیشتر باشد) با دمیدن هوا، مقدار آن کاهش داده می‌شود. سپس باقی‌ماندهٔ آن با آب‌آهک به اندازهٔ کافی حذف می‌شود.







## فعالیت عملی ۱۰

### کاهش سختی موقت آب

مواد و وسایل لازم	
انواع آب‌های در دسترس	قیف شیشه‌ای
محلول بافر آمونیوم کلرید + آمونیاک	کاغذ صافی
شناساگر EBT	بورت
محلول EDTA ۰/۰۱ مولار	پی‌پت ۵ و ۲۵ میلی‌لیتری
محلول آب‌آهک	ارلن

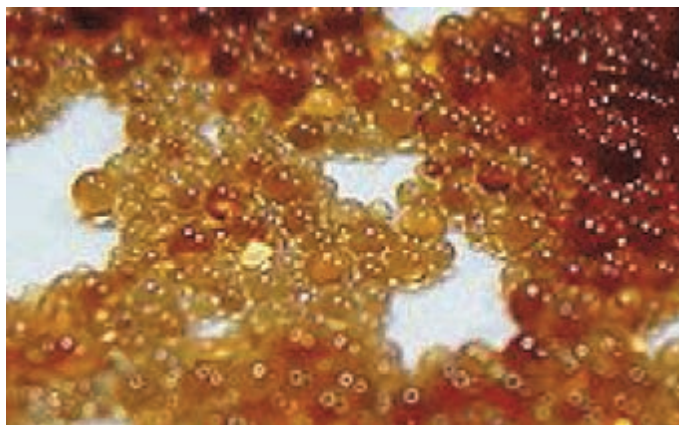
### روش کار

- ۱ مطابق فعالیت عملی ۷، سختی کل آب را اندازه بگیرید.
- ۲ سپس یک نمونه دیگر از همان آب خام را کم‌کم با آب‌آهک (به حجم تقریبی ۲ تا ۳ برابر حجم محلول سود در فعالیت عملی ۷) مخلوط کنید، از کاغذ صافی و قیف عبور دهید و به داخل بالن بریزید.
- ۳ سختی کل آن را دوباره اندازه بگیرید و نتایج آزمایش‌ها را در جدول زیر ثبت کنید.
- ۴ مقایسه نتایج چه چیزی را نشان می‌دهد؟

ردیف	نوع آب	سختی کل (ppm)	
		پیش از آهک‌زنی	پس از آهک‌زنی
۱	آب لوله‌کشی		
۲	آب مقطر		
۳	آب رودخانه		
۴	آب دریا		
۵	آب چاه		
۶	آب استخر		
۷	...		

## رزین‌ها

رزین‌ها مواد جامدی هستند که در آب نامحلول هستند، اما می‌توانند یون‌های آب را مبادله کنند. این فرایند یک تعادل شیمیایی است که براساس نیروهای الکترواستاتیک عمل می‌کند. رزین‌ها در تهیه آب آشامیدنی با کیفیت، صنایع دارویی، غذایی، شیمیایی، پتروشیمی، نفت، گاز (به‌ویژه برای دیگ‌های بخار) و کاغذسازی به کار می‌روند (شکل ۱۱). رزین‌های تبادله‌گر یون در دو نوع آنیونی و کاتیونی ساخته می‌شوند و برای تولید آب بدون یون باید از هر دو نوع استفاده کرد.



شکل ۱۱- رزین تصفیه آب

پس از اینکه تبادل یون بین سیال و رزین انجام گرفت و دو طرف به تعادل رسیدند، این فرایند متوقف می‌شود. در این حالت باید رزین را بازیابی کرد. جدول ۶، انواع ماده بازیاب رزین را با توجه به نوع رزین نشان می‌دهد.

جدول ۶- انواع مواد بازیاب رزین

نوع رزین	ماده بازیاب
آنیونی ضعیف	سدیم کربنات یا سدیم هیدروکسید
آنیونی قوی	سدیم هیدروکسید رقیق
کاتیونی ضعیف	سولفوریک اسید رقیق
کاتیونی قوی	

رزین‌های تبادل یون ضعیف، همه یون‌ها را نمی‌توانند مبادله کنند، اما کاربرد بیشتری دارند و گران‌تر هم هستند. دلیل آن بازده بیشتر بازیابی آنها (نزدیک به ۱۰۰٪) نسبت به رزین‌های قوی (کمتر از ۴۰٪) است.

رزین تصفیه آب نباید خشک شود و باید در وضعیت بازیابی شده باشد.

نکته





## فعالیت عملی ۱۱

### استفاده از رزین‌ها در تصفیه آب

مواد و وسایل مورد نیاز	
انواع آب رزین تصفیه آب ۵۰ میلی لیتر بافر آمونیوم کلرید شناساگر EBT محلول EDTA ۰/۰۱ مولار	استوانه شیشه‌ای سه عدد همزن شیشه‌ای بالن بورت پی پت ۵ و ۲۵ میلی لیتری ارلن

### روش کار

- ۱ مطابق فعالیت عملی ۷ سختی کل نمونه آب خام را اندازه بگیرید.
- ۲ رزین تصفیه آب را در یکی از دو ظرف استوانه شیشه‌ای بریزید و با افزودن نمونه دیگری از همان آب خام، با همزن شیشه‌ای آنها را مخلوط کنید.
- ۳ پس از گذشت ۵ دقیقه، آب ظرف رزین را در ظرف سوم بریزید و سختی کل آن را اندازه‌گیری کنید.
- ۴ مقایسه نتایج چه چیزی را نشان می‌دهد؟

ردیف	نوع آب	سختی کل (ppm)	
		پیش از تصفیه	پس از تصفیه
۱	آب لوله‌کشی		
۲	آب مقطر		
۳	آب رودخانه		
۴	آب دریا		
۵	آب چاه		
۶	آب استخر		
۷	...		

### حذف ناخالصی‌های گازی آب

در اغلب آب‌های زیرزمینی گوگرد به صورت  $H_2S$  وجود دارد. اگر آب به اندازه کافی قلیایی باشد، حذف کربن دیوکسید لازم نیست، چون می‌تواند برای مهار خوردگی و به صورت منبعی برای قلیایی بودن بی‌کربناتی به کار رود.

**روش‌های فیزیکی حذف گازها:** گازهای مختلفی می‌توانند در آب به صورت محلول وجود داشته باشند. هیدروژن سولفید، کربن دی‌اکسید، اکسیژن، آمونیاک، کلر و نیتروژن از جمله گازهایی هستند که بیشتر از بقیه گازها در آب وجود دارند. نوع و میزان گازهای محلول در آب به شرایط محیطی، منبع آب، مسیر عبور آب، دما، فشار و جنس گاز بستگی دارد.

**به طور کلی برای حذف ناخالصی‌های گازی دو روش عمده وجود دارد.**

الف) روش‌های فیزیکی حذف گازها

ب) روش‌های شیمیایی حذف گازها

در مواردی که حجم آب مورد تصفیه زیاد و غلظت گازهای محلول، بالا باشد از روش فیزیکی استفاده می‌شود، چون این روش مقرون به صرفه خواهد بود. هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده در این شیوه بالا است ولی با برآورد کل هزینه‌ها مثل هزینه‌های روزانه، در مجموع با صرفه‌تر از روش شیمیایی خواهد بود. مزیت روش شیمیایی نسبت به فیزیکی در آن است که در روش شیمیایی می‌توان گفت که حذف گازها از آب به طور کامل انجام می‌شود در حالی که در روش فیزیکی هیچ‌گاه حذف گازها صددرصد نیست و احتیاج به یک عملیات شیمیایی به صورت تکمیل کننده خواهد بود.

یکی از روش‌های فیزیکی حذف گازها روش هوادهی<sup>۱</sup> است

**هوادهی** فرایندی است که در آن آب و هوا در تماس نزدیک با هم قرار داده می‌شوند. در اثر هوادهی میزان اکسیژن محلول در آب افزایش می‌یابد و در نتیجه فشار جزئی اکسیژن افزایش یافته و فشار جزئی سایر گازها

کم شده و از آب خارج می‌شوند. هوادهی برای موارد مختلفی به کار گرفته می‌شود که عبارت‌اند از:

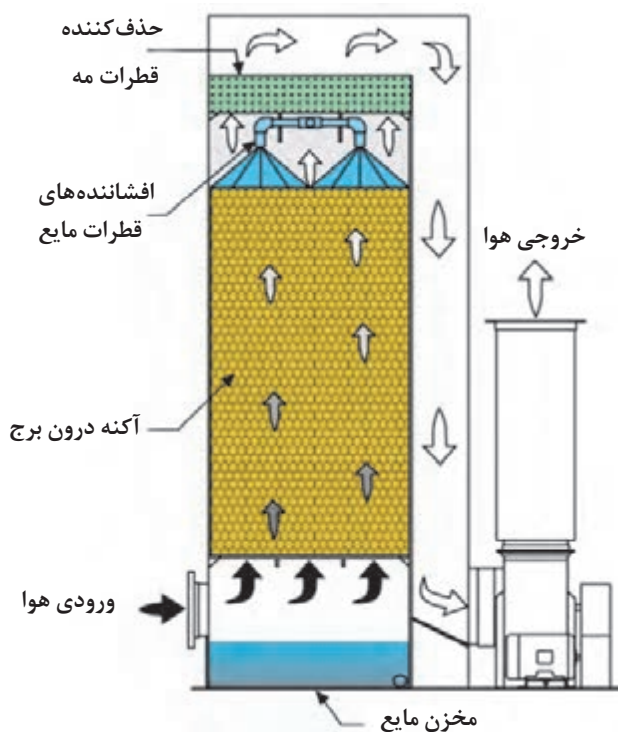
- حذف گاز هیدروژن سولفید و ترکیبات آلی.

- حذف کربن دی‌اکسید.

- حذف گازهایی مانند متان که تجمع این گاز در یک محیط بسته می‌تواند سبب انفجار شود. از هوادهی برای حذف سایر گازها به جز اکسیژن استفاده می‌شود.

هوادهی را می‌توان به دو صورت انجام داد:

**روش اول:** در این شیوه آب زائد توسط افشانک‌هایی به صورت قطرات ریز از بالا به پایین پاشیده می‌شود و هوا از پایین به بالا جریان می‌یابد و تماس بین دو فاز برقرار می‌شود (شکل ۱۲). این روش در صنایع کاربرد بیشتری دارد. دستگاهی که این عمل در آن انجام می‌شود «گاز زدا» نام دارد.



شکل ۱۲- برج آکنده با دمنده هوا

گاززدا (شکل ۱۲) برجی است که در آن توسط افشانک‌هایی از بالا به پایین پاشیده می‌شود و هوا توسط یک کمپرسور از پایین برج به بالا دمیده می‌شود. اگر ذرات معلق و گرد و غبار همراه هوا باشند، قبل از ورود هوا به داخل برج توسط فیلتر حذف می‌شوند.

از دستگاه گاززدا بیشتر برای زدودن کربن دی‌اکسید از آب استفاده می‌شود و هرچه سطح تماس و زمان هوا با آب بیشتر باشد، درصد کربن دی‌اکسید دفع شده از آب بیشتر خواهد بود. لذا برای ایجاد شرایط فوق برج را به صورت سینی‌دار می‌سازند و یا داخل برج را از آکنه‌های پلاستیکی یا سرامیکی، مانند راشیگ رینگ پر می‌کنند. آکنه‌ها قطعات مشخصی هستند که نسبت سطح به حجم آنها زیاد است به عبارتی سطح ویژه زیادی دارند بنابراین امکان تماس بیشتر آب با هوا را فراهم می‌کنند.

**روش دوم:** در این روش هوا توسط توزیع‌کننده‌های مخصوصی از کف مخزن آب به بالا می‌روند، در نتیجه هوا به صورت حباب‌های ریز و یکنواخت در سرتاسر مخزن پخش می‌شود. برای گاززدایی آب می‌توان از روش‌های شیمیایی نیز استفاده کرد.

در این روش بسته به اینکه حذف چه گازی مورد نظر است، ماده شیمیایی افزوده می‌شود و نیز در شرایط عملیاتی از قبیل pH دما به دلیل مؤثر بودن حذف شیمیایی تفاوت خواهد کرد.

**روش حذف شیمیایی گازها:** این روش‌ها به‌ویژه برای تهیه آب‌های صنعتی مورد استفاده و تکمیل‌کننده گاززدایی فیزیکی هستند. یکی از روش‌های حذف شیمیایی گاز اکسیژن استفاده از سدیم سولفیت است.

**روش استفاده از سدیم سولفیت:** این روش ساده و اقتصادی، بسیار متداول است. به دلیل دوطرفه بودن این واکنش، در آب خروجی نیز همیشه باید مقداری سدیم سولفیت اضافی موجود باشد. دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، pH بین ۹ تا ۱۰ بهترین شرایط کاری واکنش است.



## زال‌سازی آب



شکل ۱۳- حوضچه ته‌نشین به منظور زال‌سازی آب

زال‌سازی عبارت است از کاهش مواد معلق آب یا فاضلاب (شکل ۱۳). برخی از این مواد می‌توانند ذراتی درشت و سنگین باشند؛ در این صورت به سرعت در آب ته‌نشین می‌شوند. بعضی دیگر، ذرات بسیار ریزی هستند که به کندی از آب جدا می‌شوند (مثلاً ذرات کلوئیدی). **انعقاد<sup>۱</sup> و لخته‌سازی<sup>۲</sup>** دو مفهوم جدا از هم می‌باشند انعقاد بار الکتریکی ذرات ریز را کاهش می‌دهد و لخته‌سازی ذرات درشت‌تری را ایجاد می‌کند که می‌توان آنها را به راحتی از هم جدا کرد.

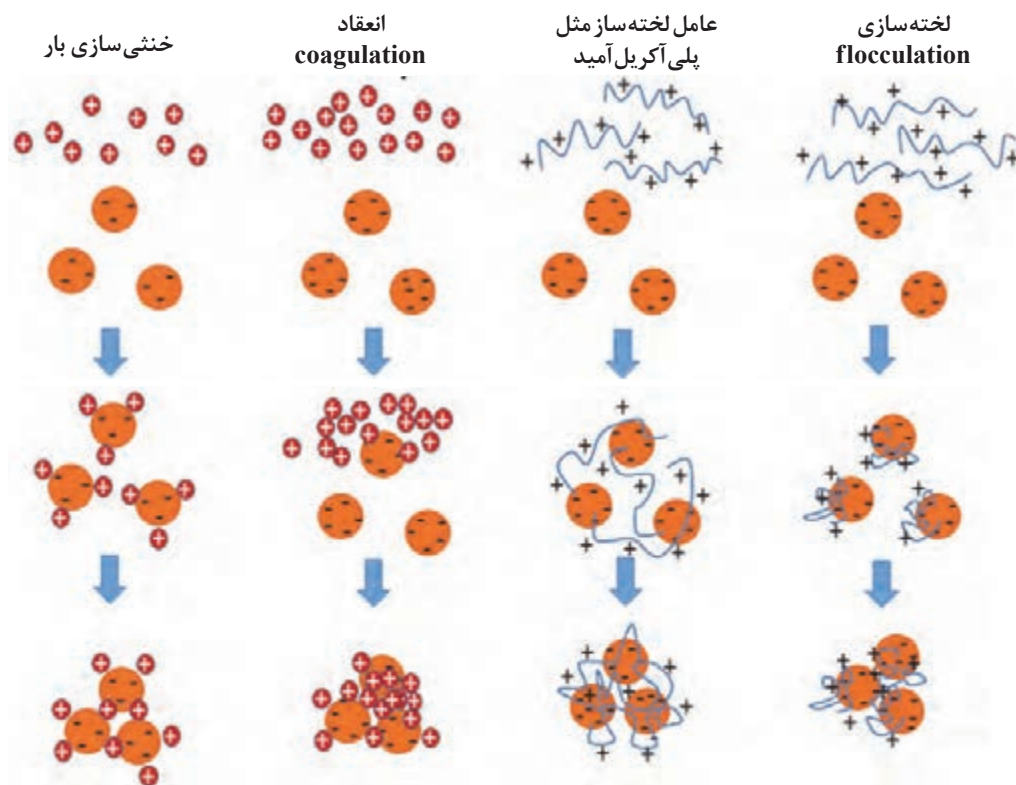
۱- Coagulation

۲- Flocculation

فرایند انعقاد و لخته‌سازی برای حذف مواد کلوئیدی مولد کدورت و رنگ (مواد آلی طبیعی) مورد استفاده قرار می‌گیرد که برای تکمیل آن یک مرحله ته‌نشین‌سازی نیز مورد نیاز است.

### مراحل انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب و فاضلاب

افزودن مواد منعقدکننده منجر به خنثی شدن بار ذرات کلوئیدی شده و در نتیجه این ذرات به یکدیگر نزدیک‌تر شده و تشکیل ذرات درشت‌تری می‌دهند. معمولاً برای حذف مواد کلوئیدی آب و فاضلاب، از املاح فلزاتی مانند آلومینیوم یا آهن استفاده می‌شود که به‌عنوان منعقدکننده وارد آب می‌شوند، در اثر هیدرولیز به‌صورت یونی یا هیدروکسیدهای باردار، در می‌آیند. به‌وجود آمدن این مولکول‌های باردار بزرگ با خنثی نمودن ذرات کلوئیدی و کاهش اختلاف پتانسیل بین فاز پخش شده و محیط اطراف آن (پتانسیل زتا<sup>۱</sup>) که عامل اصلی دافعه بین ذرات کلوئیدی می‌باشد، امکان لازم برای عمل نمودن نیروی واندروالسی را فراهم آورده و موجب چسبیدن ذرات به یکدیگر می‌شود. از انواع منعقدکننده‌ها می‌توان آلومینیوم سولفات، سدیم آلومینات، آهن (II) سولفات، آهن (III) سولفات، آهن (III) کلرید را نام برد (شکل ۱۴). لخته‌سازی عبارت است از کمک به ته‌نشینی ذرات معلق با استفاده از مولکول‌های سنگین‌تر مانند پلیمرهای بلند زنجیر؛ مثل پلی‌الکترولیت‌های دارای جرم مولکولی کم تا زیاد و پلی‌اکریل آمید (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- فرایند انعقاد و لخته‌سازی



### تفاوت بین فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی:

در فرایند انعقاد ذرات دارای بار خنثی می‌شوند تا امکان چسبیدن به یکدیگر و تشکیل ذراتی بزرگ‌تر را پیدا کنند، اما در فرایند لخته‌سازی مولکول‌های بزرگ و بلندزنجیر ذرات معلق را دربر گرفته و باعث ته‌نشینی آنها می‌شوند. از این‌رو انعقاد را می‌توان یک فرایند شیمیایی و لخته‌سازی را فیزیکی قلمداد کرد (هر چند در بسیاری از موارد خنثی‌سازی نیز انجام می‌شود).

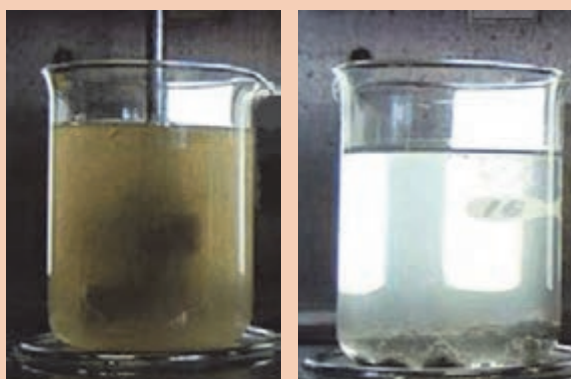
جهت مطالعه عمل انعقاد و تعیین میزان مواد منعقدکننده و نیز انتخاب نوع مواد منعقدکننده از آزمایش جار تست (فعالیت عملی ۱۲) استفاده می‌شود. در این آزمایش مقدار و میزان مواد شیمیایی لازم جهت عمل انعقاد، مقدار pH مناسب و نیز مواد شیمیایی مورد نیاز تعیین می‌شود.

برای ایجاد لخته‌های بزرگ‌تر نیاز به اختلاط آرام سوسپانسیون برای تسریع تماس بین ذره‌ای است که منجر به تجمع ذرات کلوئیدی و تبدیل آنها به لخته بزرگ با قابلیت ته‌نشینی بیشتر می‌شود. در حوضچه فلوکولاسیون از مخلوط‌کن پارویی یا تیغه‌ای که به آرامی در آب می‌چرخد، استفاده می‌شود. این پاروها به‌طور افقی در جهت موازی یا متقاطع با جریان آب نصب می‌شوند. سرعت کم این پاروها باعث یک حرکت بسیار ملایم در سیال می‌گردد و در نتیجه سبب برخورد و نزدیکی ذرات به هم خواهد شد. سرعت زیاد در حوضچه لخته‌سازی، باعث شکسته شدن لخته‌های تشکیل شده خواهد شد. در نهایت، لخته‌های تشکیل شده، در حوضچه ته‌نشینی از سیال جدا می‌شود.

پرسش ۶



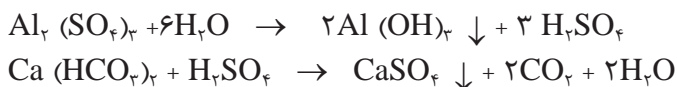
فکر می‌کنید تفاوت دو حالت زیر در تصفیه آب ناشی از چه عاملی باشد؟



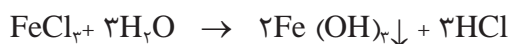
کیفیت متفاوت ته‌نشینی در تصفیه آب

### سازوکار منعقدکننده‌ها

مواد منعقدکننده با دو روش به انعقادسازی ذرات در آب کمک می‌کنند، یکی خنثی کردن بخشی از بار الکتریکی ذرات و دیگری از طریق ترکیب شدن با مواد قلیایی آب. در کمتر از یک ثانیه ماده منعقدکننده در آب آبکافت می‌شود و یون‌ها و کمپلکس‌های مختلف تشکیل می‌دهد. از بین این‌گونه مواد می‌توان آلومینیم سولفات، آهن (II و III) سولفات و آهن (III) کلرید را نام برد.



آلومینیم هیدروکسید حاصل ضمن ته‌نشینی، به تعدادی از ذرات می‌چسبد و آنها را رسوب می‌دهد. تنظیم pH نیز در واکنش دوم لازم است، در غیر این صورت شناوری ذرات (ناشی از حباب‌های کربن دیوکسید) می‌تواند در منعقد شدن ذرات تأخیر ایجاد کند.



چون آهن (II) سولفات برای تولید لخته احتیاج به اکسیژن دارد، برای کاهش اکسیژن محلول در آب می‌توان از مقدار لازم آهن (II) سولفات به همراه آهن (III) سولفات استفاده کرد.

#### نکته

- ۱ برای تنظیم کیفیت لخته‌های ایجاد شده باید pH آب (معمولاً با افزودن آهک، سدیم هیدروکسید، سدیم کربنات یا آلومینیم کلرید) تنظیم و تثبیت شود.
- ۲ در صورتی که رنگ و کدوری آب زیاد باشد، منعقدکننده منیزیم اکسید را نیز می‌توان به کار برد.
- ۳ از چند دهه پیش، کاربرد منعقدکننده‌های آلومینیم برای تصفیه آب‌های آشامیدنی، به دلیل امکان ایجاد بیماری آلزایمر- (فراموش کاری) در افراد مسن، خطرناک اعلام شده است. لذا به جای آن از آهن (III) کلرید استفاده می‌شود.

لجن حاصل از منعقدکننده‌های معدنی به راحتی آب خود را از دست نمی‌دهد. در نتیجه، موجب اختلال در عملکرد تجهیزات فرایندی جداسازی آب (مانند صافی‌های ساده یا گریز از مرکز) می‌شود.

### آزمایش جار

این روش برای ارزیابی انعقادسازی در محلول‌هایی با غلظت کمتر از ۵۰۰ mg/L مواد جامد معلق به کار می‌رود. در شکل ۱۵ این دستگاه دیده می‌شود که دارای چندین همزن یکسان است و توسط یک موتور می‌چرخند. هر یک از همزن‌ها، نمونه آب درون یک ظرف مدرج (بشر) را هم می‌زند. حجم آب مورد نظر در هر بشر یکسان است. اگرچه سرعت دورانی همزن‌ها قابل تنظیم است، اما در هر لحظه سرعت دورانی همه آنها یکسان است. پس همه نمونه‌ها در شرایط یکسانی قرار دارند. دستگاه آزمایش جار می‌تواند سنجش تأثیر متغیرهای مهم را بر انعقادسازی انجام دهد؛ از جمله، نوع و مقدار ماده منعقدکننده، ترتیب افزودن مواد، مدت زمان هم‌زدن، سرعت اختلاط، pH محیط، دمای محیط، اندازه صافی‌های واحد انعقادسازی. روش کار با این تجهیزات این‌گونه است که پس از ریختن مقدار مساوی از نمونه آب مورد نظر در هر ظرف، به هر کدام یک میزان مساوی از یکی از مواد منعقدکننده مورد مطالعه را می‌افزایند. معمولاً اولین بشر را بدون ماده منعقدکننده و به عنوان «شاهد آزمایش» به کار می‌برند. با روشن کردن موتور همزن، همه همزن‌ها آغاز به کار



می‌کنند. پس از گذشت مدت زمان معینی (حدود سه تا پنج دقیقه)، موتور را خاموش کنید تا ته‌نشینی ذرات درشت‌شده آغاز شود. قضاوت درباره بهترین ماده منعقدکننده، با توجه به زلال بودن محلول نهایی، سرعت ته‌نشینی و نیز حجم لجن تولیدشده در هر بشر صورت می‌گیرد. با وقوع هر تغییری در تجهیزات یا شرایط کاری واحد انعقادسازی (از جمله تغییرات دمای فصلی)، انجام این آزمایش تکرار می‌شود.



شکل ۱۵- دستگاه آزمایش جار

## فعالیت عملی ۱۲

### انجام آزمایش جار



مواد و وسایل مورد نیاز	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- دستگاه آزمایش جار</li> <li>- استوانه مدرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری</li> <li>- دماسنج</li> <li>- زمان‌سنج</li> <li>- تجهیزات لازم برای آزمایش کدري</li> <li>- تجهیزات لازم برای آزمایش قلیایی بودن</li> <li>- تجهیزات لازم برای آزمایش pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- آب</li> <li>- شن و ماسه نرم (ماسه بادی یا مشابه آن)</li> <li>- آلومینیم سولفات</li> <li>- آهن (II و III) سولفات</li> <li>- آهن (III) کلرید</li> <li>- ترازوی دقیق</li> </ul>

### روش کار:

۱ ابتدا به کمک استوانه مدرج در هر بشر تا خط نشانه از آب خام بریزید. سپس دما، کدري، میزان قلیایی بودن و pH آن را، سنجش و یادداشت کنید.

- ۲ همزن دستگاه را روشن کنید. بعد از حدود یک دقیقه که محتویات همهٔ بشرها یکنواخت شود، به هر کدام یک میزان مساوی از یکی از مواد منعقدکنندهٔ مورد مطالعه را بیفزایید.
- ۳ پس از حدود سه تا پنج دقیقه، موتور همزن را خاموش کنید تا ته‌نشینی ذرات درشت شده آغاز شود.
- ۴ زلال بودن محلول نهایی، سرعت ته‌نشینی و نیز حجم لجن تولیدشده در هر بشر را در جدولی یادداشت و دربارهٔ نتایج آن بحث کنید.

نکته



برای منعقدکننده در بشر ششم از مخلوط مساوی از آهن (II و III) سولفات استفاده کنید.

شمارهٔ بشر	۱ (شاهد)	۲	۳	۴	۵	۶
متغیر مورد مطالعه						
زالال بودن محلول نهایی						
سرعت ته‌نشینی						
حجم لجن تولیدشده						

تحقیق کنید  
۸



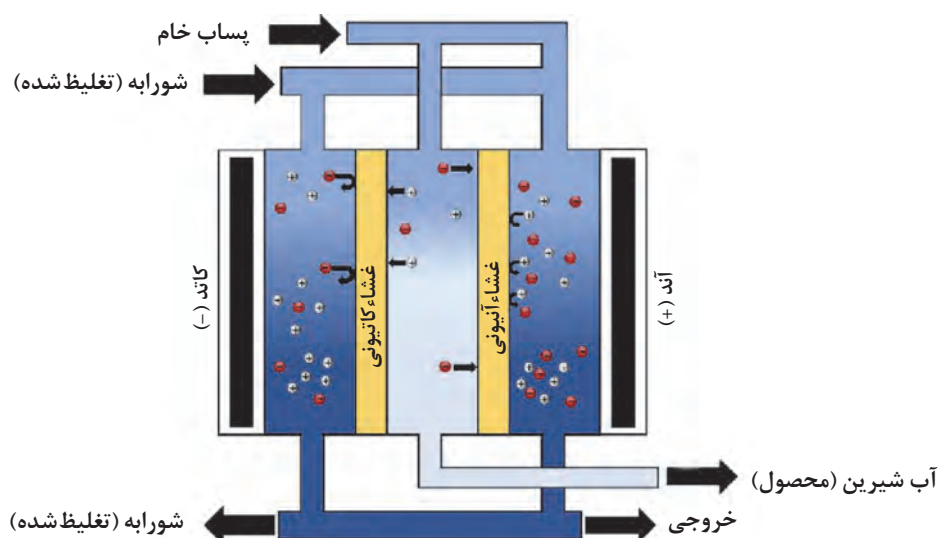
کدام یک از متغیرهای زیر روی انعقادسازی اثر مثبت دارد؟  
الف) مواد آلی      ب) هم‌زدن      پ) دمای کم      ت) pH کم

## صاف کردن و فرایندهای غشایی

با انواع روش‌های جداسازی توسط غشاهای مختلف در سال گذشته آشنا شده‌اید. از آنجا که روش اسمز معکوس در تصفیهٔ آب دریا به کار می‌رود، محاسن این روش در زیر آورده شده است.

- ۱ صرفه‌جویی مصرف انرژی به دلیل تغییر فاز نداشتن
- ۲ امکان انجام فرایند در دمای کم (برای مواد حساس در برابر دما)
- ۳ آسانی در افزایش مقیاس
- ۴ قابلیت تهیهٔ آب آشامیدنی از آب دریا
- ۵ نیاز به فضای کوچک برای نصب و عملکرد
- ۶ سرعت انجام فرایند به دلیل نازکی غشا
- ۷ انعطاف‌پذیری زیاد در اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون
- ۸ امکان حذف صددرصد باکتری‌ها و ویروس‌ها

فرایند الکترودیالیز یک روش جداسازی غشایی است که یک نیروی محرکه اختلاف پتانسیل برقی را برای انتقال یون‌ها به کار می‌برد. این روش در چند دهه اخیر به منظور تصفیه آب و پساب گسترش یافته است و برای تهیه آب آشامیدنی یا صنعتی از منابعی که TDS کمتر از ۵۰۰۰ ppm دارند، به کار می‌رود. اصول کار دستگاه در شکل ۱۶ دیده می‌شود. در این دستگاه الکترودهای مثبت و منفی (توری‌ها) به برق مستقیم متصل هستند و با میدان الکتریکی خود یون‌ها را از درون غشاهای مربوطه عبور می‌دهند. نتیجه این کار جداسازی آب تصفیه شده از محلول اصلی است. محلول اصلی که غلظت محصول در آن کاهش یافته است، از مسیر اولیه خود به بیرون دستگاه می‌رود.



شکل ۱۶- فرایند تصفیه آب الکترودیالیزی

فیلم آموزشی



الکترودیالیز

## گندزدایی

گندزداها همان مواد ضد عفونی کننده هستند که تمام عوامل بیماری‌زا را توسط عوامل فیزیکی و شیمیایی از بین می‌برند. گندزداها به طور کلی شامل دو دسته با واکنش شیمیایی (مانند کلر، ازن، کلردیوکسید، برم و ید) و با عملکرد فیزیکی (نظیر استفاده از صافی یا پرتودهی) هستند.

### الف) گندزدهای شیمیایی

گندزدهای شیمیایی با اکسایش و پاره کردن دیواره سلول میکروبی، آنها را می‌کشند و یا با نفوذ درون سلول در کارها و فعالیت‌های حیاتی آنها، اختلال ایجاد می‌کنند.

به دلیل زیادی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گندزداها (مانند نوع و غلظت میکروب‌ها، نوع و غلظت ماده گندزدای مورد مطالعه، کیفیت آب و مدت تماس) بهترین راه برای انتخاب گندزداها، انجام بررسی‌های

آزمایشگاهی آب (دما، کدري، pH، مواد آلي) است. ترکیبات آلي با ترکیب شدن با موادگندزدا یا چسبیدن به دیواره سلول‌های میکروب‌ها در کار گندزدایی اخلاص می‌کنند. موادی مانند منگنز، آهن و هیدروژن سولفید هم با ترکیب شدن با گندزداها مزاحم عمل گندزدایی می‌شوند.

از خصوصیات ضروری برای گندزداها، می‌توان موارد زیر را برشمرد:

■ نداشتن عوارض جانبی و سمیت برای مصرف‌کننده

■ اقتصادی بودن و قابلیت دسترسی

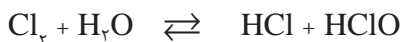
■ قدرت ماندگاری کافی در آب

■ قدرت کافی باکتری‌کشی

### کلرزی و ضدعفونی‌کننده‌ها

برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها در آب به آن کلر زده می‌شود. میزان کلر آزاد در حدود  $2 \text{ mg/L}$  است. مقدار بیش از  $5 \text{ mg/L}$  می‌تواند به رزین‌های تصفیه آب صدمه فیزیکی بزند. به این دلیل، آب پیش از ورود به رزین باید، از صافی ذرات زغال فعال بگذرد. همچنین با اضافه کردن سدیم‌بی‌سولفیت به آب، کلر آزاد تبدیل به یون کلرید می‌شود. کلر تنها نوع ضدعفونی‌کننده نیست، ازون، کلردیوکسید، کلرآمین و هیپوکلریت‌های قلیایی هم برای این مقصود به کار می‌روند.

**۱- کلر:** استفاده از این گاز خورنده و خفه‌کننده (در غلظت‌های بیش از  $100 \text{ ppm}$ )، نیاز به تجهیزات و تأسیسات خاص و گران‌قیمت دارد. لذا به جای آن از ترکیبات (مایع یا گرد جامد) آن در تصفیه‌خانه‌های کوچک استفاده می‌شود. مزایای آن عبارت‌اند از: ارزانی، سمی بودن برای اغلب ریزجانداران، قابلیت حل شدن مناسب در آب و اینکه باقیمانده کلر می‌تواند در غلظت‌های قابل قبول از نظر سلامتی انسان، شبکه توزیع آب را به لحاظ زیست‌شناختی محافظت کند. البته وجود  $\text{H}_2\text{S}$  کلر را مصرف می‌کند. واکنش زیر با افزودن کلر به مقدار کافی در آب بدون آمونیاک، انجام می‌گیرد:



هیپو کلرواسید در گستره pH‌های اسیدی، گندزدای مؤثری است.

نکته ایمنی



هنگام کار کردن با گاز کلر، رعایت ایمنی و احتیاط، اولین اصل است.



**۲- کلردی اکسید:** به دلیل خاصیت قوی رنگ‌بری و گندزدایی مؤثرتر از خود کلر، اخیراً متداول شده است، همچنین بوهای نامطبوع تولید نمی‌کند. در نتیجه برای آب‌هایی که کاربری غذایی دارند، مناسب است. البته به دلیل ناپایداری، بلافاصله پس از تهیه باید به مصرف برسد.



**۳- ازون:** این ماده که از تخلیه الکتریکی با ولتاژ زیاد (بیش از ۵۰۰۰ ولت) در هوا یا اکسیژن خشک به وجود می‌آید، گندزدای مفید و قوی است و در آب باقی‌مانده‌ای برجای نمی‌گذارد. البته به دلیل سمیت شدید، نباید غلظت آن در محیط کار بیشتر از ۰/۱ ppm بشود. به دلیل نداشتن باقی‌مانده‌ای در آب و برای جلوگیری از رشد دوباره ریزجانداران، در انتهای تصفیه با ازون، اندکی کلر به آب می‌افزایند. تهیه این ماده گران تمام می‌شود و برخی از مواد آلی یا معدنی با آن مواد مضر تولید می‌کنند.

**۴- آب ژاول:** آب ژاول، یا سدیم هیپوکلریت ( $\text{NaOCl}$ )، ترکیبی فوق‌العاده قوی است که درصد خیلی کمی از آن (۵ درصد) را در آب حل می‌کنند و با نام‌های مختلف و به عنوان سفیدکننده به بازار عرضه می‌کنند. مزیت آب ژاول این است که خاصیت ضدعفونی‌کننده نیز دارد، زیرا یک سفیدکننده کلردار است. متداول‌ترین روش برای تهیه سدیم هیپوکلریت، عبور دادن گاز کلر از درون محلول قلیایی سدیم هیدروکسید می‌باشد.

$$\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O}$$

**۵- مواد شیمیایی دیگر:** نقره کلویدی، برم و ید از دیگر گندزداها هستند که اولی بسیار گران است و فقط در صافی‌های کوچک آب استفاده می‌شود، زیرا برای بیشتر ریزجانداران سمی است. دو ماده دیگر فقط در گندزدایی آب استخرها مصرف می‌شوند، زیرا باقی‌مانده آنها کمتر از باقی‌مانده کلر، سبب سوزش چشم می‌شود.



## ب) گندزداهای فیزیکی

**۱- تابش فرابنفش:** این تابش به شرط قرار گرفتن مناسب ریزجانداران در برابر آن گندزدایی مؤثر است. با وجود مزایایی مانند ایجاد نکردن بو و مزه نامطلوب، عملکرد خودکار و با تعمیرات کم، گندزدایی با تابش فرابنفش کامل نیست و هزینه آن زیاد است.

**۲- گرما:** این روش بالا بودن هزینه، کاهش گوارایی آب، حذف اکسیژن و نمک‌های محلول آن را به همراه دارد.

**۳- غشاهای:** این سامانه‌ها می‌توانند ذرات بین ۰/۰۱ تا ۵ میکرومتر را حذف کنند که مربوط به اغلب ریزجانداران مؤثر در بهداشت و کیفیت آب است.

## فعالیت عملی ۱۳

با هماهنگی مسئولان هنرستان خود از یک مرکز تصفیه آب بازدید کنید و گزارش آن را بنویسید.

## تمرین‌های پایانی

- ۱ منابع آب کدام‌اند؟
- ۲ ناخالصی‌های آب چند دسته هستند؟ هر کدام را به‌طور مختصر توضیح دهید.
- ۳ تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب در صنعت را توضیح دهید.
- ۴ سختی آب چیست؟ انواع آن را نام ببرید.
- ۵ شاخص مواد جامد محلول در آب را شرح دهید.
- ۶ سختی دائم و موقت چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند؟
- ۷ شاخص قلیایی بودن آب چیست و به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شود؟
- ۸ رابطه pH و قلیایی بودن را بیان کنید.
- ۹ برای سنجش میزان مواد آلی موجود در آب، از چه روش‌هایی استفاده می‌شود؟
- ۱۰ چه روش‌هایی برای مناسب‌سازی آب وجود دارد؟ به اختصار بیان کنید.
- ۱۱ رزین‌ها چه موادی هستند؟ چند کاربرد برای آنها بنویسید.
- ۱۲ ضدعفونی‌کننده‌ها چند دسته هستند و چگونه عمل می‌کنند؟
- ۱۳ گندزدهای شیمیایی کلر، ازن و نقره کلوئیدی را از نظر کاربرد با یکدیگر مقایسه کنید.
- ۱۴ سازوکار منعقدکننده آلومینیم سولفات با واکنش شیمیایی را بنویسید.

## ارزشیابی شایستگی آزمایش‌های کنترل کیفیت آب

<p><b>شرح کار:</b></p> <p>چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار داده‌شده را با دقت انجام دهد.</p> <p>هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.</p> <p>پس از انجام کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</p>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>■ رعایت مسائل ایمنی هنگام کار</p> <p>■ انجام کار طبق دستور کار</p>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b></p>			
<p>شرایط مکان: آزمایشگاه</p> <p>شرایط دستگاه: تمیز و آماده به کار</p> <p>زمان: یک جلسه آموزشی</p> <p>ابزار و تجهیزات: pH سنج، رسانایی سنج، دستگاه آزمایش جار، ترازو، وسایل شیشه‌ای آزمایشگاهی، رنگ‌سنج، کدری سنج.</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	ضرورت انجام کنترل کیفیت آب	۱	
۲	انجام آزمایش‌های فیزیکی آب	۲	
۳	انجام آزمایش‌های شیمیایی آب	۲	
۴	انجام آزمایش‌های زیست‌شناختی آب	۱	
<p><b>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:</b></p> <p>۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی</p> <p>۲- نگرش: صرفه‌جویی</p> <p>۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش</p> <p>۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی</p> <p>۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی</p>			
<p><b>میانگین نمرات</b></p>			
<p>* کم‌ترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.</p>			



## پودمان چهارم

# کاربرد مواد افزودنی در صنایع شیمیایی



از مواد افزودنی برای اصلاح فرایندها، بهبود کیفیت و افزایش زمان ماندگاری محصولات گوناگون مانند مواد غذایی، چسبها، رنگها، بسپارها، آلیاژها و داروها استفاده می شود.



## واحد یادگیری ۴

### کاربرد مواد افزودنی در صنایع شیمیایی

#### مقدمه

مواد افزودنی مواد شیمیایی هستند که به انواع محصولات و فرایندهای صنعتی در طی مراحل تولید محصول اضافه می‌شوند و سبب بهبود فرایند یا کیفیت محصول می‌شوند و دارای سه وظیفه اصلی پرکنندگی، پایدارکنندگی و بهبوددهندگی هستند. در این پودمان مفاهیم مواد افزودنی مختلف، روش‌های مختلف افزودن مواد افزودنی، سازگاری افزودنی‌ها و اهمیت درجه خلوص آنها آورده شده است. هنرجویان به‌طور عملی با افزودنی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی مواد مختلف کار می‌کنند.

#### استاندارد عملکرد

به کارگیری مواد افزودنی فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی طبق استاندارد

شایستگی‌های غیرفنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام وظایف و کارهای سپرده شده - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به موقع کار - مدیریت مؤثر زمان - استفاده صحیح از مواد و تجهیزات
- ۳ کارگروهی: حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی فنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ مفاهیم مواد افزودنی را به کار گیرند.
- ۲ مواد افزودنی فیزیکی را به کار گیرند.
- ۳ مواد افزودنی شیمیایی را به کار گیرند.
- ۴ مواد افزودنی زیست‌شناختی را به کار گیرند.

## مواد افزودنی

أَتُونِي زُبَرَ الْحَدِيدِ حَتَّى إِذَا سَاوَى بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ انْفُخُوا حَتَّى إِذَا جَعَلَهُ نَاراً قَالَ أَتُونِي أُفْرِغْ عَلَيْهِ قِطْراً  
سوره کهف - آیه ۹۶

قطعات بزرگ آهن برایم بیاورید (و آنها را روی هم بچینید)! تا وقتی که کاملاً میان دو کوه را پوشانید، گفت:  
(در اطراف آن آتش بیفروزید و) در آن بدمید! (آنها دمیدند) تا قطعات آهن را سرخ و گداخته کرد، و گفت:  
(اکنون) مس مذاب برایم بیاورید تا بر روی آن بریزم!

در مورد تصویر زیر با دوستان خود گفت و گو کنید.



بحث گروهی

۱



به محصولاتی که به طور روزمره مصرف می شود، توجه کنید. رب گوجه فرنگی که از بازار تهیه می شود، نسبت به نوع خانگی آن، به راحتی فاسد نمی شود. مواد نوشیدنی زیادی با عطر و طعم های گوناگون در بازار موجود است. شوینده ها با قدرت زیاد انواع لک، چربی و کثیفی را از ظروف، لباس و بدن پاک می کنند. مواد پودری مانند شیر خشک و نمک خوراکی به راحتی از قاشق یا نمکدان ریزش می کنند. چسب ها با قدرت چسبندگی زیاد در دسترس قرار دارند. انواع رنگ های تزئینی و حفاظتی با کاربردهای گوناگون از خط کشی خیابان گرفته تا نقاشی منزل با کیفیت بالا و کارایی زیاد همه جا یافت می شوند. در بخش صنعت نیز کنترل خوردگی در محیط های خورنده، بهبود کیفیت آب و انجام فرایندهای دشوار امکان پذیر شده است. این اتفاقات ممکن نیستند مگر به کمک مواد افزودنی<sup>۱</sup> که امروزه کاربرد و تعداد آنها بی شمار است. اگر مواد افزودنی به محصولات یا فرایندها افزوده نشود، اتفاقاتی مانند بوی خوب، رنگ های زیبا، ماندگاری بالا، مقاومت زیاد، سرعت تولید بالا و سهولت استفاده محصولات، بدون معنا خواهد بود.

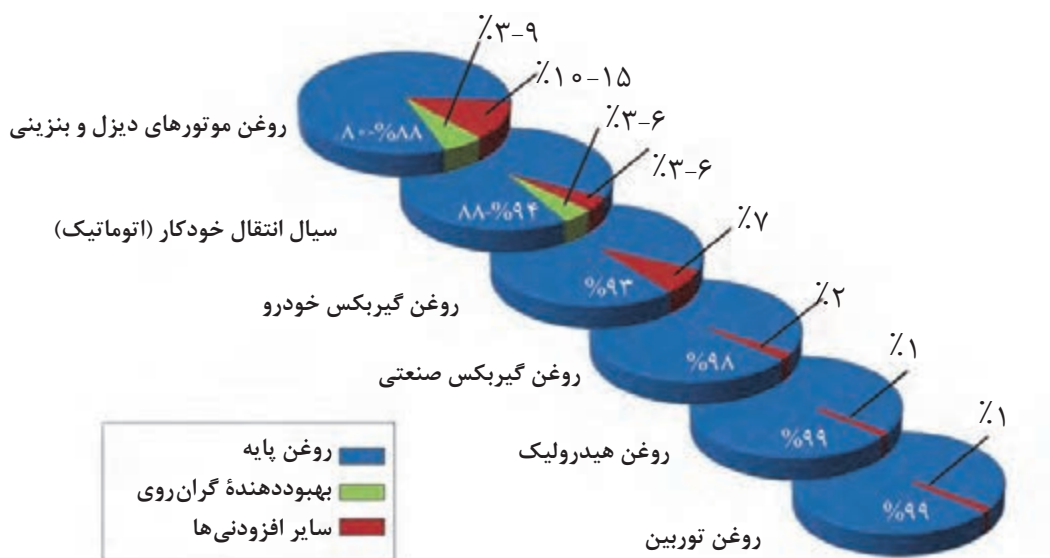
۱- Additive Materials



## افزودنی‌های مواد غذایی

### به کارگیری مواد افزودنی

شکل ۱، میزان افزودنی‌ها در انواع روغن‌های روان‌کننده صنعتی را نشان می‌دهد. با توجه به تصویر می‌توان گفت روغن‌های متفاوت، افزودنی‌های مختلف با درصد‌های گوناگون دارند.

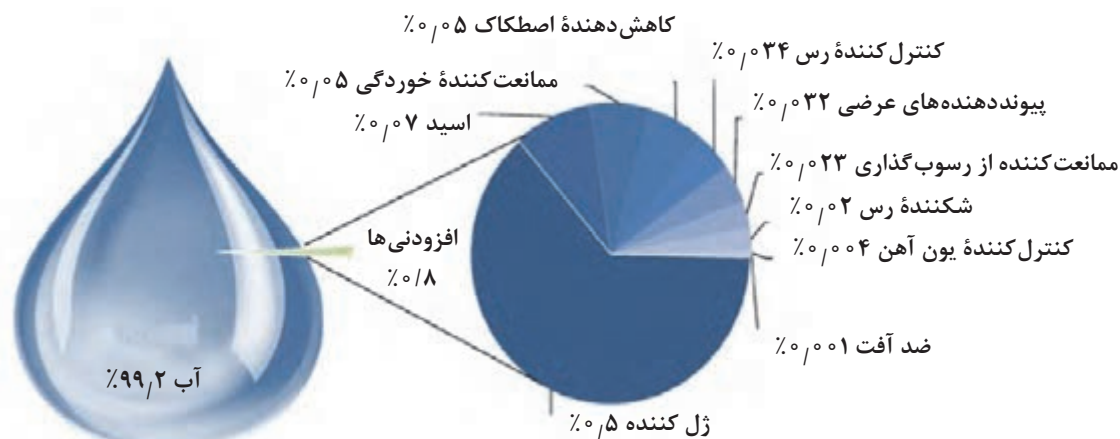


شکل ۱- میزان افزودنی‌ها در انواع روغن‌های روان‌کننده

### مواد افزودنی

افزودنی‌ها تعداد زیادی از مواد شیمیایی و طبیعی هستند که به انواع محصولات مانند بسپارها (پلیمرها)، رزین‌ها، رنگ‌ها و پوشش‌ها، چسب‌ها، فراورده‌های غذایی، محصولات و خاک کشاورزی و نیز فرایندهای صنعتی در طی مراحل تولید محصول اضافه می‌شوند و سبب بهبود فرایند یا کیفیت محصول می‌گردند. این مواد دارای سه وظیفه اصلی پرکنندگی، پایدارکنندگی و بهبوددهندگی هستند. برای مثال، شکل ۲ انواع مواد افزودنی در یک نوع سیال شکننده<sup>۱</sup> لایه‌های خاک رس را که برای استخراج بیشتر نفت و گاز استفاده می‌شود، نشان می‌دهد.

۱- مخازن نفت و گاز به دو دسته متعارف مانند آنچه امروزه با حفاری به راحتی استخراج می‌شود و نامتعارف مانند نفت شیل هستند که در سازنده‌های نامتعارف ذخیره شده‌اند. تراوایی و تخلخل بسیار کم مخازن نامتعارف سبب شده است تا تراوش نفت از آنها پایین باشد علت آن است که این مخازن غنی از رس و به صورت متورق هستند و در امتداد لایه‌بندی‌ها لایه‌ها می‌توانند در جایی که سنگ رسی فشرده شده است از یکدیگر جدا شوند. اگر این لایه رسی شکسته شود تراوش از مخزن افزایش پیدا می‌کند، به همین دلیل از فرایندی به نام شکست هیدرولیکی استفاده می‌شود. در این فرایند یک سیال شکننده تحت فشار به لایه‌ها تزریق می‌شود تا لایه‌های رسی شکسته شوند. علاوه بر افزودنی‌هایی که برای شکست لایه رسی استفاده می‌شود، موادی مانند مواد ضد خوردگی نیز برای حفاظت از لوله‌های فلزی استفاده می‌شود. این فرایند یکی از روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن است.



شکل ۲- ترکیب نسبی سیال شکننده لایه های خاک رس.

**۱- پرکننده ها:** پرکننده ها یا فیلرها<sup>۱</sup> با افزوده شدن به محصولاتی مانند بسپارها، کاغذ، بتن، رنگ و امثال آنها باعث کاهش مصرف مواد گران قیمت در مخلوط می شود و البته برخی خواص محصول را بهتر می کنند. از معروف ترین موادی که به عنوان پرکننده استفاده می شوند، پودر مواد معدنی مانند کلسیم کربنات<sup>۲</sup>، آلومینیم سیلیکات<sup>۳</sup>، تالک<sup>۴</sup> و فلدسپات<sup>۵</sup> هستند.

**۲- پایدارکننده ها:** پایدارکننده ها ترکیباتی هستند که با افزودن آنها به محصولات مانع تغییر خواص محصول در اثر عواملی مانند نور، پرتو فرابنفش (UV)، گرما، ریز اندامکان (میکروارگانیسم ها) و اکسایش می شوند.

**۳- بهبود دهنده ها:** بهبوددهنده ها موادی هستند که با افزودن آنها به محصولات و یا فرایندها، باعث ایجاد و یا بهبود خواص می شود. برای نمونه، می توان از انواع رنگدانه نام برد.

مواد افزودنی به شکل مواد شیمیایی معدنی، مواد شیمیایی آلی و بسپارها، مایعات، کلوئیدها یا مخلوط های معلق، پودر یا گرانول می باشند که از چند ppm<sup>۸</sup> تا چند درصد در محصولات و فرایندها استفاده می شوند. فقط در صنایع غذایی در حدود ۳۰۰ نوع ماده افزودنی با وظایف گوناگون استفاده می شوند و در صنایع مختلف هزاران افزودنی برای مقاصد گوناگون به کار می روند که برای آنها استانداردهای مختلفی وضع شده است. در ایران، سازمان ملی استاندارد وظیفه تدوین استانداردها و روش های کار لازم مواد افزودنی را به کمک سایر سازمان ها و وزارتخانه های مرتبط بر عهده دارد.

۱- Fillers

۲- Calcium carbonate

۳- Aluminum silicate

۴- Talc

۵- Feldspar

۶- Stabilizers

۷- Promoters

۸- part per million

بیشتر بدانید



**سازمان ملی استاندارد ایران<sup>۱</sup> (ISIRI):** این سازمان تدوین‌کننده قوانین و قواعد مرتبط با استاندارد و اجراکننده و نظارت‌کننده بر آنها است. با مراجعه به تارنمای این سازمان به نشانی [/http://www.isiri.gov.ir](http://www.isiri.gov.ir) می‌توانید تمامی استانداردهای تدوین شده در زمینه‌های مختلف از جمله مواد افزودنی را تهیه کنید. به عنوان نمونه، استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۷۱ که براساس متن استاندارد ASTM D۵۷۵۲-۰۵ تدوین شده است، خصوصیات مواد افزودنی در مایعات خنک‌کننده موتور را شرح می‌دهد.



نماد سازمان ملی استاندارد ایران

## فعالیت عملی ۱



### وجود افزودنی در محصولات



#### روش کار:

یک قرص استامینوفن ۲۵۰ میلی گرمی را وزن کنید. جرم قرص از ۲۵۰ میلی گرم بیشتر است. علت تفاوت جرم قرص با میزان نوشته شده بر روی دارو را بیان کنید.

## افزودنی‌های صنعت سرامیک

فیلم آموزشی



## نقش مواد افزودنی

اگر رنگ‌دانه‌ها را که یکی از افزودنی‌های مهم صنایع رنگ هستند، حذف کنید، چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ و یا اگر مواد حفاظت‌کننده از باکتری در مواد غذایی، داروها و مواد آرایشی و بهداشتی حذف شوند، چه مشکلی پیش می‌آید؟

بحث‌گروهی

۲



محصولات متنوع و جدید غذایی، انواع دارو، روغن موتور، سوخت‌ها، مصالح ساختمانی، انواع قطعات تولید شده از پلاستیک و لاستیک محصولاتی هستند که همگی بدون مواد افزودنی نه تنها از زیبایی، استحکام، دوام، شکل مناسب و دلپذیر، رنگ‌های متنوع و خواص منحصر به فرد برخوردار نخواهند بود، بلکه کاربردهای آنها نیز محدود می‌شود.

به دلیل کاربردها و نقش‌های گوناگون مواد افزودنی، طبقه‌بندی کلیه نقش‌هایی که این مواد در محصولات مختلف برعهده دارند، کار دشواری است. ترکیبی مانند سدیم‌بی‌کربنات، فقط در مواد غذایی، نقش‌های متفاوتی مانند تنظیم‌کننده قدرت اسیدی، عامل ضدکلوخه و کیک‌شدن<sup>۱</sup>، حجم‌دهنده<sup>۲</sup>، پایدارکننده و غلظت‌دهنده<sup>۳</sup> را دارد. به همین دلیل تولیدکنندگان مواد افزودنی، آنها را براساس نقشی که ایفا می‌کنند، تولید و عرضه می‌نمایند که برخی از آنها عبارت‌اند از:

مواد مؤثر دارویی<sup>۴</sup>، عامل دمنده و ایجاد کف<sup>۵</sup>، آفت‌کش‌ها<sup>۶</sup>، آغازگرها<sup>۷</sup>، زلال‌کننده‌ها<sup>۸</sup>، عامل اتصال‌دهنده<sup>۹</sup>، محافظت‌کننده‌های خوردگی<sup>۱۰</sup>، تأخیراندازهای شعله‌و‌آتش<sup>۱۱</sup>، روان‌کننده‌ها<sup>۱۲</sup> و عواملی که باعث افزایش جریان‌پذیری مواد جامد می‌شوند<sup>۱۳</sup>، امولسیون‌کننده‌ها<sup>۱۴</sup> و رقیق‌کننده‌ها<sup>۱۵</sup>، ضدکف‌ها<sup>۱۶</sup> و ضدتجمع‌هوا، ضدامولسیون‌ها<sup>۱۷</sup>، عوامل پخش‌کننده<sup>۱۸</sup>، مواد ضدالکتریسیته ساکن<sup>۱۹</sup>، مواد ضدسایش<sup>۲۰</sup>، مواد معطر و خوش‌بوکننده<sup>۲۱</sup> و پاداکسنده‌ها<sup>۲۲</sup>.

**مثال ۱-** طبق اظهارات تولیدکننده یک نمونه کیک موجود در بازار، ترکیبات تشکیل‌دهنده این محصول عبارت‌اند از:

آرد گندم، شکر، تخم مرغ، روغن نباتی، شیرخشک، گلوکوز، پودر کاکائو، سوربیتول<sup>۲۳</sup>، نمک طعام، نشاسته گندم، پودر آب پنیر، اسانس تافی، سدیم بی‌کربنات E۵۰۰، وانیلین، لستین سويا E۳۲۲، سدیم پیروفسفات اسید E۴۵، سوربات پتاسیم، اسانس فندق، سیتریک اسید E۳۳۰، مونو و دی‌گلیسرید E۴۷۱ و E۴۷۲.

برای این محصول براساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۴۹۴ نوع افزودنی‌ها، نقش آنها و مقدار مجاز به شرح جدول ۱ می‌باشد.

۱- Anticaking agents	۱۳- Rheology additives
۲- Bulking Agent	۱۴- Emulsifiers
۳- Thickener	۱۵- Diluents
۴- Active Pharmaceutical Ingredients	۱۶- Defoamers
۵- Foaming and Blowing Agents	۱۷- De-emulsifiers
۶- Biocides	۱۸- Dispersing Agents
۷- Initiators	۱۹- Anti-static Agents
۸- Clarifiers	۲۰- Anti-wear
۹- Binding Agent	۲۱- Aromas and Fragrances
۱۰- Corrosion Inhibitors	۲۲- Antioxidants
۱۱- Flame and Fire Retardant Aagents	۲۳- Sorbitol
۱۲- Lubricants	



طبق تعریف مواد افزودنی خوراکی، آن دسته از ترکیباتی که ارزش غذایی دارند و به طور مستقیم غذا شناخته می شوند، افزودنی نیستند.

جدول ۱- نقش و مقدار افزودنی های مثال ۱

ردیف	شماره بین المللی (INS)	نام شیمیایی افزودنی	عملکرد	بیشترین مقدار مجاز بر حسب میلی گرم در یک کیلوگرم فراورده
۱	۵۰۰ ii	سدیم بی کربنات	حجم دهنده	اندازه مناسب برای ساخت فراورده براساس GMP <sup>۱</sup>
۲	۴۷۱	مونو و دی گلیسریدهای اسیدهای چرب	امولسیون کننده	
۳	۴۷۲	استرهای گلیسرول سیتریک اسید و اسیدهای چرب	امولسیون کننده	۲۰۰۰۰
۴	E۳۲۲	لستین	امولسیون کننده	اندازه مناسب برای ساخت فراورده براساس GMP
۵	E۳۳۰	سیتریک اسید	اسیدی کننده	
۶	۴۵۰ (I, II, III)	دی سدیم فسفات، تری سدیم فسفات، تتراسدیم دی فسفات	حجم دهنده	۹۳۰۰
۷	۲۰۳-۲۰۰	آسوربیک اسید (۳۰۰) و نمک های آن مانند سدیم سوربات (۲۰۱)، پتاسیم سوربات (۲۰۲)، کلسیم سوربات (۲۰۳)	نگهدارنده	۵۰۰
۸	۴۲۰	سوربیتول	پایدارکننده، حجم دهنده	اندازه مناسب برای ساخت فراورده براساس GMP

## مثال ۲- ماده دارویی

افرادی که از ترشح زیاد اسید معده رنج می برند، دارویی به شکل شربت به نام آلومینیم ام جی اس<sup>۲</sup> مصرف می کنند. قسمت عمده اسید معده، هیدروکلریک اسید است که با خنثی کردن آن می توان از درد بیمار کاست. در یک قاشق ۵ میلی لیتری از این شربت، مقدار ۲۲۵ میلی گرم آلومینیم هیدروکسید، ۲۰۰ میلی گرم منیزیم هیدروکسید، ۲۵ میلی گرم ماده دارویی سایمتیکون<sup>۳</sup>، ۱/۴ میلی گرم سدیم ساکارین<sup>۴</sup> و مابقی آب است. تأثیرات این مواد مطابق با جدول ۲ است.

۱- Good Manufacturing Practice: دستور کارهایی که روش ها، تجهیزات، امکانات و کنترل های الزامی برای تولید محصول را شرح می دهد.

۲- Aluminium MGS

۳- Polydimethylsiloxane (Simethicone)

۴- Sodium Saccharin

## جدول ۲- نقش مواد مؤثر دارویی شربت آلومینیم ام جی اس

ردیف	نام افزودنی	نام شیمیایی	فرمول شیمیایی	عملکرد
۱	ژل آلومینیم هیدروکسید	آلومینیم هیدروکسید	$\text{Al(OH)}_3$	باز ضعیف و خنثی کننده اسید معده
۲	منیزیم هیدروکسید	منیزیم هیدروکسید	$\text{Mg(OH)}_2$	
۳	سایمتیکون	پلی دی متیل سیلوکسان	$(\text{C}_7\text{H}_6\text{OSi})_n$	ضد کف (از بین برنده نفخ)
۴	سدیم ساخارین	سدیم ساخارین	$\text{C}_7\text{H}_7\text{NNaO}_3\text{S}$	طعم دهنده و شیرین کننده

در واقع با افزودن سه ماده مؤثر دارویی همراه با شیرین کننده به آب، یک دارو ساخته شده است. روش ساخت این دارو و مقدار مواد افزودنی براساس استانداردهای دارویی تعیین می گردد.

### فعالیت عملی ۲



#### استفاده از مواد افزودنی در یک نمونه شامپو



یک نمونه شامپوی صدفی و یا بی رنگ (شکل زیر)، رنگ محلول در آب مناسب و نیز اسانس معطری را تهیه کنید. الف) یک گرم از رنگ و اسانس را جداگانه در ۱۰۰ میلی لیتر آب گرم حل کنید و مطابق جدول به شامپوی بی رنگ، ابتدا رنگ رقیق شده را بیفزایید تا محصولات متفاوتی ایجاد شود.



شامپوی بی رنگ و شامپوی رنگی

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار رنگ افزوده شده (mL)	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵





مواد معطر استخراج شده از گیاهان

سپس به سؤالات زیر پاسخ دهید:

- ۱ کدام نمونه رنگ مناسبی دارد؟
- ۲ آیا افزودن رنگ تغییری در خواص شامپو ایجاد کرده است؟
- ۳ آیا شامپو ظاهر زیباتری پیدا کرده است؟
- ۴ آیا ترجیح می‌دهید رنگ بیشتری بیفزایید؟
- ب) ۵ نمونه جدید رنگی مطابق با نتیجه‌ای که از مرحله الف گرفته‌اید، تهیه کنید و مانند جدول، به جای رنگ به آن اسانس بیفزایید.

سپس به سؤالات زیر پاسخ دهید:

- ۱ کدام نمونه بوی مطبوع‌تری دارد؟
- ۲ آیا بو در خواص شامپو تغییر ایجاد کرده است؟
- ۳ به نظر شما بو و رنگ افزوده شده می‌تواند باعث جلب نظر مشتریان شود؟

## روش‌های افزودن مواد افزودنی

مقدار و روش افزودن مواد افزودنی، متنوع و وابسته به اهداف، استانداردهای مرتبط و نوع افزودنی است. روش عملکرد در مورد محصولات بدین گونه است که طراح فرمول براساس نیاز، اهداف و خواص مورد نیاز، نوع افزودنی را با توجه به متغیرهای اقتصادی و عملیاتی انتخاب می‌کند. مقدار و روش افزودن این مواد براساس استانداردها و الزاماتی است که سازمان‌های نظارتی و تولیدکنندگان افزودنی‌ها تعیین کرده‌اند. سپس با انجام آزمون‌های تجربی، این عملیات تأیید می‌شود و فرمول‌بندی جدید به دست می‌آید. در فرایندهای شیمیایی این عملیات توسط طراحان فرایند در واحدهای تولیدی انجام می‌شود. بسته به نوع فرایند تولید که پیوسته<sup>۱</sup>، نیمه پیوسته<sup>۲</sup> و یا ناپیوسته<sup>۳</sup> باشد، روش‌های افزودن این مواد به محصول یا فرایند متفاوت است.

در فرایندهای پیوسته به‌طور معمول، محلولی با غلظت معین از افزودنی‌ها تهیه می‌شود، سپس با توجه به میزان مجاز افزودنی و شدت جریان مواد فرایندی، محلول افزودنی توسط پمپ‌هایی به نام دوزینگ پمپ<sup>۴</sup> (شکل ۳) که شدت جریان دقیق و قابل تنظیم دارند، به جریان مواد اولیه، مواد میانی و یا محصولات افزوده می‌شوند.



شکل ۳- نمونه‌هایی از دوزینگ پمپ

۱- Continuous

۲- Semi-continuous

۳- Batch

۴- Dosing Pump



### مثال ۳:

مثالی از فرایند پیوسته، فرایند تولید بخار آب در نیروگاه‌ها است. آب و بخار موجود در دیگ‌ها و مولدهای بخار باعث بروز مشکلاتی نظیر خوردگی و تشکیل رسوبات (شکل ۴) می‌شوند. از این روی، افزودنی‌ها به منظور بهبود کیفیت بخار، جلوگیری از خوردگی، و جلوگیری از رسوب‌گذاری به دیگ‌ها و مولدهای بخار افزوده می‌شوند.



شکل ۴- خوردگی و رسوبات تشکیل شده در لوله‌های دیگ بخار

براساس نتایج آزمایشگاهی، تجزیه و تحلیل آب ورودی، بخار تولیدی و مشخصات فرایندی، محاسبات لازم توسط مهندسان فرایند انجام شده و نوع و مقدار ماده افزودنی تعیین و محاسبه می‌شود. وظیفه این افزودنی‌ها حذف اکسیژن، تنظیم pH، جلوگیری از تشکیل و چسبیدن رسوبات به اجزای داخلی دیگ بخار، تشکیل لایه محافظ<sup>۱</sup> روی قسمت‌های فلزی و در نتیجه، جلوگیری از خوردگی دیگ یا مولد بخار و مسیرهای انتقال بخار است. جدول ۳ تعدادی از این مواد و نقش آنها در تولید بخار را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تعدادی از افزودنی‌های دیگ بخار

ردیف	نوع مشکل	مواد افزودنی	نقش ماده افزودنی
۱	وجود اکسیژن محلول در آب ورودی	هیدرازین <sup>۱</sup> ، سدیم سولفیت	با اکسیژن محلول واکنش شیمیایی می‌دهد و آن را حذف می‌کند.
۲	pH اسیدی آب	مورفولین <sup>۲</sup> ، سیکلو هگزیل آمین <sup>۳</sup> ، آمین‌های تشکیل دهنده لایه محافظ	محیط آب را تا pH حدود ۸/۵ قلیایی می‌کند تا از شدت خوردگی بکاهند و به علاوه روی سطح فلز لایه محافظ تشکیل می‌دهند.
۳	تشکیل رسوبات و وجود سیلیس و اکسیدهای آهن در آب	مونو، دی و تری سدیم فسفات <sup>۴</sup>	تشکیل رسوبات نرمی که چسبندگی کمتری به سطح فلز دارند و تنظیم pH به منظور جلوگیری از رسوب کردن سیلیس و تشکیل لایه محافظ
۴	وجود یون‌های فلزی	املاح سدیم EDTA <sup>۵</sup>	رسوبات را حل می‌کند.
حفظ کردن نام مواد افزودنی داخل جدول ضروری نیست.			

مقدار این مواد می‌تواند از ۳ ppm مانند آمین‌های موجود در بخار آب تا دهم درصد وابسته به تجزیه و تحلیل آب و شرایط دیگ بخار باشد. این مواد در تانک‌های جداگانه با غلظت‌های مشخص حل شده و سپس توسط دوزینگ پمپ به آب ورودی دیگ بخار افزوده می‌شود. در فرایندهای ناپیوسته با توجه به روش تولید و یا محصول، افزودنی از قبل با یکی از مواد اولیه مخلوط می‌شود و یا در مرحله‌ای از تولید به یکباره و یا به طور قطره‌ای افزوده می‌شود. مثال زیر به درک این موضوع کمک می‌کند.

#### مثال ۴- ساخت مستربچ<sup>۶</sup>



شکل ۵- چند نمونه مستربچ

اگر قصد اضافه کردن یک افزودنی مانند رنگ‌دانه به یک بسپار وجود داشته باشد، به دلیل درصد کم رنگ‌دانه نسبت به کل بسپار، نمی‌توان رنگ‌دانه را به طور مستقیم و یکنواخت به آن افزود. به همین دلیل ابتدا از افزودنی‌ها مستربچ (شکل ۵) تهیه می‌شود. مستربچ در صنعت بسپار آمیزه غلیظی حاوی سه جزء بسپار پایه، ماده افزودنی و عامل پخش کننده است.

۱-  $N_2H_4$

۲- Morpholine  $C_4H_8NO$

۳-  $C_6H_{11}N$

۴- mono ( $NaH_2PO_4$ ), di ( $Na_2HPO_4$ ), tri sodium phosphate ( $Na_3PO_4$ )

۵- Ethylenediaminetetraacetic acid

۶- Masterbatch



## مستربچ

این مواد با یکدیگر مخلوط شده، ذوب می‌شوند و پس از یکنواخت شدن اجزاء، به شکل دانه یا گرانول در می‌آیند. تولیدکنندگان قطعات پلاستیکی مطابق با نیاز، مستربچ را تهیه کرده و با گرانول‌های بسیار مخلوط می‌کنند و به روش‌های مختلف قطعات را تولید می‌کنند. استفاده و کاربرد مستربچ در شکل ۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۶- فرایند تولید مستربچ و قطعات بسپاری

■ در فرایندهای نیمه‌پیوسته بسته به فرایند عملیاتی و نوع افزودنی، ممکن است مانند روش پیوسته و یا ناپیوسته و یا ترکیبی از این دو عمل شود.

## انواع مواد افزودنی

در بخش پیشین مواد افزودنی براساس نقشی که ایفا می‌کنند، تقسیم‌بندی شدند. این مواد را می‌توان از دیدگاه عملکرد به سه دسته با تأثیرات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی<sup>۱</sup> تقسیم‌بندی کرد، گرچه گاهی برخی از این مواد، هم‌زمان نقش فیزیکی و شیمیایی را بر عهده دارند. افزودنی‌ها با تأثیرات فیزیکی با تغییر عوامل فیزیکی مانند کشش سطحی، چگالی و گران‌روی خواص محصول یا فرایند را بهبود می‌بخشند، در حالی که افزودنی‌ها با تأثیر شیمیایی، موجب رخ دادن یک واکنش شیمیایی می‌شوند و خواص فرایند و یا محصول را بهبود می‌بخشند و افزودنی‌های زیست‌شناختی با انجام یک عمل زیست‌شناختی، خواص محصول را بهبود می‌دهند.

## فعالیت عملی ۳



### تشخیص نوع مواد افزودنی (فیزیکی، شیمیایی، زیست‌شناختی) در محصولات

چند محصول موجود در بازار را تهیه کنید. مطابق جدول ۵ افزودنی‌های آن را مشخص کنید و با تحقیق از تولیدکنندگان و یا مراجعه به تارنمای سازمان ملی استاندارد ایران، و یا اداره نظارت بر دارو و غذا، نوع افزودنی (فیزیکی، شیمیایی، زیست‌شناختی) را براساس تأثیر آن تعیین کنید. نتایج بررسی‌های انجام شده را در جدول زیر ثبت کنید.

ردیف	نوع ماده افزودنی	نوع تأثیر	شیوه عملکرد افزودنی
۱			
۲			
۳			
۴			

افزودن مواد ناسازگار با یکدیگر، در محصول یا فرایند چه مشکلاتی را می‌تواند موجب شود؟

بحث‌گروهی  
۳



## سازگاری افزودنی‌ها

طراحان فرمول‌بندی و فرایند، در انتخاب افزودنی‌ها مراحل زیر را طی می‌کنند:

- ۱ تشخیص مشکلاتی در محصول یا فرایند که با افزایش افزودنی حل و یا بهبود می‌یابد.
- ۲ انتخاب افزودنی مناسب براساس استانداردها و الزامات قانونی
- ۳ تعیین مقدار بهینه افزودنی براساس محاسبات، استانداردها، نتایج تجربی و نیز الزامات قانونی
- ۴ بررسی تجربی تأثیرات متقابل افزودنی با اجزای محصول یا فرایند، سایر افزودنی‌ها و اجزای بسته‌بندی
- ۵ بررسی تجربی پایداری افزودنی در محصول
- ۶ تعیین روش افزایش افزودنی به محصول یا فرایند
- ۷ اطمینان از ایفای نقش افزودنی براساس آزمایش‌های کمی و کیفی
- ۸ بررسی اقتصادی.

هر افزودنی دارای مشخصات استاندارد است که توسط مراجع استاندارد و قانونی تعیین می‌شوند. در برخی صنایع مانند صنعت دارو، نمودارهایی برای سازگاری مواد تدوین شده‌اند، که در راستای سازگاری شیمیایی و فیزیکی یک محصول، با اجزا و افزودنی‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

افزودن مواد ناسازگار با یکدیگر در محصول یا فرایند ممکن است باعث ایجاد رسوب، لخته شدن، تغییر رنگ، بو، مزه و بسیاری دیگر از مشکلات شود و به این ترتیب بر کیفیت و کمیت محصول یا فرایند تأثیر می‌گذارد؛ مانند فسفات‌ها، تانیک اسید<sup>۱</sup>، آمینواسیدها<sup>۲</sup> و برخی دیگر از افزودنی‌ها که می‌توانند یون‌های فلزی مانند آهن و کلسیم را رسوب دهند.

۱- Tanic acid

۲- Amino acids

برخی از افزودنی‌ها مانند ویتامین‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی مانند نور و یا گرما ممکن است دچار تغییر شیمیایی شوند و برخی افزودنی‌ها نیز از بسته‌بندی‌ها تراوش کرده و یا با مواد بسته‌بندی واکنش می‌دهند. از این روی هنگام انتخاب افزودنی‌ها، تأثیرات متقابل آنها بر اجزای محصول، سایر افزودنی‌ها و اجزای بسته‌بندی مورد بررسی علمی و تجربی قرار می‌گیرد.

## فعالیت عملی ۴



### لایه داخلی بسته‌بندی محصولات



#### روش کار:

بسته‌بندی‌هایی مانند پاکت شیر، آب میوه، جعبه شیرینی و قوطی فلزی رب گوجه‌فرنگی و مانند آنها را تهیه کنید. به لایه داخلی این ظروف دقت کنید. این لایه‌ها دارای چه ویژگی‌هایی هستند؟ به نظر شما چرا لایه‌های داخلی مواد بسته‌بندی، این‌گونه انتخاب شده است؟ در صورتی که لایه داخلی آنها حذف شود، چه اتفاقی برای بسته‌بندی و مواد موجود در آن می‌افتد؟

### اهمیت درجه خلوص مواد افزودنی

ناخالصی‌ها می‌توانند مسیر عملکرد یک افزودنی در محصول یا فرایند را تغییر دهند. در مورد هر افزودنی مشخصات فنی و نیز روش استاندارد وجود دارد. برای مثال، برخی از خصوصیات بیان شده برای افزودنی سدیم‌هیدروژن کربنات بر طبق استاندارد مواد غذایی به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴- برخی از خصوصیات سدیم‌هیدروژن کربنات بر طبق استاندارد مواد غذایی

اسامی مترادف	بی کربنات سدیم، جوش شیرین
فرمول شیمیایی	$\text{NaHCO}_3$
جرم مولکولی (گرم بر مول)	۸۴/۰۱
خلوص	پس از خشک شدن نباید کمتر از ۹۹ درصد باشد.
توصیف	پودر بلوری بی‌رنگ یا به شکل پودر سفیدرنگ
کاربردها	قلیایی‌کننده، عامل عمل‌آورنده خمیر، بافرکننده
حل‌پذیری	محلول در آب و نامحلول در الکل
pH	pH محلول حاوی یک گرم سدیم‌هیدروژن کربنات در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب سرد بدون تکان دادن باید ۸ تا ۸/۶ باشد.
کاهش وزنی در اثر خشک شدن	کاهش وزنی نباید پس از ماندن به مدت ۴ ساعت در خشکانه (دسیکاتور) روی سیلیکاژل بیش از ۰/۲۵ درصد باشد.
مواد نامحلول در آب	یک گرم از نمونه در ۲۰ میلی‌لیتر آب حل شود، نباید هیچ‌گونه کدری داشته باشد.
نمک‌های آمونیوم	یک گرم از نمونه را در لوله آزمایش گرما دهید، نباید بوی آمونیاک به مشام برسد.





### روش کار:

براساس جدول زیر، مشخصات فنی یک نمونه از سدیم هیدروژن کربنات موجود در آزمایشگاه را در حد امکانات موجود، تعیین کنید.

ردیف	آزمایش	نتیجه
۱	خلوص	؟
۲	حل پذیری	؟
۳	pH	؟
۴	کاهش وزنی در اثر خشک شدن	؟
۵	مواد نامحلول در آب	؟
۶	نمک های آمونیوم	؟

■ اطلاعات اندازه گیری شده جدول بالا و داده های جدول صفحه پیشین را مقایسه کنید. آیا نمونه آزمایشگاهی سدیم هیدروژن کربنات شما، قابلیت استفاده به عنوان افزودنی مواد غذایی را دارد؟

آلودگی های میکروبی، فلزات سنگین (سرب، آرسنیک، جیوه، کادمیم)، ذرات نامحلول و معلق، رطوبت، حلال باقیمانده در افزودنی ناشی از فرایند تولید آن، خاکستر باقیمانده، مواد اکسیدکننده، یون های فلزی و سموم از جمله ناخالصی هایی هستند که میزان مجاز آنها را استانداردها بیان می کنند. برای مثال، صمغ هایی که به عنوان افزودنی استفاده می شوند مانند صمغ عربی<sup>۱</sup>، ممکن است حاوی باکتری های *سالمونلا*<sup>۲</sup> و *شرشیاکی*<sup>۳</sup> باشند که محصول نهایی را آلوده می کنند (شکل ۷).



شکل ۷- صمغ عربی و تصویر میکروسکوپی باکتری *سالمونلا*

۱- صمغ درخت افاقیا

۲- *Salmonella Species*

۳- *Escherichia coli*

تحقیق کنید  
۱



در یکی از زمینه‌های مواد غذایی، کشاورزی، بسپار، محصولات نفتی، فرایندهای پتروشیمی و غیره تحقیق کنید که افزودنی‌ها تابع چه استانداردی هستند؟



## فعالیت عملی ۶

### تعیین مواد افزودنی در محصول موجود در بازار

#### روش کار:

از بازار محصولاتی خوراکی یا بهداشتی مانند خمیردندان، بیسکویت، کیک، شامپو، شوینده‌های ظروف و لباس را تهیه کنید. با رجوع به برچسب آنها، نوع مواد افزودنی فراورده را مشخص کنید. سپس با مراجعه به استانداردها، نقش آنها در فراورده را پیدا کنید.

**راهنمایی:** بهتر است یک نمونه ماده خوراکی را انتخاب کنید و سپس به تارنمای تولیدکننده محصول مراجعه نمایید و یا با آزمایشگاه کنترل کیفیت سازنده محصول تماس بگیرید و در مورد مواد افزودنی محصول اطلاعات بیشتری کسب کنید. همچنین می‌توانید از تارنمای سازمان ملی استاندارد ایران استاندارد مربوط را پیدا کنید.



## فعالیت عملی ۷

### ساخت آب میوه مصنوعی

**مواد لازم:** آب معمولی، شکر، سیتریک اسید، اسانس، رنگ خوراکی

#### روش کار:

■ با حل کردن شکر در آب، یک نمونه شربت تهیه کنید و توسط اسانس میوه‌هایی مانند پرتقال یا لیمو و نیز رنگ خوراکی متناسب با طعم ایجاد شده، یک شربت مطبوع و معطر تهیه کنید.

نکته



برای ایجاد مزه ترش در شربت می‌توانید از سیتریک اسید استفاده کنید.

■ مطابق جدول زیر، چند نمونه شربت تهیه کنید و به آنها مقدارهای مختلفی شکر، سیتریک اسید، رنگ و اسانس بزنید و نتایج را با یکدیگر مقایسه کنید. از طریق مقایسه و تأثیری که افزودنی بر محصول گذاشته است، نظر خود را در مورد مقدار مناسب افزودنی بیان کنید.

ردیف	آب (میلی لیتر)	شکر (گرم)	سیتریک اسید (میلی گرم)	رنگ (تعداد قطره از محلول ۱ درصد)	اسانس (تعداد قطره از محلول ۱ درصد)	نتیجه
۱	۲۰۰					
۲	۲۰۰					
۳	۲۰۰					
۴	۲۰۰					



آب میوه‌های طبیعی مانند شربت تهیه شده توسط شما زلال نیستند و حالتی کدر دارند. ماده پکتین برای کدر کردن آب میوه‌های مصنوعی استفاده می‌شود.

پرسش ۱



تحقیق کنید  
۲



به نظر شما، آیا پکتین بر خواص دیگر آب میوه‌ای که ساخته‌اید، تأثیر می‌گذارد؟

تحقیق کنید که پکتین چیست و برای استفاده در مواد غذایی، چه خصوصاتی باید داشته باشد و چگونه به مواد غذایی افزوده می‌شود؟

## فعالیت عملی ۸



### تأثیر افزودنی‌های نان بر کیفیت نان تولیدی

#### روش کار:

- از داروخانه و یا عطاری‌ها، مقداری مایه خمیر نان (مخمّر) و از نانوائی‌های آرد، بهبوددهنده نان را تهیه کنید. سپس به شرح زیر دو نمونه خمیر نان آماده کنید.
- خمیر شماره ۱- آرد یک پیمانه، آب یک پیمانه، نمک به مقدار کافی، پودر مخمّر نصف قاشق چای خوری، شکر یک قاشق چای خوری
  - خمیر شماره ۲- آرد یک پیمانه، آب یک پیمانه، نمک به مقدار کافی، پودر مخمّر نصف قاشق چای خوری، شکر یک قاشق چای خوری، بهبوددهنده نان ۲/۵ گرم به ازای هر کیلوگرم آرد
- ✓ ابتدا مخمّر، شکر و کمی آرد و آب را با یکدیگر مخلوط کنید و اجازه دهید به مدت ۱۰ دقیقه بماند تا مخمّر فعال شود. مخمّر فعال شده را به آب بیفزایید. نمک را در آن حل کنید و سپس به تدریج همراه با هم‌زدن، آرد را اضافه کنید.

نکته



در مورد خمیر شماره ۲، بهبوددهنده را از قبل با آرد مخلوط کنید. برای ساخت خمیر از آب با دمای  $37^{\circ}\text{C}$  استفاده کنید.

- ✓ سپس پارچه تمیزی روی ظرف‌های خمیر قرار دهید و آن را در دمای  $37^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴۵ دقیقه قرار دهید.
- ✓ آون را از قبل روی دمای  $250^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  تنظیم کنید و بگذارید به مدت نیم ساعت گرم شود.
- ✓ پس از ۴۵ دقیقه، وضعیت هر دو خمیر را از نظر بافت، ظاهر، سبکی، بو و سایر خواص، با یکدیگر مقایسه کنید و نتایج را یادداشت کنید.
- ✓ مقداری آرد روی یک سطح پهن کنید و خمیرهای تولید شده را پس از ورز دادن به شکل نان باگت آماده کنید. خمیر شکل داده شده را روی یک سطح فلزی قرار دهید و درون آون بگذارید و در آن را ببندید.
- ✓ به تناوب به نان تولیدی سرکشی کنید و پس از پخت، هر دو نان را بیرون آورید و از نظر کیفیت با یکدیگر مقایسه کنید.

## مواد افزودنی با تأثیر فیزیکی

افزودنی‌هایی که با تأثیر بر خواص فیزیکی محصول یا فرایند منجر به نتیجه مطلوب می‌شوند، افزودنی‌های با تأثیر فیزیکی هستند. رنگ، چگالی، گران‌روی، مقاومت مکانیکی در برابر کشش، ضربه و سایش، جریان‌پذیری، بو، شکل، بافت، انعطاف‌پذیری، رسانش الکتریکی و گرمایی، خواص مغناطیسی، حجم، کشش سطحی و سایر خواص فیزیکی می‌توانند توسط مواد افزودنی بهبود یابند.

با توجه به اینکه چه هدف فیزیکی در محصول مورد نظر است، انتخاب افزودنی مناسب، مقدار و روش افزودن آن انجام می‌گیرد. علاوه بر محصولات، فرایندهای بسیاری هستند که تحت تأثیر افزودنی‌ها بهبود می‌یابند و با صرف انرژی و زمان کمتر، محصولات با کیفیت و کمیت بیشتری تولید می‌شود.

**مثال ۵-** به‌طور کلی پوشش‌های صنعتی و ساختمانی که برای زیبایی و حفاظت تأسیسات استفاده می‌شوند، شامل یک رزین حل‌شده در حلال است که پس از خشک شدن یا بسپارش یک لایه تشکیل می‌دهد. ابتدایی‌ترین پوشش‌هایی که توسط بشر استفاده شدند، صمغ‌های گیاهی حل‌شده در حلال‌هایی نظیر اتانول و نیز روغن‌های گیاهی خشک‌شونده مانند روغن بزرک بودند. این پوشش‌ها نه تنها دارای زیبایی کافی نیستند، بلکه خواصی مانند انعطاف‌پذیری و مقاومت در مقابل عوامل محیطی و نور خورشید را ندارند و ناپایدار، شکننده، با کمترین زیبایی، بدون تنوع رنگ و عیب‌های دیگر بودند. همچنین هنگام تولید و مصرف آنها مشکلاتی وجود دارد که باید برای آنها چاره‌ای اندیشید.

پوشش‌های امروزی که به نام رنگ شناخته می‌شوند، متفاوت هستند و در آنها علاوه بر رزین‌های مصنوعی که مقاومت و تنوع بیشتری دارند، انواع مختلفی از افزودنی‌ها استفاده می‌شود که در رسیدن به یک پوشش بی‌همتا بسیار مؤثر هستند.

این افزودنی‌ها نه تنها در فرایند تولید مشکلاتی مانند کف‌کردن، پخش نشدن ذرات جامد به‌طور یکنواخت، کلوخه‌شدن و رسوب کردن جامدات را برطرف می‌کنند، بلکه به عملیاتی مانند نگهداری، حمل و نقل، توزیع و کاربری پوشش نیز کمک می‌رسانند و در نهایت، محصولی با کیفیت و مقاوم و با تنوع زیاد در دسترس مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد. از رنگ برای مقاصد گوناگون مانند رنگ بیرون و درون ساختمان‌ها گرفته تا خط‌کشی خیابان و رنگ خودرو و سازه‌های صنعتی استفاده می‌شود.



رنگ‌های آکریلیک پایه آبی

امروزه پوشش‌های با کیفیت بالا و مقاوم، با استفاده از حلال آب که رنگ‌های آب پایه نامیده می‌شوند، جای رنگ‌های حلال پایه را گرفته‌اند. رنگ‌های حلال پایه دارای خطرات زیست‌محیطی، سلامتی و مشکلات زیستی هستند.

نکته  
زیست محیطی



در جدول ۵، تعدادی از افزودنی‌های رنگ‌های آب پایه و نقشی که در بهبود فرایند یا محصول ایجاد می‌کنند، آورده شده است.

جدول ۵- افزودنی‌های رنگ و پوشش‌های صنعتی آب پایه

ردیف	افزودنی	مثال	نقش افزودنی	نوع تأثیر
۱	ضد کف	ضد کف‌های سیلیکونی و آکریلیکی	کنترل کف هنگام تولید و مصرف	فیزیکی
۲	رنگ‌دانه	اکسیدها و ترکیبات نامحلول فلزات واسطه	رنگ بخشیدن و زیبایی	فیزیکی
۳	امولسیون‌کننده	انواع فعال‌کننده سطح	افزایش ترکندگی سطح ذرات جامد برای پخش شدن راحت در مایعات موجود در رنگ و همگن کردن اجزای سازنده رنگ	فیزیکی
۴	پخش‌کننده	بسیارهای آکریلیکی	کمک به پخش کردن سریع و یکنواخت اجزای جامد رنگ مانند رنگ‌دانه‌ها حین تولید و پایدار ماندن و عدم کلوخه شدن و رسوب کردن تا زمان مصرف	فیزیکی
۵	آفت‌کش	بنزیمیدازول‌ها	جلوگیری از رشد و کشتن ریزندامکانی که باعث فساد رنگ می‌شوند.	زیست‌شناختی
۶	پاداکسنده	آمین‌ها، ترکیبات فنولی	جلوگیری از فساد محصول ناشی از فرایندهای اکسایش	شیمیایی
۷	ضد پرتو فرابنفش	—	حفاظت رنگ و نمایش فیلم رنگ، از پرتو فرابنفش	فیزیکی
۸	حفاظت‌کننده از خوردگی	رزین‌های سیلیکون و اپوکسی	حفاظت ظروف فلزی بسته‌بندی	شیمیایی
۹	پرکننده	باریم سولفات، کلسیم کربنات، کلسیم سیلیکات	افزایش حجم و وزن رنگ و ارزان تر کردن محصول	فیزیکی
۱۰	غلظت‌دهنده	کربوکسی متیل سلولوز	تنظیم گران روی رنگ	فیزیکی

**مثال ۶-** فرایند هم‌زدن مایعات در بسیاری از صنایع مانند تولید چسب، مرکب، رنگ و فراورده‌های پالایش رخ می‌دهد. هنگام هم‌زدن، هوا به درون مایع مکیده می‌شود. این هوا در اثر شدت هم‌زدن به حباب‌های ریز تبدیل می‌شود. همچنین مقداری از حلال‌ها نیز در اثر هم‌زدن یا بالا رفتن دما، ممکن است به بخار تبدیل شوند و همراه با حباب‌های هوا در مایع به تله بیفتند و محصول را به شکل فوم تبدیل کنند و یا به صورت کف در سطح مایع ظاهر شوند که ممکن است از مخزن همزن سرریز شود.

اگر گران روی محصول مانند چسب‌ها، کرم‌ها، شامپو و غیره بالا باشد، حباب‌های به تله افتاده، فرصت خروج از مخلوط را ندارند و محصول به شکل اسفنج در می‌آید. چنانچه به کمک موادی، میزان کشش سطحی مخلوط کم شود، نه تنها حباب‌های به تله افتاده، راحت تر خارج می‌شوند، بلکه حباب‌های کف تولید شده نیز سریع تر می‌ترکند و کف از بین می‌رود. این کار توسط مواد ضدکف انجام می‌شود.

## انواع افزودنی‌ها با تأثیر فیزیکی

بهبوددهنده‌های فیزیکی را براساس نوع عملکرد می‌توان به صورت‌های زیر دسته‌بندی کرد:

✓ مواد ضدکیکی و عواملی که باعث جریان‌پذیری مواد جامد می‌شوند.

✓ امولسیون‌کننده‌ها

✓ ضدامولسیون‌ها و عوامل پخش‌کننده

✓ ضدکف‌ها و ضد تجمع هوا

✓ مواد ضدالکتریسیته ساکن و جلوگیری‌کننده از ایجاد بار الکتریکی

✓ مواد ضدسایش

✓ عطرها و مواد معطر

✓ مواد افزایش‌دهنده و اصلاح‌کننده گرانروی

✓ مواد نرم‌کننده

✓ عوامل دمنده و کف‌زا

در ادامه توضیح برخی از افزودنی‌ها با تأثیر فیزیکی آورده شده است.

## مواد ضدکیکی‌شدن

احتمالاً با مشکل خروج نمک از نمکدان به دلیل کلوخه‌شدن مواجه شده‌اید. به نظر شما علت چیست؟ چه راه حلی پیشنهاد می‌کنید؟

بحث‌گروهی

۴



ذرات مواد پودری و گرانول‌ها در سیلوهای ذخیره، هنگام انتقال در خطوط تولید و در بسته‌بندی ممکن است به یکدیگر بچسبند و کیک و کلوخه تشکیل دهند و نه تنها انجام فرایندها را دچار اشکال کنند بلکه هنگام مصرف نیز به راحتی قابل استفاده نیستند.

✓ مواد<sup>۱</sup> مانند سدیم آلومینوسیلیکات<sup>۱</sup>، و سیلیسیم دیوکسید<sup>۲</sup> در محصولات<sup>۲</sup> مانند شیر خشک، نمک، پودر فراورده‌های گیاهی، کودهای شیمیایی و مواد معدنی به عنوان ضدکیک و کلوخه و افزایش جریان‌پذیری استفاده می‌شوند (شکل ۸).

شکل ۸- مواد پودری با افزودن مواد ضدکلوخه راحت‌تر جریان می‌پذیرند.

۱- Sodium aluminosilicate

۲- Silicon dioxide

✓ پودر تالک، کلسیم کربنات و کلسیم سیلیکات از جمله موادی هستند که به عنوان مواد ضدکیک و کلوخه شدن در بسپارها استفاده می‌شوند.  
مواد ضدکیکی شدن، سطح ذرات پودری و گرانول‌ها را آغشته می‌کنند و باعث می‌شوند ذرات پودری به یکدیگر نچسبند.

فیلم آموزشی



مواد ضدکیک

فعالیت عملی ۹

مواد ضد کلوخه

روش کار:

دو عدد بند کفش تهیه کنید. یکی را به پودر تالک (پودر بچه) آغشته کنید. سپس هر دو بند را محکم گره بزنید. باز کردن کدام گره راحت‌تر است؟ علت را توضیح دهید.

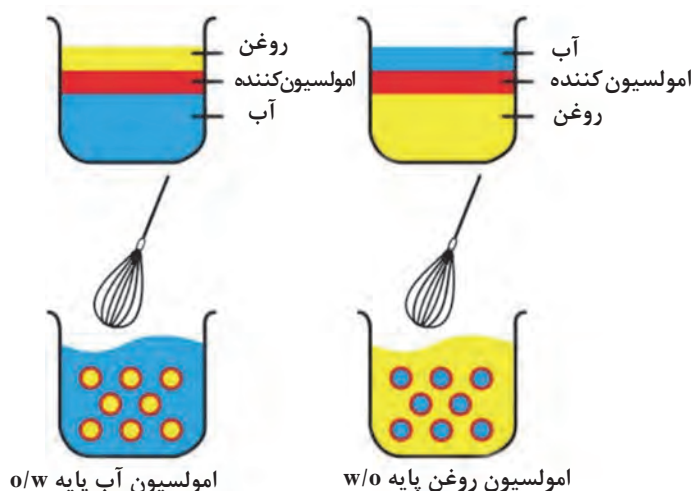
**امولسیون‌کننده‌ها:** اگر آب و روغن را با یکدیگر مخلوط کنید و به شدت تکان دهید، ذرات روغن و آب در یکدیگر پخش می‌شوند، اما پس از مدتی، از یکدیگر جدا می‌شوند و دو فاز متفاوت تشکیل می‌دهند. چنانچه به این مخلوط یک امولسیون‌کننده بیفزایید، مخلوط تشکیل شده پایدار می‌ماند و جدایی فاز اتفاق نمی‌افتد. رنگ، چسب، کرم‌های مرطوب‌کننده، پمادها، سس مایونز، شیر کاکائو، کره و نوشیدنی‌ها مثال‌هایی از موادی هستند که امولسیون‌کننده‌ها اجزای آنها را به صورت یک بافت یکنواخت درآورده است. شکل ۹، استفاده از امولسیون‌کننده‌ها را در تشکیل انواع امولسیون‌های آب در روغن و روغن در آب نشان می‌دهد.

✓ در صنایع غذایی موادی مانند زرده تخم‌مرغ، عسل، خردل، سویا و ژلاتین جزء امولسیون‌کننده‌های متداول هستند.  
✓ موادی نظیر بنزالکونیوم کلرید، صابون‌های قلیایی و سدیم لوریل سولفات جزء مواد امولسیون‌کننده صنعتی هستند.

فیلم آموزشی

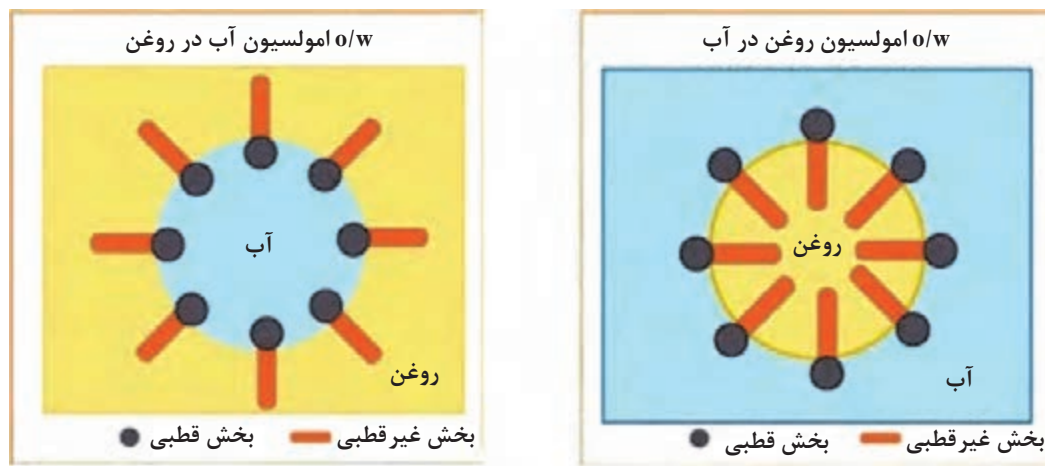


مواد امولسیون‌کننده



امولسیون آب پایه o/w

امولسیون روغن پایه w/o



شکل ۹- شیوه تشکیل دو نمونه امولسیون w/o و o/w

## فعالیت عملی ۱۰

### به کارگیری یک نمونه امولسیون کننده در تهیه سس مایونز

**مواد لازم:** روغن مایع (روغن زیتون) یک پیمانه، زرده تخم مرغ خام و آب پز هر کدام یک عدد، سرکه یک قاشق غذاخوری، آب لیمو یک قاشق غذاخوری، طعم دهنده (پودر خردل)، نمک به مقدار کافی



نکته



در زرده تخم مرغ ماده‌ای به نام لستین وجود دارد که می‌تواند به عنوان امولسیون کننده عمل کند.

## روش کار

- ۱ از قبل همه مواد را درون یخچال قرار دهید تا خنک شوند.
- ۲ زرده‌های تخم مرغ را در یک ظرف صیقلی له کنید، نیمی از سرکه و آب لیمو و کل نمک را به زرده‌های له شده بیفزایید و خوب مخلوط کنید.
- ۳ روغن را به آرامی و به طور پیوسته به این مخلوط اضافه کنید و با سرعت هم‌بزنید. سس به تدریج در حال تشکیل شدن است و حالت ژلاتینی آن را حس می‌کنید. افزودن روغن را ادامه دهید.
- چنانچه حس کردید که اجزای امولسیون در حال جدا شدن یا در حال بریدن هستند، افزودن روغن را قطع کنید و چند قطره آب لیمو بیفزایید و هم‌زدن را به شدت ادامه دهید تا امولسیون دوباره تشکیل شود. سپس می‌توانید افزودن روغن را ادامه دهید.
- ۴ پس از افزودن نصف روغن، باقی‌مانده سرکه و آب لیمو را بیفزایید و سپس افزودن روغن را ادامه دهید. می‌توانید تا دو لیوان روغن به آن اضافه کنید. در انتها، می‌توانید به عنوان طعم دهنده، پودر خردل را به مخلوط اضافه کنید.

توجه داشته باشید که هم‌زدن باید مداوم و شدید باشد و افزودن روغن به آرامی و پیوسته صورت بگیرد. در غیر این صورت، نتیجه مطلوب حاصل نمی‌شود.



آیا می‌توانید سس مایونز خوراکی رنگی تولید کنید؟ چگونه؟



**ضد کف‌ها:** همان‌گونه که شرح داده شد، در بسیاری از فرایندها کف تولید می‌شود. در بسیاری از محصولات مانند مرگب و رنگ از مواد فعال‌کننده سطح استفاده می‌شود که عامل ایجاد کف هستند. ضد کف‌ها و مواد ضد تجمع هوای به تله افتاده با ناپایدار کردن کف باعث می‌شوند، حباب‌های کف تولید شده به سرعت بترکند و نیز هوای به تله افتاده در محصولات به سرعت خارج شود (شکل ۱۰). حذف کف و خروج هوا از محصولات در برخی موارد ساده و در مواردی نیز به سختی صورت می‌پذیرد؛ به همین دلیل انتخاب مواد ضد کف مناسب برای فرایند امری ضروری است. مواد ضد کف در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

- ضد کف‌های روغن پایه که شامل روغن‌های گیاهی و یا نفتی هستند.
  - ضد کف‌های آب پایه که انواع مختلفی از روغن، واکس، صابون اسیدهای چرب و یا استرهای امولسیون شده در آب هستند.
  - ضد کف‌های سیلیکونی.
- ضد کف‌های سیلیکونی قدرت زیادی در حذف کف ایجاد شده دارند.

مواد ضد کف



شکل ۱۰- در حضور مواد ضد کف، حباب به راحتی می‌ترکد.

## فعالیت عملی ۱۱



### به کارگیری ضد کف سیلیکونی در چسب چوب

**مواد لازم:** چسب چوب، ضد کف سیلیکونی، آب

۱ در یک بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری، مقدار ۳۰۰ میلی لیتر آب بریزید و به آن ۵۰ گرم چسب چوب بیفزایید و به شدت به هم بزنید. به مخلوط توجه کنید و ببینید آیا مخلوط کف می کند یا نه؟

۲ با یک قاشق مقدار خیلی کم (حدود ۰/۲ درصد) ضد کف به مخلوط اضافه کنید و هم زدن را ادامه دهید. آیا شدت و میزان کف مانند قبل است؟

■ در صورتی که از شدت کف کردن کم نشده است، مقدار ضد کف را بیشتر کنید. به علاوه در هر مرحله با قطع کردن هم زدن، پایداری کف را بررسی کنید.

**مواد افزایش دهنده و اصلاح کننده گران روی<sup>۱</sup>:** گران روی نقش بسیار مهمی در فرایندها و محصولات دارد و نه تنها ظاهری مناسب به محصولات می بخشد، بلکه کاربرد آنها را نیز تسهیل می کند.

### مواد افزایش دهنده گران روی

فیلم آموزشی



مواد افزایش دهنده گران روی که در اصطلاح صنعت به آن تغلیظ کننده<sup>۲</sup> گفته می شود، موادی هستند که باعث افزایش گران روی محصولات بدون تغییر در سایر خواص آن می شوند. این مواد در محصولات و فرایندها دارای دو نقش اساسی افزایش و ثبات گران روی هستند.

برای مواد غذایی ترکیباتی مانند نشاسته، صمغ های گیاهی، پکتین، سفیده تخم مرغ، ژلاتین، آگار<sup>۳</sup> و پروتئین ها به عنوان غلظت دهنده، و برای مصرف صنعتی مانند رنگ و مرکب و چسب و مواد آرایشی و بهداشتی از مواد کربوکسی متیل سلولوز<sup>۴</sup>، کربوکسی اتیل سلولوز<sup>۵</sup>، پلی اتیلن گلیکول<sup>۶</sup>، پلی وینیل الکل<sup>۷</sup> و پلی آکرلیک اسید<sup>۸</sup> استفاده می شود.

در برخی کاربردها، مانند روغن موتور، ثبات گران روی در شرایط آب و هوایی مختلف و نیز دماهای مختلف موتور، عامل مهمی در روغن کاری محسوب می شود. به همین دلیل به روغن های موتور، بسپارهای شاخه دار افزوده می شود تا گران روی را در دماهای مختلف ثابت و با تغییرات ناچیز حفظ کند. برای درک بهتر عملکرد این دسته از بسپارها فرض کنید، آنها مانند شخصی هستند که در سرما دستان خود را بسته و وقتی هوا گرم می شود، دستان را باز می کند. این بسپارها نیز در گرما شاخه های خود را گسترده می کنند و باعث جبران کاهش گران روی روغن می شود و به این ترتیب گران روی ثابت می ماند (شکل ۱۱).

۱- Thickening Agents and Viscosity Modifier

۲- Thickeners

۳- Agar

۴- Carboxy Methyl Celoulllos (CMC)

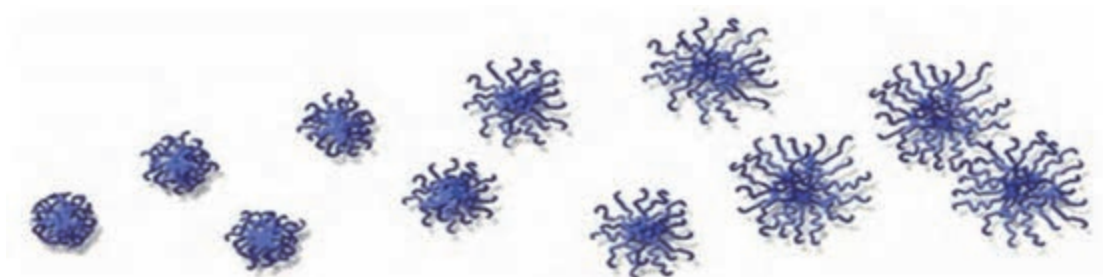
۵- Carboxy Ethyl Celoulllos

۶- Polyethylene glycol

۷- Poly Vinyl Alcohol (PVA)

۸- Polyacrylic Acid





شکل ۱۱-از چپ به راست با افزایش دما مواد اصلاح کننده شاخص گران روی با باز کردن شاخه‌ها، کاهش گران روی روغن را جبران می‌کنند.

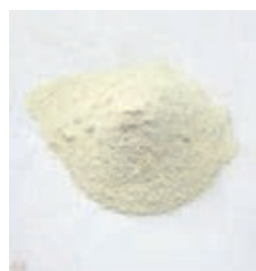
## فعالیت عملی ۱۲



### بررسی اثر غلظت‌دهنده



**مواد لازم:** غلظت‌دهنده (کربوکسی متیل سلولوز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز با نام تجاری تیلوز، یا پودر ثعلب). آب مقطر، شکر



از راست به چپ: ثعلب، گیاه ثعلب، هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز و کربوکسی متیل سلولوز

### روش کار:

- ۱ در یک بشر ۲۵۰ میلی لیتری مقدار ۱۰۰ میلی لیتر آب بریزید و به آن ۱۰ گرم شکر بیفزایید و حل کنید. سپس گران روی محلول را اندازه گیری و ثبت کنید.
- ۲ به محلول به دست آمده مقدار کمی (اندازه یک دانه عدس) از غلظت‌دهنده بیفزایید.
- ۳ پس از افزودن غلظت‌دهنده، توسط همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه هم بزنید و در این مدت به تغییرات گران روی توجه کنید.
- ۴ گران روی محلول جدید را اندازه بگیرید و تأثیر غلظت‌دهنده را بررسی کنید.

نکته

در این آزمایش، عملی که انجام می‌شود، افزایش گران روی است، ولی به صورت متداول در صنعت به آن تغلیظ اطلاق می‌شود.



تحقیق کنید  
۳

تحقیق کنید که ثعلب چیست و چرا در بستنی سنتی استفاده می‌شود و چه تأثیری روی خواص بستنی دارد؟



**مواد انعطاف‌دهنده:** مواد انعطاف‌دهنده یا نرم‌کننده و یا پلاستی‌سایزرها<sup>۱</sup> موادی هستند که خواص گرمایی و مکانیکی مواد را تغییر می‌دهند. این تغییرات شامل کم کردن سختی و استحکام در دمای معمولی، افزایش خاصیت کشسانی، افزایش ضربه‌پذیری و افزایش حس لطافت و احساس خوب هنگام لمس کردن است. به‌عنوان نمونه، لوله فاضلاب و کف برخی از کفش‌ها، شلنگ‌های آب و گاز، روکش کابل‌های برق، چکمه‌های لاستیکی و بارانی‌ها همه از جنس بسیار پی‌وی سی<sup>۲</sup> هستند، اما سختی و انعطاف آنها، متفاوت است (شکل ۱۲).

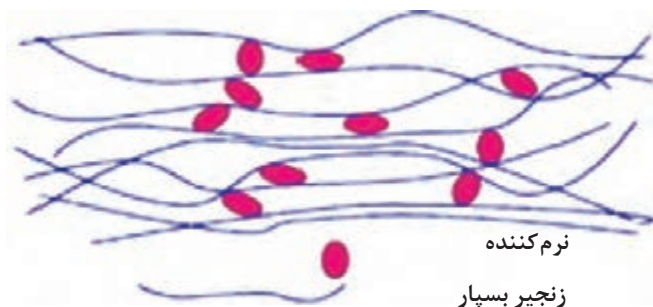
اصطلاح مواد پلاستی‌سایزر بیشتر در مورد بسیارها شناخته شده است، اما امروزه بیش از ۳۰۰۰۰ نوع ماده را می‌توان نام برد که در نقش مواد نرم‌کننده، در موادی مانند بسیارها، بتن، مواد منفجره، گچ، چسب، رنگ، و لاک استفاده می‌شوند. این مواد لایه‌لای زنجیره‌های مولکولی و مولکول‌ها قرار می‌گیرند و باعث انعطاف آنها می‌شوند. میزان افزودن نرم‌کننده‌ها باید به اندازه‌ای باشد که از محصولات ساخته‌شده، خارج نشوند.

موادی مانند دی‌بوتیل‌فتالات<sup>۳</sup> و دی‌اکتیل‌فتالات<sup>۴</sup> مهم‌ترین نرم‌کننده‌هایی هستند که در ترکیبات بسیاری مانند پی‌وی‌سی، کلروپرن، نیتریل‌رابر استفاده می‌شوند.

فیلم آموزشی



#### مواد نرم‌کننده و ایجاد پیوندهای عرضی



شکل ۱۲- انعطاف‌پذیری در مواد بسیاری پس از افزودن نرم‌کننده و شیوه قرار گرفتن مولکول‌های نرم‌کننده بین زنجیرهای بسیار

۱- Plastisizers

۲- Poly Vinyl Chloride (PVC)

۳- DBP

۴- DOP

## فعالیت عملی ۱۳



### بررسی اثر مواد نرم کننده



**مواد و وسایل لازم:** روغن دی اکتیل فتالات یا دی بوتیل فتالات، جوربیسپار<sup>۱</sup> وینیل استات، صفحه های شیشه ای به اندازه ۱۰ در ۲۰ سانتی متر

### روش کار:

۱ هفت نمونه از جوربیسپار وینیل استات حاوی نرم کننده (صفر تا ۶ درصد) تهیه کنید و هر نمونه را پس از افزودن نرم کننده به خوبی مخلوط کنید.

در صورتی که قادر به تهیه جوربیسپار وینیل استات نیستید، از چسب چوب استفاده کنید.

نکته



۲ توسط یک فیلم کش، بر روی صفحه های شیشه ای یک لایه ضخیم از انواع نمونه ها را بکشید و اجازه دهید تا لایه های تشکیل شده، خشک شوند (در دمای معمولی تقریباً یک تا دو ساعت زمان لازم است).

۳ توسط یک تیغ، لایه های تشکیل شده را از سطح شیشه جدا کنید و نرمی و شکنندگی آنها را با یکدیگر مقایسه کنید. سپس به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۴ آیا اگر درصد نرم کننده را بیشتر کنید، نرمی لایه بیشتر می شود؟

۵ به نظر شما تا چند درصد می توان نرم کننده را افزایش داد؟

۶ چگونه می توانید غلظت مناسب نرم کننده را پیدا کنید؟

جوربیسپار وینیل استات که با روغن دی بوتیل فتالات نرم شده باشد، به عنوان چسب صحافی استفاده می شود.

بیشتر بدانید



تحقیق کنید  
۴



یکی از مشکلات استفاده از نرم کننده ها، مهاجرت آنها از بسپار است، در این مورد تحقیق کنید.

**عوامل دمنده و کفزا:** عوامل دمنده ترکیباتی هستند که در ساختار موادی مانند بسپارها، فلزات و بتن، فضای توخالی و حفره ایجاد می کنند و باعث افزایش حجم و سبکی می شوند. این عمل یا به صورت فیزیکی در اثر تبخیر یک ماده شیمیایی با نقطه جوش پایین مانند پنتان یا کربن دیوکسید مایع رخ می دهد، یا توسط دمیدن گازها در مذاب و مایع در حال گیرش و یا به صورت شیمیایی توسط گازی که از یک واکنش در مخلوط تولید می شود، رخ می دهد.

به عنوان یک مثال آشنا، فوم پلی استیرن که به نام یونولیت در بازار شناخته می شود و از آن به عنوان عایق و بلوک سقف سبک استفاده می شود، از نوعی پلی استیرن ساخته می شود. در فرایند تولید گرانول پلی استیرن انبساطی<sup>۲</sup> مقداری پنتان به آن افزوده شده است. زمانی که این ذرات شکری شکل توسط بخار آب گرما داده

۱- Hemopolymer

۲- Expandable Poly Styrene (EPS)

شوند، پنتان موجود در ساختار آن تبخیر می‌شود و باعث انبساط دانه‌های پلی‌استیرن می‌شود و چنانچه این دانه‌ها در یک قالب بسته قرار داشته باشند، پس از انبساط به هم فشرده می‌شوند و شکل قالب را به خود می‌گیرند. این ذرات، پس از انبساط، حدود ۹۸٪ حجمشان هوا است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- از راست به چپ: گرانول پلی‌استیرن انبساطی، گرانول منبسط شده و محصول نهایی که با نام یونولیت می‌شناسید.

## فعالیت عملی ۱۴



### بررسی تأثیر مواد دمنده و کف‌زا

**مواد و ابزار لازم:** پودر گچ نرم و الک شده، پودر آلومینیم نرم، محلول سدیم هیدروکسید ۲۵٪، قالب پلاستیکی، آب معمولی

### روش کار:

- ۱ مقدار یک گرم پودر آلومینیم نرم را با ۲۰۰ گرم پودر گچ به خوبی مخلوط کنید و به آن قدر آب بیفزایید که یک دوغاب رقیق تشکیل شود.
- ۲ دوغاب را به ملایمت هم بزنید تا زمانی که احساس کردید در حال گیرش و سفت شدن است. بسته به غلظت گچ و دمای محیط، حدود ۳-۵ دقیقه زمان لازم است. بلافاصله به آن مقدار ۴۰ گرم محلول ۲۵٪ سدیم هیدروکسید بیفزایید و سریع هم بزنید تا یکنواخت شود و آن را در قالب بریزید. سدیم هیدروکسید و آلومینیم با یکدیگر واکنش می‌دهند و گاز هیدروژن تولید می‌شود. حباب‌های به تله افتاده هیدروژن باعث حجیم شدن مخلوط در حال گیرش می‌شود.

### نکته ایمنی



محلول سدیم هیدروکسید خورنده است و به شدت به پوست آسیب می‌رساند. به همین دلیل از دستکش و عینک ایمنی و پوشش مناسب استفاده کنید.

- ۲ توجه داشته باشید که مخلوط گچ، ۶۰-۵۰ درصد قالب را اشغال کند. مشاهدات خود را در این آزمایش نوشته و از آنها نتیجه‌گیری کنید.

### پرسش ۳



به نظر شما، مصالحی مانند بتن و گچ منبسط شده با این روش چه تأثیری بر وزن و قیمت تمام شده ساختمان دارند؟



### ۳- به کار گیری مواد افزودنی با تأثیر شیمیایی

افزودنی‌هایی که با یک تغییر شیمیایی، منجر به بهبود خواص محصولات و یا فرایندها می‌شوند، افزودنی با تأثیر شیمیایی هستند. تغییر در سرعت واکنش‌های شیمیایی، کم کردن سرعت خوردگی، انجام واکنش‌های مطلوب و کنترل شده از وظایف افزودنی‌ها با تأثیر شیمیایی است.

انواع افزودنی‌ها با تأثیرات شیمیایی عبارت‌اند از:

✓ ولکاننده‌ها و ایجادکننده‌های پیوندهای عرضی

✓ عوامل پخت<sup>۱</sup> و سخت‌کننده<sup>۲</sup>

✓ آغازگرها

✓ شتاب‌دهنده‌های واکنش‌های شیمیایی<sup>۳</sup>

✓ ختم‌کننده<sup>۴</sup> واکنش یا تأخیرانداز واکنش‌های شیمیایی

✓ زلال‌کننده‌ها<sup>۵</sup>

✓ عوامل اتصال‌دهنده<sup>۶</sup>

✓ محافظت‌کننده‌های خوردگی

✓ تأخیراندازهای شعله و آتش

✓ پاداکسنده‌ها

✓ رباينده‌های مواد اسیدی<sup>۷</sup>

در ادامه توضیح برخی از افزودنی‌ها با تأثیر شیمیایی آورده شده است.

**ایجادکننده‌های پیوندهای عرضی (شبکه‌سازها):** این افزودنی‌ها در صنعت لاستیک کاربرد دارند. برای اینکه لاستیک‌ها دارای انعطاف و استحکام بالایی باشند، لازم است زنجیرهای بسپاری آن از پهلوی به هم بچسبند و اتصال عرضی ایجاد گردد و به اصطلاح، شبکه‌ای<sup>۸</sup> شوند. این کار باعث می‌شود که در اثر اعمال نیرو زنجیرهای بسپار روی هم نلغزند. به این عمل ولکانش<sup>۹</sup> گفته می‌شود. ساده‌ترین فرایند ولکانش توسط چارلز گودیر<sup>۱۰</sup> به وسیله گوگرد روی لاستیک طبیعی انجام شد. پس از آن برای لاستیک‌های مختلف انواع و اقسام مواد ولکاننده و پیونددهنده عرضی تولید شد.

امروزه از گوگرد و ترکیبات گوگرددار، اکسیدهای فلزی مانند سرب‌اکسید و منیزیم‌اکسید و روی‌اکسید، پراکسیدها و رزین‌های فنولی به منظور ولکانش و ایجاد پیوندهای عرضی انواع لاستیک‌ها مانند کلروپرن، و دیگر لاستیک‌ها، استفاده می‌شود (شکل ۱۴).

۱- Curing Agent

۲- Hardner

۳- Accelerator

۴- Retardant

۵- Clarifiers

۶- Bonding agents

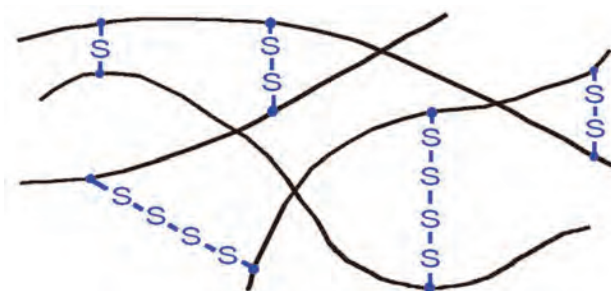
۷- Acid Scavengers

۸- Cross \_link

۹- Vulcanization

۱۰- Charles Goodyear

پودمان چهارم: کاربرد مواد افزودنی در صنایع شیمیایی



شکل ۱۴- ایجاد پیوندهای عرضی و ولکانش مولکول‌های لاستیک توسط گوگرد

فرایند تولید لاستیک و ولکانش

فیلم آموزشی



فعالیت عملی ۱۵



ولکانش لاستیک طبیعی



تولید لاستیک خودرو

**مواد لازم:** گوگرد، لاستیک طبیعی که در بازار تحت عنوان کَرپ<sup>۱</sup> یا RSS شناخته می‌شود، جهت تهیه این لاستیک می‌توانید به فروشندگان مواد اولیه چسب رجوع کنید و یا از تولیدکنندگان چسب، مقداری از آن را بخواهید.

۱- Cerepe





RSS یک نشانه برای طبقه‌بندی لاستیک طبیعی است که با توجه به رنگ و کیفیت لاستیک طبیعی می‌تواند از RSS۱ تا RSS۶ باشد.

**ابزار لازم:** حمام روغن با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس، بشر ۲۵۰، همزن شیشه‌ای

### روش کار

- مقداری از لاستیک طبیعی را توسط قیچی به ذرات ریز تبدیل کنید و به آن بین ۵-۳ درصد گوگرد اضافه کنید.
- آنها را درون بشر بریزید و بشر را وارد حمام روغن کنید و تا حدود ۱۵۰ درجه سلسیوس همراه با هم‌زدن گرما دهید و به اتفاقاتی که رخ می‌دهد، توجه کنید.
- آزمایش را با درصدهای مختلف گوگرد تا ۳۰ درصد انجام دهید و نمونه‌های تولیدی را از نظر انعطاف پذیری و سختی با یکدیگر و با لاستیک طبیعی ناولکانیده مقایسه کنید.
- کدام یک سخت‌تر است؟
- به نظر شما برای تولید تیوب خودرو و لاستیک آن، کدام درصد از گوگرد مناسب‌تر است؟
- درباره معادله واکنش شیمیایی رخ داده تحقیق کنید.

**عوامل پخت و سخت‌کننده:** این افزودنی‌ها به‌طور عمده، در مورد رزین‌های مایع مانند رزین‌های اپوکسی و پلی‌استر نیمه‌اشباع و رزین‌های پلی‌یورتان کاربرد دارد و باعث می‌شوند تا فرایند بسپارش تکپارهای (مونومر) موجود رخ دهد و بسپار سخت تشکیل شود. فرایند پخت، اولین مرحله تشکیل بسپار سخت از تکپارهای رزین است. گاه در صنعت از این مواد به نام‌های درنر یا سخت‌کننده یاد می‌شود.

مثالی از این موضوع یک نوع رزین سیلیکون است که با نام چسب آکواریوم آن را می‌شناسید. هنگام استفاده از این رزین در تماس با هوا، مولکول‌های بخار آب موجود در هوا به عنوان سخت‌کننده با آن وارد واکنش می‌شوند و عمل بسپارش رخ می‌دهد و محصول عمل، بسپار سخت‌شده و استیک‌اسید است و به همین دلیل است که هنگام سخت شدن بوی سرکه به مشام می‌رسد. مثال دیگر، چسب دوقلو است که از دو جزء شامل رزین اپوکسی و سخت‌کننده تشکیل شده است. با مخلوط کردن این دو جزء فرایند بسپارش شروع می‌شود و بسپار سخت تشکیل می‌شود. سخت‌کننده معمولاً به میزان یک درصد به رزین اصلی افزوده می‌شود و چون مقدار آن کم است، سخت‌کننده را با مواد پرکننده، رقیق و حجیم می‌کنند تا مصرف آن ساده باشد.



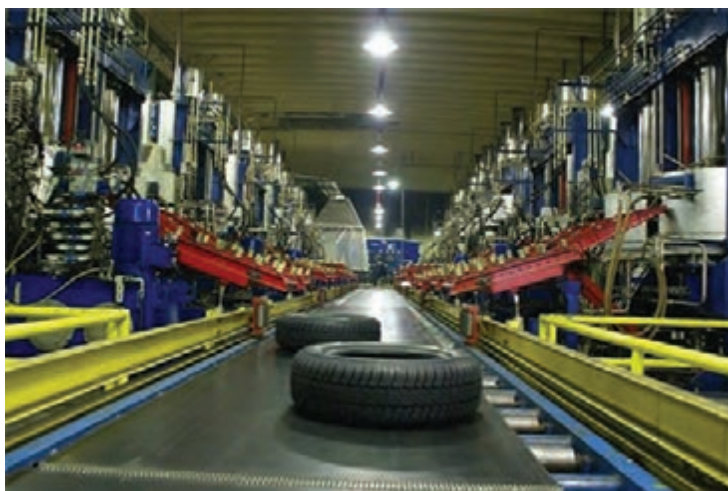
به تصریح رهبر انقلاب، «تولید» ستون فقرات اقتصاد مقاومتی است. لذا سال ۱۳۹۹ را سال «رونق تولید» نام‌گذاری کردند تا اقتصادی متکی بر فعالیت‌ها و توانمندی‌های داخلی عملیاتی شود. کشورمان در سه حوزه صنایع شیمیایی، معدن و امنیت غذایی، پتانسیل ایجاد جهش در تولید و اقتصاد را داراست.

صنعت، تولید لاستیک خودرو یا تایر<sup>۱</sup> از نمونه عرصه‌های تولیدی و فعالیتی به‌شمار می‌رود که تأمین و عرضه محصولات مرتبط با آن برای هر کشور، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است و به تبع آن در صورت خودکفایی و تأمین لاستیک مورد نیاز کشور، با تکیه بر ظرفیت‌های داخلی، علاوه بر توسعه فرصت‌های شغلی از خروج ارز از کشور نیز جلوگیری خواهد شد.

ظرفیت تولید لاستیک خودروی کشور، در قبل از انقلاب با دو کارخانه و ۹۰ الی ۹۵ درصد وابستگی مواد اولیه وارداتی، ۴۰ هزار تن لاستیک بود. امروز با وجود ۸ کارخانه لاستیک‌سازی که با ظرفیت کامل کار می‌کنند و حدود ۳۳۰ هزار تن در سال لاستیک خودرو تولید دارند، ۸۵ درصد از نیاز کشور را تأمین می‌کنند. این کارخانه‌ها به فناوری‌های پیشرفته مجهز هستند و حدود ۲۰ هزار نفر نیروی انسانی در این صنعت مستقیماً مشغول به کار هستند.

تولید کائوچوهای مصنوعی در پتروشیمی‌های کشور، همچنین شرکت‌های تولیدکننده دوده، روی اکسید و نخ مورد استفاده در صنعت لاستیک‌سازی در ایران از نقاط قوت کشور در تولید مواد اولیه این صنعت است. لازم به ذکر است، این کارخانجات در حوزه صادرات نیز فعال هستند.

در حال حاضر کشور در تولید لاستیک‌های رادیال<sup>۲</sup>، باری، اتوبوسی و کامیونی از فناوری‌های روز دنیا استفاده می‌کند.



شکل ۱۵- صنعت لاستیک و تایر سازی در کشور

۱- Tyre, Tire

۲- Radial Tire یا به بیان دیگر چند لایه شعاعی، نوعی طراحی خاص لاستیک اتومبیل است. در طراحی این لاستیک نخ‌ها یا بندهای محکمی به کار رفته است که به صورت ۹۰ درجه تصویر بر مرکز لاستیک خودرو و همچنین به صورت شعاعی و دَوایر متحدالمرکز اقلیدسی تابیده شده‌اند.





### به کارگیری یک نمونه مواد افزودنی شیمیایی سخت کننده

**مواد لازم:** چسب سنگ یا رزین سیلیکون قالب گیری و یا پلی استر دو جزئی همراه با سخت کننده مربوط **راهنمایی:** چسب سنگ در همه ابزار فروشی ها موجود است. رزین سیلیکون قالب گیری نیز از بازار قابل تهیه است و رزین های پلی استر دو جزئی را از فروشگاه های رنگ می توان تهیه کرد.

#### روش کار:

هر کدام از این مواد دارای دو جزء هستند؛ جزء اصلی که حجم بیشتری دارد و حاوی تکپار یا بسیار با درجه بسیار کم است باید در واکنش بسیارش شرکت کند و بخش دوم حاوی سخت کننده است. روش کار به شرح ذیل می باشد.

۱ یک قالب کوچک از جنس مواد انعطاف پذیر تهیه کنید. قالب هایی از جنس پلی اتیلن و یا پلی پروپیلن مناسب اند. در ضمن می توانید از قالب های سیلیکونی که از فروشگاه های لوازم قنادی قابل تهیه است، استفاده کنید.

۲ طبق دستور کار تولید کننده، در یک ظرف جداگانه رزین و سخت کننده را مخلوط کنید و در قالب بریزید.

۳ زمانی که رزین را در قالب ریختید، باقیمانده رزین مخلوط شده در ظرف را هم بزنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.

۴ زمان های ژل شدن و گیرایی رزینی را که استفاده کرده اید، اندازه بگیرید.

**زالال کننده ها:** ذرات معلق کلوئیدی موجود در محلول هایی مانند آب و آب میوه ها باعث کدری می شوند. می توان با افزودن موادی، باعث شد تا این ذرات به یکدیگر بچسبند و ته نشین شوند و محلول زلال شود. ذرات معلق موجود در محلول ها بر دو دسته می باشند. یک دسته، ذرات معلق هستند که به مرور زمان ته نشین خواهند شد و دسته دوم ذرات باردار کلوئیدی هستند که ته نشین نمی شوند. مواد افزودنی شیمیایی و بسپارهایی وجود دارند که تعادل بار الکتریکی این ذرات را به گونه ای بر هم می زنند تا به یکدیگر وصل شده و به اصطلاح لخته شوند و سپس این لخته ها به راحتی ته نشین می شوند. در صنعت نوشیدنی ها از آنزیم پکتاز برای حذف پکتین که باعث کدری آب میوه می شود و نیز موادی مانند بنتونیت<sup>۱</sup> و سلیسیم دیوکسید، استفاده می شود.

فیلم آموزشی



زالال کننده

**محافظت کننده های خوردگی:** مواد افزودنی حفاظت کننده از خوردگی، ترکیبات شیمیایی آلی مانند استرهای فسفریک اسید و فسفونات ها یا ترکیبات معدنی نظیر سیلیکات های فلزات قلیایی هستند که از ppm ۱۰ تا یک درصد به محیط افزوده می شود و با سطح فلزات واکنش می دهند و با تشکیل لایه محافظ، سطح فلز را از خوردگی محافظت می کند. جدول ۶ برخی از این مواد را معرفی می کند.

۱- Bentonite

## جدول ۶- کاربرد مواد حفاظت از خوردگی در فاز مایع

ردیف	محیط مایع	فلز محافظت شونده	مادهٔ محافظت کننده از خوردگی	غلظت محافظت کننده
۱	مایعات خنک کنندهٔ موتور	Fe , Pb, Zn , Cu	سدیم کرومات	۰/۱ تا ۱ درصد
۲	مایعات خنک کنندهٔ موتور	Fe	سدیم نیتريت	۰/۱ تا ۱ درصد
۳	آب نمک چاه‌های نفت	Fe	سدیم سیلیکات	۰/۱ تا ۰/۵ درصد
۴	آب نمک چاه‌های نفت	Fe	ایمیدازولین	۱۰-۲۵ ppm
۵	آب دریا	Zn	سدیم سیلیکات	۱۰ ppm
۶	آب دریا	کلیهٔ فلزات	سدیم نیتريت	۰/۵ درصد
۷	آب دریا	Fe	کلسیم بیکربنات	وابسته به pH محیط
۸	آب دریا	Fe	سدیم فسفات مونوبازیک + سدیم نیتريت	۱۰ ppm + ۰/۵ درصد

۱ لوله‌های انتقال گاز و نفت در محیط‌های جنگلی با شدت بیشتری دچار خوردگی می‌شوند، ولی همین لوله‌ها در محیط‌های بیابانی و خاک‌های قلیایی با شدت کمتری خورده می‌شوند. در مورد علت این پدیده، با توجه به تشکیل لایهٔ محافظ تحقیق کنید.

۲ روغن موتور و سوخت‌هایی مانند بنزین و گازوئیل به‌طور پیوسته با قطعات فلزی موتور و دیگر قسمت‌ها مانند مخزن ذخیرهٔ سوخت خودرو در تماس هستند؛ بنابراین باید حاوی مواد حفاظت از خوردگی باشند. تحقیق کنید که در این زمینه، چه موادی به روغن موتور و سوخت‌ها افزوده می‌شود.

تحقیق کنید  
۵



فیلم آموزشی



حفاظت از خوردگی

**رباینده‌های مواد اسیدی:** تخریب و تغییر آرایش مولکول‌های سازنده مواد به دلایل مختلفی مانند آبکافت، تخریب گرمایی، تغییر در اثر فعالیت‌های آنزیمی، فعالیت ریزاندامکان و اکسایش در محصولات و فرایندهای مختلف رخ می‌دهند. معمولاً به این محصولات و فرایندها، افزودنی‌هایی از جنس اکسیدهای فلزی نظیر منیزیم، کلسیم و روی اکسید افزوده می‌شود تا با مواد اسیدی تولیدشده واکنش دهند و آنها را خنثی کنند.

## مثال ۷

بسپارهای کلردار مانند کلروپرن به مرور زمان تجزیه می‌شوند و یکی از محصولات تجزیه شدن آنها هیدروکلریک اسید است. چنانچه از کلروپرن، چسب تولید شده باشد، به مرور زمان غلظت هیدروکلریک اسید ناشی از تجزیه کلروپرن افزایش می‌یابد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد. به این چسب‌ها حدود ۰/۴ درصد منیزیم اکسید افزوده می‌شود تا اسید تولیدشده را خنثی کند.

## مثال ۸

در فرایند تولید بسپارهایی مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن از کاتالیزگرهایی مانند کلریدهای فلزی استفاده می‌شود. این کاتالیزگرها در شرایط پُرتنش بسپارش که در فشار و دمای بالا رخ می‌دهد، تجزیه می‌شود و کلر موجود در آنها به هیدروکلریک اسید تبدیل می‌شود. اسید تولیدشده به محصول نهایی وارد می‌شود. این اسید نه تنها باعث تخریب محصول تولیدی می‌شود بلکه در فراورده‌های تولیدی نیز وجود خواهد داشت و تأثیرات منفی ایجاد می‌کند. به این بسپارها نیز درصد کمی منیزیم اکسید افزوده می‌شود تا اسید باقیمانده را خنثی کنند.

## فعالیت عملی ۱۷



### خنثی کردن باران‌های اسیدی توسط کلسیم کربنات

از انحلال گازهایی مانند اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن ناشی از فرایند احتراق که وارد طبیعت می‌شوند، در آب باران اسیدهایی تشکیل می‌شود که pH آن را اسیدی می‌کند. باران اسیدی باعث خسارت به بناها، تأسیسات صنعتی و زمین‌های کشاورزی می‌شود. در طبیعت نیز باران‌های اسیدی با کلسیم کربنات موجود در پوسته زمین واکنش داده و خنثی می‌شود.

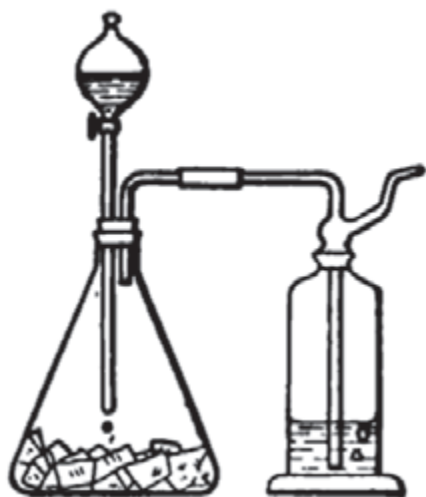
**مواد لازم:** سدیم سولفیت، سولفوریک اسید رقیق، کلسیم کربنات، آب

**وسایل لازم:** بالن یا ارلن ۵۰۰ میلی لیتری با لوله جانبی، قیف جداکننده، گازشوی، بورت

### روش کار:

۱ مجموعه‌ای همانند شکل صفحه بعد را آماده کنید.

۲ مقدار ۲۰ گرم سدیم سولفیت را در بالن ۵۰۰ میلی لیتری بریزید. توسط یک چوب پنبه، قیف جداکننده را به بالن وصل کنید و در قیف مقدار ۱۰۰ میلی لیتر سولفوریک اسید رقیق بریزید. لوله جانبی بالن را توسط لوله پلاستیکی، به یک گازشوی که از آب مقطر پر شده است، وصل کنید.



تجهیزات مورد نیاز برای تولید باران اسیدی

۳ با باز کردن شیر قیف، اجازه دهید سولفوریک اسید رقیق روی سدیم سولفیت بریزد و با آن واکنش دهد تا گاز گوگرد دیوکسید تولید شود و در آب موجود در گازشوی حل شود. این آب مشابه باران اسیدی است.

۴ یک بورت را از خرده‌های کلسیم کربنات پر کنید. محتویات گازشوی را درون یک بشر بریزید. pH باران اسیدی مصنوعی را اندازه‌گیری کنید و به آرامی از بورت عبور دهید و پس از عبور از بورت pH را دوباره اندازه‌گیری کنید.

- چه تفاوتی مشاهده می‌کنید؟
- به نظر شما چه اتفاق شیمیایی رخ داده است؟
- معادلات واکنش‌های شیمیایی انجام شده را بنویسید.

## فعالیت عملی ۱۸



### کاربرد رایونده‌های اسیدی



مواد لازم: منیزیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید رقیق، آب

وسایل لازم: بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری

روش کار:

به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب، محلول هیدروکلریک اسید بیفزایید تا اسیدی شود و سپس pH آن را اندازه‌گیری کنید. به این ترتیب، آنقدر اسید بیفزایید تا pH حدود ۳ شود.

سه گرم منیزیم هیدروکسید به این محلول بیفزایید و سپس به هم بزنید و پس از چند دقیقه، pH را اندازه‌گیری کنید. مشاهدات خود را یادداشت کنید.

- منیزیم اکسید در این آزمایش چه نقشی دارد؟
- چه واکنش شیمیایی رخ داده است؟
- معادله واکنش شیمیایی را بنویسید.

## به کارگیری مواد افزودنی با تأثیر زیست‌شناختی

مواد با تأثیر زیست‌شناختی آن دسته از افزودنی‌ها هستند که توسط ریزاندامگان، آنزیم‌ها و یا مواد شیمیایی باعث تغییر زیست‌شناختی در محصولات یا فرایندها می‌شوند. بسیاری از محصولات تولیدی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها، اسیدهای آلی و الکل‌ها و انواع لبنیات محصول یک فرایند زیست‌شناختی هستند. این محصولات توسط فرایندهای تخمیری که به وسیله ریزاندامگانی مانند باکتری، قارچ و مخمر رخ می‌دهد، تولید می‌شوند.

فرایند تخمیر در دما، فشار، pH و غلظت مناسب و در شرایط سترون<sup>۱</sup> در یک محیط مغذی رخ می‌دهد. برای مثال، با یک محیط سترون شده مغذی حاوی قند مانند ملاس حاصل از فرایند تولید شکر که توسط مواد مغذی مانند یون‌های نیترات، منیزیم، سولفات، اوره و آهن غنی شده است و سپس قارچ میکروسکوپی (آسپر جیلوس نایچر) به میزان ۰/۵٪ به آن اضافه شده باشد، در دمای مناسب و همراه با هوادهی پس از ۱۶۸ ساعت قند موجود در این مخلوط به سیتریک‌اسید تبدیل می‌شود. مواد مغذی در این فرایند نقش مواد افزودنی دارند که عملیات را با بهره‌ی زیاد به سمت تولید محصول هدایت می‌کنند. برعکس، ریزاندامگان می‌توانند تأثیر مخرب بر محصولات داشته باشند و مانند یک آفت محصول را تخریب کنند. جلوگیری از رشد و فعالیت این ریزاندامگان توسط آفت‌کش‌ها انجام می‌شود. همچنین برخی محصولات زیست‌شناختی، مانند آنزیم‌ها، نقش مؤثری در بهبود کیفیت محصولات و فرایندها دارند. آنزیم *آلفا آمیلاز* در فرایند پخت و تولید نان، نشاسته را به قند تبدیل می‌کند و قندها نیز تحت تأثیر ریزاندامگان به انواع الکل و مواد آلی معطر تبدیل می‌شوند که عطر و طعم نان را بهبود می‌بخشد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- کاربردهای مختلف آنزیم آلفا - آمیلاز

در شوینده‌های جدید، طیف وسیعی از آنزیم‌هایی مانند لیپاز، پروتئاز و آمیلاز وجود دارند که لکه‌های مرسوم لباس مانند چربی را از روی لباس‌ها با تجزیه کردن آنها پاک می‌کنند.

در مورد آنزیم لیپاز و کاربرد آن تحقیق کنید.

تحقیق کنید  
۶



۱- منظور از سترون، استریلیزه کردن محیط تخمیر است تا تمامی ریزاندامگان موجود در آن کشته شوند. در فرایندهای تخمیر، استریل کردن توسط گرما انجام می‌شود.

## تأثیرات مواد افزودنی با تأثیر زیست‌شناختی عبارت‌اند از:

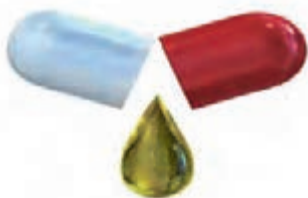
- ۱- **تأثیرات آنزیمی:** آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، لیپاز، آمیلاز و سلولاز و آلفا‌آمیلاز نقش تجزیه مواد مختلف به محصولات دیگر را دارند به‌عنوان مثال لیپاز چربی‌ها را به گلیسرین و اسید چرب تجزیه می‌کند.
- ۲- **تأثیرات آفت‌کش‌ها:** آفت‌های مختلف از حشرات تا انواع باکتری و میکروب و ویروس و قارچ توسط این مواد یا کشته می‌شوند یا از رشد و تکثیر آنها جلوگیری می‌شود.
- ۳- **تأثیرات دارویی و درمانی:** مواد مؤثر دارویی<sup>۱</sup>، بیماری‌های موجودات زنده را درمان می‌کند و یا از پیشرفت بیماری‌ها جلوگیری می‌کند.
- ۴- **تأثیرات فرایندی:** به کمک علم زیست‌فناوری، امروزه بسیاری از فراورده‌ها نظیر اسیدهای آلی و الکل‌ها توسط ریزاندامکان و با فرایند تخمیر تولید می‌شوند.

## انواع مواد افزودنی با تأثیر زیست‌شناختی

انواع افزودنی‌ها با تأثیرات زیست‌شناختی عبارت‌اند از:

- ✓ مواد مؤثره دارویی
  - ✓ آفت‌کش‌ها (عوامل ضد جلبک و لجن، مواد ضد میکروب، مواد ضد باکتری و کشنده باکتری و مواد ضد قارچ و قارچ‌کش)
  - ✓ آنزیم‌ها
- در ادامه توضیح برخی از افزودنی‌ها با تأثیر زیست‌شناختی آورده شده است.

**مواد مؤثر دارویی:** ماده مؤثر دارویی آن قسمت از هر دارو است که عمل درمان را انجام می‌دهد (شکل ۱۷). شرکت‌های دارویی انواع دارو مانند شربت، قرص و پماد را با استفاده از مواد مؤثر دارویی و مواد افزودنی عرضه می‌کنند. برای مثال، یک قرص استامینوفن ۲۵۰، حاوی ۲۵۰ میلی گرم ماده مؤثر دارویی پاراستامول<sup>۲</sup> است و باقیمانده آن از مواد پرکننده‌ای تشکیل شده است که به قرص، حجم و وزن مناسب را می‌دهد.



شکل ۱۷- ماده مؤثر دارویی، قسمت کوچک و اصلی داروست که درمان را انجام می‌دهد.

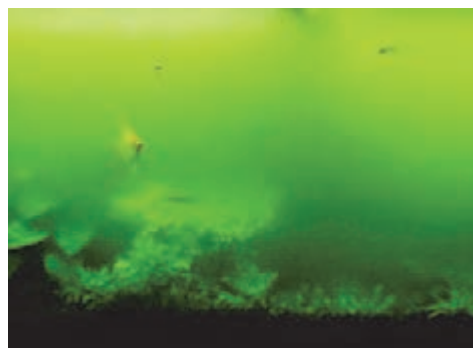
**آفت‌کش‌ها:** این مواد ترکیبات شیمیایی یا زیست‌شناختی هستند که برای کشتن یا توقف فعالیت آفت‌های زیست‌شناختی مانند میکروب‌ها، قارچ‌ها، حشرات و گیاهان به کار می‌روند و در محصولات یا فرایندهایی که در معرض رشد باکتری و فساد زیست‌شناختی هستند، استفاده می‌شود.

۱- Active Pharmaceutical Ingredients (API)

۲- Paracetamol

این مواد به شکل‌های مایع، محلول حقیقی، کلویید و مخلوط معلق یا پودر و گرانول وجود دارند. انواع گوناگون آفت‌کش‌ها عبارت‌اند از:

**عوامل ضد جلبک و لجن<sup>۱</sup>:** تمامی محیط‌های آبی از چسب‌ها و رنگ‌های آب پایه و سایر محیط‌های آبی مانند برج‌های خنک‌کننده، مبدل‌های گرمایی، حوضچه‌های پرورش ماهی، سازه‌ها و تجهیزات دریایی در معرض خطر رشد جلبک‌ها (شکل ۱۸) و ایجاد لجن هستند که باعث خسارت به محصولات یا فرایند می‌شود؛ از این‌رو، در این موارد از مواد ضد جلبک و آلودگی زیستی استفاده می‌شود.



شکل ۱۸- تشکیل جلبک در محیط‌های آبی

این خسارات شامل گرفتگی مسیرها، خراب و فاسد شدن محصولات و کاهش بهره‌مبدل‌های گرمایی به دلیل آلودگی سطوح هستند. موادی مانند بنزالکونیوم کلرید، مس (II) سولفات و بسیاری از مواد شیمیایی دیگر چنین کاربردی دارند.

#### مواد کشنده جلبک‌ها

فیلم آموزشی



**مواد ضد میکروب<sup>۲</sup>:** تمام میکروب‌ها بیماری‌زا نیستند. مواد ضد میکروب، یا کشنده میکروب‌ها هستند و یا مانع رشد آنها می‌شوند. میکروب‌های غیربیماری‌زا می‌توانند باعث تغییر طعم و بو و رنگ محصولات یا کاهش زمان نگهداری آنها شوند و یا با رشد زیاد، باعث ایجاد لجن و گرفتگی در مسیرها و آلودگی سطوح در فرایندها گردند. مواد شیمیایی زیادی مانند کلر، الکل‌ها، پرسولفات‌ها، ترکیبات فنول و فلزات سنگین مانند نقره و جیوه کشنده میکروب‌ها، در محیط‌ها و فرایندهای مختلف هستند.

**مواد ضد باکتری و باکتری‌کش‌ها<sup>۳</sup>:** مواد ضد باکتری، رشد باکتری‌ها را متوقف می‌کنند و باکتری‌کش‌ها، باکتری‌های موجود را می‌کشند. این دسته از مواد به صورت عام ضد عفونی‌کننده نامیده می‌شوند و شامل موادی مانند کلر، پرسولفات‌ها، ترکیبات فنول و فلزات سنگین مانند نقره و جیوه و ترکیبات آنها هستند. مشهورترین فرایند از این نمونه، تصفیه آب است که توسط گاز کلر ضد عفونی می‌شود. در پزشکی، بسیاری از عفونت‌های پوستی توسط ترکیبات نقره، جیوه و روی به صورت پماد درمان می‌شوند.

۱- Algicides

۲- Germicides or Antimicrobial Agents

۳- Antibacterial Agents and Bactericides





شکل ۱۹- سم افلاتوکسین پسته

مواد ضدقارچ و قارچ کش‌ها<sup>۱</sup>: این ترکیبات یا قارچ‌ها را می‌کشند و یا فعالیت آنها را متوقف می‌کنند. بیشتر خسارت قارچ‌ها در محصولات کشاورزی است. سم افلاتوکسین<sup>۲</sup> که ناشی از فعالیت گونه‌هایی از قارچ‌ها است، محصولات کشاورزی مانند پسته را آلوده می‌کند (شکل ۱۹).

برگ‌های انگور و بسیاری دیگر از گیاهان نیز مورد حمله قارچ‌ها قرار می‌گیرند. از جمله مواد قارچ کش می‌توان به گوگرد، عصاره برخی از گیاهان مانند رزماری و تنباکو اشاره کرد. از قارچ کش‌های مصنوعی می‌توان به مانب<sup>۳</sup>، زینب<sup>۴</sup> و مانکوزب<sup>۵</sup> اشاره کرد.

قارچ‌های میکروسکوپی می‌توانند در محیط‌های مختلف نیز باعث تخریب محصولات شوند. نمونه‌ای از این نوع قارچ‌ها را می‌توان بالای بطری‌هایی که در آنها آب غوره خانگی نگهداری می‌شود و یا هنگام فساد مواد غذایی مانند نان و میوه‌ها مشاهده کنید.

چنانچه میوه‌ها، توسط مواد ضدآفت ضدعفونی شوند، قابلیت نگهداری بیشتری دارند.

زیست کش‌ها<sup>۶</sup>



۱- در رابطه با صابون‌های ضدقارچ تحقیق کنید:  
۲- در مورد قارچ کش‌های مانب، زینب و مانکوزب تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

نکته



فیلم آموزشی



تحقیق کنید

۷



۱- Fungicides and Fungicidal Agents

۲- Aflatoxin

۳- Maneb

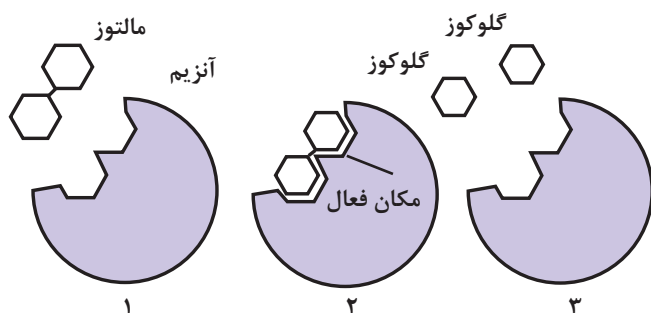
۴- Zineb

۵- Mancozeb

۶- Biocides عوامل و موادی که باعث کشته شدن ریزاندامکان می‌شوند، بایوساید نامیده می‌شوند.



**آنزیم‌ها:** آنزیم‌ها مولکول‌های پروتئینی هستند که مانند کاتالیزورها فرایند زیستی را سرعت می‌بخشند و در دما و pH خاصی فعال می‌شوند. آنزیم‌ها در محیط آبی محلول هستند و فعالیت آنها به وجود آب وابسته است و هر کدام فعالیت خاصی را انجام می‌دهند. برای مثال، آنزیم لیپاز چربی‌ها را به گلیسرین و اسید چرب تجزیه می‌کند.



شکل ۲۰- مولکول مالتوز توسط آنزیم، به مولکول گلوکوز شکسته می‌شود.

آنزیم‌ها فعالیت‌های زیر را تسریع و ممکن می‌کنند:

- تجزیه مولکول‌های بزرگ مواد به کمک آب
  - برداشتن یا افزایش گروه‌های عاملی یا ایجاد و حذف پیوند دوگانه روی مولکول‌ها
  - بازآرایی و تغییر آرایش مولکول‌ها
- شکل ۲۰، تبدیل مولکول مالتوز به مولکول گلوکوز را توسط آنزیم نشان می‌دهد.

فیلم آموزشی



آنزیم‌ها

## فعالیت عملی ۱۹



### به کارگیری فرمالین در حذف کپک

**مواد لازم:** نشاسته، آب، مواد لازم برای تهیهٔ مرکب خوشنویسی (گل سرخ، پودر آه‌ن)، فرمالین و **وسایل لازم:** ارلن و بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری، گرم‌کن، همزن شیشه‌ای، پتری دیش

### روش کار:

- ۱ یک نمونهٔ فسادپذیر مانند مرکب خوشنویسی یا محلولی از نشاسته تهیه کنید.
  - ۲ برای تهیهٔ محلول نشاسته، ۴ گرم نشاسته را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب سرد حل کنید و سپس همراه با هم‌زدن، گرما دهید تا پخته شود.
  - ۳ نمونه را دو قسمت کنید و هر کدام را در یک پتری‌دیش جداگانه بریزید. به یکی از پتری‌دیش‌ها مقدار کمی مادهٔ آفت‌کش مانند محلول فرمالین اضافه کنید.
  - ۴ هر دو پتری‌دیش را در محیط آزاد قرار دهید و پس از یک هفته، محتویات پتری‌دیش‌ها را از دیدگاه ظاهر و بو بررسی کنید.
- کدام یک دچار فساد شده است؟ چرا؟

یک نمونه محصول بهداشتی مانند خمیر دندان را انتخاب کنید و نوع مادهٔ محافظ (با اثر زیست‌شناختی) در آن را مشخص نمایید.

تحقیق کنید

۸



## فعالیت عملی ۲۰



### تأثیر مواد افزودنی برای تولید محصول جدید

**مواد لازم:** شیر، ماست، خامه، افزودنی‌های گیاهی معطر مانند سیر، نعناع، میوه و غیره  
**وسایل لازم:** بشر ۱۰۰۰ میلی‌لیتری، قاشق غذاخوری

#### روش کار:

- ۱ نیم‌لیتر شیر را بجوشانید و اجازه دهید تا حدود ۱۰ درصد از آن تبخیر شود و سپس سرد کنید تا به دمای حدود  $45^{\circ}\text{C}$  برسد.
- ۲ به دو قاشق ماست، یک تا دو قاشق خامه بیفزایید و هم بزنید.
- ۳ مخلوط ماست و خامه را به شیر بیفزایید.
- ۴ محتویات مذکور را به مدت سه تا چهار ساعت در جای گرم نگهداری کنید.
- ۵ سپس تا سرد شدن کامل، درون یخچال قرار دهید.
- با این فرایند، فراورده جدید ماست خامه‌ای تهیه شده است.
- تحقیق کنید طی فرایند تبدیل شیر به ماست چه اتفاقی رخ می‌دهد.
- وجود خامه، چه ویژگی‌هایی را در ماست تهیه شده ایجاد می‌کند.
- به ماست تولیدشده می‌توانید افزودنی‌های دیگر مانند موسیر، سبزیجات معطر، میوه‌جات و غیره بیفزایید تا محصولات جدیدتری تولید کنید.

یک محصول کشاورزی، دارویی، غذایی و یا بهداشتی را در نظر بگیرید و تحقیق کنید چه عوامل زیست‌شناختی می‌تواند باعث فساد آنها شود و به کمک چه مواد افزودنی می‌توان از فساد آنها جلوگیری کرد.

تحقیق کنید  
۹



## پرسش

- ۱ با توجه به شکل ۱ کتاب، به نظر شما چرا درصد و نوع افزودنی‌ها در روغن‌های با کاربردهای مختلف متفاوت است؟
- ۲ وظایف اصلی مواد افزودنی را نام ببرید.
- ۳ در مورد هر یک از نقش‌های مواد افزودنی شامل پرکنندگی، پایدارکنندگی و بهبوددهندگی دو مثال بزنید.
- ۴ در گذشته پس از پخت نان مقداری از خمیر کنار گذاشته می‌شد تا در تولید خمیر بعدی استفاده شود. به نظر شما دلیل آن چه بوده است؟
- ۵ افزودنی‌ها چه خواصی به محصولات می‌دهند؟ مثال بزنید.
- ۶ مقدار و روش افزودن مواد افزودنی به محصولات چگونه تعیین می‌شود؟
- ۷ فرایندهای ناپیوسته، افزودنی‌ها چگونه به محصولات اضافه می‌شوند؟
- ۸ مستریچ چیست و چگونه تولید می‌شود؟

- ۹ یک غذای خانگی را در نظر بگیرید و تحقیق کنید که از چه موادی تهیه می‌شود و کدام یک از این مواد می‌تواند نقش افزودنی را داشته باشد. سپس تحقیق کنید که چه مواد دیگری می‌توان به‌عنوان افزودنی به آن اضافه کرد تا محصول بهتری تولید نمود.
- ۱۰ در تولید بعضی از رنگ‌ها، از حلال‌های آلی استفاده می‌شود. به نظر شما این حلال‌ها چه تأثیری بر محیط‌زیست دارند؟
- ۱۱ رنگ خودرو را در نظر بگیرید. به نظر شما هر کدام از افزودنی‌های زیر چه تأثیری بر کیفیت رنگ هنگام استفاده و پس از خشک شدن دارد؟
- مواد ضدپرتوافش، رنگ‌دانه، مواد ضدکف، غلظت‌دهنده
- ۱۲ مواد ضدکیک چه نقشی در محصولات جامد دارند؟ مثال بزنید.
- ۱۳ گرانروی چه نقشی در محصولات تولید دارد و چگونه می‌توان گرانروی را در محصولات تولیدی افزایش داد؟
- ۱۴ مواد نرم‌کننده یا پلاستی‌سایزرها چه تأثیراتی بر محصول تولیدشده می‌گذارند؟
- ۱۵ افزودنی با عملکرد شیمیایی چیست و چه نقشی در محصولات یا فرایندها دارند؟
- ۱۶ مواد افزودنی ایجادکننده پیوندهای عرضی چه تأثیری بر خواص لاستیک می‌گذارند؟
- ۱۷ عوامل پخت و سخت‌کننده چه موادی هستند؟ با ذکر یک مثال نقش آنها را شرح دهید.
- ۱۸ مواد حفاظت از خوردگی چه نقشی در فرایندها و محصولات دارند؟
- ۱۹ منظور از رباینده مواد اسیدی چیست؟ مثال بزنید.
- ۲۰ انواع مواد افزودنی با تأثیرات زیستی را نام ببرید.
- ۲۱ ماده مؤثر دارویی چیست؟
- ۲۲ آنزیم‌ها چه فعالیت‌هایی را تسریع و یا ممکن می‌کنند؟
- ۲۳ روش تولید پنیر در گذشته به شرح زیر بوده است. به یک بزغاله یا بَرّه تازه متولدشده شیر می‌خوراندند. سپس آن را ذبح می‌کردند و محتویات معده آن را خالی کرده و به‌عنوان مایه پنیر نگهداری می‌کردند. هنگام تولید پنیر مقداری از این ماده را به شیر می‌افزودند تا پنیر تشکیل شود. به نظر شما چه ماده‌ای در معده حیوان ذبح‌شده وجود دارد که باعث تولید پنیر می‌شود؟

## ارزشیابی شایستگی کاربرد مواد افزودنی در صنایع شیمیایی

<p><b>شرح کار:</b></p> <p>چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد.</p> <p>هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.</p> <p>پس از انجام کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</p>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b> به کارگیری مواد افزودنی فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی طبق استاندارد.</p>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>■ رعایت مسائل ایمنی هنگام کار</p> <p>■ انجام کار طبق دستور کار</p>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>شرایط مکان: آزمایشگاه</p> <p>شرایط دستگاه: آماده به کار</p> <p>زمان: یک جلسه آموزشی</p> <p>ابزار و تجهیزات: وسایل شیشه‌ای آزمایشگاهی، ترازو، آسیاب، همزن برقی، مخلوط‌کن، اون</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری مفاهیم مواد افزودنی	۱	
۲	به کارگیری مواد افزودنی فیزیکی	۲	
۳	به کارگیری مواد افزودنی شیمیایی	۲	
۴	به کارگیری مواد افزودنی زیست‌شناختی	۱	
<p><b>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:</b></p> <p>۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی</p> <p>۲- نگرش: صرفه‌جویی</p> <p>۳- توجهات زیست‌محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت‌وپاش</p> <p>۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی</p> <p>۵- مستندسازی: گزارش‌نویسی</p>			
میانگین نمرات			*
* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.			





پودمان پنجم

## آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد غذایی



وظیفه بخش کنترل کیفیت مواد غذایی، اندازه‌گیری‌های لازم مطابق با استانداردهای تدوین شده و همکاری با سازمان‌های نظارتی است.

## واحد یادگیری ۵

### آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد غذایی

#### مقدمه

تعدادی از بیماری‌ها، ناشی از باکتری‌های مضر، ویروس‌ها، انگل‌ها و یا مواد شیمیایی است که در مواد غذایی ایجاد می‌شوند. از این رو، تولید غذای سالم و مناسب و سامانه‌های ایمن مواد غذایی حائز اهمیت هستند. در این پودمان مفاهیم کنترل کیفیت، استانداردهای محلی و بین‌المللی، اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی مواد غذایی آورده شده است. هنرجویان به‌طور عملی آزمایش‌های کنترل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی مواد غذایی را انجام می‌دهند.

#### استاندارد عملکرد

انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی کنترل کیفیت مواد غذایی طبق استاندارد

شایستگی‌های غیرفنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت‌شناسی - انجام وظایف و کارهای سپرده شده - پیروی از قوانین
- ۲ مدیریت منابع: شروع به موقع کار - مدیریت مؤثر زمان - استفاده از مواد و تجهیزات
- ۳ کار گروهی: حضور فعال در کارهای گروهی - انجام کارها و وظایف سپرده شده
- ۴ مستندسازی: گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
- ۵ محاسبه و کاربست ریاضی

شایستگی‌های فنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

- ۱ مفاهیم کنترل کیفیت در مواد غذایی را به کار گیرند.
- ۲ آزمایش‌های فیزیکی کنترل کیفیت در مواد غذایی را انجام دهند.
- ۳ آزمایش‌های شیمیایی کنترل کیفیت در مواد غذایی را انجام دهند.
- ۴ آزمایش‌های زیست‌شناختی کنترل کیفیت در مواد غذایی را انجام دهند.

## مفاهیم کنترل کیفیت در صنایع غذایی

بحث‌گروهی

۱



از تصویرهای زیر، چه مطالبی استنباط می‌کنید؟



در دین مبین اسلام با آیات و احادیث مختلف بر ایمن و سالم بودن غذا تأکید فراوانی شده است. در مورد مفهوم و ترجمه آیات زیر تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

«فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ: پس انسان باید در غذای خود بنگرد» سوره عبس/ آیه ۲۴

«يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَ...: ای مردم، از آنچه در زمین حلال و پاکیزه است بخورید...» سوره بقره/ آیه ۱۶۸

«كُلُوا مِنْ طَيِّبَاتِ مَا رَزَقْنَاكُمْ وَلَا تَطْغَوْا فِيهِ فَيَحِلَّ عَلَيْكُمْ غَضَبِي: (و دستور دادیم که) از این رزق حلال و پاکیزه که نصیبتان کردیم تناول کنید و در آن (به کفر نعمت و ترک شکرگزاری) طغیان و سرکشی نکنید و گرنه مستحق غضب و خشم من می‌شوید» سوره طه/ آیه ۸۱

برخی از بیماری‌ها که موجب مرگ و میر کودکان می‌شود، ناشی از باکتری‌های مضر، ویروس‌ها، انگل‌ها و یا مواد شیمیایی است که در مواد غذایی ایجاد می‌شوند. از این روی تولید غذای سالم و مناسب و سامانه‌های ایمن مواد غذایی حائز اهمیت هستند. در گزارش سازمان جهانی بهداشت<sup>۱</sup> تخمین زده شده است، سالیانه حدود ۲/۲ میلیون نفر در جهان در اثر بیماری‌های گوارشی ناشی از آب و غذای ناسالم جان خود را از دست می‌دهند. به همین دلیل این سازمان شعار خود در سال ۲۰۱۵ میلادی را «ایمنی غذا از مزرعه تا سفره» در نظر گرفت.

۱- World Health Organization (WHO)



غذای سالم، عاری از عوامل بیماری‌زای زیستی، شیمیایی و فیزیکی است و چنانچه مراحل تولید، آماده‌سازی و بسته‌بندی آن بر اساس قواعد استاندارد و نیاز مشتری انجام شده باشد، غذای مناسب نامیده می‌شود. در فرایند تولید غذای سالم و مناسب کل زنجیره تولید غذا از زمین‌های کشاورزی و مزارع دام و طیور و آبریان گرفته تا فرایند تولید و تبدیل و بسته‌بندی و انتقال آن به دست مشتری، علاوه بر تولیدکنندگان، مجموعه‌های استاندارد و قانون‌گذار نیز بر آن نظارت کافی دارند (شکل ۱).



شکل ۱- نظارت بر مواد غذایی در تمامی مراحل

قسمتی از عملیات تولید غذای سالم و مناسب بر دوش بخش کنترل کیفیت تولیدکنندگان مواد غذایی است که عملیات کنترل کیفیت غذا را بر اساس دستورکارهای استاندارد و بین‌المللی انجام می‌دهند. در این مبحث تمرکز بر آزمایشگاه کنترل کیفیت مواد غذایی و وظایف آن است که خود بخشی از سامانه جامع مدیریت کیفیت<sup>۱</sup> است.

فیلم آموزشی

ایمنی غذا



## کنترل کیفیت<sup>۲</sup>

کیفیت در طول تاریخ تعاریف مختلفی در بخش صنعت داشته است که برخی از آنها در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

۱- مطابق استاندارد ISO ۹۰۰۱:۲۰۰۰ مدیریت کیفیت (Quality Management) یعنی نظارت بر فرایند ساخت و تولید محصول برای ایجاد اطمینان از مطابقت محصول با آنچه مورد نظر طراح یا مشتری بوده است. این نظارت از مرحله دریافت و سفارش مواد اولیه تا خدمات پس از فروش را شامل می‌شود.

۲- Quality Control (QC)

## جدول ۱- سیر تاریخی تعریف کیفیت در دهه‌های مختلف

ردیف	دهه میلادی	مفهوم کیفیت
۱	۵۰	درجه مطابقت محصول با استانداردهای از قبل تعیین شده
۲	۶۰	تطابق با استاندارد و تأمین نیاز مشتری
۳	۷۰	بازرسی محصولات تولیدشده همراه با ارضای نیاز مشتری با کمترین هزینه تولید همراه با بازرسی محصول و کنترل فرایند تولید
۴	۸۰	ارضای نیاز مشتری با کمترین هزینه و بالاترین قابلیت اطمینان
۵	۹۰	به هدف زدن برای ارضای نیازهای پایه، تصریحی و پنهان مشتری با کمترین هزینه و بالاترین قابلیت اطمینان <sup>۱</sup>

با توجه به تنوع محصولات تولیدی و جمع‌بندی دیدگاه‌های مختلف کیفیتی، تعریف جامع امروزی از کنترل کیفیت، عبارت از «تولید محصول با ویژگی‌های کیفیتی از جمله شکل، اندازه، استحکام، ترکیب و رنگ مطابق با استانداردهای مورد قبول مشتری برای تأمین نیازهای پایه، تصریحی و پنهان مشتری با کمترین هزینه و بالاترین قابلیت اطمینان است».

اهداف کیفیتی یک محصول، تولید بدون نقص با ضایعات صفر است، که نیازمند طراحی و اجرای یک سامانه مدیریت کیفیت، بر اساس مراحل زیر است:

- ۱ تخمین و ارزیابی نیازهای کیفی مشتریان محصول
- ۲ تدوین اهداف و جهت‌گیری‌های لازم، برای رسیدن به نیاز کیفی مشتری توسط مدیران ارشد سازمان، که خط‌مشی کیفیت نامیده می‌شود.
- ۳ اجرای سامانه مدیریت کیفیت که شامل کنترل کیفیت<sup>۲</sup>، بهبود کیفیت<sup>۳</sup> و تضمین کیفیت<sup>۴</sup> است.

در ارتباط با اجرای سامانه مدیریت تولید تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۱



۱- برای مثال نیاز پایه یک مشتری برای تلویزیون این است که تصویر و صدای خوبی داشته باشد. منظور از نیاز تصریحی این است که تلویزیون علاوه بر نیاز پایه، یک نیاز دیگر را برطرف کند، مثلاً تله‌تکست داشته باشد و نیاز پنهان، نیاز مهبیج است که مشتری را غافلگیر می‌کند؛ مثلاً تلویزیون قابلیت اتصال فلش مموری دارد که به این نوآوری گفته می‌شود.

۲- کنترل کیفیت بخشی از سامانه مدیریت کیفیت است که وظیفه آن حصول اطمینان از برآورده شدن نیازهای کیفی محصول در راستای خط‌مشی کیفیت و بر اساس استانداردهای تدوین شده و قوانین موجود سازمان‌های نظارتی است.

۳- Quality Improvement

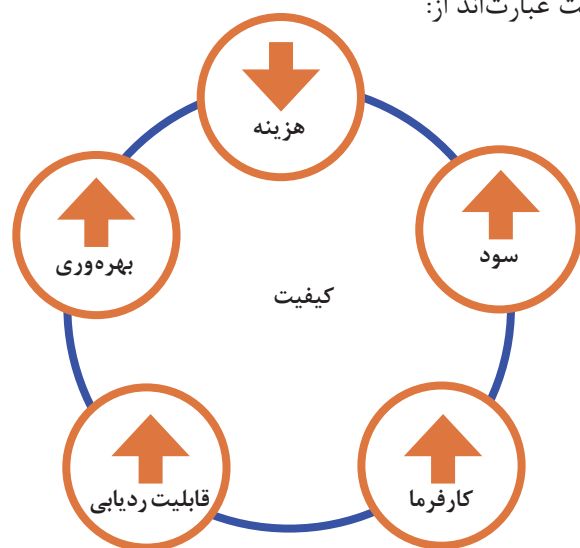
۴- Quality Assurance



## کنترل کیفیت

## مزایای سامانه مدیریت کیفیت

ایجاد سامانه مدیریت کیفیت و در سایه کنترل کیفیت، یک ارتباط چندسویه بین تولیدکننده، مصرف کننده محصول و سازمان های نظارتی است که علاوه بر ایجاد حس اعتماد در مشتری، باعث سهولت در روش های تولید و کاهش هزینه ها می شود و به بقای محصول در بازار کمک می کند. مطابق شکل ۲، برخی از منافع سامانه مدیریت کیفیت عبارت اند از:



- ۱ ارتقای کیفیت محصول
- ۲ ایجاد سامانه ردیابی و شناسایی محصول
- ۳ برخورداری از کارکنان شایسته و آموزش دیده
- ۴ مشخص بودن وظایف و اختیارات کارکنان
- ۵ توجه به خرید مواد اولیه مرغوب
- ۶ افزایش و حفظ رضایت مشتری
- ۷ بهبود بازاریابی
- ۸ پیشرفت تجارت بین المللی
- ۹ افزایش سود، کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری

شکل ۲- اثر بخشی سامانه مدیریت کیفیت بر موضوعات مرتبط با کیفیت

## وظایف سامانه مدیریت کیفیت

کارکنان بخش کنترل، بهبود و تضمین کیفیت باید تسلط کافی به موارد زیادی داشته باشند که برخی از آنها عبارت اند از:

- ۱ کنترل پیوسته محصولات تولیدی بر اساس دستورکارها و استانداردهای بین المللی و محلی که توسط شرکت و یا سازمان های نظارتی مانند اداره استاندارد تعیین شده است.
- ۲ اجرا و اطمینان از انطباق برنامه های کیفیتی شرکت شامل نظارت بر محیط زیست، کنترل آفت ها، بهداشت، اجرای شیوه های تولید خوب به روزرسانی شده (CGMP<sup>۱</sup>) برای تضمین ایمنی و سلامت محصول تولیدی.
- ۳ نظارت بر آزمایشگاه های میکروبیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی کنترل کیفیت.
- ۴ آموزش کارمندان جدید و موجود، از جمله کارکنان کنترل کیفیت، مدیریت، رسیدگی به شکایات.

## کنترل کیفیت در صنایع غذایی

وظیفه بخش کنترل کیفیت یک کارخانه مواد غذایی در همکاری با سایر بخش‌های سامانه مدیریت کیفیت، بازرسی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی از مواد خام اولیه، محصولات نهایی، واسطه و فرایند تولید برای اطمینان از برآورده شدن و حفظ استانداردهای تعریف شده است.

مواد خام ورودی شامل مواد اولیه و حتی آب و هوای فشرده ورودی به خط تولید می‌توانند منشأ بسیاری از خطرات فیزیکی مانند گل‌ولای، خطرات شیمیایی مانند انواع سموم و خطرات زیستی مانند انواع قارچ، باکتری، ویروس، حشرات و تخم آنها باشند.

بخشی از آلودگی‌ها مانند آدامس جویده شده، ته‌سیگار توسط کارکنان و یا بازدیدکنندگان کارخانه و برخی از آلودگی‌ها توسط سایر موجودات مانند موش و سوسک که به شکلی به کارخانه راه پیدا می‌کنند، وارد چرخه تولید می‌شود.

به علاوه در طول فرایند تولید، نوسانات متغیرهای فرایندی مانند دما و فشار و مشکلات مکانیکی تجهیزات مانند نشستی روغن و گریس بر کیفیت تأثیر می‌گذارند.

از این روی باید برای تمام این موارد روش‌های سنجش و کنترل استاندارد عملیاتی شیمیایی، فیزیکی و زیستی وجود داشته باشند و نتایج و گزارش‌های مربوط مستند شوند.

کنترل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی دارای سه مرحله به شرح ذیل است:

۱ بازرسی و کنترل کیفیت مواد خام ورودی به گونه‌ای که مواد با کیفیت بد در ورودی‌ها نباشد.

۲ کنترل تمامی متغیرهای فرایند تولیدی مانند دما، فشار، غلظت‌ها و نیز تجهیزات تولید و دستورکارهای روش تولید محصول

۳ بازرسی کیفی و کمی محصول نهایی تا رسیدن محصول با کیفیت به دست مشتری.

### استانداردهای محلی و بین‌المللی کنترل کیفیت

روش سنتی کنترل کیفیت شامل نمونه‌برداری تصادفی از مواد اولیه و محصول نهایی تولید شده است. در این روش هیچ اطلاعاتی از فرایند تولید و خطرات آن وجود ندارد. به علاوه روش‌های آزمون کیفی، محلی و اغلب ابتدایی بودند؛ به همین دلیل، تعداد محصولات معیوب در روش‌های سنتی زیاد است و نظارت کیفی دقیقی بر محصول هنگام تولید و پس از خروج از کارخانه وجود ندارد.

امروزه با حمایت‌های بین‌المللی سازمان جهانی بهداشت، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد<sup>۱</sup> و نیز سازمان بین‌المللی استاندارد<sup>۲</sup>، سامانه‌های مدیریت ایمنی غذا و الزامات آن برای تمام قسمت‌های زنجیره تولید مواد غذایی به صورت جهانی هماهنگ شده است و مجموعه کاملی از دستورکارها و استانداردهای تخصصی در کارگروه‌های مختلف تدوین شده‌اند که به تولید غذای مناسب و سالم کمک می‌کند.

در ایران متولیان این امر سازمان ملی استاندارد ایران، وزارت جهاد کشاورزی، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و وزارت بازرگانی و صنعت و معدن هستند که در تعامل با یکدیگر و نیز تولیدکنندگان مواد غذایی در اجرای این استانداردها می‌کوشند.

۱- Food and Agriculture Organization (FAO)

۲- International Organization for Standardization (ISO)

برای مثال، استاندارد شماره ۱۸۳۶ سازمان ملی استاندارد ایران در مورد انبار کردن مواد غذایی الزامات زیر را بیان می‌کند:

- در صورت لزوم باید تسهیلات کافی برای انبار کردن مواد غذایی، مواد تشکیل‌دهنده، مواد شیمیایی غیرخوراکی (مانند: مواد تمیزکننده، روان‌کننده‌ها و سوخت‌ها) فراهم باشد.
- تسهیلات انبار کردن مواد غذایی باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شود که حفظ و تمیز کردن آنها امکان‌پذیر باشد.
- از ورود، تجمع و لانه‌گزینی آفات جلوگیری شود.
- در هنگام انبار کردن مواد غذایی، به خوبی از آلودگی محافظت شوند.
- در صورت لزوم با کنترل دما و رطوبت، محیطی فراهم شود که فساد مواد غذایی به کم‌ترین مقدار برسد.

فیلم آموزشی



شیوه‌های تولید خوب (GMP)

## کار گروه مقررات مواد غذایی

کار گروه مقررات مواد غذایی یا کدکس مواد غذایی، کارگروهی مشترک بین دو سازمان خواربار کشاورزی و بهداشت جهانی است که در سال ۱۹۶۳ میلادی به دلیل اهمیت و لزوم تدوین استانداردهای غذایی ایجاد شد. این کارگروه، تدوین استانداردها را به‌طور واحد و یکسان برعهده دارد و اجلاسیه آن هر سال در مقر یکی از سازمان‌های مذکور برگزار می‌شود. در حال حاضر ۱۸۶ کشور از جمله جمهوری اسلامی ایران عضو این کارگروه هستند و در تهیه استانداردها و اجرای آن مشارکت دارند.

اهداف این کارگروه عبارت‌اند از:

- ۱ حفظ منافع و بهداشت مصرف‌کنندگان
- ۲ تسهیل روابط تجاری و هماهنگ شدن اقدامات انجام‌شده در زمینه مواد غذایی
- ۳ هماهنگ نمودن تمامی فعالیت‌های استاندارد مواد غذایی در بخش‌های دولتی و غیردولتی
- ۴ تعیین اولویت و ارائه راهنمایی‌های لازم در زمینه پیش‌نویس‌های استاندارد با کمک سازمان‌های ذی‌نفع
- ۵ نهایی کردن استانداردها و انتشار آنها

بیشتر بدانید



### استاندارد ایزو

سازمان بین‌المللی استاندارد یا به اختصار «ایزو» سازمانی غیردولتی با اعضای متشکل از سازمان‌های استاندارد کشورهای جهان است. ایزو بزرگ‌ترین توسعه‌دهنده استانداردهای بین‌المللی و تسهیلات تجاری با تدوین استانداردهای مختلف است. حدود ۲۰۰۰۰ استاندارد، که از محصولات تولیدی گرفته تا فناوری تولید، ایمنی غذا و کشاورزی و بهداشت و سلامتی را پوشش می‌دهد، توسط این سازمان تدوین شده است و در اختیار جامعه جهانی قرار گرفته است.

استاندارد ISO ۲۲۰۰۰ یک استاندارد جامع مدیریت ایمنی غذا است که مؤسسات فعال در زنجیره تأمین و تولید غذا از آن به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم استفاده می‌کنند.



پس از پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی، صنایع غذایی دومین تولیدکننده فاضلاب صنعتی هستند که نوع فاضلاب آنها علاوه بر ضایعات شیمیایی حاوی ضایعات مخرب و آلوده‌کننده زیستی است. از این روی، ایجاد تصفیه‌خانه و بازیافت فاضلاب در این صنعت موضوع مهمی است.

۱ استاندارد ایزو ۲۲۰۰۰

۲ روش استفاده از تارنمای سازمان ملی استاندارد ایران

### فعالیت عملی ۱



#### تهیه استانداردهای تجزیه و تحلیل مواد غذایی

#### روش کار:

از تارنمای سازمان ملی استاندارد ایران به نشانی <http://standard.isiri.gov.ir> دو نمونه از روش‌های تجزیه و تحلیل مواد غذایی مانند ISIRI ۲۵۵۳ و ISIRI ۱۹۱ را تهیه کنید.

### نمونه برداری

نمونه‌برداری فرایندی است که در طی آن بخشی از اعضای یک مجموعه به‌عنوان نماینده، معرف کل آن مجموعه انتخاب می‌شود. نمونه گرفته‌شده باید به اصطلاح، مشت نمونه خروار باشد (شکل ۳) و بدون تغییر در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی آن، مشابه با مشخصات نمونه آزمایشگاه باشد. برای دستیابی به اطلاعات مطلوب و قابل اعتماد کیفی، نمونه‌برداری صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین منظور، به یک برنامه نمونه‌برداری کامل نیاز است تا اهداف نمونه‌برداری و پایش تأمین شود.



شکل ۳- نمونه باید نماینده کل مجموعه باشد.

طبق دستورکارهای استاندارد برای موارد مختلف، روش نمونه‌برداری خاص تدوین شده است. برای مثال، استاندارد غذایی CAC/GL ۳۳-۱۹۹۹<sup>۱</sup> روش نمونه‌برداری از دام و فراورده‌های دامی به منظور تعیین مقدار آفت کش باقی‌مانده در محصولات دامی را بیان می‌کند. بند ۳/۶ این دستورکار در مورد بسته‌بندی و انتقال نمونه به آزمایشگاه است که شامل موارد ذیل است:

۱- RECOMMENDED METHODS OF SAMPLING FOR THE DETERMINATION OF PESTICIDE RESIDUES FOR COMPLIANCE WITH MRLS CAC/GL 33-1999

- نمونه آزمایشگاهی باید در ظرف تمیز و بی اثر بر نمونه به شکلی بسته بندی شود که از آلودگی و نشتی و خسارت دیدن در امان باشد.
- ظرف بسته بندی باید آب بندی شده باشد، برچسب زده شود و اطلاعات نمونه برداری روی برچسب نوشته شود.
- نمونه باید در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شود.
- در زمان انتقال باید از فساد نمونه جلوگیری شود. برای مثال، نمونه های تازه باید سرد نگه داشته شوند و نمونه های منجمد باید در حالت انجماد نگه داری و منتقل شوند تا از فساد آنها تا رسیدن به آزمایشگاه جلوگیری شود.

دستور کار کامل در مورد نمونه برداری شامل تمام جزئیات نمونه برداری در کدکس غذایی CAC/GL ۵۰-۲۰۰۴ آورده شده است، آن را تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۲



احتمال دارد بسیاری از نمونه های صنعت غذا مانند گوشت وارد شده از کشور دیگر آلوده به عوامل بیماری زا باشند، از این روی، شخص نمونه بردار باید از لوازم حفاظتی مناسب استفاده کند و در این زمینه آموزش لازم را دیده باشد.

نکته  
زیست محیطی



- ۱ نمونه برداری از گوشت
- ۲ بسته بندی نمونه های زیستی

فیلم آموزشی



## انتخاب روش و استاندارد کنترل کیفیت

روش های استاندارد آزمون ها به منظور آزمایش های فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبق استانداردهای بین المللی غذایی قابلیت اجرا دارد. در کشور ما مرجع دستور کارهای استاندارد، سازمان ملی استاندارد و معاونت غذا و داروی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی هستند که روش کارهای مورد نیاز را بر اساس استانداردهای بین المللی تدوین کرده اند.

## فعالیت عملی ۲



### تهیه استانداردهای مواد غذایی

#### روش کار:

با مراجعه به تارنمای معاونت غذا و داروی کشور، بخش آزمایشگاه کنترل مواد غذایی و بهداشتی به نشانی <http://fdo.umsha.ac.ir/index.aspx?siteid=۱۶&pageid=۲۴۶۲> چند استاندارد مرتبط با مواد غذایی را تهیه کنید.



## اندازه‌گیری کمی و کیفی



شکل ۴- سنجش کیفی قهوه

اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی ممکن است به دو صورت کمی و کیفی انجام پذیرد که به وسیله روش‌های کلاسیک مانند حجم‌سنجی<sup>۱</sup> و وزن‌سنجی<sup>۲</sup> یا روش‌های دستگاهی مانند روش‌های طیف‌بینی<sup>۳</sup> و یا ارزیابی‌های حسی صورت می‌پذیرد. برخی آزمایش‌ها مانند بو و عطر قهوه روش کمی ندارند و به صورت کیفی توسط متخصصان این امر در مورد آنها اظهار نظر می‌شود (شکل ۴).

### فعالیت عملی ۳



#### کنترل کیفیت خامه



#### روش کار:

مطابق با استاندارد شماره ۱۹۱ با موضوع «خامه پاستوریزه و خامه فرادما (UHT)، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون» سازمان ملی استاندارد ایران، یک نمونه خامه را از دید کیفی مورد مطالعه قرار دهید. **روش کار:** یک نمونه خامه بسته‌بندی‌شده از بازار تهیه کنید. **۱** با رجوع به نوشته‌های روی بسته‌بندی، نوع خامه را بر اساس جدول زیر تعیین کنید.

ردیف	نوع خامه	درصد وزنی چربی
۱	کم‌چرب	بیشتر یا مساوی ۱۰ درصد و کمتر یا مساوی ۱۸ درصد
۲	نیمه‌چرب (سبک)	بیشتر از ۱۸ درصد و کمتر یا مساوی ۳۵ درصد
۳	چرب	بیشتر از ۳۵ درصد و کمتر یا مساوی ۴۸ درصد
۴	پرچرب	بیش از ۴۸ درصد وزنی

**۲** به کمک اطلاعات موجود روی بسته‌بندی، مواد مجاز آن را بررسی کنید.

مواد مجاز عبارت‌اند از:

الف) فراورده‌های پروتئینی شیر مانند کازئین، پروتئین، آب پنیر یا سایر پروتئین‌های شیر به شرطی که ۳۵ درصد پروتئین داشته باشند، حد مجاز این مواد ۰/۲ درصد است.  
ب) ژلاتین و نشاسته

۱- Volumetric Methods

۲- Gravimetric Methods

۳- Spectroscopic Methods



وجود ژلاتین و نشاسته به عنوان پایدارکننده در خامه با توجه به اخذ اجازه از سازمان های مسئول و رعایت شرایط خوب تولید به میزان ۰/۲ درصد مجاز است.

۲ ویژگی های حسی خامه را به صورت کیفی بررسی کنید.

ویژگی های حسی خامه عبارت اند از:

الف) رنگ: رنگ خامه باید سفید یا سفید مایل به کرم باشد.

ب) بو و طعم: بو و طعم خامه باید طبیعی باشد و فاقد هرگونه بوی غیرطبیعی و نامطبوع باشد.

۴- بسته بندی: بسته بندی خامه باید به شرح زیر باشد:

خامه باید در شرایط کاملاً بهداشتی و بسته بندی شده عرضه شود. در بسته بندی محکم و نفوذناپذیر باشد؛ به گونه ای که هرگونه دخل و تصرف در محتویات ظرف امکان پذیر نباشد.

بسته بندی باید در مقابل ضربه و نشستی مقاوم باشد و هنگام حمل و نقل آسیب نبیند.

۵- نشانه گذاری: آگاهی های زیر باید با خط خوانا و واضح با جوهر غیرسمی و پاک نشدنی برای مصارف داخلی به زبان فارسی و برای صادرات به زبان انگلیسی یا زبان کشور خریدار روی بسته نوشته شده باشد. این نوشته ها شامل موارد زیر است:

■ نام و نوع فرآورده

■ نام و نشانی تولیدکننده یا بسته بندی کننده و علامت تجاری آن

■ عبارت «تهیه شده از شیر تازه گاو»

■ مقدار درصد چربی

■ وزن یا حجم خالص

■ شماره سری ساخت

■ تاریخ تولید (روز - ماه - سال)

■ تاریخ انقضای قابلیت مصرف (روز - ماه - سال)

■ شماره پروانه ساخت از وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی

■ نوشتن شرایط نگهداری برای انواع خامه به شرح زیر:

خامه پاستوریزه عبارت: «در یخچال نگهداری شود.»

خامه فرادما عبارت: «بعد از باز کردن، در یخچال نگهداری شود.»

خامه منجمد عبارت: «حداقل در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شود.»

عبارت «ساخت ایران»

گزارش کار خود را تهیه کنید و به مربی آزمایشگاه تحویل دهید.

۶- محاسبات و اظهار نتایج: در روش های کار استاندارد، روش انجام محاسبات نتایج ذکر شده است.



## تعیین خواص فیزیکی مواد غذایی

خواص فیزیکی تأثیرات فراوانی بر بافت، طعم، بو، رنگ و شکل مواد غذایی دارند. در این بخش به مهم‌ترین خواص فیزیکی که تأثیر زیادی بر ظاهر غذا دارند، مانند آب موجود در غذا، جریان‌پذیری و بافت غذا، گران‌روی، غلظت، رنگ و تأثیر گرما بر غذا پرداخته خواهد شد.

### آب موجود در غذا و اهمیت اندازه‌گیری آب

اجزای اصلی مواد غذایی کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین‌ها<sup>۱</sup>، مواد معدنی، آنزیم‌ها، رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، مواد معطر و طعم‌دهنده و اسیدها هستند. افزون بر این مواد، آب مهم‌ترین ترکیب مواد غذایی است. آب در سه حالت فیزیکی جامد، مایع و گاز در تأثیر متقابل با مواد تشکیل‌دهنده غذا مانند پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها<sup>۲</sup>، چربی‌ها<sup>۳</sup> و املاح، نقش بسزایی در طعم، بو، بافت، جریان‌پذیری، جذب مواد غذایی و نیز واکنش‌های شیمیایی غذا و عملکرد ریزاندامکان دارد. فرایندهایی مانند انجماد، خشک کردن، نمک‌سود کردن<sup>۴</sup>، با کنترل محتوای آب ماده غذایی باعث افزایش زمان نگهداری مواد غذایی می‌شود.

### محتوای آب مواد غذایی

محتوای آب مواد غذایی شامل انواع مختلف آب درون سلولی<sup>۵</sup> و بین سلولی<sup>۶</sup> غذا است که در مواد غذایی مختلف مقدار آن متفاوت است. چنانچه کل آب موجود در ماده غذایی حذف شود، تنها ماده خشک بدون استفاده و تغییر ماهیت یافته غذا باقی خواهد ماند. جدول ۲ محتوای آب مواد غذایی مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲- محتوای آب مواد غذایی مختلف

ماده غذایی	محتوای آب (%)	ماده غذایی	محتوای آب (%)
شیر خشک	۴	آرد غلات	۱۰-۱۳
گوشت گاو	۵۰-۷۰	عسل	۲۰
گوشت مرغ بدون پوست	۷۴	آواکادو <sup>۷</sup> ، موز	۷۴-۸۰
ماهی	۶۵-۸۱	چغندر، بروکلی، هویج، سیب‌زمینی	۸۰-۸۵
آناناس	۷۵	مارچوبه، لوبیا سبز، کلم گل، کاهو	۹۰-۹۵
آلو، گلابی، گیلان	۸۰-۸۵	نان	۳۵-۴۵

۱- Proteins

۲- Polysaccharides

۳- Fats

۴- نمک‌سود کردن یا نمک زدن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های حفاظت از مواد غذایی با نمک خشک خوراکی است.

۵- Inter Cellular

۶- Extra Cellular

۷- Avacado

ماده غذایی	محتوای آب (%)	ماده غذایی	محتوای آب (%)
سیب، هلو، پرتقال، گریپ فروت	۸۵-۹۰	بیسکویت	۳-۸
ریواس، توت فرنگی، گوجه فرنگی	۹۰-۹۵	چای خشک	۷
کره، مارگارین	۱۵	روغن خوراکی	۰
شیر گاو	۸۷٫۸	سیب	۸۴

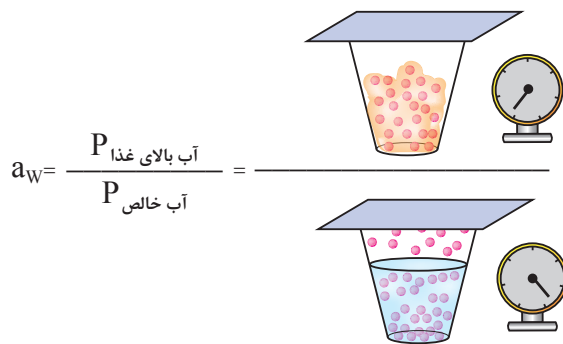
### فعالیت آب<sup>۱</sup>

تجربه نشان می‌دهد که مواد غذایی مختلف مانند شیر و سیب که محتوای آب تقریباً یکسانی دارند (جدول ۲). از دید پایداری و فساد رفتار مشابهی ندارند. در نتیجه محتوای آب، معیار مناسبی برای تخریب پذیری ماده غذایی نیست. از این روی عاملی به نام فعالیت آب تعریف می‌شود. طبق تعریف، فعالیت آب عبارت است از فشار بخار آب در ماده غذایی تقسیم بر فشار بخار آب خالص در همان دما (شکل ۵).

$$a_w = P/P^\circ$$

که در آن  $a_w$  فعالیت آب،  $P$  فشار بخار آب در ماده غذایی در دمای  $T$  و  $P^\circ$  فشار بخار آب خالص در دمای  $T$  است.

برای  $a_w$  آب مقطر در شرایط استاندارد برابر با یک تعریف می‌شود و در مورد مواد غذایی چون فشار بخار آب در ماده غذایی کمتر از یک است، همیشه عددی بزرگ‌تر از صفر و کمتر از ۱ خواهد بود. فسادپذیری، ایمنی و سایر خواص غذا، با توجه به مقدار فعالیت آب قابل پیش‌بینی است. فعالیت آب بیشتر به مفهوم محیط آماده‌تر برای رشد ریزندامکان و وقوع واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی است.



شکل ۵- بیان تصویری فعالیت آب

ریزاندامکانی مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها هر کدام در فعالیت آبی خاصی امکان رشد دارند. باکتری‌ها معمولاً در فعالیت آب ۰/۹۱ و قارچ‌ها در فعالیت آب ۰/۷ رشد می‌کنند. چنانچه فعالیت آب ماده غذایی برابر یا بیشتر از آن مقدار باشد، ریزاندامکان در ماده غذایی رشد و تکثیر می‌یابند و غذا را فاسد می‌کنند. آب از فعالیت بیشتر به مکان با فعالیت آب کمتر مهاجرت می‌کند؛ به همین دلیل اگر عسل با فعالیت آب حدود ۰/۶ در معرض هوای با فعالیت آب ۰/۷ قرار بگیرد، از هوا آب جذب می‌کند و بالعکس در معرض هوای با فعالیت آب کمتر از ۰/۶ آب از دست می‌دهد.

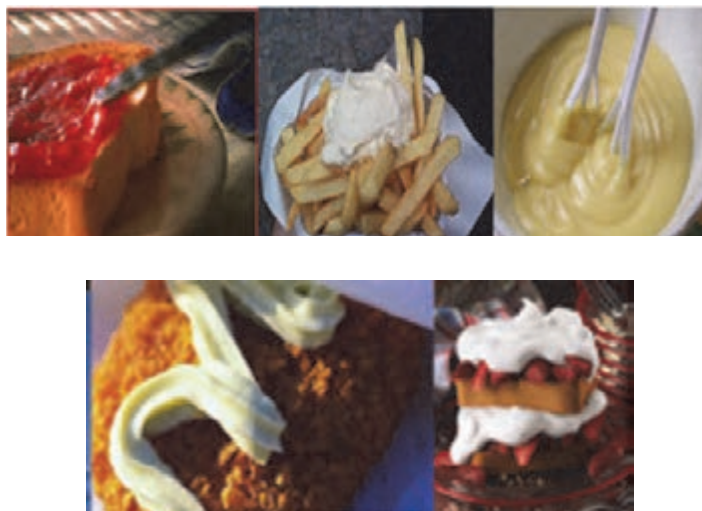
فیلم آموزشی

رطوبت و فعالیت آب مواد غذایی



### جریان پذیری و بافت مواد غذایی

جریان پذیری شامل بررسی و اندازه‌گیری خاصیتی از مواد غذایی است که تغییر شکل و تحرک آن را در اثر یک نیروی خارجی بررسی می‌کند. برای مثال، بطری سس را فشار دهید و به شیوه خارج شدن پیوسته سس دقت کنید، و یا خامه، پنیر و یا کره‌ای را که توسط کارد روی نان می‌مالید، را در نظر بگیرید، نمکی که از نمکدان خارج می‌شود و مثال‌های بسیار دیگر که مرتبط با حرکت مواد غذایی است، به جریان پذیری مواد غذایی ربط دارد (شکل ۶).



شکل ۶- غذاها با جریان پذیری و بافت مختلف

شما انتظار این را ندارید که محتویات پاکت خامه با فشردن به صورت مایع بیرون پاشیده شود، ولی انتظار دارید که خامه به صورت نیمه جامد و پیوسته از ظرف خارج شود تا بتوان آن را با کارد روی نان پخش کرد. حس متفاوت و قابل انتظاری که ظاهر غذا در مصرف کننده ایجاد می کند، وابسته به جریان پذیری و بافت ماده غذایی است (شکل ۷).



شکل ۷- جریان پذیری و بافت مناسب کره بادام زمینی و مربا برای دل پذیری و سهولت استفاده

از دید صنعتی پمپ کردن، اسپری کردن، پخش کردن، قالب گیری، پوشش دادن، مخلوط کردن، جویدن، قورت دادن، مالش، انتقال، نگه داری، گرم و سرد کردن، همه وابسته به جریان پذیری و بافت مواد است. مواد غذایی از دیدگاه جریان پذیری به چهار دسته زیر تقسیم بندی می شوند:

- ۱ امولسیون ها، مانند سس مایونز و بستنی
- ۲ فوم ها، مانند بستنی
- ۳ سوسپانسیون ها، مانند سس خردل و شکلات
- ۴ ژل ها، مانند پنیر

## فعالیت عملی ۴



### بررسی پایداری یک امولسیون خوراکی

سس مایونز در واقع نوعی ماده غذایی نیمه جامد امولسیون شده است که از ترکیب روغن های گیاهی، اسیدهای خوراکی مانند سرکه و آبلیمو، سیتریک اسید، مالئیک اسید، زرده تخم مرغ و برخی مواد افزودنی مجاز ساخته می شود.

### روش کار:

**پایداری امولسیون:** یک ظرف در بسته حاوی ۳۰ گرم سس مایونز را در داخل گرم خانه با دمای ۵۵ درجه سلسیوس قرار دهید. نیم ساعت صبر کنید. سپس نمونه را خارج کنید و به دقت آن را بررسی کنید. در این حالت نباید هیچ نشانه ای دال بر جدا شدن فاز آب و روغن مشاهده شود.

## فعالیت عملی ۵



### کنترل کیفیت نمک خوراکی

مطابق با استاندارد شماره ۲۶ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «نمک خوراکی - ویژگی‌ها»، خصوصیات فیزیکی و ظاهری یک نمونه نمک خوراکی را بررسی کنید.

#### روش کار:

##### ۱- با رعایت موارد زیر از یک بسته نمک خوراکی نمونه تهیه کنید.

- نمونه‌برداری نباید در جریان شدید (کوران) هوا انجام پذیرد.
- احتیاط‌های لازم برای حفاظت نمونه‌ها، وسایل نمونه‌برداری و ظروف حاوی آنها از آلودگی احتمالی ضروری است.
- محتویات هر ظرف یا بسته‌ای که برای نمونه‌برداری انتخاب می‌شود، باید تا حد امکان توسط وسیله مناسبی مخلوط گردد و سپس نمونه شاهد و آزمون از آن تهیه شود.
- نمونه‌ها باید در ظروف مناسب، خشک، تمیز و در بسته نگه‌داری شوند.
- ظروف حاوی نمونه‌ها، بعد از نمونه‌برداری باید دور از رطوبت نگه‌داری شود و جزئیات کامل نمونه‌برداری بر روی آن نوشته شود.

##### ۲- بررسی وضعیت ظاهری: نمک خوراکی باید به رنگ سفید شفاف تا مات، شور مزه و عاری از هرگونه بوی خارجی و فاقد هرگونه مواد خارجی باشد.

##### ۳- بسته‌بندی: نمک خوراکی باید در بسته‌های مناسب نفوذناپذیر نسبت به رطوبت مانند پلی‌اتیلن سنگین، پلی‌پروپیلن و کاغذ چندلایه با یک لایه نفوذناپذیر نسبت به رطوبت، شیشه با دربندی مناسب و از نوع مجاز در تماس با مواد غذایی بسته‌بندی شود. جرم هر بسته نباید از ۴۰ کیلوگرم بیشتر باشد.

##### ۴- نشانه‌گذاری: آگاهی‌های زیر باید به وضوح با خط خوانا و جوهر غیرسمی به زبان فارسی و در صورت صدور، به زبان انگلیسی یا زبان کشور خریدار روی هر بسته نمک نوشته شود و برچسب زده شود.

##### ■ نام و نوع فراورده

##### ■ درجه خلوص

##### ■ ذکر نام ماده افزودنی و مقدار آن

##### ■ وزن خالص هر بسته (برحسب گرم یا کیلوگرم)

##### ■ نام و نشانی کارخانه تولیدکننده

##### ■ تاریخ تولید (به روز، ماه و سال)

##### ■ تاریخ انقضای قابلیت مصرف (به روز، ماه و سال)

##### ■ شماره گروه (سری) ساخت

##### ■ شماره پروانه ساخت وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

پس از بررسی خصوصیات فیزیکی و ظاهری گزارش خود را بنویسید و به مربی تحویل دهید.

## گران‌روی مواد غذایی

گران‌روی معیاری از مقاومت سیالات در برابر تغییر شکل ناشی از تنش برشی<sup>۱</sup> است که توسط انواع روش‌ها و دستگاه‌های سنجش گران‌روی قابل اندازه‌گیری است. گران‌روی مواد غذایی تأثیر فراوانی بر بافت و جریان‌پذیری ماده غذایی دارد که این دو تأثیر زیادی در جلب نظر مصرف‌کننده و نیز القای حس دلپذیری و کاربری محصول دارند. برخی از اجزای موجود در مواد غذایی، مانند پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها به‌صورت حل‌شده در آب موجود در غذا بر گران‌روی آن مؤثرند و نه تنها باعث افزایش گران‌روی می‌شوند، بلکه می‌توانند محصول را با تشکیل شبکه‌های سه‌بعدی اسفنجی شکل به حالت ژل تبدیل کنند. شکل، اندازه، غلظت، جرم مولکولی اجزای غذا و دمای محیط بر گران‌روی ماده غذایی مؤثر هستند. علاوه بر مواد موجود در غذا که بر گران‌روی مؤثرند، تولیدکنندگان غذا توسط مواد افزودنی افزایش‌دهنده گران‌روی، تحت عنوان غلظت‌دهنده، گران‌روی محصولات را تنظیم می‌کنند.

چه مواد غذایی را می‌شناسید که از غلظت‌دهنده در آنها استفاده شده است؟ چند مورد را نام ببرید.

طعم و بافت غذا

فعالیت عملی ۶

تعیین چگالی و گران‌روی یک نمونه روغن

وسایل و مواد مورد نیاز:

دماسنج، گران‌روی‌سنج، حمام آب با دمای ثابت، چگالی‌سنج (پیکنومتر)، روغن زیتون یا هر روغن مایع خوراکی دیگر.

روش کار:

- ۱- توسط پیکنومتر چگالی روغن در دمای آزمایش را اندازه‌گیری کنید.
- ۲- توسط گران‌روی‌سنج (ویسکومتر) موجود در کارگاه هنرستان، گران‌روی روغن را اندازه‌گیری کنید. نتایج را در گزارش کار بنویسید و به هنرآموز خود تحویل دهید.

غلظت مواد غذایی

اغلب گران‌روی را با غلظت اشتباه می‌گیرند. یک ماده غذایی ممکن است دارای غلظت پایین اما گران‌روی بالایی باشد؛ به نحوی که حتی نیمه‌جامد به نظر برسد. غلظت عبارت از درصد مواد جامد در ماده غذایی است. غلظت مواد افزودنی در مواد غذایی باید در دامنه استاندارد تعیین شده باشد. برای مثال، میزان سدیم بنزوات به‌عنوان ماده محافظ در نکتارهای میوه تغلیظ‌شده، آب‌میوه‌های تغلیظ‌شده، قهوه و فراورده‌های آرد گندم، ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است و همین ماده در شکلات‌ها، ۱۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم است.<sup>۲</sup>

۱- تنش به معنای نیروی واردشده بر واحد سطح است. چنانچه این نیرو موازی با سطح ایجاد شود، تنش برشی نامیده می‌شود.

۲- برای مشاهده بیشتر می‌توانید به تارنمای <http://www.fao.org/gsfonline/index.html> مراجعه کنید.

پرسش ۱



فیلم آموزشی



گاهی غلظت، مانند درصد مواد قندی در چغندر قند، تعیین‌کننده ارزش مالی ماده غذایی است و گاه مانند مربا و مارمالاد، غلظت تعیین‌کننده پایداری، طعم، مزه، بافت، جریان‌پذیری و گران‌روی ماده غذایی است. غلظت نمک‌طعام در شوری‌جات علاوه بر تأثیر در مزه، باعث پایداری فراورده‌ها شده و باعث جلوگیری از فساد آنها می‌شود. همچنین در برخی از مواد غذایی غلظت ارتباط مستقیم با چگالی آن دارد. برای مثال با اندازه‌گیری چگالی شیر می‌توان به غلظت شیر پی برد.

## فعالیت عملی ۷



### تعیین چگالی شیر

چگالی یک نمونه شیر را مطابق با استاندارد شماره ۶۳۸ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «تعیین وزن مخصوص شیر (روش لاکتودانسیتومتر)» اندازه‌گیری کنید.

**مواد و وسایل لازم:** لاکتودانسیتومتر<sup>۱</sup> (مطابق شکل، لاکتودانسیتومتر وسیله‌ای شبیه چگالی‌سنج (هیدرومتر) است)، دماسنج جیوه‌ای، استوانه مدرج ۲۵۰ میلی‌لیتری، تشت پلاستیکی، حمام آب گرم، شیر.

### روش کار:



لاکتودانسیتومتر

- ۱ چنانچه شیر سرد باشد یا مدتی مانده باشد، به نحوی که چربی آن جدا شده باشد، ابتدا آن را تا ۳۵ الی ۴۰ درجه سلسیوس گرم کنید و خوب به هم بزنید تا همگن شود. سپس به سرعت آن را تا دمای ۱۵ الی ۲۰ درجه سلسیوس سرد کنید. دقت کنید که حباب‌های هوا درون شیر نباشد.
- ۲ استوانه مدرج را تا دوسوم آن توسط شیر به نحوی پر کنید که کف ایجاد نکند. سپس لاکتودانسیتومتر را که توسط شیر قبلاً خیس کرده‌اید، درون آن قرار دهید. قطر استوانه باید حداقل ۵ برابر قطر لاکتودانسیتومتر باشد.

۳ آنقدر شیر درون استوانه مدرج بریزید تا پر شود و حتی از آن لبریز شود. زمان بدهید تا لاکتودانسیتومتر به صورت غوطه‌ور ثابت بایستد و درجه‌ای را که هم‌تراز با سطح شیر است، یادداشت کنید و نیز هم‌زمان دمای شیر را اندازه‌گیری کنید.

■ به‌طور معمول، لاکتودانسیتومترها در دمای ۱۵ درجه سلسیوس مدرج می‌شوند. اگر دمای آزمایش همین مقدار باشد، عددی که خوانده شده است، به‌عنوان چگالی شیر گزارش می‌شود. اگر دمای شیر بیشتر یا کمتر از ۱۵ درجه باشد، باید نتیجه را اصلاح کرد. بدین ترتیب که دردهماهای بین ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس، در ازای هر یک درجه افزایش دمای شیر، ۰/۲ از عدد لاکتودانسیتومتر کسر کنید و اگر دما کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس باشد، ۰/۲ اضافه شود.

۱- Lactodensimeter





## فعالیت عملی ۸

### تعیین درصد مواد جامد نامحلول در آب مواد غذایی

مطابق با استاندارد شماره ۳۸۶۰ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «فراورده‌های میوه و سبزی - اندازه‌گیری مواد جامد نامحلول در آب - روش آزمون»، درصد مواد جامد نامحلول در آب را در یک نمونه از فراورده‌های میوه یا سبزی اندازه‌گیری کنید.

#### وسایل لازم:

بشر ۲۵۰ و ۴۰۰ میلی‌لیتری، قیف بوختر، کاغذ صافی با بافت متوسط، کاغذ شناساگر، ظرف توزین، خشکانه، آون با قابلیت نگهداری دما در ۱۰۳ درجهٔ سلسیوس، سانتیفریوژ، ترازو، با دقت  $\pm 0.001$  گرم.

#### روش کار:

۱ یک برگ کاغذ صافی را در ظرف توزین بگذارید و درون آون که تا ۱۳۰ درجهٔ سلسیوس گرم شده است، به مدت ۳۰ دقیقه قرار دهید. سپس آن را در خشکانه بگذارید تا سرد شود و جرم آن را با دقت  $\pm 0.001$  گرم اندازه‌گیری کنید.

۲ ۲۵ گرم از یک نمونه مرّبا را توزین کنید، درون بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری بریزید و به آن ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر بیفزایید و گرما دهید و به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه به ملایمت بجوشانید.

۳ محتویات بشر را روی کاغذ صافی که روی قیف بوختر قرار دارد، بریزید و صاف کنید. در انتها کاغذ صافی را با کمی آب داغ بشویید.

۴ کاغذ صافی و محتویات آن را به ظرف توزین منتقل کنید و درون آون با دمای ۱۳۰ درجهٔ سلسیوس، قرار دهید و تا ثابت شدن جرم آن گرما دهید.

منظور از ثابت شدن جرم این است که نمونه را از آون خارج کنید، در خشکانه به مدت ۲۰ دقیقه سرد کنید و جرم آن را اندازه‌گیری کنید. سپس دوباره به مدت ۳۰ دقیقه گرما دهید و دوباره در خشکانه به مدت ۲۰ دقیقه سرد کنید و مجدداً جرم را اندازه‌گیری کنید. اختلاف جرم دو اندازه‌گیری متوالی نباید از ۰/۰۰۱ گرم بیشتر باشد.

نکته



اگر در صاف کردن دچار مشکل شدید، از سانتیفریوژ استفاده کنید؛ بدین صورت که محتوای جوشیدهٔ بشر را سانتیفریوژ کنید، مایع زلال را جدا کنید، سپس آب گرم بیفزایید و مخلوط کنید و دوباره سانتیفریوژ کنید. این کار را آنقدر ادامه دهید تا مطمئن شوید تمام مواد محلول از تفاله خارج شده است. سپس تفاله را به کاغذ صافی منتقل کنید و مانند بند ۴ خشک و وزن کنید.

۵ مواد جامد نامحلول در آب از معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$(m_2 - m_1) \times \frac{100}{m_0}$$

که در آن

$m_0$ : جرم نمونه بر حسب گرم

$m_1$ : جرم ظرف توزین و کاغذ صافی خشک‌شده بر حسب گرم

$m_2$ : جرم ظرف توزین، کاغذ صافی و مادهٔ خشک‌شده بر حسب گرم هستند.

۶ گزارش آزمون: گزارش آزمون باید دارای اطلاعات زیر باشد:

روش انجام آزمون مطابق با استاندارد کلی شماره ۳۸۶۰، نام و نام خانوادگی و امضای آزمون‌کننده، تاریخ دریافت نمونه، تاریخ انجام آزمون، محل آزمون، نتیجه به‌دست‌آمده از آزمون، تمام آگاهی‌های لازم برای شناسایی کامل نمونه، روش نمونه‌برداری در صورت مشخص بودن، جزئیات هرگونه عملیاتی که در این دستور کار بیان نشده است و یا اختیاری بوده است و نیز هرگونه رخدادی که ممکن است نتایج آزمون را تحت تأثیر قرار داده باشد.

### تجزیه و تحلیل گرمایی مواد غذایی

گرما تغییرات فیزیکی و شیمیایی بسیاری در مواد غذایی ایجاد می‌کند و بر فعالیت ریزاندامکان، آنزیم‌ها و سرعت واکنش‌های شیمیایی نیز مؤثر است. گرما می‌تواند باعث انعقاد پروتئین‌ها مانند بریدن شیر و یا تغییر ماهیت ماده غذایی مانند آب‌پز شدن تخم‌مرغ، رسوب کردن نمک‌ها و پروتئین‌ها مانند ته‌دیگ شیر جوشیده، تغییر رنگ، عطر و طعم طبیعی غذا، کاهش آب و پیرو آن تغییر وزن و حجم ماده غذایی شود (شکل ۸). لذا اطلاعات مربوط به تأثیر گرما بر غذا در فرایند نگهداری، تولید و فراوری غذا حائز اهمیت فراوان است. علاوه بر گرما، یخ‌زدگی نیز سلول‌های مواد غذایی مانند میوه و سبزیجات را تخریب می‌کند.



شکل ۸- گوشت خام و کباب شده.

### تجزیه و تحلیل رنگ مواد غذایی

رنگ یکی از مشخصه‌های کیفی غذاست که یادآور بافت و طعم و مزه آن است و با ایجاد حس مطبوع و یا نامطبوع در انتخاب غذا مؤثر است. رنگ غذا ممکن است طبیعی و مربوط به غذا، و یا مصنوعی باشد (شکل ۹). رنگ‌های طبیعی خبر از حضور مواد خاص در غذا می‌دهند. رنگ قرمز طبیعی مانند رنگ گوجه‌فرنگی ناشی از موادی نظیر لیکوپن و برخی مواد پاداکسنده است که برای پیشگیری از سرطان بسیار مفید هستند. رنگ سبز در گیاهان به دلیل حضور کلروفیل، و رنگ زرد و نارنجی ناشی از حضور بتاکاروتن است. بسیاری از مواد غذایی مانند کره و روغن‌های نباتی توسط بتاکاروتن رنگی می‌شوند تا علاوه بر ظاهر مطبوع، از دیدگاه ارزش غذایی غنی‌تر شوند. طی فرایندهای انبارداری و فراوری ماده غذایی رنگ آن تغییر می‌کند.



شکل ۹- شیرینی‌هایی که توسط رنگ‌های مصنوعی و طبیعی، رنگین شده‌اند.

### تعیین خواص شیمیایی مواد غذایی

پروتئین‌ها، مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها، آب و سایر اجزای غذا منبع تأمین انرژی و عناصر تشکیل‌دهندهٔ بافت‌های بدن ما هستند. مواد غذایی در واکنش‌های شیمیایی و زیستی بدن شرکت می‌کنند و به همین دلیل، اگر سالم و ایمن نباشند، باعث بروز بیماری‌ها و عملکرد ناقص در بدن ما می‌شوند. در طول زنجیرهٔ غذا از مزرعه تا سفره، مواد موجود در غذا دستخوش تغییراتی می‌شوند و از این رو اندازه‌گیری خواص شیمیایی غذا مانند ارزش غذایی، میزان ید، چربی، پروتئین، کربوهیدرات‌ها حائز اهمیت‌اند و هر کدام از این اندازه‌گیری‌ها تعیین‌کنندهٔ ایمنی، سلامت و ارزش غذا هستند.

## ارزش غذایی

ارزش یک غذا وابسته به مواد موجود در آن است. یک تکهٔ صد گرمی گوشت ممکن است پروتئین مورد نیاز روزانهٔ ما را تأمین کند، اما قطعاً ۱۰۰ گرم انجیر پروتئین روزانه مورد نیاز ما را تأمین نمی‌کند. آگاهی از ترکیبات شیمیایی غذا کمک می‌کند تا بتوان جیرهٔ غذایی را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که نیازمندی‌های بدن تأمین شود و با سلامتی زندگی کرد.

یک لیوان شیر، یک تکهٔ صد گرمی گوشت کباب‌شده، یک عدد سیب و یا یک برش نان را در نظر بگیرید. کدام یک از آنها نیازمندی بدن شما به گروه‌های مواد غذایی را تأمین می‌کند؟

بحث‌گروهی  
۲



یک انسان ۱۶ ساله چقدر پروتئین در روز نیاز دارد؟

تحقیق کنید  
۳



بدن انسان به کلیهٔ مواد غذایی شامل پروتئین، مواد قندی و نشاسته‌ای، چربی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی نیازمند است و آنها را از طریق خوردن و آشامیدن کسب می‌کند. نیازهای تغذیه‌ای سنین مختلف و افراد سالم و بیمار با یکدیگر متفاوت است و بر همین اساس از تمامی گروه‌های مواد غذایی موجود در هرم تغذیه باید به‌صورت روزانه مصرف شود (شکل ۱۰).

ارزش غذایی مواد غذایی مختلف در بانک‌های اطلاعاتی و کتاب‌های مرجع موجود است و براساس آن می‌توان برنامه تغذیه‌ای مناسب برای هر فرد ارائه کرد.



شکل ۱۰- هرم غذایی. سهم مواد غذایی پایین هرم باید در جیره روزانه بیشتر باشد و با حرکت به سمت بالا از سهم مواد در جیره روزانه کاسته می‌شود.

هرم تغذیه به صورت نسبی ترکیب و سهم مواد غذایی را که یک فرد سالم باید به صورت روزانه مصرف کند، نشان می‌دهد. نان و غلات بیشترین سهم را در هرم غذایی دارند. گلوتن<sup>۱</sup> پروتئینی در آرد گندم است که باعث چسبندگی خمیر و ورآمدن آن می‌شود. بر این اساس گندم‌ها به دو نوع سخت<sup>۲</sup> و نرم<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. گندم سخت پروتئین بیشتری دارد و همین امر میزان گلوتن آرد حاصل از آن را افزایش می‌دهد. گندم‌هایی که از آرد آنها بتوان قرص نانی بزرگ و پرحجم تولید کرد، باید مغز آنها بافت خوبی داشته باشد (بافت مغز آن منظم و متخلخل باشد). این گندم‌ها که دارای ماندگاری خوبی هستند و عموماً پروتئین زیادی دارند، "قوی" نامیده می‌شوند. گندم‌هایی که با آرد حاصل از آن فقط قرص کوچکی از نان می‌توان تهیه کرد و بافت مغز نان هم زبر و حفره‌دار است و پروتئین کمی دارند، "ضعیف" نامیده می‌شوند.

۱- Gluten

۲- Hard Wheat

۳- Soft Wheat

انواع آردها عبارت‌اند از:

- ۱ آرذ قوی، به آرذی گفته می‌شود که درصد گلوٲن مرطوب آن بیش از ۲۶٪ باشد. این نوع آرذ از گندم‌های سخت تهیّه می‌شود.
- ۲ آرذ متوسط، به آرذی گفته می‌شود که درصد گلوٲن مرطوب آن بیش از ۲۲٪ باشد. از این نوع آرذ معمولاً برای تهیّه نان استفاده می‌شود.
- ۳ آرذ ضعیف، به آرذی گفته می‌شود که درصد گلوٲن مرطوب آن کمتر از ۲۰٪ باشد، این آرذ از گندم‌های نرم تهیّه می‌شود و برای مصارف قنادی و همچنین بیسکویت‌سازی استفاده می‌شود.
- ۴ آرذ با گلوٲن سیال به آرذی گفته می‌شود که به علت ضعیف بودن بیش از حد گلوٲن، امکان جداسازی گلوٲن از نشاسته وجود نداشته باشد و در صورت شست‌وشو به صورت سیال درآید.

## فعالیت عملی ۹



### تعیین میزان گلوٲن در آرذ گندم

#### روش کار:



- ۱ ۱۰۰ گرم آرذ را وزن کنید و با ۶۰ میلی‌لیتر آب به تدریج خمیر کنید و آن را ورز دهید تا به دست نچسبد.
- ۲ سپس در همان ظرف خمیر را آنقدر با آب بشوید تا تمام نشاسته آن خارج شود. گلوٲن به شکل ماده چسبناکی کف‌ظرف باقی خواهد ماند.
- ۳ زمانی می‌توانید مطمئن شوید که توده باقی‌مانده گلوٲن و عاری از نشاسته است که با افزودن آب به آن، آب شفاف باقی بماند.
- ۴ توده باقی‌مانده گلوٲن مرطوب است. آن را وزن کنید و درصد گلوٲن مرطوب در آرذ را محاسبه کنید.
- ۵ گلوٲن مرطوب را تکه‌تکه کنید و در آون با دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک کنید و سپس آن را در خشکانه سرد کنید و پس از توزین درصد گلوٲن خشک را محاسبه کنید.

## هرم غذایی

فیلم آموزشی



### مواد چرب<sup>۱</sup> در مواد غذایی و اندازه‌گیری آن

مواد چرب شامل اسیدهای چرب و مشتقات آنها مانند مونو، دی و تری‌گلیسریدها<sup>۲</sup>، گروه بزرگی از مولکول‌های محلول در حلال‌های آلی هستند. تری‌گلیسریدها<sup>۳</sup> بیش از ۹۵ درصد از کل مواد چرب در مواد غذایی را تشکیل می‌دهند. این مواد منبع اصلی تأمین انرژی برای بدن جانداران هستند. به‌علاوه حلال و حمل‌کننده ویتامین‌های محلول در چربی و مولکول‌های حیاتی دیگر در بدن جانداران می‌باشند. آنها در زمان فراوری و

۱- Lipids

۲- Mono, di, and tri Glyceride

۳- تری‌گلیسرید: نوعی از مواد چرب است که در بدن انسان نقش مهمی ایفا می‌کند. در بافت‌های چربی بدن، تری‌گلیسرید نقش عایق‌بندی و ذخیره انرژی را دارد. تری‌گلیسرید از یک گلیسرول و سه اسید چرب تشکیل شده است.



نگهداری مواد غذایی وارد واکنش‌های شیمیایی زیادی مانند آبکافت (هیدرولیز)، اکسایش و تجزیه گرمایی می‌شوند و باعث تغییر در طعم، بو و مزه و ایمنی مواد غذایی می‌گردند. چربی‌های حیوانی و گیاهی به‌عنوان یک منبع مهم غذایی استفاده می‌شوند (شکل ۱۱).

شکل ۱۱- انواع مواد غذایی حاوی چربی‌ها و مواد چرب

چربی‌ها<sup>۱</sup> زیرگروه مواد چرب هستند. برخی از گیاهان مانند گردو و سویا حاوی مواد چرب هستند اما در مورد عمده گیاهان مقدار آن ناچیز و حدود ۰/۳ درصد است. جدول ۳ درصد مواد چرب در برخی مواد غذایی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- درصد مواد چرب در برخی مواد غذایی

نوع ماده غذایی	مواد چرب (%)
ماهیچه گوشت گاو، ماهی، مرغ	۲
شیر گاو	۳/۷
زردۀ تخم‌مرغ	۳۲
دانه سویا	۲۰
گردو	۶۵

چربی‌های گیاهی مانند روغن ذرت، بادام زمینی، زیتون، پالم، کنجد، کتان و آفتابگردان که معمولاً نقطه ذوب پایین‌تر و کمتر از ۲۰ درصد چربی‌های اشباع دارند، در صنعت تولید شیرینی و مانند آن استفاده می‌شود. چربی‌های حیوانی شامل اسیدهای چرب ۱۶ تا ۱۸ کربنی سیر شده هستند و نقطه ذوب بالاتری دارند.

**خواص فیزیکی چربی‌ها:** روغن‌های خالص بدون بو و رنگ هستند اما در عمل به‌علت وجود کاروتنوئیدها<sup>۱</sup> و کلروفیل رنگ زرد و سبزی دارند و بوی آنها ناشی از حضور ناخالصی‌های غیر مواد چرب و اکسید شدن است. چگالی، نقطه ذوب و سایر خواص فیزیکی روغن‌ها به طول زنجیره کربنی و درجهٔ سیرشدگی<sup>۲</sup> وابسته است.

**خواص شیمیایی مواد چرب:** مواد چرب توسط اسیدها، قلیاها، گرما و آنزیم‌ها و در حضور آب، آبکافت می‌شوند و اسید چرب تولید می‌کنند. آبکافت فرایند دلیپذیری نیست و باعث تخریب محصول می‌شود، اما مقدار کمی آبکافت می‌تواند بوی مطبوعی در مواد غذایی ایجاد کند. از این رو در تولید پنیر، ماست و نان باکتری‌ها و آنزیم لپاز با آبکافت چربی‌ها بوی مطبوعی به آنها می‌دهند. اکسایش شدید مواد چرب باعث کاهش کیفیت محصولات غذایی و ایجاد طعم تند و بوی ترشیدگی و نیز کاهش ارزش غذایی می‌شود و گاه ایجاد سمیت می‌کند.

## فعالیت عملی ۱۰



### تعیین میزان چربی در فراورده‌های گوشتی

مطابق با استاندارد شماره ۷۴۳ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «گوشت و فراورده‌های گوشتی - اندازه‌گیری میزان چربی آزاد- روش آزمون»، چربی یک نمونه گوشت را اندازه‌گیری کنید. دامنه کاربرد این روش اندازه‌گیری میزان چربی آزاد در گوشت و فراورده‌های آن است.

مواد و وسایل مورد نیاز	
هگزان نرمال	سنگ جوش
دستگاه سوکسله	مخلوط کن الکتریکی یا یک چرخ گوشت
حمام آب	انگشتانه <sup>۳</sup> استخراج ساخته‌شده از کاغذ صافی بدون چربی
آون با دمای $103 \pm 2$ درجهٔ سلسیوس	الیاف پنبه بدون چربی
خشکانه	ترازو با دقت $0.001 \pm$ گرم

### روش کار:

- یک نمونه ۲۰۰ گرمی از گوشت یا فراورده‌های گوشتی تهیه کنید و آن را به روشی نگهداری کنید تا از خرابی و تغییر حالت آن جلوگیری شود.
- نمونه را به‌خوبی چرخ کنید. این کار را دو بار انجام دهید. سپس یک نمونه ۵ تا ۸ گرمی را با دقت توزین کنید ( $m_1$ ).
- سنگ جوش‌ها را درون بالن دستگاه سوکسله بریزید و آنها را به مدت نیم ساعت در آون در دمای  $103$  درجهٔ سلسیوس قرار دهید. سپس درون خشکانه قرار دهید تا خنک شود و با دقت توزین کنید ( $m_2$ ).

۱- Carotenoid

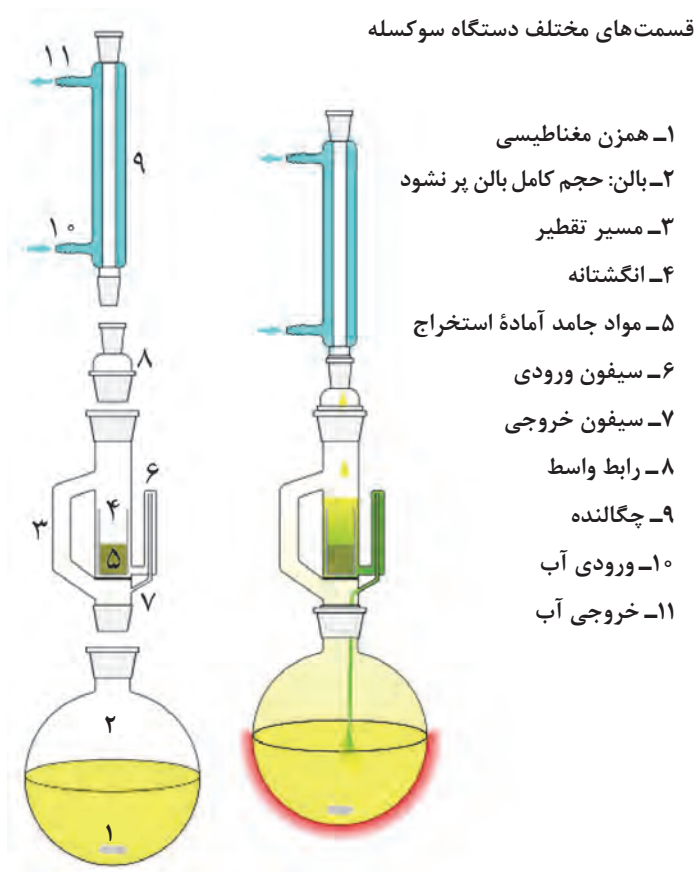
۲- منظور از درجهٔ سیرشدگی، تعداد پیوندهای دوگانه در روغن است که هرچه کمتر باشد، درجهٔ سیرشدگی بالاتر است.

۳- Thimble



۴ نمونه را به انگشتانه منتقل کنید و با پنبه ته ظرف نمونه را کامل پاک کنید و پنبه را نیز درون کاغذ کارتوش بیندازید. سپس بالن را تا نیمه از حلال پر کنید. مطابق با شکل، دستگاه را وصل کنید و روی حمام آب گرم بگذارید و به مدت ۶ ساعت بازروانی<sup>۱</sup> کنید و استخراج را انجام دهید. پس از استخراج انگشتانه را از دستگاه خارج کنید و قسمت عمده حلال درون بالن را تقطیر و جدا کنید. بالن و محتویات آن را که حاوی باقی‌مانده حلال و چربی استخراج شده است، به مدت یک ساعت درون آون با دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس قرار دهید تا کل حلال تبخیر شود. سپس بالن و محتویات آن را در خشکانه خنک کنید و با دقت توزین کنید ( $m_2$ ). درصد چربی را توسط معادله زیر محاسبه کنید.

$$\text{درصد چربی} = (m_2 - m_1) / m_0 \times 100$$



دستگاه سوکسله

گزارش آزمون باید شامل روش نمونه‌برداری، روش آزمایش، نتایج به دست آمده از آزمایش، تاریخ آزمون، شماره آزمون و هرگونه شرایط خاص استفاده شده در آزمایش باشد.

نکته





جرم مولکولی و طول زنجیرهٔ اسید چرب موجود در روغن‌ها حائز اهمیت و تعیین‌کنندهٔ کیفیت روغن هستند. روغن‌ها مخلوطی از مواد چرب مختلف‌اند و تعیین یک به یک اجزای آن کار دشواری است، از این رو با تعیین عدد صابونی به جرم مولکولی متوسط و طول زنجیره‌ها پی می‌برند.

طبق تعریف عدد صابونی، مقدار KOH بر حسب میلی‌گرم است که به منظور خنثی‌شدن اسیدهای چرب حاصل از آبکافت یک گرم چربی لازم است. این عدد در واقع مقیاسی برای بیان میانگین جرم مولکولی اسیدهای چرب موجود در روغن است. هرچه مقدار KOH مصرف‌شده بیشتر باشد، زنجیره‌ها و جرم مولکولی اسیدهای چرب کوچک‌تر خواهد بود. برای مثال، کره که قسمت اعظم آن را چربی‌های با مولکول‌های کوچک تشکیل می‌دهند، به‌طور نسبی عدد صابونی بزرگ‌تری دارد، اما این موضوع در مورد چربی ذرت که اصولاً فقط از اسیدهای چرب بزرگ مولکول ساخته شده‌است، برعکس است.

روش عمل بدین صورت است که مقداری از روغن با مقدار زیاد پتاسیم‌هیدروکسید واکنش داده می‌شود تا فرایند صابونی‌شدن انجام گیرد. سپس مقدار باقی‌مانده و واکنش ندادهٔ پتاسیم‌هیدروکسید توسط یک اسید سنجش می‌شود و از آن مقدار پتاسیم‌هیدروکسید واکنش داده محاسبه می‌شود. به جای پتاسیم‌هیدروکسید می‌توان از سدیم‌هیدروکسید نیز استفاده کرد.

از آنجا که هر مولکول چربی طبیعی عدد صابونی مشخصی دارد با به‌دست آوردن عدد صابونی می‌توان به نوع و خلوص چربی پی برد. جدول ۴، عدد صابونی برخی از روغن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴- عدد صابونی برخی روغن‌های خوراکی

عدد صابونی بر حسب میلی‌گرم قلیا به‌ازای گرم روغن		نوع روغن و یا چربی
NaOH	KOH	
۱۳۷	۱۹۲	روغن کرچک
۱۳۶	۱۹۱	کرهٔ کاکائو
۱۴۲	۱۹۹	روغن پالم
۱۳۶	۱۹۰	روغن سویا
۱۳۴	۱۸۷	روغن آفتابگردان
۱۳۴	۱۸۸	روغن زیتون

## فعالیت عملی ۱۱



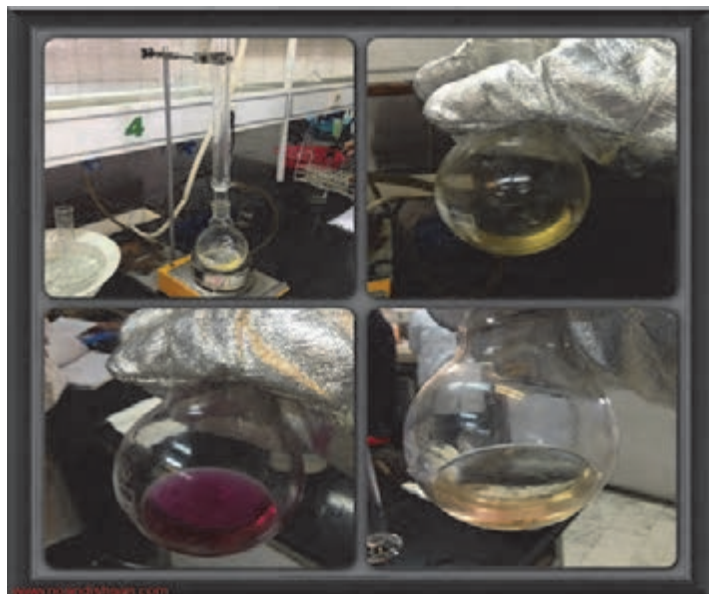
### اندازه‌گیری عدد صابونی در روغن‌ها و چربی‌های خوراکی

وسایل و مواد لازم	
روغن خوراکی	پی پت حباب‌دار ۲۵ میلی‌لیتری
محلول پتاس الکی <sup>۱</sup>	گرم کن برقی
اتیل الکل (اتانول) ۹۶ درجه	مکنده
بشر	چگالنده
ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری	بالن در سنباده‌ای
بورت	

### روش کار

- در صورتی که روغن جامد باشد، آن را در بشر ذوب کنید و از صافی عبور دهید. نمونه‌هایی را که مایع هستند، فقط صاف کنید.
- ۲-۳ گرم از نمونه را به دقت در بالن بریزید.
- به وسیله پی پت حباب‌دار ۲۵ میلی‌لیتر پتاس الکی به آن اضافه کنید.
- در بالن دیگری نیز فقط ۲۵ میلی‌لیتر پتاس الکی بریزید (شاهد).
- به هر دو بالن چگالنده وصل کنید

و به مدت ۳۰ دقیقه در حالت جوش، بازروانی (رفلاکس) کنید تا عمل صابونی شدن خاتمه یابد. پیش از سرد شدن کامل بالن‌ها، به آنها چند قطره شناساگر فنول فتالین بیفزایید و هر دورا با محلول هیدروکلریک اسید ۰/۵ نرمال تا ظاهر شدن رنگ صورتی کم‌رنگ سنجش کنید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- اندازه‌گیری عدد صابونی

۱- ۳۶ گرم پتاسیم هیدروکسید خشک را در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کنید. سپس ۵۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درجه به آن اضافه کنید و درون یک بالن حجم‌سنجی یک لیتری بریزید و خوب مخلوط کنید، در بالن را بگذارید و یک شب آن را در قفسه تاریک نگاه‌داری کنید. سپس با الکل بالن را به حجم برسانید و هم‌بزنید تا محلول یکنواختی حاصل شود.

### محاسبات:

$$\text{عدد صابونی} = [(V_2 - V_1) \times 28 / 0.5] / W$$

که در آن:

$V_1$ : میلی لیتر هیدروکلریک اسید ۰/۵ نرمال برای خنثی کردن شاهد

$V_2$ : میلی لیتر هیدروکلریک اسید ۰/۵ نرمال برای خنثی کردن ارلن نمونه

W: جرم نمونه بر حسب گرم

نکته

در برخی از نمونه‌ها صابونی کردن بیش از یک ساعت زمان نیاز دارد و پایان کار زمانی است که محتوای ارلن زلال و یکنواخت شود.



نکات ایمنی

پتاسیم هیدروکسید خورنده است و به شدت به پوست آسیب می‌رساند؛ بنابراین هنگام کار از لوازم حفاظتی مناسب استفاده کنید و نکات ایمنی را رعایت کنید.



### پروتئین مواد غذایی و اندازه‌گیری آن

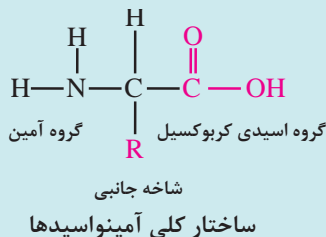
پروتئین‌ها یکی از اجزای مهم مواد غذایی هستند. بیشتر آنها از ۲۰ نوع آمینو اسید تشکیل شده‌اند که توسط پیوندهای پپتیدی<sup>۱</sup> به یکدیگر متصل‌اند. این نوع اتصال باعث می‌شود تا مجموعه متنوع و بی‌شماری از انواع پروتئین با ساختار و خواص گوناگون وجود داشته باشد. از دیدگاه نظری، تمامی پروتئین‌های تولیدشده توسط موجودات زنده می‌توانند در بدن انسان استفاده شوند (شکل ۱۳) اما آن دسته از پروتئین‌ها حائز اهمیت هستند که قابل هضم و غیرسمی و دارای خواص مفید باشند.



شکل ۱۳- انواع مواد غذایی سرشار از پروتئین

۱- Peptide bond: یک پیوند شیمیایی بین دو مولکول است که گروه کربوکسیل یک مولکول با گروه آمین مولکول دیگر واکنش می‌دهد و یک مولکول آب آزاد می‌شود.

پروتئین‌ها افزون بر ارزش غذایی، وظایفی نظیر امولسیون‌کنندگی، ایجاد حباب، ژل کردن، و افزایش گران‌روی غذا را بر عهده دارند. به علاوه در هنگام آماده‌سازی غذا و تولید آن دستخوش واکنش‌های زیادی می‌شوند که بر کیفیت و عطر و طعم غذا تأثیرگذار است.



آمینواسیدها مولکول‌های دارای دو گروه کربوکسیلیک اسید و بازی آمین هستند، و می‌توانند با بازها و اسیدها واکنش دهند. به دلیل همین ماهیت دوگانه در محیط‌های اسیدی و بازی، محلول هستند، اما می‌توان با تنظیم pH آنها را رسوب داد.

بیشتر بدانید



## قدرت اسیدی مواد غذایی

قدرت اسیدی و قدرت بازی مواد غذایی توسط شاخص pH سنجیده می‌شوند. pH خون و مایعات خارج سلولی بدن در گستره ۷/۴۵ - ۷/۳۵ (اندکی بازی) است و حفظ pH در این گستره برای سلامتی بدن، کارکرد اندام‌های حیاتی و انجام واکنش‌های طبیعی بدن ضروری است. بدن به کمک عوامل تنظیم‌کننده شیمیایی (بافرهای خون) و اندام‌های حیاتی (ریه و کلیه) در برابر تغییرات pH مقاومت می‌کند. مواد غذایی مختلف قدرت اسیدی متفاوتی دارند. جدول ۵ قدرت اسیدی و بازی برخی از مواد غذایی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- قدرت اسیدی و بازی مواد غذایی

ماده غذایی	قدرت اسیدی و بازی
میوه‌جات خشک و کنسرو شده، شکلات، غلات برشته شده، چیپس، کیک، نان سفید، سوسیس، ماهی کنسرو شده، گوشت گاو، پنیر فراوری شده، تخم کتان.	اسیدی شدید
سیب، پرتقال، هلو، انبه، گلابی، سبزیجات کنسرو شده، بادام زمینی، نان چاودار، مرغ، بوقلمون، کره، تخمه آفتابگردان.	اسیدی متوسط
هندوانه، موز سبز، سیب زمینی، دانه انگور، گردو، نان کامل غلات، ماهی، ماست.	اسیدی کم
موز، آواکادو، کدو، بامیه، کرفس، شاه‌بلوط، شیر سویا.	بازی کم
کیوی، گیلان، هویج، زیتون، مغز بادام، روغن نارگیل.	بازی متوسط
سیر، بروکلی، شاهدانه، روغن زیتون.	بازی زیاد



## فعالیت عملی ۱۲

### کنترل کیفیت شیر

قدرت اسیدی می‌تواند تازگی یا ماندگی شیر، کیفیت نگهداری آن و همچنین میزان باکتری‌های موجود در آن را به‌طور تقریبی نشان دهد. قدرت اسیدی شیر تازه برابر با ۰/۱۳ - ۰/۱۸ بر حسب درصد لاکتیک‌اسید است. شیر تازه لاکتیک‌اسید ندارد. در اثر تخمیر میکروبی، قند موجود در شیر (لاکتوز) تبدیل به لاکتیک‌اسید شده و قدرت اسیدی شیر را افزایش می‌دهد.

### ۱ آزمایش جوش

مقداری شیر (حدود ۵ mL) را در یک لوله بریزید و روی چراغ الکلی گرما دهید. شیری که قدرت اسیدی آن بالا باشد، گرمای جوش را تحمل نمی‌کند و منعقد می‌شود.

۲ مطابق با استاندارد شماره ۲۸۵۲ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «شیر و فراورده‌های آن - تعیین قدرت اسیدی pH - روش آزمون»، قدرت اسیدی و pH یک محصول لبنی مانند شیر، ماست یا پنیر را اندازه‌گیری کند. طبق تعریف سازمان ملی استاندارد ایران، قدرت اسیدی کل عبارت از مقدار سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ نرمالی است که بتواند اسید مقدار معینی از شیر یا فراورده‌های لبنی را در حضور شناساگر فنول‌فتالئین خنثی کند.

### مواد و وسایل مورد نیاز

آب مقطر عاری از کربن‌دیوکسید	پی‌پت ۱۰ و ۲۰ و ۲۵ میلی‌لیتری
محلول سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ نرمال	بورت ۲۵ میلی‌لیتری
شناساگر فنول‌فتالئین	ترازوی ۰/۰۰۱ گرم
بالن حجمی ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتری	ارلن ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتری
همزن شیشه‌ای	ظرف درب‌دار شیشه‌ای ۱۰۰ میلی‌لیتری
کاغذ صافی	بشر ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتری
آون	آب‌فشان

نکته

برای تهیه آب مقطر عاری از کربن‌دیوکسید، آب مقطر را بجوشانید، سرد کنید و در بطری دربسته نگهداری کنید.



### روش کار:

۱ ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه مانند شیر را در یک ارلن بریزید و به آن چند قطره شناساگر فنول‌فتالئین بیفزایید.

۲ بورت را ابتدا با آب مقطر، سپس با محلول سدیم‌هیدروکسید بشویید و با محلول سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ نرمال پر کنید.

۳ ضمن هم‌زدن ارلن، عمل سنجش حجمی را تا ظاهر شدن رنگ صورتی کم‌رنگ ادامه دهید و حجم سدیم‌هیدروکسید مصرفی را یادداشت کنید (V).

$$\text{قدرت اسیدی} = \frac{N \times 0.009 \times 100}{V}$$

همین آزمایش را می‌توانید با ماست انجام دهید. در این حالت باید ماستی را که به‌عنوان نمونه برمی‌دارید با ۲۰ میلی‌لیتری آب مقطر بدون کربن دی‌اکسید رقیق کنید. در مورد موادی مانند لبنیات پودری (شیر خشک) و آب‌پنیر باید آنها را ابتدا در آب مقطر عاری از کربن دی‌اکسید حل کنید.



ویتامین‌ها گروه مهمی از مواد مغذی و از عوامل تعیین‌کننده ارزش غذایی یک ماده غذایی هستند (شکل ۱۴). این ترکیبات نقش مهمی در زندگی جانداران دارند. به علاوه برخی از آنها مانند ویتامین C همراه با ترکیبات گوگردار غذا نقش مهمی در رنگ و طعم مواد غذایی دارند.



شکل ۱۴- ویتامین‌های موجود در برخی مواد غذایی<sup>۱</sup>

۱- ویتامین PP همان ویتامین B<sub>3</sub> است که نیاسین niacin نیز نامیده می‌شود.

ویتامین‌هایی مانند ویتامین C و هشت گروه ویتامین B محلول در آب هستند و قابلیت ذخیره در بدن را ندارند؛ بنابراین باید روزانه مصرف شوند. ویتامین‌های A، D، E و K محلول در چربی‌ها هستند و می‌توانند در بدن ذخیره شوند.

محتوای ویتامین مواد غذایی وابسته به بسیاری از عوامل هنگام تولید مواد غذایی است. برای مثال، در مورد گیاهان، گونه، محیط رشد، شرایط خاک، کوددهی، آبیاری، شدت و زمان نوردهی و شیوه انبارداری در میزان ویتامین موجود در محصول نقش دارند. پایداری ویتامین‌ها در مقابل عوامل مختلف در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۶- پایداری برخی ویتامین‌ها

ویتامین	باز	اسید	رطوبت	گرما	نور
A	+	++	+	++	+++
D	++	++	+	++	+++
E	++	+	+	++	++
K	+++	+	+	+	+++
C	+++	++	++	++	+
B <sub>۱</sub>	+++	+	++	++	++
B <sub>۲</sub>	+++	+	+	+	+++
B <sub>۵</sub>	+	+	+	+	+
B <sub>۶</sub>	++	++	+	+	++
B <sub>۱۲</sub>	+++	+++	++	++	++
فولیک اسید	++	++	+	+	++
+ خوب، ++ متوسط، +++ ضعیف					

## مواد معدنی غذا

از بین ۹۲ عنصر شیمیایی طبیعی، ۸۱ عنصر در بدن انسان یافت می‌شود و ۲۹ عنصر که عنصرهای اساسی نامیده می‌شوند، نقش مهمی در حیات دارند. برخی از این عناصر شامل اکسیژن، کربن، هیدروژن، نیتروژن، کلسیم (شکل ۱۵) و آهن است.

در مورد مواد معدنی مورد نیاز بدن موجودات زنده و منابع تأمین هر یک تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۴

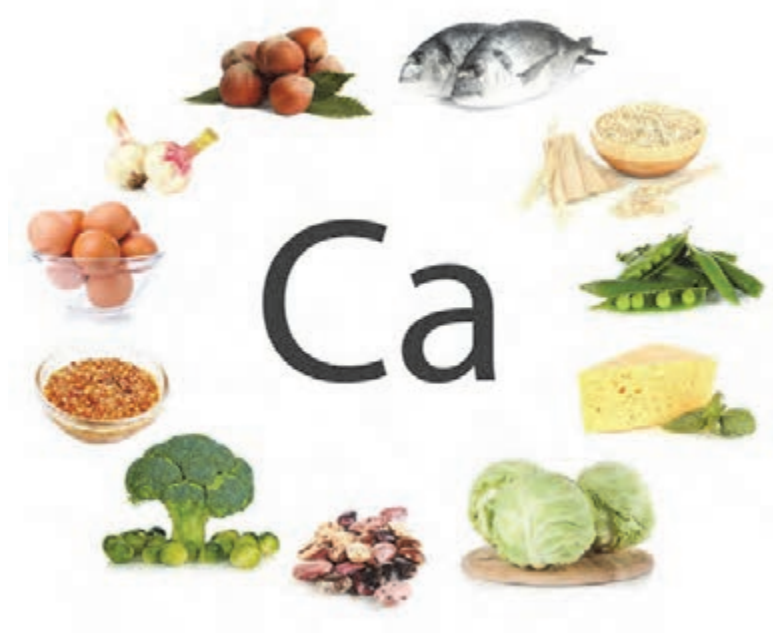


اینکه عناصر معدنی به صورت چه ترکیبی در بدن وجود داشته باشند، تعیین‌کننده نقش زیستی و ایمنی و جذب مواد معدنی غذا است. برای نمونه، آهن به صورت ترکیب شیمیایی آهن (II) سولفات به دلیل حل‌پذیری، جذب بالایی دارد، اما به صورت آهن (III) اکسید به دلیل حل‌پذیری کم، دارای جذب ناچیزی است. علاوه بر این، حضور برخی ترکیبات نقش اساسی در جذب کردن یا نکردن مواد معدنی در بدن انسان دارند؛ مثلاً در حضور ویتامین C به دلیل اینکه حل‌پذیری ترکیبات نامحلول آهن در محیط اسیدی بیشتر است، جذب آهن افزایش پیدا می‌کند اما در حضور تانیک‌اسید یون‌های آهن به شکل رسوب در خواهند آمد و جذب آن کاهش می‌یابد. تانیک‌اسید جزء ترکیبات موجود در بسیاری از مواد گیاهی مانند چای است.

تحقیق کنید  
۵



پخت‌وپز در ظروف چدنی چه تأثیری در تأمین آهن مورد نیاز بدن ما دارد؟



شکل ۱۵- مواد غذایی سرشار از کلسیم

مواد معدنی غذا، پس از سوختن کامل غذا به صورت خاکستر باقی می‌مانند.

فعالیت عملی ۱۳



### کنترل کیفیت گوشت

خاکستر موجود در یک نمونه از گوشت را مطابق با استاندارد شماره ۷۴۴ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «گوشت و فراورده‌های آن - تعیین مقدار خاکستر کل» اندازه‌گیری کنید.





طبق تعریف خاکستر کل مقدار باقی مانده حاصل از سوزاندن نمونه مورد آزمون، در دمای  $550 \pm 25$  درجه سلسیوس است.

### مواد و وسایل مورد نیاز

- آب مقطر	- (خردکن <sup>۱</sup> ، چرخ گوشت)
- هیدروژن پراکسید <sup>۱</sup> ۳۰ درصد	- بوتله چینی <sup>۳</sup>
- خشکانه	- کوره الکتریکی با قابلیت تنظیم در دمای $550 \pm 25$
- ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ میلی گرم	- درجه سلسیوس و مجهز به کنترل کننده زمان و دما.
- آون	- اجاق الکتریکی <sup>۴</sup> یا شعله گاز <sup>۵</sup>

### روش کار:

- ۱ بوتله را به مدت ۲۰ دقیقه در کوره الکتریکی با دمای  $550 \pm 25$  درجه سلسیوس گرما دهید، سپس آن را در خشکانه خنک کنید. سپس با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت تقریبی ۰/۱ میلی گرم وزن کنید ( $m_0$ ).
- ۲ ۱/۵ تا ۲ گرم از نمونه آزمایشگاهی را به بوتله انتقال دهید و به طور یکنواخت پخش کنید و بلافاصله جرم آن را با ترازوی با دقت تقریبی ۰/۱ میلی گرم اندازه گیری کنید ( $m_1$ ).
- یادآوری ۱- در شرایط مقتضی و با توجه به ماهیت نمونه آزمایشگاهی می توان تا ۵ گرم نمونه برداشت کرد که باید در گزارش آزمون، مقدار نمونه مورد استفاده قید شود.
- ۳ اگر کوره الکتریکی مجهز به کنترل کننده زمانی و دمایی باشد، بوتله حاوی نمونه را در کوره الکتریکی سرد قرار دهید و به تدریج دمای کوره را تا  $25 \pm 550$  درجه سلسیوس بالا ببرید و ۵ تا ۶ ساعت عمل گرما دادن را در دمای  $25 \pm 550$  درجه سلسیوس ادامه دهید تا خاکستر سفید رنگ حاصل شود. سپس بوتله را از کوره بردارید و در خشکانه خنک کنید.
- ۴ بررسی خاکستر: اگر خاکستر هنوز سیاه باشد، بوتله را سرد کنید و سپس چند قطره هیدروژن پراکسید یا آب مقطر اضافه کنید و پس از تبخیر رطوبت بر روی صفحه گرم، ادامه عمل را مطابق همین دستور تکرار کنید. پس از سرد کردن، به وسیله ترازوی آزمایشگاهی با دقت تقریبی ۰/۱ میلی گرم جرم آن را اندازه گیری کنید ( $m_2$ ).
- یادآوری ۲- سعی کنید مراقبت های لازم را در هنگام انتقال بوتله حاوی خاکستر از کوره به خشکانه و همچنین از خشکانه به ترازوی آزمایشگاهی، به منظور جلوگیری از ریختن و کم شدن از میزان خاکستر موجود در بوتله انجام دهید.
- ۵ چنانچه کوره دارای کنترل کننده دما و زمان نباشد، ابتدا نمونه را در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت در آون خشک کنید، سپس بوتله را از داخل آون بردارید و روی اجاق الکتریکی یا شعله گاز گرما دهید تا نمونه مورد نظر کاملاً بسوزد و دیگر دودی از آن متصاعد نشود. در هنگام سوزاندن، نمونه نباید آتش بگیرد و شعله ور شود.

۱ - Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ )

۴ - Electric hot plate

۲ - Cutter

۵ - Gas flame

۳ - Dish - crucible

- ۶ سپس بوتۀ حاوی نمونه را در کوره الکتریکی سرد قرار دهید و دمای کوره را تا  $25 \pm 55^\circ$  درجۀ سلسیوس بالا ببرید و بعد از ۴ ساعت، بوتۀ را از کوره بردارید و در خشکانه خنک کنید و مطابق بند ۷ عمل کنید.
- ۷ محاسبات:

$$\text{درصد خاکستر} = [(m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

### نمک در مواد غذایی

نمک برای ایجاد طعم و محافظت از غذا استفاده می‌شود. علاوه بر این دو کاربرد، نمک به عنوان تأمین‌کننده سدیم بدن، و ایجاد بافت و رنگ در غذا نقش دارد. این ماده با حذف آب از غذاها باعث کاهش رشد باکتری‌ها و نگهداری مواد غذایی می‌شود. پیش از استفاده از سرمایش به منظور محافظت از مواد غذایی، نمک سود کردن و تولید شوريجات از متداول‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی بوده است. به دلیل مصرف عمومی نمک در همه غذاها، می‌توان برخی عناصرها مانند ید را به آن افزود و از بیماری‌های ناشی از کمبود آنها کاست (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- کاربردهای نمک در صنایع غذایی

نمک می‌تواند در محصولات مانند سوسیس یا سایر گوشت‌های فراوری شده به عنوان عامل پیونددهنده باعث ژل شدن پروتئین‌ها شود و اجزای غذا را به یکدیگر پیوند دهند. همچنین نمک در بسیاری از غذاها مانند سوسیس و نان باعث بهبود رنگ در محصول نهایی می‌شود.

### فعالیت عملی ۱۴



#### کنترل کیفیت کره

نمک موجود در یک نمونه از کره را مطابق با استاندارد شماره ۶۹۴ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «کره - تعیین میزان نمک - روش آزمون» اندازه‌گیری کنید.

### مواد و وسایل مورد نیاز

محلول استاندارد نقره نیترات ۰/۱ مولار محلول شناساگر پتاسیم کرومات پی پت استوانه مدرج	ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم ارلن ۲۵۰ میلی لیتری بورت بالن حجم سنجی
---	--

نکته



محلول استاندارد نقره نیترات باید دور از نور مستقیم خورشید نگهداری شود.  
تهیه محلول شناساگر پتاسیم کرومات: ۵۰ گرم پتاسیم کرومات را در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل کنید.

نکته ایمنی



هنگام کار از لوازم حفاظت شخصی (دستکش، ماسک و عینک) استفاده کنید. توجه داشته باشید که کروم شش ظرفیتی سرطان زا است و رعایت نکات ایمنی که از طرف هنرآموز بیان می شود، الزامی است.

### روش کار:

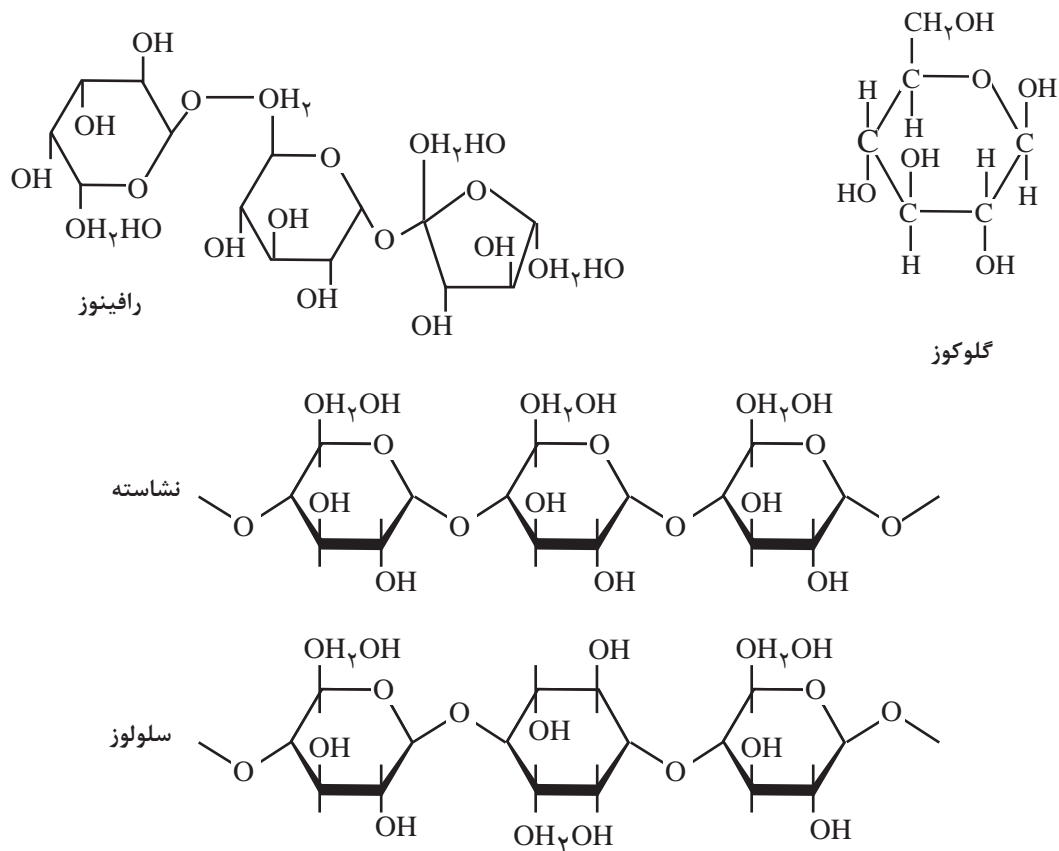
- ۱ مقدار ۱/۵ تا ۵ گرم از کره را بردارید و به ارلن منتقل کنید.
  - ۲ سپس ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به ارلن بیفزایید و تا نقطه جوش گرما دهید تا کره ذوب شود و نمک آن در آب حل شود، سپس تا دمای ۵۰ درجه سلسیوس سرد کنید. دما باید به گونه ای باشد که کره ذوب شده منجمد نشود.
  - ۳ به محتویات ارلن دو میلی لیتر محلول شناساگر پتاسیم کرومات بیفزایید و با استفاده از محلول نقره نیترات تا مشاهده رسوب آجری رنگ (تا ۳۰ ثانیه پایدار بماند) سنجش کنید.
  - ۴ حجم نقره نیترات مصرفی را بر حسب میلی لیتر ثبت کنید ( $V_s$ ).
  - ۵ آزمون شاهد را نیز با استفاده از همه واکنش گرها بدون حضور نمونه انجام دهید و حجم نقره نیترات مصرفی را محاسبه کنید ( $V_o$ ).
  - ۶ غلظت محلول نقره نیترات در این آزمایش با  $C_s$  نمایش داده می شود.
- اگر جرم نمونه را با  $m$  نمایش دهید، مقدار نمک بر حسب درصد وزنی عبارت خواهد بود از:

$$W = \frac{5/844 C_s (V_s - V_o)}{m} \%$$

مقدار نمک به دست آمده را با مقدار نمک موجود در کره مطابق استاندارد مقایسه کنید.

## کربوهیدرات‌ها

کربوهیدرات‌ها یا مواد قندی ترکیبات آلی طبیعی و محصول عمل فوتوسنتز هستند. این ترکیبات به مونوساکاریدها، اولیگوساکاریدها<sup>۱</sup> و پلی‌ساکاریدها<sup>۲</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱۷). مونوساکاریدها ساده‌ترین قندها می‌باشند که بین ۳ تا ۶ کربن دارند و آبکافت نمی‌شوند. اولیگوساکاریدها معمولاً از ۲ تا ۲۰ واحد مونوساکارید تشکیل شده‌اند و می‌توانند به قندهای ساده آبکافت شوند. کل واحدهای قند تشکیل‌دهنده اولیگوساکاریدها می‌توانند یکسان یا متفاوت باشند. پلی‌ساکاریدها مانند نشاسته و سلولوز از بیش از ۲۰ واحد مونوساکارید تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۷- مونوساکارید (گلوکوز)، اولیگوساکارید (رافینوز)، پلی‌ساکارید (نشاسته و سلولوز). حفظ کردن فرمول‌ها الزامی نیست.

نشاسته فراوان‌ترین کربوهیدرات موجود در دانه‌ها، ریشه و میوه گیاهان است و تأثیری بر طعم شیرین غذا ندارد. طعم شیرین غذا مربوط به مونوساکاریدها است که مقدار آن در محصولات گیاهی کم است. برای مثال، ذرت دارای ۰/۲ تا ۰/۵ درصد گلوکوز، ۰/۱ تا ۰/۴ درصد فروکتوز و ۱ تا ۲ درصد ساکاروز است. مونوساکاریدها نه تنها به غذا طعم شیرین می‌بخشند، بلکه هنگام فرایندهایی که در آنها غذا گرما می‌بیند، در طی واکنش‌های اکسایش - کاهش بر روی عطر و رنگ غذا تأثیر می‌گذارند.

۱- Oligosaccharides

۲- Polysaccharides

میوه‌هایی که پس از برداشت می‌توانند رسیده‌تر شوند، در آنها نشاسته تبدیل به قند می‌شود و میوه شیرین‌تر و بهتر می‌شود.

کربوهیدرات‌ها بر رنگ، بافت، و مزه غذا تأثیر می‌گذارند. ۷۰ درصد از انرژی بدن از طریق کربوهیدرات‌ها تأمین می‌شود. برخی از کربوهیدرات‌ها مانند گوارگام<sup>۱</sup> به دلیل تأثیرات روی گران‌روی و انعطاف‌پذیری غذا نقش مهمی در بافت غذا ایجاد می‌کنند.

فیلم آموزشی



کربوهیدرات‌ها



فعالیت عملی ۱۵

### بررسی قند موجود در مواد غذایی

به روش مولیش<sup>۲</sup> می‌توان قندها را به صورت کیفی در محصولات غذایی شناسایی کرد. این آزمایش برای تمام قندها پاسخ مثبت دارد. مونوساکاریدها سریع، ولی دی‌ساکاریدها و پلی‌ساکاریدها به آرامی به این آزمون پاسخ مثبت می‌دهند.

مواد و وسایل مورد نیاز	
لوله آزمایش چند عدد گیره قطره چکان	سولفوریک اسید غلیظ شناساگر مولیش (آلفا نفتل، الکل اتانول ۹۵٪) پی‌پت

روش تهیه شناساگر مولیش: ۱ گرم آلفانفتل را در ۱۰ میلی لیتر الکل ۹۵ درصد حل کنید.

### روش کار:

۱ دو میلی لیتر محلول حاوی قند، مانند یک نمونه شربت یا آب میوه موجود در بازار، را در یک لوله آزمایش بریزید.

۲ قطره شناساگر مولیش به آن اضافه بیفزایید و مخلوط کنید.

۳ سپس ۲ الی ۳ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ به آن اضافه کنید. توجه داشته باشید که اسید را به آرامی از دیواره لوله آزمایش وارد کنید، به گونه‌ای که اسید زیر نمونه برود. ایجاد رنگ قرمز مایل به بنفش در مرز بین دو محلول، نشان‌دهنده وجود قند در نمونه است.

پرسش ۲



نکات ایمنی در آزمایش تشخیص قندها به روش مولیش چیست؟ نام ببرید.

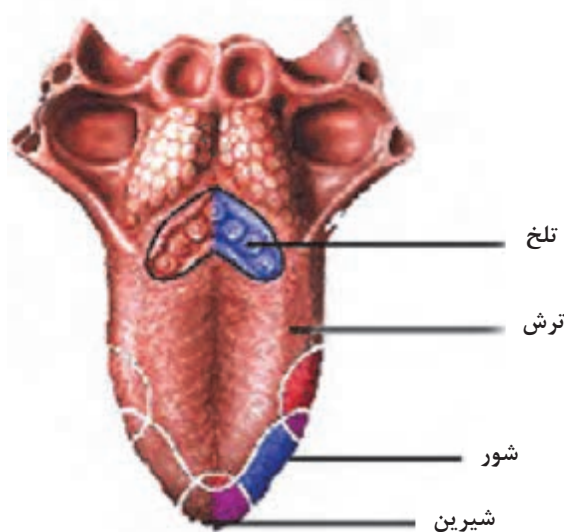
۱- Guar gum گوارگام یا صمغ گوار ماده‌ای است که در صنایع به عنوان امولسیون‌کننده، تثبیت‌کننده، حجم‌دهنده و ژله‌ساز استفاده می‌شود. گوارگام، گواران نیز نامیده می‌شود.

۲- Molisch Test

## طعم غذا

طعم غذا مربوط به مواد با جرم مولکولی کم است که در اثر فراریت تأثیر فراوان بر دلیپذیری غذا برای مصرف‌کننده دارد. وجود چنین ترکیبات شیمیایی در محصولاتمانند سبزیجات، چای و قهوه باعث ایجاد طعم می‌شوند. طعم تنها به مزه غذا اطلاق نمی‌شود بلکه مجموعه‌ای از بو، مزه و احساسات دیگر ما در مورد غذا است که ناشی از عامل‌های محیطی و مواد موجود در غذا است.

مزه عبارت از تحریک سلول‌های چشایی توسط ترکیبات موجود در غذا است که هنگام جویدن غذا باعث تحریک این سلول‌ها می‌شوند. قسمت‌های مختلف زبان قادر به دریافت مزه‌های گوناگون هستند، مثلاً نوک زبان قادر به حس کردن شیرینی است (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- تشخیص مزه‌های مختلف توسط زبان

طبقه‌بندی مزه‌ها، ترش، شور، شیرین، ملس، بی‌مزه، تند، گس و تلخ هستند. شدت یک مزه به دما، حل‌پذیری عامل ایجادکننده مزه، حضور دیگر مزه‌ها و عادت بستگی دارد. بو به مواد فرار مانند استرها، آلدهیدها، الکل‌ها و اسیدهای موجود در غذا مرتبط است. گوشت گاو حاوی بیش از ۳۰۰ نوع ترکیب فرار است که بیشتر آنها هیدروکربن‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها، الکل‌ها، استرها، ترکیبات نیتروژن‌دار و ترکیبات گوگرددار هستند و بوی گوشت ناشی از ترکیب همه این مواد است. زمانی که گوشت پخته می‌شود، بسته به روش پختن و دمای پخت، چربی‌ها اکسید و آبکافت می‌شوند، آمینواسیدها و پروتئین‌ها وارد واکنش‌های شیمیایی می‌شوند و قندها کاهیده می‌شوند. این کنش و واکنش‌ها بوی خاصی به گوشت می‌دهند. به همین دلیل طعم گوشت کباب‌شده و آب‌پز یا خام با یکدیگر متفاوت است.



شکل ۱۹- سنجش کیفی طعم مواد غذایی

معمولاً اندازه‌گیری طعم غذا فرایندی کیفی است و طعم محصولاتی مانند نوشیدنی‌ها، میوه‌جات و قهوه توسط افراد متخصص و حساس به طعم‌ها بررسی می‌شود (شکل ۱۹).

با رجوع به استاندارد شماره ۲۴۴۲ سازمان ملی استاندارد ایران با موضوع «روش تشخیص ارزیابی میزان احساسی طعم در مواد خوراکی»، در مورد سنجش طعم مواد خوراکی مطلب تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید  
۶



فیلم آموزشی



زیست‌شناختی غذا

## تعیین خواص زیست‌شناختی مواد غذایی

غذا برای ریزاندامکان (میکروارگانیسم‌ها) منبع تأمین انرژی و مواد مغذی است و هنگام مصرف آن تأثیرات مثبت و منفی زیادی بر غذا می‌گذارند (شکل ۲۰). علاوه بر ریزاندامکان، آنزیم‌ها نیز باعث تغییرات زیادی در غذا می‌شوند. عواملی مانند دما، pH، رطوبت و ساختار زیستی ریزاندامکان بر فعالیت ریزاندامکان و نیز فعالیت‌های آنزیمی تأثیرگذار هستند.

ایمنی و سلامت غذا بسیار وابسته به حضور و عملکرد ریزاندامکان و آنزیم‌های موجود است. گوشتی که در بسته‌بندی غیرایمن و شرایط نامناسب نگهداری شود، توسط آنزیم‌ها دستخوش تغییرات زیادی می‌شود و ریزاندامکان به سرعت آن را به فساد می‌کشانند.

عملکرد آنزیم‌ها و ریزاندامکان همیشه منفی نیست و تأثیرات مثبتی نیز بر مواد غذایی و نیز تولید محصولات جدید و متنوع دارند.

به‌علاوه، عوامل بیماری‌زای زیادی، شامل باکتری‌ها و ویروس‌ها و سموم میکروبی، توسط غذا منتقل می‌شوند.



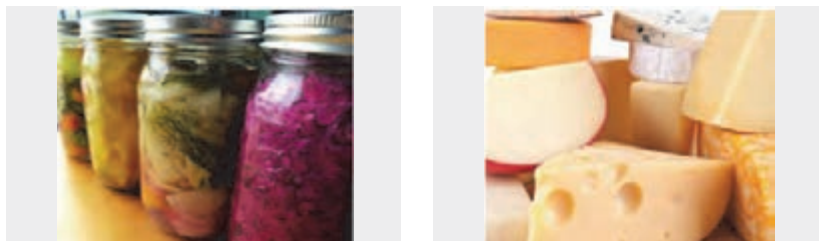
شکل ۲۰- فساد مواد غذایی ناشی از تأثیر ریزاندامکان

## اثر ریزاندامکان بر مواد غذا

ریزاندامکانی که همراه غذا وجود دارند، می‌توانند باعث وقوع دو اتفاق در غذا به شرح ذیل شوند:

۱ غذا را به فساد بکشانند؛

۲ باعث ایجاد فراورده‌های جدید و مفید در آن شوند (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- تولید فراورده‌های غذایی جدید مانند پنیر با استفاده از ریزاندامکان و ترش‌جات

ریزاندامکان در کنش و واکنش با اجزای غذا نظیر پروتئین‌ها، مواد چرب و کربوهیدرات‌ها، ترکیبات جدید تولید می‌کنند که باعث فساد غذا می‌گردد و یا با تغییرات آنزیمی و شکستن مولکول‌ها، باعث ایجاد طعم جدید می‌شوند. بنابراین آنها دارای دو نقش مفید و مضر هستند که در جدول ۷ خلاصه شده‌است.

جدول ۷- تأثیرات مفید و مضر ریزاندامکان در غذا

تأثیرات مفید	تأثیرات مضر
تولید زیست‌شناختی غذای جدید	ایجاد بیماری‌ها
حفاظت غذا به روش فیزیولوژیک	فساد مواد غذایی
پروبیوتیک <sup>۱</sup>	-

## تأثیرات مفید

**تولید زیست‌شناختی محصولات جدید:** در این فرایند توسط ریزاندامکان مفید غذاهای مختلف تخمیری مانند ماست، نان، پنیر تولید می‌شوند. به علاوه آنزیم‌های تولیدشده توسط میکروب‌ها برای تولید غذا و افزودنی‌های غذا استفاده می‌شوند.

**حفاظت غذا به روش فیزیولوژیک:** در این روش عوامل فساد و بیماری‌زای مواد غذایی توسط برخی ریزاندامکان کنترل می‌شود و از بین می‌رود. باکتری‌های لاکتیک‌اسید<sup>۲</sup> معمول‌ترین نوع باکتری با خواص منحصر به فرد و بدون ضرر برای بدن انسان هستند که در محصولاتی مانند ماست، شیر و پنیر پروبیوتیک با رهاسازی مواد ضدباکتری نظیر لاکتیک‌اسید، استیک اسید و هیدروژن پراکسید مانع فساد مواد غذایی می‌شوند و از رشد عوامل بیماری‌زا در غذا جلوگیری می‌کنند و به‌علاوه تأثیرات مثبت بر سامانه گوارش انسان دارند.

۱- Probiotic

۲- Lactic Acid Bacteria (LAB)



## پروبیوتیک‌ها

دسته‌ای از باکتری‌های مفید هستند که برای عملکرد بهتر سامانه گوارشی و نیز تولید محصولات مفید برای بدن به غذاها افزوده می‌شوند.

بیشتر بدانید



مثال‌هایی از پروبیوتیک‌های غذا عبارت‌اند از:  
باکتری‌های لاکتوباسیلیوس/سیدوفیلوس<sup>۱</sup> و بیفیدوس<sup>۲</sup> که به شیر خشک کودکان افزوده می‌شود.  
ماست‌های پروبیوتیک با افزودن باکتری‌های لاکتوباسیلیوس بولگاریکوس<sup>۳</sup> و استرپتوکوکوس<sup>۴</sup> تولید می‌شوند و پنیر پروبیوتیک با افزودن باکتری لاکتوباسیلیوس<sup>۵</sup> تولید می‌شود.

## تأثیرات مضر:

**ایجاد بیماری:** در فرایند تولید غذا از مزارع تا انتقال به دست مصرف‌کننده ممکن است عوامل بیماری‌زای زیادی مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها وارد غذا شوند و پس از مصرف آن باعث بیماری شوند. برای مثال، سالمونلا موجب عفونت غذایی می‌شود.

**فساد مواد غذایی:** باکتری‌ها مواد غذایی را مصرف می‌کنند و محصولات ناخواسته‌ای تولید می‌نمایند که باعث فساد ماده غذایی می‌شود و به‌علاوه می‌توانند با تغییرات آنزیمی باعث تغییرات مولکولی در مواد چرب، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها گردند و محصولات سمی و ناخواسته تولید کنند که باعث ایجاد طعم و بوی بد و فساد ماده غذایی می‌شود. برای مثال، اگر شرایط نگهداری گوشت مناسب نباشد و آلوده شود، ابتدا فساد سطحی رخ می‌دهد و باعث تغییر رنگ آن و ایجاد یک طبقه چسبناک و لزج در سطح گوشت می‌شود که در صورت پیشرفت فساد طعم نامطلوب در گوشت ایجاد می‌کنند. چنانچه فساد گوشت ادامه پیدا کند، توسط باکتری‌های بی‌هوازی فساد عمقی ایجاد می‌شود که شدیدتر از نوع سطحی است بر خلاف فساد سطحی، قابل اصلاح نیست. در نتیجه تجزیه پروتئین‌ها و چربی‌ها توسط آنزیم‌ها، رنگ و بوی گوشت تغییر می‌کند.

فیلم آموزشی

فساد نان



۱- Lacto Bacillus Acidophilus

۲- Bifidus

۳- Lactobacillus bulgaricus

۴- Streptococcus

۵- Lactobacillus

## عوامل مؤثر بر رشد ریزاندامکان در غذا

عوامل مؤثر بر رشد ریزاندامکان در غذا به دو دسته عوامل درونی و بیرونی تقسیم‌بندی می‌شوند. **عوامل درونی مؤثر بر رشد ریزاندامکان:** عوامل درونی مؤثر عبارت‌اند از pH، محتوای رطوبت، محتوای مواد مغذی غذا، مواد ضدباکتری، ساختار زیستی.

### pH

بیشتر باکتری‌ها در pH خنثی یا کمی بازی بین ۶/۸ تا ۷/۵ رشد می‌کنند و در محیط‌های اسیدی و بازی شدید می‌میرند. سایر ریزاندامکان مخصوصاً مخمرها و قارچ‌ها و برخی دیگر از باکتری‌ها در دامنه وسیعی از pH رشد می‌کنند. قارچ‌ها در pH بین ۱/۵ تا ۱۱ و مخمرها از pH ۱/۵ تا ۸/۵ رشد می‌کنند. جدول pH برخی مواد غذایی را نشان می‌دهد.

جدول ۸ - pH برخی مواد غذایی

ماده غذایی	گستره pH
گوشت	۵/۱ تا ۶/۲
مرغ	۶/۲ تا ۶/۴
شیر	۶/۳ تا ۶/۸
پنیر	۴/۹ تا ۵/۹
ماهی	۶/۶ تا ۶/۸
میوه‌جات شیرین	بیش از ۴/۵
سبزیجات	۳ تا ۶/۱

**محتوای رطوبت:** رشد ریزاندامکان و رخ‌دادن واکنش‌های شیمیایی و میکروبی نیازمند آب است و از این روی محتوای آب آزاد یا همان فعالیت آب تعیین‌کننده فعالیت ریزاندامکان است. اگر آب آزاد موجود در غذا پایین‌تر از حد معینی باشد، رشد ریزاندامکان محدود می‌شود.

**محتوای مواد مغذی غذا:** ریزاندامکان به چربی، کربوهیدرات، پروتئین، آب، انرژی، نیتروژن، فسفر، گوگرد، ویتامین‌ها و مواد معدنی برای تکثیر و رشد نیاز دارند. برخی از غذاها مانند شیر، گوشت و تخم مرغ با غنی بودن از این مواد، محیط مناسب‌تری برای رشد ریزاندامکان هستند و به همین دلیل برای فساد مساعدترند.

**مواد ضدباکتری:** وجود مواد ضدباکتری در غذا مانع رشد و تکثیر باکتری‌ها می‌شود. برخی از غذاها مانند آب انار حاوی مواد شیمیایی زیادی مانند فلاونوئیدها<sup>۱</sup>، تانن<sup>۲</sup>، آنتوسیانین‌ها<sup>۳</sup> و پروآنتوسیانین‌ها<sup>۴</sup> هستند که به‌طور طبیعی غذا را محافظت می‌کنند. این مواد با دادن یک هیدروژن به رادیکال‌های آزاد شده ناشی از فرایند اکسایش، رادیکال را بی‌اثر می‌کنند و مانع رخ‌دادن واکنش زنجیره‌ای اکسایش می‌شوند. به برخی از غذاها نیز مواد ضدباکتری مانند سدیم‌بنزوات برای محافظت از آنها افزوده می‌شود.

نکته ایمنی



در تمامی آزمایش‌هایی که با ریزاندامکان و فساد مواد غذایی مرتبط هستند، امکان رشد و تکثیر عوامل بیماری‌زا وجود دارد. از این روی از لوازم حفاظتی مناسب و ماسک استفاده کنید و مواد فاسد شده را لمس نکنید، نچشید و بدون ماسک و طولانی‌مدت بو نکنید.

## فعالیت عملی ۱۶



### بررسی کیفی رشد ریزاندامکان در ماده غذایی

مواد و وسایل مورد نیاز	
چند نمونه آب‌میوه طبیعی و تازه سدیم‌بنزوات	ترازو ظرف استریل دردار، چند عدد

### روش کار:

- ۱ دو نمونه یکسان آب‌میوه طبیعی و تازه تهیه کنید و در ظرف استریل دردار بریزید و در آنها را ببندید.
- ۲ به یکی از بطری‌ها به ازای هر کیلوگرم آب‌میوه ۲ گرم سدیم‌بنزوات بیفزایید.
- ۳ هر دو بطری را در شرایط یکسان قرار دهید و پس از یک هفته با یکدیگر مقایسه کنید.
- کدام بطری دچار فساد بیشتری شده است؟
- سدیم‌بنزوات چه نقشی ایفا می‌کند؟

**ساختار زیستی:** ساختار زیستی برخی مواد غذایی به‌گونه‌ای است که مانع نفوذ باکتری‌ها می‌شود و از این روی، آنها محافظت می‌شوند. پوست میوه‌جات و پوسته تخم‌مرغ مثالی از این ساختار است که ماده غذایی را از حملات میکروبی محافظت می‌کنند.

۱- Flavonoids

۲- Tannin

۳- Anthocyanins

۴- Proanthocyanins

**عوامل بیرونی مؤثر بر رشد ریزاندامکان:** این عوامل شامل دمای نگهداری غذا، حضور و غلظت گازها در محیط و رطوبت نسبی محیط نگهداری است.

#### دمای نگهداری غذا:

رشد ریزاندامکان به دمای محیط وابسته است. برخی از آنها در دمای خاصی رشد می‌کنند و برخی در همان دما قابلیت رشد ندارند. ریزاندامکان براساس دمای بهینه رشد به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از:

۱- **ریزاندامکان سایکروفیلیک<sup>۱</sup>:** بهترین دمای رشد این ریزاندامکان ۲۰ درجه سلسیوس است اما تا دمای منفی ۱۰ درجه سلسیوس در صورتی که انجماد رخ ندهد، قادر به رشد هستند. این نوع از ریزاندامکان در دمای پایین باعث فساد مواد غذایی می‌شوند. برخی از ریزاندامکان موجود در خاک و آب از این گونه هستند.

۲- **ریزاندامکان مزوفیلیک<sup>۲</sup>:** این ریزاندامکان در دمای بین ۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس رشد می‌کنند. بهترین دما برای رشد آنها ۳۷ درجه سلسیوس است و هیچ‌کدام از آنها در دمای بالاتر از ۴۵ و کمتر از ۵ درجه سلسیوس زنده نمی‌مانند. بیشتر باکتری‌های بیماری‌زا متعلق به این گروه هستند.

۳- **ریزاندامکان ترموفیلیک<sup>۳</sup>:** این دسته از ریزاندامکان در دمای بیشتر از ۴۵ درجه سلسیوس رشد می‌کنند و بهترین دمای رشد آنها بین ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس است. برخی از آنها مانند سینکوکوکوس<sup>۴</sup> در دمای ۷۴ درجه سلسیوس نیز به رشد خود ادامه می‌دهند. این دسته از ریزاندامکان برای تهیه غذاهای فراوری شده مفیدند.

### فعالیت عملی ۱۷



#### بررسی دمای محیط بر فساد مواد غذایی

##### روش کار:

دو ظرف دردار و دو عدد تخم‌مرغ تهیه کنید و هر کدام از تخم‌مرغ‌ها را در یک ظرف بشکنید. در ظرف‌ها را ببندید و یکی را در محیط یخچال و دیگری را در محیط معمولی نگهداری کنید و پس از یک هفته آنها را با یکدیگر مقایسه کنید.

■ کدام یک دچار فساد بیشتری شده است؟

■ چه عامل یا عواملی باعث فساد بیشتر گردیده است؟

۱- Psychrophilic

۲- Mesophilic

۳- Thermophilic

۴- Synechococcus

## حضور و غلظت گازها در محیط

رشد ریزندامکان به حضور و غلظت گازها در محیط ماده غذایی وابسته است. ریزندامکان مختلف برای حیات ممکن است به غلظت بالای اکسیژن (هوازی<sup>۱</sup>)، غلظت کم اکسیژن (ریزهوازی<sup>۲</sup>) و یا غیاب اکسیژن (ناهوازی<sup>۳</sup>) نیاز داشته باشند. برخی از ریزندامکان نیز در حضور و غیاب اکسیژن رشد می کنند که به این دسته ناهوازی اختیاری<sup>۴</sup> می گویند. بنابراین ریزندامکان براساس نیاز به اکسیژن به چهار گروه تقسیم بندی می شوند:

- ۱- **هوازی:** این ریزندامکان در حضور هوا و اکسیژن خالص رشد می کنند و تنفس هوازی دارند.
- ۲- **ریزهوازی:** این دسته در غلظت اکسیژن کمتر از ۵ درصد رشد می کنند.
- ۳- **بی هوازی:** این دسته برای رشد نیاز به اکسیژن ندارند و در صورت غیاب هوا حتی در بسته بندی مواد غذایی رشد می کنند. این ریزندامکان در حضور اکسیژن هوا می میرند.
- ۴- **بی هوازی اختیاری:** این دسته در حضور یا غیاب هوا رشد می کنند و در غیاب اکسیژن فعالیت آنها بی هوازی می شود.

### رطوبت نسبی محیط نگهداری غذا

منظور از رطوبت نسبی عبارت از میزان بخار آب موجود در محیط نگهداری غذا است. غذاهای با فعالیت آب پایین در محیط مرطوب آب جذب می کنند و با بالا رفتن فعالیت آب آنها مستعد فساد و رشد ریزندامکان می شوند. برای مثال، دانه های غلات در هوای مرطوب آب جذب می کنند و دچار فساد می شوند.

## فعالیت عملی ۱۸



### بررسی اثر رطوبت در نگهداری مواد غذایی

#### روش کار:

- دو قطعه نان تهیه کنید. یک قطعه را به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سلسیوس درون آون قرار دهید تا کاملاً خشک و شکننده شود.
- هر دو قطعه نان را در کیسه های پلاستیکی جداگانه قرار دهید و در آن را ببندید. سپس در شرایط یکسان نگهداری کنید و پس از یک هفته آنها را با یکدیگر مقایسه کنید.
- کدام یک دچار فساد بیشتری شده است؟
  - دلایل مؤثر در فساد بیشتر نمونه نان را بیان کنید.

۱- Aerobic

۲- Microaerobic

۳- Anaerobic

۴- Facultative Anaerobe

## پیش پایانی

- ۱ غذای سالم و مناسب را تعریف کنید.
- ۲ کنترل کیفیت چیست؟
- ۳ دو مورد از وظایف سامانه مدیریت کیفیت را بنویسید.
- ۴ وظیفه بخش کنترل کیفیت در صنایع غذایی چیست؟
- ۵ راه‌های ورود خطرات شیمیایی، فیزیکی و زیست‌شناختی به یک کارخانه مواد غذایی کدام‌اند؟
- ۶ مراحل کنترل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی را نام ببرید.
- ۷ اجزای اصلی مواد غذایی را نام ببرید.
- ۸ نقش و اهمیت آب در مواد غذایی را شرح دهید.
- ۹ منظور از جریان‌پذیری مواد غذایی چیست؟
- ۱۰ چه عواملی بر گران‌روی مواد غذایی تأثیر می‌گذارند؟ نام ببرید.
- ۱۱ هرم تغذیه چیست؟
- ۱۲ چه تفاوت عمده‌ای بین چربی‌های گیاهی و حیوانی وجود دارد؟
- ۱۳ خواص شیمیایی مواد چرب را شرح دهید.
- ۱۴ عدد صابونی چیست و چه چیزی را در مورد روغن‌ها نشان می‌دهد؟
- ۱۵ انواع ویتامین‌ها را براساس حل‌پذیری نام ببرید.
- ۱۶ کربوهیدرات چیست؟ به چند دسته تقسیم می‌شوند؟ نام ببرید.
- ۱۷ عوامل مؤثر بر فعالیت ریزندامکان و آنزیم‌ها را نام ببرید.

## ارزشیابی شایستگی آزمایش‌های کنترل کیفیت مواد غذایی

### شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار داده‌شده را با دقت انجام دهد.  
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.  
پس از انجام کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

### استاندارد عملکرد:

انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی کنترل کیفیت مواد غذایی طبق استاندارد

### شاخص‌ها:

- رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
- انجام کار طبق دستور کار

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: آزمایشگاه  
شرایط دستگاه: آماده به کار  
زمان: یک جلسه آموزشی  
ابزار و تجهیزات: وسایل شیشه‌ای آزمایشگاهی، چگالی‌سنج، لاکتودانسیتوتر، آون، خشکانه، ترازو، دستگاه سوکسله

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	به‌کارگیری مفاهیم کنترل کیفیت در مواد غذایی	۱	
۲	انجام آزمایش‌های فیزیکی کنترل کیفیت در مواد غذایی	۱	
۳	انجام آزمایش‌های شیمیایی کنترل کیفیت در مواد غذایی	۲	
۴	انجام آزمایش‌های زیست‌شناختی کنترل کیفیت در مواد غذایی	۱	
<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</p> <p>۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی</p> <p>۲- نگرش: صرفه‌جویی</p> <p>۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش</p> <p>۴- شایستگی‌های غیر فنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای ۲- مدیریت منابع ۳- محاسبه و کاربست ریاضی</p> <p>۴- مستندسازی: گزارش‌نویسی</p>			
میانگین نمرات		۲	*

\* حداقل میانگین نمرات هنجار برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

- ۱ برنامه درسی درس عملیات کنترل کیفیت در صنایع شیمیایی، رشته صنایع شیمیایی، ۱۳۹۴، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
- ۲ آبرومند، علی. (۱۳۸۹). بیوشیمی و شیمی مواد غذایی. انتشارات علم کشاورزی ایران.
- ۳ ابراهیمی ذاکر، داوود. (۱۳۹۴). آب، فاضلاب و تصفیه. (چاپ اول). تهران: انتشارات یزدا.
- ۴ ادیب فر، اکبر. (۱۳۸۹). شیرین‌سازی آب: مبانی و روش‌ها. (چاپ اول). تهران: انتشارات پندار پارس.
- ۵ برشا، ارنست، مایزلیش و تورک. شیمی عمومی جلد ۲. ترجمه: هیأت مترجمان (۱۳۶۳). تهران: انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
- ۶ بیرق‌دار، احسان. (۱۳۹۵). مقدمه‌ای بر تصفیه فاضلاب. (چاپ اول). تهران: انتشارات آینده دانش.
- ۷ پیکری، محمود و مهربانی، ارجمند. (۱۳۹۱). مبانی تصفیه آب. (چاپ پنجم). اصفهان: انتشارات ارکان دانش.
- ۸ پی‌آراو، سوچی. اچ خلیلی، ای‌وی ساهلان. ارزشیابی مواد خوراکی. ترجمه: علی اصغر ساکی و زهرا مانی. (۱۳۹۰). همدان: نشر دانشگاه بوعلی سینا
- ۹ ج. فونتانا، مارس. مهندسی خوردگی. ترجمه: احمد ساعتچی (۱۳۸۶). (ویرایش سوم. چاپ ششم). اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- ۱۰ چالکش امیری، محمد. (۱۳۹۴). اصول تصفیه آب. (چاپ یازدهم). اصفهان: انتشارات ارکان دانش.
- ۱۱ حسینیان، مرتضی. (۱۳۸۷). اصول تصفیه آب: (تئوری - طراحی). (چاپ چهارم). تهران: انتشارات فنی حسینیان.
- ۱۲ حسینی، زیبا. (۱۳۸۶). روش‌های متداول در تجزیه مواد غذایی. شیراز: مرکز نشر دانشگاه شیراز.
- ۱۳ دانشور، نظام‌الدین. (۱۳۸۸). شیمی تصفیه آب و پساب‌های صنعتی. (چاپ اول). تبریز: انتشارات عمیدی.
- ۱۴ زارع، فرهاد. حبیب‌اللهی، سعید و صلواتی، حسین. (۱۳۸۷). شیمی عمومی ۲. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۱۵ زمانیان، رحیم. (۱۳۸۵). خوردگی و روش‌های کنترل آن. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. (چاپ چهارم).
- ۱۶ سریل، ساهین. سروت گولوم، سومنو. ویژگی‌های فیزیکی مواد غذایی. ترجمه: مهدی کاشانی‌نژاد و مهدی جعفری. (۱۳۸۹). ناشر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
- ۱۷ عباسی، سلیمان. (۱۳۸۶). رئولوژی مواد غذایی بافت و گران‌روی مواد غذایی: مفهوم و اندازه‌گیری. انتشارات مرز دانش.
- ۱۸ کرمی، حسن و قاسمی‌میر، شهرام. (۱۳۹۲). خوردگی فلزات. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۱۹ گل‌عذار، محمدعلی. (۱۳۸۰). آزمون‌های آزمایشگاهی خوردگی و حفاظت، همراه با سؤال و تمرین. اصفهان: نشر ارکان.



- ۲۰ مفیدی، جمشید. (۱۳۷۷). اصول خوردهی و حفاظت فلزها. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲۱ منصف خوش حساب، زهرا و هشیار، زری. (۱۳۹۱). آزمایشگاه خوردگی فلزات. تهران: انتشارات دانشگاه پیام.
- ۲۲ مورتیمر، چارلز. شیمی عمومی (شیمی با نگرش مفهومی) جلد دوم. ترجمه: منصور عابدینی و احمد خواجه نصیر طوسی (۱۳۶۳). تهران: انتشارات مرکزی نشر دانشگاهی.
- ۲۳ میرزایی، حبیب‌الله. (۱۳۸۸). روش‌های آزمون شیمیایی مواد غذایی. تهران: انتشارات علم کشاورزی ایران
- ۲۴ نوئل، میل و اگانام - روگر، ریکسوم. مواد افزودنی شیمیایی بتن. ترجمه: علیرضا صالحین و رضا عسگری اصل (۱۳۹۲). تهران: انتشارات دانشگاهی فرهنگ
- ۲۵ ویدا پروانه. (۱۳۷۷). کنترل کیفی و آزمایش‌های شیمیایی مواد غذایی. انتشارات: دانشگاه تهران
- ۲۶ هافمن. تکنولوژی جامع لاستیک. ترجمه: مریم ابانی، پیمان ابراهیمی، پروین اسلامی و زهرا عابدینی (۱۳۸۷). تهران: توسط شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک و شرکت ایران یاسا تایر و رابر
- ۲۷ Alli, I. (2004). Food Quality Assurance: Principles and Practices. CRC Press, Boca Raton.
- ۲۸ D.C, Harris. (1997). Exploring Chemical Analysis. W.H.Freeman & Company
- ۲۹ Douglas A, Skoog & Donald M. West. (1976). Fundamentals of Analytical Chemistry. 3rd Edition. Holt, Rinehart and Winston.
- ۳۰ Douglas A. Skoog, Donald M. West, James F. Holler and Stanley R. Crouch. (2004). Fundamentals of Analytical Chemistry. 8th Edition, Thomson, Brooks/Cole Publishing Co.
- ۳۱ Douglas A. Skoog, Donald M. West. James F. Holler & Stanley R. Crouch. (2000). Analytical Chemistry: An Introduction, 7th Edition, Thomson, Brooks/Cole Publishing Co.
- ۳۲ Dongfeng, Wang. Hong, Lin. Jianqian, Kan. Lin, weiliu. Xiaoxing, Zeng. & Shengrong, Shen. (2012). Food Chemistry. Nova Science Publishers. Inc. New York.
- ۳۳ Ebnesajjad, Sina. (2008). Adhesives technology handbook. 2th edition. USA: William Andrew Inc.
- ۳۴ Harris, D.C. (2002). Quantitative Chemical Analysis, 6th Ed., New York: W.H. Freeman and Co.
- ۳۵ Hasenhuettl, G.L. & Hartel, R.W. (2008). Food Emulsifiers and their Applications. Second edition. Springer Press. 281,384.
- ۳۶ Henry F. Holtzclaw, Jr. & William R. Robinson. (1988). General Chemistry. 8th Edition. D.C. Heath and Company.

- ۳۷ Horst, Surburg. & Johannes, Panten. (2006). Common Fragrance and Flavor Materials. Preparation, Properties and Uses. 5th Ed. Weinheim (Germany): WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
- ۳۸ Kirk, othmer. (1978). Encyclopedia of chemical technology 3rd edition. Volume2. Toronto (Canada): wiley interscience publication.
- ۳۹ Leslie R. Rudnick. (2017). Lubricant Additives: Chemistry and Applications.3rd edition.USA: CRC Press
- ۴۰ Titus A. M. Msagati.(2012). The Chemistry of Food Additives and Preservatives. USA: John Wiley & Sons, Inc.



سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان درباره کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانه راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائه نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

#### اسامی دبیران و هنرآموزان شرکت کننده در اعتبارسنجی کتاب کنترل کیفیت در صنایع شیمیایی – کد ۲۱۲۵۲۱

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	اعظم یوسفی	شهر تهران	۱۵	نادره غفاری بناب	آذربایجان شرقی
۲	بهناز سامی	فارس	۱۶	حسن بشیریان	همدان
۳	سمیه باقری وانائی	چهارمحال و بختیاری	۱۷	محمد رضا شاهسون	شهرستان های تهران
۴	سید مهدی موسوی	خراسان رضوی	۱۸	اکرم قربانی	گیلان
۵	محمود رسولی	مرکزی	۱۹	مجتبی شارع ملا شاهی	سیستان و بلوچستان
۶	فرشید محامدی	هرمزگان	۲۰	حمید کاظمی	آذربایجان غربی
۷	اسدالله امیدی بیرگانی	خوزستان	۲۱	طاهره حقی	لرستان
۸	سمانه صنوبری	خراسان رضوی	۲۲	محمود زنگنه	همدان
۹	محمد داننده	اردبیل	۲۳	احمد مرسلی	زنجان
۱۰	مجید پناهنده	بوشهر	۲۴	علی جلیلیان	کرمانشاه
۱۱	محمد صالح صدیقی	قزوین	۲۵	حامد چناری	ایلام
۱۲	محسن هادیان	اصفهان	۲۶	شهرزاد جورابلو	سمنان
۱۳	مسعود آری	گیلان	۲۷	زینت باقری تبار	قم
۱۴	زهرا علیپور	قزوین	۲۸	فرهاد همتی	آذربایجان شرقی