مقدمه:

# ليمنولوژي (Limnology):

علم مطالعه آبهاي داخلي اعم از آبهاي شيرين و شور. ريشه لغوي آن Limnosو Logy است. Limnos به معني گودال و چاله و Logy به معني شناختن است.

 اولين فردي كه اين كلمه را ارائه كرد يك دانشمند سوئيسي به نام Forel است كه مطالعاتي را بر روي درياچه‌هاي كشور سوئيس انجام داد. اين فرد براي نامگذاري مجموعه مطالعات خود بر روي درياچه‌ها اصطلاح ليمنولوژي را بكار برد. به همين دليل در برگردان فارسي اين كلمه اصطلاح ليمنولوژي را به عنوان علم درياچه شناسي معرفي كرده اند كه يك اصطلاح درستي نيست.

 گاهي اوقات يك ريشه ديگر بنام Limnea (كه يك حلزون آب شيرين است) ارائه شد. بهمين دليل در تعريف ليمنولوژي مجموع مطالعات آبهاي شيرين معرفي شده كه اين تعريف نيز جامع و کامل **نمي باشد. بنابراين در تعريفي جامع‌تر و در سطحي كلان ليمنولوژي "مطالعه مجموعه آبهاي موجود در بخش خشكي‌هاي كره زمين را شامل مي شود كه اصطلاحا به آنها آبهاي داخلي (**Inland waters) **مي‌گويند".**

 هر گونه آبي داراي هر گونه ماهيتي باشد يعني چه ساكن باشد، چه جاري، شور يا شيرين يا لب شور، سطحي باشد يا زيرزميني و بطور كلي به هر شكلي باشد ولي در بخش خشكي واقع شده باشد يا بعبارتي بهتر توسط خشكي محصور شده باشد در غالب علم ليمنولوژي مي گنجد. به عنوان مثال آبهاي درياچه، بركه ها، رودخانه ها و نهرها، و آبي كه بشت سدها محصور است (مخازن پشت سد Reserviors)، آبهاي مناطق مصبي (Estuaries)، مناطق تالابي Wetlands)) (مثل تالاب انزلي). پس در غالب مطالعات ليمنولوژي زيستگاه هاي كوچكي (Microhabitate) مثل غارها، جشمه ها و مناطق آبي يا آبهاي بازمانده قديمي نيز در محدوده مطالعات ليمنولوژي قرار دارند. هر يك از اكوسيستم‌هاي آبهاي شيرين و يا شور داراي يك ساختار مشخصي از نظر تبادل مواد و انرژي مي‌باشد.

ابتدا واژه‌ي Limnology جهت مطالعات درياچه به كار مي‌رفت و واژه Potamology (در زبان يوناني Potamos: يعني رودخانه) مطالعات روي رودخانه را نشان مي‌دهد. امروز در اكثر منابع واژه ليمنولوژي جهت مطالعات آب‌هاي ساكن و همچنين آب‌هاي جاري به كار مي‌رود. در حالي‌که، بررسي موجودات زنده در اکوسيستم‌هاي آبزي را اصطلاحاً هيدروبيولوژي (Hydrobiology) مي‌گويند.

نقطه مقابل علم ليمنولوژي، علم اقيانوس شناسي (Oceanography) است كه آبهاي باز دريايي يا اقيانوسي را مورد بررسي قرارمي‌دهد. در واقع مطالعات اكوسيستم‌هاي دريايي است. مجموعه علم ليمنولوژي و اقيانوس شناسي تمام اكوسيستمهاي آبي كره زمين را مورد مطالعه قرار مي دهند.

بنابراين ليمنولوژي و اقيانوس شناسي زير بخشهايي از دانش هيدرولوژي هستند كه هر كدام به نوبه خود در زمينه هاي علمي و تئوري توسعه بيدا كردند و توانستند بعنوان يك علم مستقل به تنهايي مطرح شوند و پيشرفت قابل توجهي بيدا كنند.

 بستر مطالعات ليمنولوژي عبارتند از آبهاي ساكن (Standing water) مثل درياچه ها، آبهاي جاري (Runing or Flowing waters ) و آب‌هاي زيرزميني (Ground waters). همه آنها به نوعي ديگر در علم هيدرولوژي نيز بررسي مي‌شوند و مورد ارزيابي قرار مي گيرند. بنابراين ليمنولوژي عبارتست از مطالعه ساختاري، عملکردي و باروري ارگانيسمهاي آبهاي داخلي در حاليکه آنها تحت تاثير شرايط فيزيکي، شيميايي و بيولوژيکي محيط قرار دارند. لذا شناخت ليمنولوژيکي با بررسي تفاوتهاي موجود در خواص فيزيکي و حياتي بين اکوسيستم‌هاي درياچه‌اي و رودخانه‌اي بدست مي‌آيد.

 در مطالعات ليمنولوژي بسياري از پارامترها و مطالعات بيولوژيكي (Biological) مورد بررسي قرار مي گيرد. علم ليمنولوژي مطالعه تعادل يا توازن مواد حياتي آبهاي طبيعي را در ساختار علمي خودش دارد. در اين علم فاكتورهاي اقليمي (Climatic) و شرايط هيدروگرافي (Hydrographical) (يا شكل و ساختار منبع آبي يا زمين مورد مطالعه) از فاكتورهاي مهمي هستند كه در مطالعات ليمنولوژي به عنوان يك هدف مطرح مي شوند.

 از طرف ديگر در طبيعت هيچ آبي خالي از موجودات زنده نيست و كليه آبهاي طبيعي مجموعه پيچيده‌اي از شرايط اقليمي، ويژگي‌هاي فيزيكوشيميايي و فاكتورهاي زيستي يا بيولوژي در حال فعاليت‌اند كه سبب مي‌شود در تجزيه و تحليل اين مجموعه پيچيده ليمنولوژي با ساير نظامهاي علمي ارتباط تنگاتنگي را برقرار كند. مثلاً، علوم زمين شناسي يا هواشناسي تاريخچه و شرايط اقليمي منطقه را مورد ارزيابي قرار مي‌دهند. علوم شيمي و فيزيك تركيب آبها را از جنبه‌هاي فيزيكي و شيميايي بررسي مي‌كنند. علوم بيوشيمي و زيست شناسي مولكولي (Molecular Biology) در حمل و نقل و جابجايي مواد در آبهاي طبيعي مؤثرند.

 نتبجه اين كه ليمنولوژي به عنوان يك علم مستقل وابستگي شديدي به ساير علوم داشته و در قضاوت خودش مستلزم يك همه جانبه نگري است يعني از بسياري از علوم ديگر در تجزيه و تحليل خودش بهره مند شده تا بتواند نتيجه جامع و كاملي را ارائه دهد.

 شاخص‌هاي مختلف علم ليمنولوژي بسيار متنوع اند و در واقع ابزارهايي هستند كه در درك بهتر و تجزيه و تحليل داده هاي علم ليمنولوژي بسيار كمك مي كنند. مثلا در نتيجه تحقيقات مختلف ناشي از علم ليمنولوژي، علم شيمي در قالب Limnochemistry، علم فيزيک در قالب Limnophysic، علم باکتريولوژي در قالب Limnobacteriology، علم گياهشناسي در قالب Limnobotanic و علم جانورشناسي در قالب Limnozoology از مجموعه ابزارهايي هستند كه در بررسي‌هاي ليمنولوژيک كمك مي‌كنند.

 پس در روشن شدن محدوده علم ليمنولوژي بخشهاي مختلف تشكيل دهنده يك سيستم تركيبي كه داراي ارتباطات معيني به يكديگر هستند از اهميت ويژه اي برخوردارند. لذا در شناخت خصوصيات داخلي آن سيستمها بايستي كليه عناصر آن سيستم و واكنشهاي كمي آن نيز شناخته شوند.

ليمنولوژي از نظر مطالعاتي به دو بخش تقسيم مي شود:

1) ليمنولوژي تئوري (Theoretical L.): در اين مطالعات تحقيق خاص بر روي عناصر تشكيل دهنده سيستمهاي آبهاي طبيعي صورت مي گيرد. اين مطالعات و تحقيقات مي تواند در ارزيابي اکوسيستم از نظر عملي كمك فراواني نمايد. مثلا نحوه زندگي و مهاجرت يك توده زئوپلانكتوني در درياچه.

2) ليمنولوژي عملي (Applied L.): در اين بخش پاسخگويي به مسائل مديريت منابع آبي، حمايت از محيط زيست، آلودگي آبهاي طبيعي، تصفيه فاضلابها، حفظ كيفيت منابع آبي، بهبود آبهاي آلوده و تلاش براي افزايش ميزان توليدات جانوري در منابع آبي (مثلا در يك درياچه طبيعي و يا مصنوعي) كه در نهايت منجر به تامين پروتئين انسان مي شوند، مديريت پروژه هاي پرورش متراكم جلبكها، مطالعات بيولوژيك بر روي آبزيان با استفاده از روشهاي خاص در جهت بالا بردن توليدات آبهاي طبيعي يا مصنوعي از اهميت ويژه اي برخوردارند. پس در واقع ليمنولوژي كاربردي يك هدف كاربردي را دنبال مي كند.

 امروزه هيدروبيولوژيستها، اکولوژيستها و مهندسان محيط زيست، سيستمهاي آبي (درياچه ها و رودخانه ها) را بسيار مورد توجه قرار ميدهند، زيرا منابع آبي مانند طلا و نفت باارزش مي باشد.

تاريخچه توسعه علم ليمنولوژي:

 ليمنولوژي بعنوان يك علم مشخص در طول دو قرن اخير همزمان با اختراع ميكروسكوپ و انواع وسايل نمونه برداري مثل تورهاي نمونه برداري، نقش مهمي را در تقسيم بنديهاي مناطق زيست محيطي و شيلاتي دارد.

 در سال 1885 تا 1887، Forbes و Junge آبهاي طبيعي را به نام مجموعه اي زنده مطرح كردند. در سال1845، Muller، پلانكتونهاي دريايي را شناسايي و بتدريج موضوع زيست شناسي آبهاي شيرين نيز به مجموعه مطالعات اضافه شد و به عنوان محرك جديد در اين علم مطرح شد.

 پدر علم ليمنولوژي A.F.Forel بوده كه تحقيقات وسيعي را در درياچه هاي سوئيس مثل درياچه ژنو انجام داد. مجموعه مطالعات وي در قالبهاي فيزيكي، شيميايي و بيولوژيك بوده و اولين مفاهيم شكل گيري درياچه ها را مطرح كردند. در نتيجه کارهاي Forel پيشرفتهاي وسيعي در مطالعات ليمنولوژي انجام گرفته و در اروپا و آمريكا منجر به ساخت و تجهيز انواع سيستم و ايستگاههاي تحقيقاتي شد. در آمريكا دو دانشمند Juday و Birge مطالعات كلاسيكي را بر روي درياچه Mendota و Wisconsin انجام دادند كه امروزه به عنوان يك مركز بين المللي مطرح است.

در پيشرفت علم ليمنولوژي افراد زير نقش بيشتري بر عهده داشتند:

1) Forel در سال 1901 طبقه بندي درياچه ها را بر اساس ويژگي حرارتي انجام داد.

2)Juday و Birge در سال 1911 طبقه بندي شيميايي را بر اساس لايه بندي اكسيژني انجام دادند.

3)Thiennemann در سال 1915 ساختار شيميايي و ذخاير اكسيژني را در درياچه ها تشخيص دادند.

4) Naumann در سال 1917 كه توليدات فتواتوتروفيك، توليدات بيولوژيك و مطالعات شيميايي در درياچه ها را بررسي كرد .

5)Steeman-Nielson در سال 1952 اندازه گيري مستقيم كربن جذب شده و تركيب شده در غذا را با استفاده از تكنيك كربن راديواكتيو انجام دادند.

 در كنار اين 5 مورد كه بر روي ليمنولوژي درياچه ها كار كردند يك سري محققين مثل Friedrich ,Zschokke در كنار مطالعات ليمنوژي درياچه موضوع تحقيق و بررسي آبهاي جاري را مطرح كردند كه علت آن به 3 بارامتر زير بر مي گردد:

1) احتمال وجود پلانكتونهاي رودخانه‌اي (Potamoplankton) در آبهاي جاري. به همين دليل، قبلاً مطالعات بر روي رودخانه‌ها را اصطلاحاً Potamology مي‌گفتند.

2) تحقيقات در مورد اثرات يخبندان و جريانات شديد كوهستاني بر روي فون و فلور (جامعه گياهي و جانوري) آبهاي جاري.

3) اثرات ورود فاضلابها و مطالعه ارگانيسمهاي شاخص در اين سيستمها.

 اين 3 عامل سبب شد كه در كنفرانس انجمن ليمنولوژي كاربردي و تئوري موضوع مطالعات آبهاي جاري به مطالعات ليمنولوژي اضافه شده و در نهايت ليمنولوژي به علم مطالعه آبهاي داخلي (مطالعه آبهاي جاري و ساكن) و موضوعات خاص موجود در آنها تغيير نام پيدا كند.

آب براي تمام پديده‌هاي حياتي بر روي كره زمين ضروري است و وجود آن براي هر سيستم زنده حياتي است. مجموعه‌ي ذخاير آبي جهان كه در كره‌ي زمين وجود دارد، هيدروسفر يا كره‌ي آبي خوانده مي‌شود. اين منابع يا ذخاير آبي براي دوره‌ي تكامل بشر، چيزي تغيير ناپذير بوده‌است. آب هيدروسفر (كره آبي) را مي‌توان بر اساس حجم آن، به سه محيط تقسيم نمود:

1) اقيانوسها و درياها

2) آبهاي موجود در خشکيها

3) آب موجود در اتمسفر

 بيشترين آب هيدروسفر (6/97 درصد) مربوط به اقيانوسها و درياهاي حواشي آن است كه بزرگترين اكوسيستم جهان مي‌باشد. باقي مانده‌ي آن 4/2 درصد است كه در سطح قاره‌ها (خشکيها) پراکنده اند که به آن آبهاي داخلي (Inland waters)گفته مي‌شود و مطالعه‌ي آن را Limnology مي‌گويند. توده اصلي ابن بخش به صورت كوه‌هاي يخي و يخ‌هاي قطبي ذخره‌گرديده‌اند. مقدار آب موجود در اتمسفر خيلي كم است ( فقط يك هزارم كل كره آبي)، لكن اين مقدار آب بر آب‌وهواي نواحي مختلف در سطح كره زمين و همچنين بر محل، حجم و محيط ذخاير آب قاره‌ها (خشكي‌ها) تأثير به سزايي دارد. توده‌هاي آب در قاره‌ها به طور غيريكسان و در محل‌هاي مختلفي ذخيره شده‌اند. يخ‌هاي قطبي ذخاير درجه اول و اصلي آب شيرين در سطح كره زمين مي‌باشند ( در حدود 29000كيلومتر مكعب) و آبهاي زير زميني با ذخيره‌ي 4000 كيلومتر مكعب در مرتبه‌ي دوم اهميت قرار دارند. بايد توجه داشت كه از كل اين مقدار آب زيرزميني بخش كمي در رسوبات غيرمرتاكم دوران چهام زمين‌شناسي ذخيره شده‌است كه مي‌تواند مورد استفاده انسان و ديگر موجودات زنده در سطح زمين قرار گيرد. بخش ديگر كه قسمت اعظم آبهاي زير زميني است، در عمق بيشتر از 800 متري قرار دارند.

حجم تقريبي آبهاي سطح زمين

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **منبع آبي** | **حجم (**Km3×1000) | **درصد از کل** | **مدت زمان تجديد حيات** |
| **اقيانوس** | 1370000 | 61/97 | 3100 سال |
| **يخ و برف (يخچالها)** | 29000 | 08/2 | 16000 سال |
| **آبهاي زير زميني (تا عمق يک کيلومتر)** | 4067 | 295/0 | 300 سال |
| **رطوبت خاک** | 67 | 005/0 | 280 روز |
| **بخار آب اتمسفر** | 14 | 0009/0 | 9 روز |
| **درياچه آب شيرين** | 126 | 009/0 | 100-1 سال |
| **درياچه آب شور** | 104 | 008/0 | 1000-10 سال |
| **رودخانه** | 2/1 | 00009/0 | 20-12 روز |
| **رطوبت موجود در گياهان و جانوران** | 65 | 005/0 | - |

در يك نتيجه گيري كلي ميتوان عنوان كرد كه آبهاي داخلي كره زمين به اشكال متفاوتي ظاهر مي شوند. تنوع شرايط آب و هوايي بر روي اين اشكال تاثير فراوان دارد. در بررسي آبهاي داخلي، آبهاي جاري، آبهاي ساكن، مناطق باتلاقي و آبهاي شور داخلي مورد تجزيه و تحليل قرار مي گيرند.

 در اين جدول مشاهده مي شود كه در حدود 69/99 درصد از كل آبهاي موجود در طبيعت در اقيانوسها و يخهاي قطبي ذخيره شده و بطور مستقيم قابليت استفاده براي بشر را ندارد بلكه بصورت غيرمستقيم در چرخه آب در طبيعت نقش مهمي را ايفا مي كند. زمان چرخش اين دسته از آبها بسيار طولاني است. بعبارت ديگر سرعت تجديد و نوسازي آن بسيار کند است. آب رودخانه‌ها و درياچه‌ها در حدود 7/230 كيلومترمكعب است كه سهم بسيار كوچكي از آبهاي شيرين ره زمين را در بردارد. اين مقدار كمتر از آب‌هاي زير زميني شيرين است. ميزان آبي كه در بدن موجودات زنده است بسيار كم بوده و در حدود 65 كيلومترمكعب است. علاوه بر ذخاير آب شيرين در خشكي‌ها، در اقيانوس‌ها نيز دو مخزن آب شيرين وجود دارد كه عبارتند از:

1- يخ‌هاي قطب شمال، جنوب و توده هاي آبي در قطب: که اين آب براي بشر قابل استفاده نبوده ولي اثرات گلخانه اي بر روي آنها تاثير گذاشته و در اثر ذوب آب اين مخزن، آب آن وارد اقيانوس شده که استفاده از آن در حال حاضر براي بشر مقرون بصرفه نيست. اگر مقدار آبي كه در يخهاي قطبي (اقيانوس منجمد جنوبي و گرينلند) وجود دارد بطور كامل ذوب شود سطح آب درياها چيزي در حدود 60-50 متر بالا رفته و بسياري از شهرهاي ساحلي دنيا (مثلا تا طبقه بيستم در شهر نيويورک) به زير آب خواهد رفت. آب موجود در يخهاي قطبي منبع اصلي آب شيرين در سطح کره زمين مي باشد و بعد از آن آبهاي زير زميني قرار دارند.

2- بارش در سطح اقيانوس ها: سالانه 297000 کيلومتر مربع آب شيرين بطور مستقيم به اقيانوس برگردانده شده ولي 334000 کيلومتر مربع آب در سال از سطح اقيانوس ها تبخير مي شود. اين ميزان در خشکيها 62000 کيلومتر مربع در سال و ميزان بارش بر روي خشکيها 99000 کيلومتر مربع است که سالانه مقدار 37000 کيلومتر مربع از آن دوباره از طريق رودخانه ها به اقيانوسها برمي گردد. بنابراين آبي که از سطح اقيانوسها تبخير ميشود بيشتر از آبي است که از طريق بارش به آن باز ميگردد. در عوض بر روي خشکيها، آبي که از طريق بارش دريافت ميشود نسبت به آنچه که با تبخير از دست مي‌رود بسيار بيشتر است. بيشتر بارشي که به سطح زمين ميرسد حاصل از تبخير آب اقيانوسها است. بهرحال ميزان کل اين بارشها در قاره هاي مختلف با همديگر يکسان نبوده و تفاوتهاي چشمگيري در اين بين ديده مي شود. در سالهاي اخير چرخه و تعادل آب در جهان نوسانات اندکي داشته که عمدتاً بدلائل فعاليت‌ها و دخالت‌هاي انساني در طبيعت بوده که ايجاد تغيير در آبياري، کارهاي صنعتي، جنگل تراشي‌هاي گسترده براي بدست آوردن زمين‌هاي قابل کشت بيشتر براي کشاورزي، تغيير در الگوي زهکشي و بهره برداري شديد از منابع آبهاي زير زميني به‌همراه نيازهاي آبي بخش صنعت و کشاورزي از آن جمله‌اند. اين وضعيت در قرن 21 با مشکلات بيشتري احتمالا همراه خواهد بود. نتيجه کليه اين فرآيندها، افزايش زمان بازگشت و تجديد آب شيرين قاره اي مي باشد. با توجه به مشکلات محدوديت منابع آب شيرين و افزايش تقاضا مسئله شکل حادتري نيز به خود مي گيرد. حتي پروژه هايي مانند نمک زدايي آب دريا (با صرف هزينه هاي زياد) نيز جوابگوي مشکل آب شيرين جهان نخواهد بود.

 مقدار آب موجود در اتمسفر نيز از اهميت بالايي برخوردار است. چون که منجر به تشكيل ابر مي شود. مقدار بخار آب لحظه اي موجود در اتمسفر حدود 14000 كيلومتر مربع است. اگر ميانگين نزولات جوي در كره زمين 1020 ميلي متر در سال در نظر گرفته شود، با توجه به وسعت كره زمين (510000000 كيلومتر مربع)، مقدار كل آب حاصل از نزولات جوي حدود 520000 كيلومتر مكعب خواهد بود. اگر اين مقدار نزولات آبي بر مقدار بخار آب لحظه اي موجود در اتمسفر تقسيم گردد، تقريبا 37 بار در سال يا بطور متوسط هر 8/9 روز يكبار اين مقدار آب به كره زمين مراجعت مي كند. آب موجود در اتمسفر خيلي کم مي باشد ولي اين مقدار بر آب و هواي نواحي مختلف کره زمين، همچنين بر محل، حجم و محيط ذخاير آب قاره ها (خشکي ها) تاثير بسزايي دارد. توده هاي آب در قاره ها بطور غير يکسان و در محل‌هاي مختلفي ذخيره شده اند.

در پراكندگي و انتشار اكوسيستمهاي آبهاي داخلي حتماً بايستي قوانين گردش آب در طبيعت را مورد ارزيابي قرار داد. درياچه ها مخزن و منشأ آب در طبيعت هستند. آب درياها به صور مختلف به نواحي خشك و حاره اي كشيده شده و پس از تغييرات گوناگون در يك مدت كوتاه يا طولاني دوباره به دريا بر مي گردد.

 آبهايي كه به سطح زمين مي رسند به چند بخش تقسيم بندي مي شوند:

1. آبهاي تبخيري (Evaporated waters) كه در اثر تبخير و تعرق از سطح گياهان و جانوران به دست مي آيند.
2. آبهاي جاري (Running waters) كه در سطح زمين جاري مي شوند.
3. آبهايي كه به زمين نفوذ کرده و ايجاد سفره هاي زير زميني و جريانهاي زيرزميني و در نهايت چشمه ها را مي كنند.
4. تجمعات برف و يخ كه در سطح زمين منجر به ايجاد يخچال مي شوند.
5. آبهاي فسيلي كه اين آبها مدت زمان طولاني در دل زمين باقي مانده و در بعضي از مناطق در حفاريهاي نفتي خودشان را نمايان مي كنند.

 بنابراين در يك جمع بندي كلي ميتوان اشاره كرد كه بارندگي مساوي است با مجموع آبهاي تبخيري+آبهاي ذخيره اي+آبهاي نفوذي. معادله گردش آب در طبيعت رابطه بين نزولات، جريان هاي آبي، تبخير آب و وضعيت آب را در طبيعت نشان مي‌دهد.

 آبهاي نفوذي (مانند آبهاي زير زميني) ممكن است به دو دسته تقسيم شوند:

1- آبهاي نفوذي سطحي: كه براحتي در چرخه هيدرولوژي شركت مي كنند و به آبهاي فعال (Active waters) معروفند و در اعماق کمتر از 1000-800 متري زمين قرار دارند.

2- آبهاي زيرزميني فسيلي: اين آبها در گردش آب كره زمين حضور فعال نداشته زيرا توقف خيلي طولاني در اعماق زمين دارند ولي در نهايت قسمت اعظم آنها در چرخه آب شركت مي كنند. مثل چشمه هاي آب گرم معدني بعلت نفوذ زياد در پوسته زمين در اين دسته قرار مي‌گيرند. مقدار آب فسيلي در مقايسه با آب فعال موجود در طبيعت خيلي محدود بوده و از طريق تعقيب عناصر راديواكتيو مي‌توان به وضعيت آبهاي فسيلي پي برد. در حفاريهاي نفتي معمولا اين دسته از آبها نمايان مي‌شوند.

 آن بخش از نزولات آبي كه نه تبخير شده و نه جريان پيدا مي‌كنند در زمين نفوذ کرده و در اعماق مختلف زمين ذخيره مي‌شوند و سفره آبهاي زيرزميني را تشكيل مي‌دهند. اين آبها منافذ بين سنگها را پر مي‌كنند. گاهي اوقات آبهاي زيرزميني ممكنست بر روي طبقات و بخش‌هاي غيرقابل نفوذ تجمع پيدا كرده و بصورت جريان‌هاي تحت الارضي با حركت كم و يا زياد در جهت شيب منطقه در زير زمين حركت كنند. پس به مانند آبهاي جاري كه بر روي زمين حركت مي‌كنند بخشي از منابع آبي در دل زمين نيز داراي حركت آرام و يا شديد هستند. هر چقدر اندازه سنگهايي كه در اين مناطق وجود دارد بزرگتر باشد، مجاري آبي كه بين آنها را پر مي‌كنند عريض‌تر و در نتيجه سرعت آب زيرزميني بيشتر است. بخشي از آبهاي زيرزميني ممكن‌است در بعضي از مناطق غارگونه تشكيل درياچه‌هاي غاري شكل دهند مثل غار علي صدر همدان. در نهايت اكثر اين آبها به بيرون مي‌رسند و بعنوان مهم‌ترين منابع آبي توسط بشر مورد استفاده قرار مي‌گيرند.



در بعضي از مناطق خشك كه ميزان نزولات بسيار پايينتر از ميزان تبخير است درياچه هاي آب شور ايجاد مي شوند كه اصطلاحا به آنهاSaline lakes مي گويند. ميزان نمك اين درياچه ها مي تواند تا چندين برابر شوري آب دريا باشد ولي از نظر تركيبات يوني، آب اين درياچه ها کاملا متفاوت از آب درياها و اقيانوس ها است. بطور کلي، آبهاي داخلي از نظر تركيبات يوني بسيار متفاوت از آبهاي باز دريايي هستند زيرا در آبهاي داخلي منابع غني از كربنات و كلسيم وجود داشته، در صورتيكه در آبهاي دريايي منابع غني از کلريد سديم ديده مي شود.

 با توجه به رشد روز افزون جمعيت در كره زمين امروزه تهيه آب مناسب جهت فعاليت بشري بيشترين اهميت را به خود اختصاص داده، بطوريكه بحث اصلي در قرن 21 را به خود اختصاص داده است. بطوريکه بر اساس نمودار زير در دوران هاي مختلف انسان با مسائل مختلفي روبرو بوده است:

 2000 1990 1970 1950 1920 1900

 در سال 1900 عواملي مانند بيماري باعث مرگ انسانها شده ولي از سال 1920 تا سال 1950 پارامتر اقتصادي مطرح شد و تا 1970-1960 مسئله غذا و تا سال 1990 مسئله انرژي مطرح بوده و پيش بيني مي شود در قرن 21 آب شيرين (Fresh water) بسيار اهميت پيدا کند.

 علاوه بر تهيه آب در جنبه هاي مختلف بحث آلودگي (Water pollution) آب از اهميت بالايي برخوردار بوده، بطوريكه بشر به دنبال آب سالم و بدون آلودگي مي گردد. در بسياري از مناطق دنيا آب سالم در دسترس نبوده و پيش بيني مي شود در سال 2050 از هر 6 نفر در دنيا يك نفر به آب سالم دسترسي داشته باشد. بنابراين کميت و کيفيت آب فوق العاده اهميت دارند. اين مسئله در كشورهاي در حال توسعه و كشورهاي عقب مانده بزرگترين معضل را در سالهاي آينده بخود اختصاص مي دهد.

 تقريباً چيزي در حدود 105000 كيلومتر مكعب در سال بارندگي به‌صورت آب شيرين بر روي كره زمين باريده مي‌شود. از اين مقدار چيزي در حدود يك سوم آن 37500 كيلومتر مكعب در سال به منابع اقيانوسي مي‌پيوندد كه از طريق رودخانه وارد آبهاي اقيانوسي شده و دو سوم بقيه آن بوسيله پديده هاي تبخير و تعرق گياهان و ساير موجودات دوباره به اتمسفر بر مي‌گردد. رقمي كه براي بشر قابليت استفاده دارد، همان 37500 كيلومتر مكعب در سال است كه از طريق رودخانه ها جريان داشته، و در صورتيكه بتوان به اشكال مختلف آن را مهار كرد قابليت بهره برداري براي بشر را دارد. اگر اين رقم بر تعداد افراد كره زمين (تعداد افراد 5/5 ميليارد) در سال 2002 تقسيم شود، به هر نفر 6800 متر مكعب آب در سال مي رسد (18680 ليتر در هر روز به ازاي هر نفر). پيش‌بيني مي‌شود در سال 2050 با افزايش جمعيت به 10 ميليارد اين رقم به نصف يا كمتر برسد.

 اگر آب مصرفي بشر فقط خوراكي بود مشكلي وجود نداشت، ولي پيشرفت‌هاي تكنولوژيكي و صنعتي بهمراه استفاده بيش از اندازه آب در بخش كشاورزي مصرف آب را بسيار بالا برده‌است، مثلاً در بخش مصارف خانگي حدود 250 ليتر و در بخش صنعت 1500 ليتر و در بخش كشاورزي حدود چند هزار ليتر بازاي هر نفر در روز مصرف آب وجود دارد. لذا يکي از راهکارهاي حفظ اين بخش کوچک قابل استفاده آب در هيدروسفر بازيافت و تصفيه مجدد آب جهت جبران کمبودها است. بنابراين استفاده صحيح و اصولي از منابع آبهاي داخلي (Inland waters) از مهمترين موضوعات در ليمنولوژي بخصوص ليمنولوژي كاربردي محسوب مي شود. بنابراين، آب و مخازن آن از نظر مصارف آشاميدني، صنعتي و کشاورزي و همچنين استفاده در توليد برق و موضوع کنترل سيلابها و خطرات آلودگي آبهاي مصرفي بسيار اهميت دارند.

 اکولوژي آبها يک دانش ملي بوده که درباره سيستمهاي فيزيکي و شيميايي در آبهاي طبيعي و نيروها و مراحلي که در اين سيستمها شکل مي گيرند همراه با رابطه بين آب با موجودات زنده و سير انرژي و چرخه مواد در اکوسيستم‌هاي آبي بحث و بررسي مي‌کند.

### ساختمان و خواص فيزيكي مولكول آب:

 از ميان تمام تركيبات مجود در سطح كره زمين آب لازم ترين ماده براي حيات است. اب مورد نياز تمام موجودات زنده است. گياهان براي عمل فتوسنتز و نيز جانوران و گياهان در اعمال متابوليكي از آن استفاده مي‌كنند. به علاوه آب بستر زيست تمام موجودات آب‌زي بوده و به عنوان غذا و پناهگاهي براي آنها مي‌باشد. آنها از گازهاي محلول در آب استفاده كرده و توليد مثل مي‌كنند، از فرزندان خود مراقبت كرده و بدون آب نمي‌توانند به زندگي خود ادامه دهند. بنابراين موجودات زنده‌ي آب‌زي بايد به نيچ‌هاي اكولوژيكي (پردازه) در درياچه، رودخانه يا دريا سازش كنند. در اين جا لازم است قبل از شناخت موجودات آب‌زي و عوامل وابسته به آن، خواص آب مورد توجه قرار گيرد، زيرا از نظر اكولوژيكي اهميت زيادي دارد. از نظر فيزيكي آب داراي يكسري ويژگيهاي منحصر به فرد است كه اين خصوصيات در نهايت به ساختار و ساختمان مولكولي و همچنين تمايل به متراكم شدن (Compaction) آن برمي‌گردد. بسياري از ويژگي‌هاي فيزيكي آب كه از نظر ليمنولوژي داراي اهميت‌اند، شامل: وزن مخصوص، لزوجت، نقاط ذوب و نقاط جوش، گرماي نهان ذوب و گرماي نهان تبخير، كشش سطحي، ويژگيهاي حرارتي، و ضريب دي الكتريك. اين ويژگيها مي تواند در بيان ويژگيهاي آب نقش مهمي داشته باشد.

 از ديدگاه بيولوژيك تمام اين ويژگي‌ها نقش مهمي را در حيات موجودات ايفا مي‌كند. كليه موجودات آبزي بوسيله ارتباطات خاصي كه با ويژگي‌هاي فيزيكي محيط طبيعي خود پيدا مي‌كنند، سازگاري‌هاي اجتماعي و زيستي خاصي را ايجاد نموده كه در نهايت چرخه كامل زندگي آنها در آبهاي طبيعي به اين ويژگي‌هاي فيزيكي برمي‌گردد. قبل از بررسي ويژگي‌هاي فيزيكي آب ابتدا ساختمان مولكول آب از نظر ليمنولوژي مورد بررسي قرار مي‌گيرد.

# ساختار مولكول آب:

 مولكول H2O از دو عنصر هيدروژن و يك مولكول اكسيژن تشكيل شده كه هر دوي آنها جزء عناصر استثنايي در طبيعت هستند. هيدروژن سبكترين عنصر موجود در طبيعت بوده كه توانايي ايجاد پيوندهاي هيدروژني را دارد. اكسيژن يك عنصر استثنايي از نظر مجموعه فعاليت هاي متابوليسمي موجود در طبيعت بشمار مي رود. فعاليتهاي متابوليسمي وابستگي شديدي به اکسيژن دارند. اين دو عنصر با هم يك ماده استثنايي به نام آب را بوجود آورده كه ويژگيهاي منحصر بفرد خود را دارد. اتصال اتم‌هاي تشكيل‌دهنده‌ي مولكول آب كووالانسي است ( الكترون‌ها بين دو اتم مشترك است ).

 هسته اتم هيدروژن داراي بار مثبت بوده (پروتون ) و بقيه اتم از الكترون كه داراي بار منفي مساوي است و در خارج هسته قرار دارد تشكيل شده‌است. بنابراين آب داراي خواص غير عادي فراواني بوده که براي حيات و زيست ارگانيسم‌هاي آبزي نياز مي باشد

**مولکول آب**

 آب بعلت وضعيت خاص قرار گرفتن اتمهاي تشكيل دهنده خود داراي مولكول دو قطبي قوي است. زاويه پيوندي بين اتمهاي H-O-H، 28/104 درجه و ميانگين طول پيوند بين اتمهاي H و O، 8-10×96/0 سانتي‌متر است. اتم اكسيژن الكترون‌هاي اشتراكي را به طرف خود كشيده و بنابراين الكترون‌ها مايلند نزديك اتم اكسيژن و در اطراف هسته هيدروژن جمع شوند، بنابراين اكسيژن داراي بار منفي و هيدروژن داراي بار مثبت است.

 اين خاصيت را اصطلاحاً ويژگي دو قطبي مولكول آب گويند كه شدت آن به شدت جدايي بارهاي مثبت و منفي (فاصله بين مراکز دو بار مخالف) در مولكول آب بستگي دارد. اين مقدار حدود 18-10×108 واحد الکترواستاتيک است. بزرگي قطبيت در آب سبب شده که آب حلال بسيار خوبي براي ترکيبات يوني باشد و مي‌تواند با آنها بسرعت واکنش نشان دهد.اين كيفيت آب در سيستم‌هاي بيولوژيكي داراي اهميت فراوان است. ويژگي دو قطبي بودن مولكول سبب مي‌شود كه همواره مولكول آب در حال ارتعاش و نوسان باشد. در مولكول آب، هسته مولكول بطور دايم در حالت ارتعاش قرار داشته و اين ويژگي سبب ايجاد وضعيت دو قطبي-الكتريكي مي‌گردد.

 تمام مولكول‌ها نيروي جاذبه ضعيفي نسبت به يكديگر دارند. چنين نيروي جاذبه‌اي در اثر بر هم‌كنش‌هاي بين هسته اتم از يك مولكول و الكترون‌هاي مولكول ديگر ( هنگامي كه مولكول‌ها به يكديگر نزديك باشند) به وجود مي‌آيد. در مورد آب، جدايي بارها همراه با حضور اتم‌هاي هيدروژن سبب ايجاد پيوندي قوي به نام پيوند هيدروژني مي‌شود. قدرت پيوند هيدروژني در بين مولكول‌هاي آب فقط معادل 20/1 قدرت پيوندهايي است كه بين هيدروژن و اكسيژن در داخل خود مولكول آب وجود دارد. به هر حال چنين پيوندهايي به اندازه‌اي است كه مي‌تواند خواص فيزيكي و شيميايي آب را تحت‌تأثير قرار دهد.

در ساختار مولكول آب، انرژي لازم براي شكستن پيوندهاي هيدوژني و كووالانسي بترتيب حدود Kcal 7-5 و Kcal 40 بازاي هر مول است. لذا بالا بودن نقاط جوش در بعضي از مواد مثل آب (و آمونياك و اسيد هيدرو فلوئوريك) دليل بر تجمعات مولكولي مي‌باشد.

 مولكولهاي آب اين قابليت و توانايي را دارند كه در هر لحظه بوسيله پيوند هيدروژني به يكديگر متصل شوند. مدت زمان اين اتصال بين دو مولكول حدود 11-10 ثانيه است. بعبارت ديگر مولكولهاي آب دائماَ درحال تشكيل پيوندهاي جديد و شكستن پيوندهاي قبلي بين يكديگر هستند. لذا آب بدليل حركات ارتعاشي و لغزشها، با وجودي كه وزن مولكولي كمي (18) داشته ولي در دماي معمولي به حالت مايع باقي مي‌ماند.

آب يكي از نادرترين مواد است كه به سه شكل جامد (يخ)، مايع (آب) و گاز (بخار آب) بر روي سطح زمين وجود دارد. از نظر ساختاري، مولكول‌هاي آب قادر به تشكيل تجمعات مولكولي خاصي بوده كه اصطلاحاً به اين تجمعات مولكولي، کلاستر (Cluster) مي‌گويند. تجمعات مولكولي شبكه‌هاي پيوسته‌اي از مولكول آب بوده كه توسط پيوندهاي هيدروژني بهم متصل‌اند و بصورت شناور و متحرك در تمام مسيرها و در سرتاسر حجم مايع وجود دارند. پس از نظر تئوري مي‌توان عنوان كرد كه يك مولكول آب در يك طرف سطح درياچه با مولكول آبي كه در چندين كيلومتر دورتر قرار گرفته توسط پيوندهاي هيدروژني و ساختار کلاستري به يكديگر مرتبط است. علت تشكيل ساختار کلاستري در مولكول آب وجود پيوندهاي هيدروژني است. حد فاصل بين كلاسترها توسط مولكول‌هاي منفرد آب اشغال شده‌است. تعداد کلاسترها در مولكول آب بشدت به درجه حرارت آب وابسته است. كلاسترها به صورت آزاد در داخل آب حركت کرده و با كاهش دماي آب بزرگتر و بي حركت تر مي‌شوند بطوري‌که، هر چقدر درجه حرارت آب كمتر شود، از تعداد مولكولهاي منفرد كم و به تجمعات مولكولي اضافه مي شود. لذا با سرد شدن آب، اندازه كلاسترها بزرگتر مي‌گردد..آب در دماي صفر درجه ساختار كلاستري آن درشت ‌شده و بطوري‌كه، در حالت يخ ساختار صددرصد كلاستري ديده شده زيرا كليه مولكولهاي منفرد آب با مولكولهاي آب داخل کلاستر پيوند هيدروژني برقرار کرده اند..و اصطلاحاَ آب ساختار بلوري بخود مي‌گيرد. اين ساختار بلوري سبب مي‌شود كه در زمان شكستن يخ در اثر ضربه، شکستگي و ترك‌هايي در ساختار يخ ديده ‌شود. بزرگترين ساختار کلاستري در ساختار يخ مشاهده شده و در اين ساختار مولكول منفرد H2O ديده نمي شود. در حالت انجماد كلاسترها يك شبكه شيشه‌اي و درخشان را بوجود مي‌آورند كه اصطلاحاَ به آن Tridymit گفته مي‌شود. يخ ساختار جامد مولكول آب است و از نظر ساختاري با مولكول آب تفاوت بسيار زيادي دارد. در ساختار يخ هر اتم اكسيژن به‌ وسيله 4 اتم اكسيژن ديگر محصور شده كه فاصله آنها از يكديگر 8-10×76/2 سانتي متر مي‌باشد. لذا ساختار يخ هگزاگونال بوده و كل مولكولهاي منفرد آب وارد ساختار كلاستري مي‌شوند. ايجاد ساختار يخ سبب مي‌شود كه مولكول‌هاي آب در ساختار يخ تحرك و ارتعاشي را كه مولكول‌هاي آب در حالت مايع دارند را نداشته ‌باشند. بهمين دليل يخ در حالت جامد با افزايش حجم (12 درصد حجم آن افزوده ميشود) مواجه ‌شده و وزن مخصوص آن كمتر از آب در حالت مايع مي ‌شود. لذا، يخ بر روي آب شناور باقي مي ماند. يكي از ويژگي‌هاي مهمي كه از نظر ساختاري در مولكول آب وجود دارد حركت ارتعاشي مولكول‌هاي آب است. مولكولها در آب نزديك به صفر درجه تقريباَ در هر ثانيه 1012-1011 حركت ارتعاشي از خود نشان داده در حالي‌كه در ساختار يخ صفر درجه اين حركت به 106-105 بار در هر ثانيه مي‌رسد. علت اين مسأله تفاوت ساختاري بين آب صفر درجه و يخ صفر درجه است. افزايش دماي آب سبب افزايش آشفتگي و حركات ارتعاشي مولكولهاي آب شده كه اين حالت باعث از بين رفتن پيوندهاي هيدروژني موجود در شبكه مي شود.

زماني كه يخ ذوب مي‌شود جابجايي باندها عوض ‌شده و در نتيجه شكستگي رخ مي‌دهد و اين موضوع سبب پر كردن فضاهاي خالي موجود در ساختار شبكه يخ مي‌شود. وزن مخصوص يخ در حال ذوب نيز از آب کمتر است. در دماهاي بالاتر، اتصالات هيدروژني بيشتر شکسته شده و زماني که 15 درصد از اتصالات شکسته شوند، ذوب شدن بطور کامل در آن صورت مي گيرد.

لذا ويژگيهاي بين آب صفر درجه و يخ صفر درجه بسيار متفاوت بوده عليرغم اينکه تفاوتهاي زماني بين آنها ممکن است در حد چند لحظه باشد.

 **خصوصيات فيزيكي يخ و آب صفر درجه**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ويژگي | آب صفر درجه | يخ |
| **وزن مخصوص** | 999/0 | 916/0 |
| گرماي ويژه | 007 /1 | 478/0 |
| قابليت هدايت حرارتي | 0057/0 | 0014/0 |
| قابليت هدايت الكتريكي | 8-10×11/1 | 8-10×72/2 |
| سرعت صوت | 1500 | 3300 |

 با توجه به اعداد مشاهده مي‌شود بين آب صفر درجه و يخ از نظر زماني فاصله كمي از نظر تشكيل شدن وجود دارد ولي از نظر فيزيكي اختلافات فاحشي ديده ‌شده كه علت آن به آرايش و ساختارهاي مولكولي يخ و آب برمي‌گردد. وزن مخصوص يخ در صفر درجه تقريباَ 5/8 درصد كمتر از آب صفر درجه است. يخ داراي يك ساختار باز گسترده‌اي است كه ويژگيهاي منحصر بفردي را براي آن بوجود مي‌آورد. در حاليكه آب از نظر ساختاري پيچيده‌تر است زيرا بدليل وجود پيوندهاي هيدروژني در آب يك ‌حالت بي‌نظمي قابل ملاحظه‌اي ديده‌ ‌شده كه در اين شبكه بسياري از منافذ بوسيله مولكولهاي آب اشغال مي‌شود. بنابراين وزن مخصوص بيشتر آب نسبت به يخ را از نظر ساختاري ميتوان به وجود مقدار كافي از مولكولهاي آب در منافذ شبكه‌اي آن دانست. بنابراين، آب در حالت مايع به صورت كلاسترهاي n(H2O) ديده‌ مي‌‌شود.

ارتباط بين دماي آب و تعداد مولکول هاي موجود در يک کلاستر

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **دماي آب** | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 |
| **تعداد مولکولهاي موجود در يک کلاستر** | 96/64 | 25/49 | 37/38 | 34/30 | 29/24 | 84/19 | 7/11 |

در حالت مايع (آب) مخلوطي از ساختارهاي كلاستري و مولكول‌هاي منفرد آب ديده مي‌شوند. در زماني كه دماي آب افزايش يابد يعني زماني‌كه يخ در حال ذوب شدن است، مولكول‌هاي آب آزادي حركت بيشتري پيدا کرده و پيوندهاي هيدروژني كه در ساختار يخ به‌شدت به همديگر متصل بودند در صورت مايع شدن آزادي عمل بيشتري را به مولكول آب خواهند داد. بطوري‌كه، ساختار كلاستري حتي در دماي 100 درجه سانتيگراد نيز در داخل مولكول آب وجود داشته ولي زمانيكه آب به بخار تبديل مي‌شود کليه ساختار كلاستري از بين رفته و مولكولهاي منفرد آب در اين حالت ديده مي شوند. پس H2O منفرد فقط درحالت گازي آب (بخار آب) وجود دارد. در حالت بخار آب 100 درصد مولكول منفرد وجود داشته و ساختار كلاستري ديده نمي‌شود. درحالي‌كه در آب 100 درجه سانتيگراد هنوز ساختار كلاستري وجود داشته و بهمين دليل آب دير تبخير مي‌شود. لذا علت اصلي دير بخار شدن آب وجود ساختار كلاستري حتي در درجه حرارت 100 درجه مي‌باشد.



ساختار مولکول آب در حالت مايع و جامد (يخ)

. بخار آب داراي اندازه و شكل ثابتي نبوده و در هر ظرفي كه قرار گيرد قادر به پر کردن آن مي باشد. براي تبديل کامل آب (در حالت مايع) به بخار آب بايستي كليه پيوندهاي هيدروژني بين ملكولهاي آب شكسته شود. لذا نياز است تا كل ساختار كلاستري از بين رفته و مولكولهاي منفرد آب (H2O) مي توانند به‌صورت مستقل از هم حركت و يا چرخش كنند. اين مولکول‌هاي منفرد اثرات متقابل كمي بر روي هم داشته، بطوري‌كه هر مولكول آب بطور مستقل حركت کرده و به ميزان كمي تحت تأثير مولكولهاي مجاور خود قرار مي‌گيرد. بهمين دليل، فشاري كه گاز يا بخار آب به يك ظرف وارد مي‌كند نشان‌دهنده برخورد مولكولها با ديواره ظرف است. در نتيجه، در اثر افزايش گرما حركت مولكولها سريع‌تر شده و فشار بيشتر مي‌شود.

 اگر پيوندهاي هيدروژني در داخل مولكول آب از بين رود نقطه جوش آب 70– و دماي انجماد آن 100- درجه بود. لذا آب و جيوه دو مايعي هستند که قادرند در سطح زمين و تحت فشار و درجه حرارت اطراف خود به شکل مايع وجود داشته باشند. از طرف ديگر آب خالص به مقدار خيلي كم هادي جريان الكتريسيته است. بنابراين آب مي‌تواند اندكي يونيزه شده و به عنوان يك الكتروليت بسيار ضعيف عمل كند.