



شیمی مواد غذایی ۱

دکتر صدیف آزادمرد دمیرچی

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاوردهای انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار

۱	فصل اول - شیمی آب
۱	اهداف کلی و یادگیری
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ مقدار آب در مواد غذایی
۳	۳-۱ شیمی آب
۱۰	۴-۱ فازهای آب
۱۱	۵-۱ ساختمان و ویژگی های یخ
۱۸	۶-۱ فعالیت آبی
۱۹	۱-۶-۱ تعریف فعالیت آبی
۲۰	۷-۱ ایزوترم های جذب و دفع آب
۲۵	۱-۷-۱ هیسترسیس
۳۰	۸-۱ برهم کنش آب با گروه ها
۳۰	۱-۸-۱ برهم کنش آب با یونها و گروه های یونی
۳۱	۲-۸-۱ برهم کنش آب با گروه های خنثی (حل شونده های هیدروفیل)
۳۳	۳-۸-۱ برهم کنش آب با مواد غیر قطبی
۳۷	سؤالات تستی
۳۷	سؤالات تشریحی
۳۹	فصل دوم - شیمی لیپید
۳۹	اهداف کلی و یادگیری
۳۹	۱-۲ مقدمه
۴۰	۲-۲ طبقه بندی لیپیدها

۴۲	۳-۲ اسیدهای چرب
۴۲	۱-۳-۲ اسیدهای چرب اشباع
۴۴	۲-۳-۲ اسیدهای چرب غیراشباع
۴۸	۴-۲ نقطه ذوب اسیدهای چرب
۵۰	۵-۲ آسیل گلیسرولها
۵۱	۶-۲ طبقه‌بندی منابع روغن‌ها و چربی‌ها
۵۱	۱-۶-۲ چربی‌های شیر
۵۳	۲-۶-۲ اسیدهای لوریک
۵۳	۳-۶-۲ کره‌های گیاهی
۵۴	۴-۶-۲ اسیدهای لینولنیک
۵۵	۵-۶-۲ اسیدهای اولئیک-لینولئیک
۵۸	۶-۶-۲ چربی‌های حیوانی
۵۸	۷-۶-۲ روغن‌های دریایی
۵۹	۷-۲ توزیع مکانی اسیدهای چرب در چربی‌های طبیعی
۵۹	۱-۷-۲ تری‌آسیل گلیسرول‌های گیاهی
۶۰	۲-۷-۲ تری‌آسیل گلیسرول‌های حیوانی
۶۰	۸-۲ پلی‌مورفیسم (چند ریختی)
۶۲	۱-۸-۲ رفتار پلی‌مورفیک در روغن‌های تجاری
۶۴	۹-۲ ذوب شدن
۶۶	۱۰-۲ نمایه چربی جامد
۶۸	۱۱-۲ اصلاح بافتی روغن‌ها
۷۲	۱۲-۲ ترکیبات جزئی
۷۲	۱-۱۲-۲ استرول‌ها
۷۸	۲-۱۲-۲ توکوفرول‌ها و توکوترینول‌ها
۸۱	۳-۱۲-۲ فسفولیپیدها
۸۱	۴-۱۲-۲ اسکوالن
۸۲	۵-۱۲-۲ موم‌ها
۸۳	۶-۱۲-۲ کلروفیل
۸۴	۷-۱۲-۲ کاروتنوئیدها
۸۷	۱۳-۲ کاهش کیفیت روغن‌ها و چربی‌ها
۸۷	۱-۱۳-۲ لیپولیز
۸۸	۲-۱۳-۲ اکسیداسیون روغن‌ها و چربی‌های خوراکی
۹۵	۳-۱۳-۲ تجزیه هیدروپراکسیدها
۹۶	۴-۱۳-۲ تشکیل دیمرها و پلی‌مرها
۹۶	۵-۱۳-۲ عوامل مؤثر بر اکسیداسیون
۱۰۲	سؤالات تستی

۱۰۳	سؤالات تشریحی
۱۰۵	فصل سوم - شیمی کربوهیدرات‌ها
۱۰۵	اهداف کلی و یادگیری
۱۰۵	۱-۳- مقدمه
۱۰۷	۲-۳- مونوساکاریدها
۱۱۲	۱-۲-۳- تغییرات در مونوساکاریدها در pHهای مختلف
۱۱۵	۳-۳- الیگوساکاریدها
۱۱۹	۴-۳- الکل قندها
۱۲۱	۵-۳- پلی ساکاریدها
۱۲۲	۱-۵-۳- نشاسته
۱۲۷	۲-۵-۳- نشاسته مقاوم
۱۲۸	۳-۵-۳- گلیکوژن
۱۲۹	۴-۵-۳- سلولز
۱۳۲	۵-۵-۳- همی سلولزها و پنتوزانها
۱۳۳	۶-۵-۳- پکتین
۱۳۷	۷-۵-۳- کیتین و کیتوزان
۱۳۹	۶-۳- فیبرها
۱۴۰	۷-۳- مشتقات قندی
۱۴۴	سؤالات تستی
۱۴۵	سؤالات تشریحی
۱۴۷	فصل چهارم - شیمی پروتئین‌ها
۱۴۷	اهداف کلی و یادگیری
۱۴۷	۱-۴- مقدمه
۱۴۸	۲-۴- اسیدهای آمینه
۱۵۲	۱-۲-۴- اسیدهای آمینه ضروری
۱۵۲	۲-۲-۴- اسید آمینه و pH
۱۵۳	۳-۲-۴- حلالیت اسیدهای آمینه
۱۵۳	۴-۲-۴- واکنش‌های اسیدهای آمینه در دماهای بالا
۱۵۶	۳-۴- پیوند پپتیدی
۱۵۸	۴-۴- ساختار پروتئین‌ها
۱۶۱	۵-۴- انواع پروتئین‌ها
۱۶۳	۶-۴- پروتئین‌های غذایی
۱۶۳	۱-۶-۴- پروتئین‌های تخم مرغ
۱۶۸	۲-۶-۴- پروتئین‌های شیر

۱۷۳	۴-۶-۳- پروتئین های آرد گندم
۱۷۵	۴-۶-۴- پروتئین های گوشت
۱۸۱	۴-۷- دناتوراسیون پروتئین ها
۱۸۴	۴-۸- ویژگی های کاربردی پروتئین ها
۱۹۰	۴-۸-۱- ویژگی های فعالیت سطحی پروتئین ها
۱۹۵	۴-۸-۲- ویژگی کف کنندگی
۱۹۹	۴-۸-۳- پیوستگی با عطر و طعم
۲۰۱	۴-۸-۴- تولید ژل
۲۰۴	۴-۹- راسمیک شدن
۲۰۵	۴-۱۰- حرارت دهی پروتئین ها
۲۰۶	۴-۱۱- واکنش پروتئین ها با سایر ترکیبات
۲۰۶	۴-۱۱-۱- تأثیرات مواد اکسید کننده
۲۰۶	۴-۱۱-۲- واکنش با لیپیدها
۲۰۷	۴-۱۱-۳- واکنش با پلی فنل ها
۲۰۸	۴-۱۱-۴- واکنش با حلال های هالوژن دار
۲۰۸	۴-۱۱-۵- واکنش با نیتريت ها
۲۰۹	۴-۱۱-۶- واکنش با سولفیت ها
۲۰۹	۴-۱۱-۷- واکنش با قندهای احیاء کننده
۲۱۰	سؤالات تستی
۲۱۱	سؤالات تشریحی
۲۱۳	منابع

پیشگفتار

شیمی مواد غذایی از شاخه‌های مهم علوم و صنایع غذایی است. امروزه با توجه به پیشرفت و گسترده‌ی صنایع غذایی، محصولات غذایی متفاوت و زیادی به بازار عرضه می‌شود. برای کنترل کیفی این محصولات، همچنین برای دانستن تغییراتی که در طی فرآوری و نگهداری می‌توانند اتفاق بیافتند نیاز به علم شیمی مواد غذایی است.

شیمی مواد غذایی یکی از درس‌های مهمی است که در رشته علوم و صنایع غذایی تدریس می‌شود و در برنامه تحصیلی دانشجویان صنایع غذایی در مقاطع مختلف وجود دارد. این درس همچنین پیش نیاز درس‌های مهمی همچون تجزیه مواد غذایی، تکنولوژی لبنیات، تکنولوژی روغن و تکنولوژی غلات در مقطع کارشناسی است که نشانگر اهمیت درس شیمی مواد غذایی در درک درس‌های فوق‌الذکر نیز است. درس شیمی مواد غذایی فقط در رشته علوم و صنایع غذایی نیست بلکه در برنامه درسی رشته‌های مختلفی است که با تغذیه یا تولید و فرآوری مواد غذایی در ارتباط هستند گنجانده شده است.

مباحث مطروحه در شیمی مواد غذایی می‌تواند پیچیده باشد و برخی مواقع نیاز است که برای فهم بهتر مطالب، بعضی از مفاهیم شیمی را دوباره مرور کنیم و بدانیم. البته سعی شده است که در این کتاب مباحث با ارائه شکل‌ها و مطالب بیشتر تا حدی واضح‌تر بیان شود. این درس در برخی از گروه‌ها به صورت دو درس شیمی مواد غذایی ۱ و شیمی مواد غذایی ۲ ارائه می‌شود که مکمل هم هستند. این کتاب مباحث مربوط به شیمی مواد غذایی ۱ را آورده است و در کتاب شیمی مواد غذایی ۲ نیز بقیه مطالب مربوط آورده شده است.

از تمامی همکاران گرامی در حوزه تدوین دانشگاه پیام نور به ویژه از مدیریت محترم تدوین جناب آقای دکتر محمد علی ابراهیمی و کارشناسان محترمه سرکار خانم

خدیجه علی‌نژاد رنجکش و سرکار خانم مهری رحیمی که همکاری‌های ارزشمندی در چاپ این کتاب داشتند صمیمانه تشکر می‌نمایم. از ویراستار محترم کتاب، همکار گرامی جناب آقای دکتر فرامرز خدائیان، عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران، که با نظرات ارزشمند خود موجب بهبود و اصلاح مطالب این کتاب شدند نیز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. اینجانب منتظر نظرات سازنده و ارزشمند همکاران گرامی، دانشجویان و خوانندگان عزیز هستم تا اشکالات احتمالی موجود در کتاب در چاپ‌های بعدی اصلاح شود.

دکتر صدیف آزادمرد دمیرچی

عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع غذایی

دانشگاه تبریز

تابستان ۱۳۹۴

s-azadmard@tabrizu.ac.ir

فصل اول

شیمی آب

اهداف کلی و یادگیری

- از خواننده انتظار می‌رود پس از مطالعه این فصل:
۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و یخ را توضیح دهد.
 ۲. انواع آب در مواد غذایی را شرح دهد.
 ۳. اهمیت آب در محصولات غذایی را توضیح دهد.
 ۴. اهمیت فعالیت آبی در محصولات غذایی و پایداری و فساد آنها را توضیح دهد.
 ۵. انجماد آب و اهمیت آن در محصولات غذایی را شرح دهد.
 ۶. برهم‌کنش آب با گروه‌های مختلف در مواد غذایی را توضیح دهد.

۱-۱- مقدمه

آب جزء عمده بسیاری از غذاها است و در مقدار و مکان مناسب به مقدار زیادی ساختار، ظاهر، مزه و فسادپذیری غذاها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آب به‌طور قابل توجهی از طریق برهم‌کنش‌های فیزیکی با پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و نمک‌ها در بافت مواد غذایی شرکت می‌کند.

محصولات غذایی بر اساس مقدار آب به سه گروه محصولات خشک، نیمه خشک و مرطوب تقسیم می‌شوند. از آنجایی که اکثر غذاهای تازه حاوی مقدار زیادی آب هستند، بنابراین برای نگهداری طولانی مدت آنها نیاز به روش‌های مناسبی از

۲ شیمی مواد غذایی ۱

نگهداری است.

مقدار قابل قبول آب در محصولات غذایی مختلف فرق می‌کند. تغییر در مقدار آب می‌تواند اثرات جدی بر کیفیت مواد غذایی بگذارد و پایداری شیمیایی، فیزیکی و میکروبی مواد غذایی به وسیله ویژگی‌های آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به همین دلیل اندازه‌گیری رطوبت (آب) از مهمترین آزمایشاتی است که روی مواد غذایی انجام می‌گیرد و به‌طور گسترده در طی فرمولاسیون و فرآوری محصولات غذایی مورد توجه است.

مثال‌های زیر اهمیت مقدار رطوبت را در صنایع غذایی مشخص می‌سازد:

۱. رطوبت فاکتور کیفی در نگهداری بعضی از محصولات غذایی است و پایداری آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال: میوه‌ها و سبزی‌های خشک شده، شیر خشک، پودر تخم مرغ، ادویه‌ها و

۲. رطوبت به‌عنوان فاکتور کیفی برای بعضی از مواد غذایی استفاده می‌شود. برای مثال: مرباها و ژله‌ها برای جلوگیری از کریستالیزاسیون قند

۳. کاهش رطوبت برای راحتی در بسته‌بندی و حمل و نقل استفاده می‌شود. برای مثال: شیر تغلیط شده، قند نیشکر مایع (۶۷٪ مواد جامد) و شیرین‌کننده‌های مایع حاصل از ذرت (۸۰٪ مواد جامد).

۴. مقدار رطوبت (یا مواد جامد) به‌عنوان معیاری از استاندارد در نظر گرفته می‌شود. برای مثال: پنیر چدار باید مقدار رطوبتی مساوی یا کمتر از ۳۹٪ داشته باشد یا شربت گلوکز مقدار مواد جامد مساوی یا بیشتر از ۷۰٪ داشته باشد.

۵. برای محاسبه ارزش غذایی مواد غذایی باید مقدار رطوبت تعیین گردد.

۶. مقدار رطوبت برای بیان نتایج سایر آزمایشات به‌کار می‌رود یعنی بیان نتایج بر اساس وزن خشک به‌جای وزن مرطوب.

۲-۱- مقدار آب در مواد غذایی

آب جزء عمده اغلب مواد غذایی است و می‌تواند در مواد غذایی مختلف تغییر زیادی داشته باشد. جدول ۱ مقدار آب در مواد غذایی مختلف را نشان می‌دهد.

شیمی آب ۳

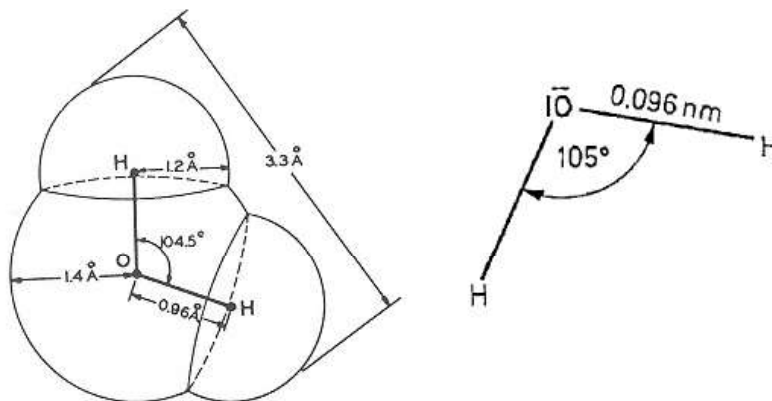
اصطلاح «مقدار آب» و «مقدار رطوبت» به جای هم استفاده می‌شود و منظور از این اصطلاحات، مقدار آبی است که در محصولات و ترکیبات غذایی وجود دارند. مقدار رطوبت به دو صورت قابل بیان است: بر پایه درصد وزن مرطوب (۱۰۰ گرم ماده غذایی/گرم آب) و یا درصد وزن خشک (۱۰۰ گرم ماده خشک/گرم آب). مقدار رطوبت بر پایه وزن مرطوب را در آنالیزهای تقریبی به کار می‌گیرند، درحالی‌که در ایزوترم‌های جذب و دفع رطوبت و پیش‌بینی نوع بسته‌بندی مقدار رطوبت بر پایه وزن خشک کاربرد دارد.

جدول ۱-۱. مقدار آب (% وزنی) در برخی از مواد غذایی

مواد غذایی	مقدار آب	مواد غذایی	مقدار آب
میوه‌ها و سبزی‌ها	۷۰-۹۵	گوشت قرمز	۶۵
گوجه‌فرنگی	۹۵	نان	۳۵
کاهو	۹۵	عسل	۲۰
کلم	۹۲	کره حیوانی	۱۶-۱۸
سیب‌زمینی	۷۸	آرد غلات	۱۲-۱۴
موز	۷۵	پودر شیر	۴
شیر	۸۷	روغن‌های گیاهی	تقریباً صفر
گوشت	۶۵-۷۵	مارگارین معمولی	۱۶-۱۸
گوشت مرغ	۷۰	شورتینگ	تقریباً صفر

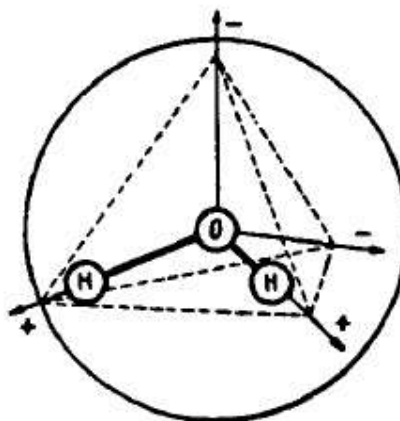
۱-۳- شیمی آب

آب از لحاظ مولکولی از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن تشکیل شده است. شکل ۱-۱ وضع قرارگیری اتم‌ها، پیوند کووالانسی بین آنها، زوایا و فواصل بین آنها را در مولکول آب نشان می‌دهد. زاویه پیوند در حالت مولکول آب ایزوله شده (بخار شده) 104.5° ، 105° در حالت آب و 109° در حالت یخ است. طول پیوند کووالانسی OH برابر $0.96 \text{ \AA}$ است و شعاع واندروالسی برای O و H به ترتیب $1/4$ و $1/6$ درجه انگستروم است. طول پیوند هیدروژنی $1/86 \text{ \AA}$ است و فاصله‌ی O تا O در آب $2/1 \text{ \AA}$ و در یخ $2/76 \text{ \AA}$ است. مولکول‌های آب با همدیگر از طریق پیوند هیدروژنی ارتباط دارند.



شکل ۱-۱. وضع قرارگیری اتم‌ها، پیوند کوالانسی بین آنها، زوایا و شعاع‌های واندروالس مولکول آب در حالت بخار

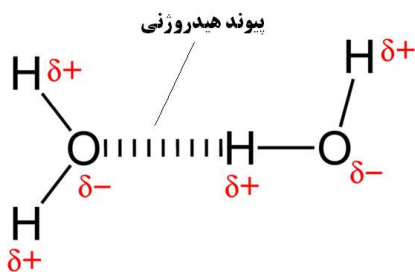
در مولکول آب از آنجائیکه هسته اکسیژن دارای ۸ پروتون و هسته هر کدام از هیدروژن‌ها دارای ۱ پروتون است، بنابراین بارهای منفی از اطراف هسته‌های هیدروژن به طرف هسته اکسیژن کشیده می‌شود. در نتیجه اطراف هسته‌های هیدروژن دو قطب مثبت و اطراف هسته‌های اکسیژن دو قطب منفی ایجاد می‌شود. در مولکول آب، در طرف اکسیژن دو راس منفی و در طرف هیدروژن دو راس مثبت وجود دارد که موجب می‌شود آب یک مولکول قطبی باشد (شکل ۱-۲).



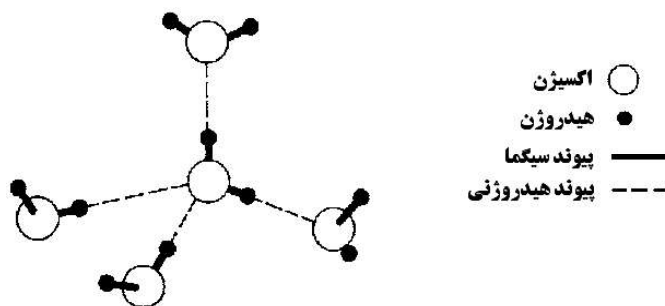
شکل ۱-۲. ساختمان هرمی مولکول آب با قطب‌های مثبت در سمت اتم‌های هیدروژن و قطب منفی در سمت اتم اکسیژن

۵ شیمی آب

بین مولکول‌های آب می‌تواند پیوند هیدروژنی تشکیل شود (شکل ۳-۱) هر مولکول آب با ۴ مولکول آب توسط پیوند هیدروژنی مرتبط است (شکل ۴-۱). ۲ جفت الکترون غیرپیوندی اکسیژن به‌عنوان گیرنده هیدروژن و اوربیتال‌های پیوندی OH به‌عنوان دهنده هیدروژن عمل می‌کنند. حضور دو جایگاه هم‌زمان دهنده و گیرنده در آب منجر به تشکیل شبکه پایدار سه بعدی از مولکول‌های آب می‌شود.



شکل ۳-۱. نحوه تشکیل پیوند هیدروژنی بین دو مولکول آب



شکل ۴-۱. نحوه پیوند یک مولکول آب با چهار مولکول دیگر

ساختار ویژه آب که ویژگی‌های فیزیکی ویژه از آن ناشی می‌شود در سایر مولکول‌های کوچک رایج نیست. مقایسه خواص آب با هیدریدهای HF ، NH_3 ، CH_4 نشان می‌دهد که اندازه بسیاری از ثابت‌های فیزیکی در آب نسبت به این مواد بسیار بیشتر است (جدول ۲-۱). برای مثال نقطه ذوب متان 84°C - و نقطه جوش آن 16°C - است. ولی آب دارای نقطه ذوب صفر درجه سانتی‌گراد و نقطه جوش 100°C است. علت ثابت‌های پایین در سایر هیدریدها عدم وجود تعداد مساوی از

۶ شیمی مواد غذایی ۱

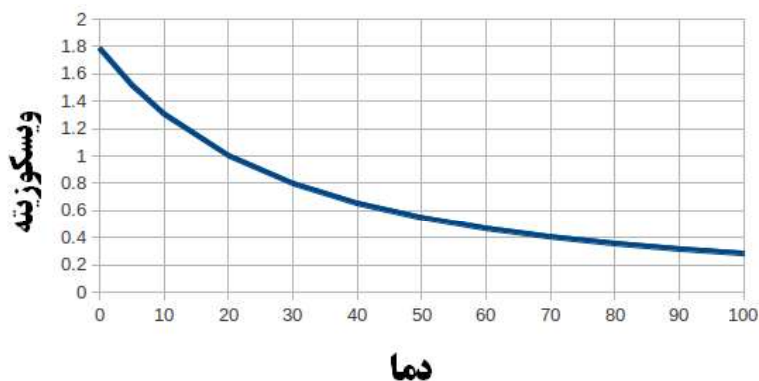
جایگاه‌های دهنده و گیرنده و بنابراین تنها تشکیل شبکه‌های پیوند هیدروژنی دو بعدی یا خطی است که پیوندهای هیدروژنی کمتری به ازای مولکول در مقایسه با آب در آن درگیر است.

جدول ۱-۲. ویژگی‌های فیزیکی برخی از هیدریدها

هیدرید	نقطه ذوب*	نقطه جوش*	گرمای مولی تبخیر (cal/mole)
CH ₄	-۱۸۴	-۱۶۱	۲۲۰۰
NH ₃	-۷۸	-۳۳	۵۵۵۰
HF	-۹۲	۱۹	۷۲۲۰
آب	صفر	۱۰۰	۹۷۵۰

* به درجه سانتیگراد هستند

برخلاف ویژگی‌های غیرمعمول یاد شده، آب دارای ویسکوزیته معمولی و عادی است (شکل ۱-۵). این ویسکوزیته به این دلیل است که مولکول‌های آب از طریق پل‌های هیدروژنی ساختار چندضلعی با طول عمر کوتاه تشکیل می‌دهند که سریعاً شکسته و دوباره ساخته شده و یک تعادل دینامیکی می‌دهند. در حقیقت، ویسکوزیته پایین آب را این نوسانات توضیح می‌دهند. در غیر اینصورت، اگر پل‌های هیدروژنی غیرقابل انعطاف بودند قابل توضیح نبود. بنابراین، غیرمعمول بودن ویژگی‌های آب مربوط به ساختمان مولکولی، قطبیت بالای آب و توانایی آن در ایجاد پیوندهای هیدروژنی متعدد است.



شکل ۱-۵. تغییرات ویسکوزیته (centipoise) آب بر اثر افزایش دما (°C)

شیمی آب ۷

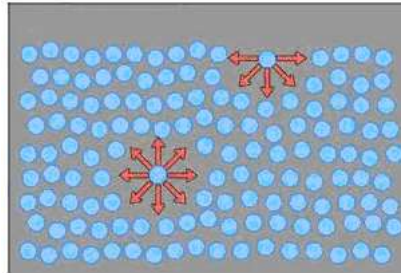
ویژگی‌های آب با تغییرات دما تغییر می‌کند (جدول ۱-۳) این تغییرات در فرآیندهای از قبیل انجماد یا خشک کردن دارای اهمیت هستند. فشار بخار، هدایت حرارتی، ضریب انبساط گرمایی با افزایش دما افزایش می‌یابند و گرمای نهان تبخیر، کشش سطحی، ویسکوزیته^۱ (گرانروی) و ثابت دی‌الکتریک هم با افزایش دما کاهش پیدا می‌کنند.

جدول ۱-۳. تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی آب در دماهای مختلف (°C)

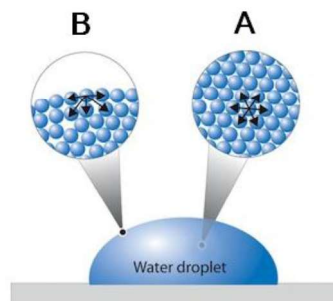
ویژگی	صفر	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
فشار بخار (mmHg)	۴/۵۸	۱۷/۵۳	۵۵/۳۲	۱۴۹/۴۰	۳۵۵/۲	۷۶۰/۰۰
دانسیته (g/cm ³)	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۲۲	۰/۹۸۳۲	۰/۹۷۱۸	۰/۹۵۸۳
گرمای ویژه (cal/g°C)	۱/۰۰۷۴	۰/۹۹۸۸	۰/۹۹۸۰	۰/۹۹۹۴	۱/۰۰۳۲	۱/۰۰۷۰
گرمای نهان تبخیر (cal/g)	۵۹۷/۲	۵۸۶/۰	۵۷۴/۷	۵۶۳/۳	۵۵۱/۳	۵۳۸/۹
هدایت حرارتی (cal/m ² h°C)	۴۸۶	۵۱۵	۵۴۰	۵۶۱	۵۷۶	۵۸۵
کشش سطحی (dynes/cm)	۷۵/۶۲	۷۲/۷۵	۶۹/۵	۶۶/۱۷	۶۲/۶۰	۵۸/۸۴
ویسکوزیته (centipoise)	۱/۷۹۲	۱/۰۰۲	۰/۶۵۳	۰/۴۶۶	۰/۳۵۵	۰/۲۸۲
ضریب شکست	۱/۳۳۳۸	۱/۳۳۳۰	۱/۳۳۰۶	۱/۳۲۷۲	۱/۳۲۳۰	۱/۳۱۸۰
ضریب ثابت دی‌الکتریک	۸۸/۰	۸۸/۴	۷۳/۳	۶۶/۷	۶۰/۸	۵۵/۳
ضریب انبساط گرمایی ۱۰ ^{-۴} x	-	۲/۰۷	۳/۸۷	۵/۳۸	۶/۵۷	-

باید توجه کرد که آب گرمای ویژه و کشش سطحی^۲ بیشتری نسبت به بقیه مایعات دارد. گرمای ویژه بالا یعنی برای افزایش دمای یک گرم آب به میزان یک درجه سانتی‌گراد، انرژی بیشتری نیاز است. دلیل این موضوع به صرف شدن انرژی گرمایی دریافتی به شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب است که موجب می‌شود دما بیشتر بالا نرود. علت بالا بودن کشش سطحی هم به این دلیل است که مولکول‌های داخل آب در تمام جهات با مولکول‌های دیگر دارای پیوند هیدروژنی هستند، ولی مولکول‌های سطح آب فقط با مولکول‌های اطراف و پایین آن پیوند هیدروژنی دارند و به اطراف و پایین با نیروی نسبتاً بالایی کشیده می‌شوند و موجب می‌شوند آب نیروی کشش سطحی بالاتری از بقیه مایعات داشته باشد (شکل ۱-۶). شکل ۱-۷ نحوه ایجاد کشش سطحی در قطره آب نیز نشان داده شده است. کشش سطحی آب با افزایش دما نیز کاهش می‌یابد (شکل ۱-۸).

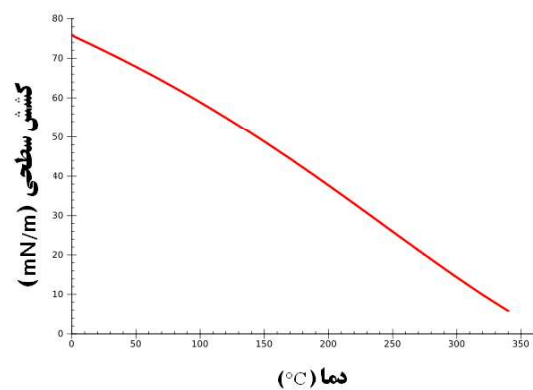
1. Viscosity
2. Surface tension



شکل ۱-۶. کشش سطحی در آب. مولکول‌های سطحی آب به پایین با نیروی نسبتاً بالایی کشیده می‌شوند و موجب می‌شوند آب نیروی کشش سطحی بالاتری از بقیه مایعات داشته باشد



شکل ۱-۷. نحوه ایجاد کشش سطحی در قطره آب. A: مولکولی که در قسمت درونی آب قرار گرفته است به میزان یکسان توسط مولکول‌های اطراف خود کشیده و جذب می‌شوند. B: مولکولی که در قسمت سطحی آب و در تماس با هوا است توسط مولکول‌های زیرین خود کشیده و جذب می‌شوند.



شکل ۱-۸. تغییر کشش سطحی آب با تغییرات دما

شیمی آب ۹

عدد کوردینانسی^۱ (تعداد مولکول‌های آب قرارگرفته در کنار هر مولکول آب) در یخ صفر درجه سانتی‌گراد ۴ و با نزدیکترین همسایه $2/76^\circ \text{A}$ فاصله دارد. وقتی که دما افزایش پیدا می‌کند عدد کوردینانسی از ۴ در یخ صفر درجه سانتی‌گراد تا به ۴/۴ در آب $1/5^\circ \text{C}$ افزایش می‌یابد و به ۴/۹ در آب 83°C می‌رسد (جدول ۴-۱).

فاصله بین نزدیکترین همسایه‌ها از $2/76^\circ \text{A}$ در یخ صفر درجه سانتی‌گراد، به ترتیب به $2/9^\circ \text{A}$ و $3/05^\circ \text{A}$ در آب با دمای $1/5^\circ \text{C}$ و 83°C می‌رسد. مشخص است که در تبدیل یخ به آب افزایش در فاصله بین نزدیکترین همسایه‌ها اتفاق می‌افتد (کاهش دانسیته) و تعداد میانگین نزدیکترین همسایه‌ها افزایش می‌یابد (افزایش دانسیته)^۲ (جدول ۴-۱) که فاکتور آخری بیشترین اثر را داشته و بنابراین یک افزایش در دانسیته اتفاق می‌افتد. به این دلیل دانسیته آب صفر درجه سانتی‌گراد ($0/9998 \text{g/cm}^3$) بیشتر از دانسیته یخ صفر درجه سانتی‌گراد ($0/9168 \text{g/cm}^3$) است (شکل ۹-۱).

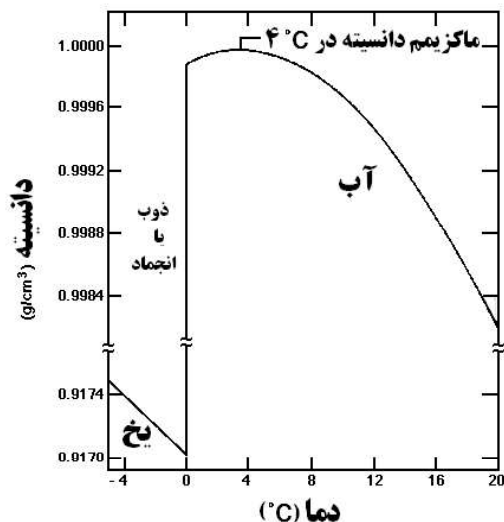
حرارت‌دهی بیشتر از نقطه ذوب، موجب می‌شود تا دانسیته از حداکثر مقدار آن در $3/98^\circ \text{C}$ عبور کند و سپس به تدریج کاهش یابد (شکل ۹-۱). مشخص است که اثر افزایش عدد کوردینانسی در دمای بین صفر و $3/98^\circ \text{C}$ درجه سانتی‌گراد غالب است و اثر افزایش فاصله بین نزدیکترین همسایه‌ها (منبسط شدن حاصل از گرما و حرارت‌دهی) بالای $3/98^\circ \text{C}$ غالب می‌باشد. بنابراین دانسیته آب در $3/98^\circ \text{C}$ بیشترین مقدار را دارا است. همچنین افزایش فاصله دو هسته اکسیژن از دو مولکول مجاور آب با افزایش دما دلیل افزایش حجم آب بر اثر افزایش دما می‌باشد.

جدول ۴-۱. عدد کوردینانسی و فاصله بین دو مولکول آب

فاصله $\text{O-H} \cdots \text{O}$	عدد کوردینانسی	
$0/276 \text{ nm}$	۴	یخ (0°C)
$0/290 \text{ nm}$	۴/۴	آب ($1/5^\circ \text{C}$)
$0/305 \text{ nm}$	۴/۹	آب (83°C)

1. Coordination number

۲. دانسیته یا چگالی عبارت است از تقسیم جرم بر حجم ($\rho = m/v$)



شکل ۱-۹. تغییرات دانسیته آب (و یخ) با تغییرات دما

آب در حالت خالص نه تنها حاوی مولکول‌های معمولی HOH بلکه همچنین حاوی ترکیباتی زیادی به مقدار ناچیز نیز است. علاوه بر ایزوتوپ‌های معمولی ^{16}O و ^1H ، ایزوتوپ‌های ^{18}O و ^2H (دوتریوم) و ^3H (تریتیوم) ایزوتوپ‌های دیگری است که ۱۸ ایزوتوپ مختلف مولکولی HOH را تشکیل می‌دهد. آب همچنین حاوی ذرات یونی همچون یون‌های هیدروژن (موجود به صورت H_3O^+)، یون‌های هیدروکسیل و ایزوتوپ‌های مختلف آنهاست. بنابراین آب شامل بیش از ۳۳ گونه شیمیایی HOH است، اما گونه‌های ذکر شده فقط در مقدار ناچیز حضور دارند.

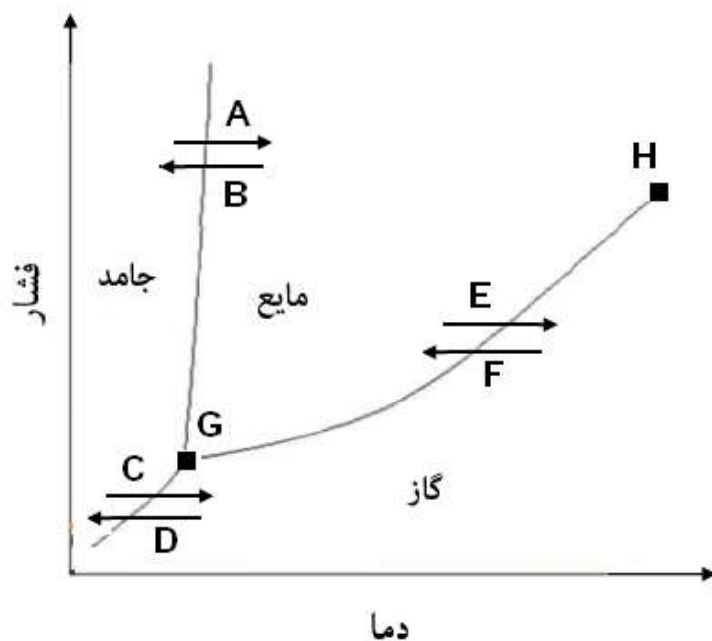
۱-۴- فازهای آب

شکل ۱-۱۰ نمودار تبدیل آب در سه فاز یخ، آب و بخار را نشان می‌دهد. در نمودار فازی خط تبدیل جامد به مایع (ذوب شدن)، خط تبدیل مایع به بخار (تبخیر) و خط تبدیل جامد به گاز (تصعید) وجود دارد و این سه خط همدیگر را در نقطه‌ای قطع می‌کنند که به آن نقطه سه گانه^۱ می‌گویند. شرایط نقطه سه گانه عبارتست از

1. Triple point

۱۱ شیمی آب

0.0099°C و $4/579$ میلی متر جیوه و در این نقطه تمام فازها در حال تعادل هستند.



شکل ۱-۱۰. نمودار فازهای مختلف آب. A: ذوب شدن، B: انجماد، C: تصعید (فرازش)، D: تبرید (چگالش)، E: تبخیر، F: میعان (مایع شدن)، G: نقطه سه گانه، H: نقطه بحرانی (درجه حرارتی که بالاتر از آن تحت هیچ فشاری گازی به مایع تبدیل نمی شود). برای آب این دما 374°C است.

رابطه میان فازهای مختلف آب در بسیاری از فرآیندها همچون خشک کردن انجمادی یا تحت خلأ، تغلیظ کردن، انجماد و خشک کردن اهمیت دارد. برای مثال موقعی که یخ در فشار کمتر از $4/58 \text{ mmHg}$ حرارت داده می شود بدون اینکه به مایع تبدیل شود به بخار تبدیل می شود (عمل تصعید اتفاق می افتد) و این مکانیسم در خشک کردن انجمادی اتفاق می افتد.

۱-۵- ساختمان و ویژگی های یخ

همان طوری که قبلاً نیز بحث شد یک مولکول آب با چهار مولکول آب موجود در