

### آب سنگین چیست؟

دکتر محمود احمدی نژاد روز شنبه چهارم شهریور با پرده برداری از لوح یادبود مجتمع آب سنگین اراک، یکی از بزرگترین پروژه های هسته ای کشور را که ساخت آن از سال ۷۷ آغاز شده بود افتتاح کرد. پروژه تولید آب سنگین در شمال غربی اراک و در نزدیکی تاسیسات نیروگاه ۴۰ مگاواتی آب سنگین اراک قرار دارد و برای تامین آب سنگین این رآکتور ساخته شده است. به گفته غلامرضا آقازاده رئیس سازمان انرژی اتمی ایران ظرفیت تولید این مجتمع ابتدا هشت تن بود و امروز ظرفیت آن به ۱۶ تن آب سنگین با غنای ۸۹۹ درصد رسیده است. سعیدی معاون امور بین الملل سازمان انرژی اتمی در توصیف اهمیت این پروژه گفت: این پروژه نقش بسزایی در ارتقای علمی کشور و صنایع داخلی دارد و نشانگر رشد و بلوغ و ارتقای دانش فنی نیروهای متخصص ایرانی است. پروژه مجتمع تولید آب سنگین اراک به عنوان یکی از شاخصه های دانش هسته ای، در پزشکی و به خصوص کنترل سرطان و کنترل بیماری ایدز نقش تعیین کننده ای دارد و به عنوان خنک کننده و کندکننده رآکتورهای آب سنگین به کار می رود. با گشایش این واحد صنعتی، ایران به عنوان نهمین کشور دارای تجهیزات تولید آب سنگین مطرح می شود. کشورهای آرژانتین، کانادا، هند و نروژ نیز بزرگترین صادرکنندگان آب سنگین جهان هستند. با توجه به اهمیت راه اندازی این واحد در صنایع هسته ای، در ادامه با آب سنگین و کاربردهای آن در شاخه های گوناگون آشنا می شویم. آب خالص ماده ای است بی رنگ، بی بو و بدون طعم. فرمول شیمیایی آب  $H_2O$  است، یعنی هر مولکول آب از اتصال دو اتم هیدروژن به یک اتم اکسیژن ساخته شده است. نکته ای که باید در نظر داشت آن است که عنصر هیدروژن همانند بسیاری دیگر از عنصرهای طبیعت ایزوتوپ هایی دارد که عبارتند از  $H_2$  که با  $D$  دوتریم و  $H_3$  که با  $T$  تریتمیم نمایش می دهند. برای آشنا شدن با تفاوت این ایزوتوپ ها بهتر است یک بار دیگر ساختار اتم را به یادآوریم.

### ساختار اتم

اتم کوچکترین بخش سازنده یک عنصر شیمیایی است که هنوز هم خواص شیمیایی آن عنصر را دارد. خود اتم ها از سه جزء ساخته شده اند: الکترون، پروتون و نوترون. پروتون و نوترون در درون هسته اتم قرار دارد و الکترون به دور هسته اتم می گردد. الکترون بار منفی و جرم بسیار کمی دارد. پروتون بار مثبت و نوترون بدون بار است. جرم پروتون و نوترون برابر و حدود ۱۸۷۰ بار سنگین تر از الکترون است، بنابر این بخش عمده جرم یک اتم درون هسته آن قرار دارد. ایزوتوپ: ایزوتوپ به صورت های گوناگون یک عنصر گفته می شود که جرم آنها با هم تفاوت داشته باشد. تفاوت ایزوتوپ های مختلف یک عنصر از آنجا ناشی می شود که تعداد نوترون های موجود در هسته آنها با هم تفاوت دارد. البته تعداد پروتون های تمام اتم های یک عنصر از جمله ایزوتوپ ها با هم برابر است. برای مثال عنصر هیدروژن دارای سه ایزوتوپ است  $H$ : هیدروژن که در هسته خود فقط یک پروتون دارد، بدون نوترون  $H_2$  یا  $D$  دوتریم که در هسته خود یک پروتون و یک نوترون دارد و  $H_3$  یا  $H$  تریتمیم که یک پروتون و دو نوترون دارد. از آنجایی که خواص شیمیایی یک عنصر به تعداد پروتون های هسته مربوط است، ایزوتوپ های مختلف در خواص شیمیایی با هم تفاوت ندارند، بلکه خواص فیزیکی آنها با هم متفاوت است. عمده هیدروژن های طبیعت  $H$  یا هیدروژن معمولی است و فقط ۰.۱۵۰ درصد آن را دوتریم تشکیل می دهد، یعنی از هر ۶۴۰۰ اتم هیدروژن، یکی دوتریم است. حال در نظر بگیرید که به جای یک اتم هیدروژن معمولی در مولکول آب  $H_2O$  اتم  $D$  بنشیند. آن وقت مولکول  $HDO$  به وجود می آید که به آن آب نیمه سنگین می گویند. اگر جای هر دو اتم هیدروژن، دوتریم بنشیند،  $D_2O$  به وجود می آید که به آن آب سنگین می گویند. خواص فیزیکی آب سنگین تا حدودی با آب سبک یا آب معمولی تفاوت دارد. با توجه به جانشینی  $D$  به جای  $H$  در آب سنگین، انرژی پیوندی پیوند های اکسیژن هیدروژن در آب تغییر می کند و در نتیجه خواص فیزیکی و به ویژه خواص زیست شناختی آب عوض می شود.



### تاریخچه تولید آب سنگین

والتر راسل در سال ۱۹۲۶ با استفاده از جدول تناوبی «مارپیچ» وجود دو تریوم را پیش بینی کرد. هارولد یوری یکی از شیمیدانان دانشگاه کلمبیا در سال ۱۹۳۱ توانست آن را کشف کند. گیلبرت نیوتن لوئیس هم در سال ۱۹۳۳ توانست اولین نمونه از آب سنگین خالص را با استفاده از روش الکترولیز تهیه کند. هوسی و هافر نیز در سال ۱۹۳۴ از آب سنگین استفاده کردند و با انجام اولین آزمون های ردیابی زیست شناختی به بررسی سرعت گردش آب در بدن انسان پرداختند.

تولید آب سنگین: در طبیعت از هر ۳۲۰۰ مولکول آب یکی آب نیمه سنگین HDO است. آب نیمه سنگین را می توان با استفاده از روش هایی مانند تقطیر یا الکترولیز یا دیگر فرآیندهای شیمیایی از آب معمولی تهیه کرد. هنگامی که مقدار HDO در آب زیاد شد، میزان آب سنگین نیز بیشتر می شود زیرا مولکول های آب هیدروژن های خود را با یکدیگر عوض می کنند و احتمال دارد که از دو مولکول HDO یک مولکول H<sub>2</sub>O آب معمولی و یک مولکول D<sub>2</sub>O آب سنگین به وجود آید. برای تولید آب سنگین خالص با استفاده از روش های تقطیر یا الکترولیز به دستگاه های پیچیده تقطیر و الکترولیز و همچنین مقدار زیادی انرژی نیاز است، به همین دلیل بیشتر از روش های شیمیایی برای تهیه آب سنگین استفاده می کنند.

### کاربرد های آب سنگین

آب سنگین در پژوهش های علمی در حوزه های مختلف از جمله زیست شناسی، پزشکی، فیزیک و... کاربردهای فراوانی دارد که در زیر به چند مورد آن اشاره می کنیم.

طیف سنجی تشدید مغناطیسی هسته: در طیف سنجی تشدید مغناطیسی هسته NMR هنگامی که هسته مورد نظر ما هیدروژن و حلال هم آب باشد از آب سنگین استفاده می کنند. در این حالت چون سیگنال های اتم هیدروژن مورد نظر با سیگنال های اتم هیدروژن آب معمولی تداخل می کند، می توان از آب سنگین استفاده کرد، زیرا خواص مغناطیسی دوتریم و هیدروژن با هم تفاوت دارد و سیگنال دوتریم با سیگنال های هیدروژن تداخل نمی کند.



### کند کننده نوترون

آب سنگین در بعضی از انواع رآکتورهای هسته ای نیز به عنوان کند کننده نوترون به کار می رود. نوترون های کند می توانند با اورانیوم واکنش بدهند. از آب سبک یا آب معمولی هم می توان به عنوان کند کننده استفاده کرد، اما از آنجایی که آب سبک نوترون های حرارتی را هم جذب می کند، رآکتورهای آب سبک باید اورانیوم غنی شده اورانیوم با خلوص زیاد استفاده کنند، اما رآکتور آب سنگین می تواند از اورانیوم معمولی یا غنی نشده هم استفاده کند، به همین دلیل تولید آب سنگین به بحث های مربوط به جلوگیری از توسعه سلاح های هسته ای مربوط است. رآکتورهای تولید آب سنگین را می توان به گونه ای ساخت که بدون نیاز به تجهیزات غنی سازی، اورانیوم را به پلوتونیوم قابل استفاده در بمب اتمی تبدیل کند. البته برای استفاده از اورانیوم معمولی در بمب اتمی می توان از روش های دیگری هم استفاده کرد. هند، اسرائیل، پاکستان، کره شمالی، روسیه و آمریکا از رآکتورهای تولید آب سنگین برای تولید بمب اتمی استفاده کردند. با توجه به امکان استفاده از آب سنگین در ساخت سلاح هسته ای، در بسیاری از کشورها دولت تولید یا خرید و فروش مقدار زیاد این ماده را کنترل می کند. اما در کشورهایی مثل آمریکا و کانادا می توان مقدار غیر صنعتی یعنی در حد گرم و کیلوگرم را بدون هیچ گونه مجوز خاصی از تولید کنندگان یا عرضه کنندگان مواد شیمیایی تهیه کرد. هم اکنون قیمت هر کیلوگرم آب سنگین با خلوص ۹۸۹۹ درصد حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ دلار است. گفتنی است بدون استفاده از اورانیوم غنی شده و آب سنگین هم می توان رآکتور تولید پلوتونیوم ساخت. کافی است که از کربن فوق العاده خالص به عنوان کند کننده استفاده شود از آنجایی که نازی ها از کربن ناخالص استفاده می کردند، متوجه این نکته نشدند در حقیقت از اولین رآکتور اتمی آزمایشی آمریکا سال ۱۹۴۲ و پروژه منهتن که پلوتونیوم آزمایش ترینییتی و بمب مشهور «FAT MAN» را ساخت، از اورانیوم غنی شده یا آب سنگین استفاده نمی شد.



### آشکار سازی نوترینو

رصد خانه نوترینوی سادبری در انتاریوی کانادا از هزار تن آب سنگین استفاده می کند. آشکار ساز نوترینو در اعماق زمین و در دل یک معدن قدیمی کار گذاشته شده تا مئون های پرتو های کیهانی به آن نرسد. هدف اصلی این رصدخانه یافتن پاسخ این پرسش است که آیا نوترینوهای الکترون که از همجوشی در خورشید تولید می شوند، در مسیر رسیدن به زمین به دیگر انواع نوترینوها تبدیل می شوند یا خیر. وجود آب سنگین در این آزمایش ها ضروری است، زیرا دوتریم مورد نیاز برای آشکار سازی انواع نوترینوها را فراهم می کند.

### آزمون های سوخت و ساز در بدن

از مخلوط آب سنگین با  $18\text{H}_2\text{O}$  آبی که اکسیژن آن ایزوتوپ  $18\text{O}$  است نه  $16\text{O}$  برای انجام آزمایش اندازه گیری سرعت سوخت و ساز بدن انسان و حیوانات استفاده می شود. این آزمون سوخت و ساز را معمولا آزمون آب دوبار نشان دار شده می نامند.

### تولید تریتیم

هنگامی که دوتریم رآکتور آب سنگین یک نوترون به دست می آورد به تریتیم ایزوتوپ دیگر هیدروژن تبدیل می شود. تولید تریتیم به این روش به فناوری چندان پیچیده ای نیاز ندارد و آسان تر از تولید تریتیم به روش تبدیل نوترونی لیتیم ? است. تریتیم در ساخت نیروگاه های گرما هسته ای کاربرد دارد.

منبع: روزنامه شرق – گروه دانش، سلیمان فرهادیان