



## بررسی کاربردهای جیوه و آمالگام و فواید طبق شرایط استفاده و بررسی مضرات

### زیست محیطی

فرشاد امیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور سمنان - ایران

دکتر فرزاد سلیمانی

استاد، دکتر متالورژی و مواد، عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور تهران - ایران

### چکیده

جیوه به دلیل خواص بی نظیرش برای قرنهای متمادی است که مورد استفاده بشر قرار گرفته است. تنها فلزی است که در دمای اتاق مایع است که آن به دلیل انرژی بالای یونیزاسیون این ماده است. جیوه به میزان زیادی سایر فلزات مانند طلا، نقره، اورانیوم، مس، سرب، پتاسیم و سدیم را در خود حل می کند که به آن ملغمه یا آمالگام می گویند. انواع آمالگام مورد استفاده در صنایع مختلف دارای خواص و کاربرد متفاوتی نسبت به هم میباشند. خواص جیوه در میان سایر فلزات غیر معمول می باشد زیرا که تمایل به تشکیل پیوند کووالانسی نسبت به پیوند یونی در آن بیشتر است. ترکیبات آلی جیوه شامل گروه های هیدروکربنی آروماتیک یا آلیفاتیک و ترکیبات معدنی جیوه معمولاً شامل نمک های جیوه نظیر کلریدها یا اکسیدهای جیوه می باشد. از فرم فلزی جیوه در ساخت گاز کلر و سود سوز آور، دما سنج های جیوه ای، پر کننده های دندان پزشکی، مخازن فشارسنج، باتری ها، بعضی از رنگ های پلاستیکی، لامپ های فلورسنت، تهیه کرم های ضد آفتاب و ضد عفونی کننده و برخی صنایع دیگر استفاده میگردد. چرخه جیوه در محیط زیست در نتیجه فعالیتهای طبیعی و انسانی می باشد. فلزات سنگینی چون جیوه که بصورت نمکهای معدنی وارد محیط زیست می شوند ممکن است تحت تاثیر تغییرات فیزیکی و شیمیایی قرار گرفته و به مواد بسیار سمی تر که برای سلامتی انسان تهدید بزرگی بشمار میرود تبدیل شوند. بطور مثال ترکیبات معدنی جیوه به الکیل های جیوه، مخصوصاً متیل جیوه که بسیار سمی تر از ترکیبات معدنی جیوه است تبدیل می شود.

واژگان کلیدی: سولفید جیوه، جیوه سرخ، جیوه خفاش، سرطانزا، میناماتا



## ۱-۱- مقدمه

کشف جیوه به زمانهای قبل از میلاد برمی گردد. از زمانهای قدیم بشر برای مقاصد مختلف از این فلز استفاده کرده است. اولین استفاده از ترکیبات جیوه را به چینی ها نسبت داده اند، آنها از کانی اصلی جیوه، سیمابر<sup>۱</sup> (سولفید جیوه HgS) برای تهیه جوهر قرمز استفاده میکردند. اولین شخصی که به خود فلز جیوه توجه کرد ارسطو بود. رومی ها برای اولین بار از این فلز در ملغمه سازی و بازیابی طلا استفاده کردند. یونانیان نیز در قرن دوازدهم میلادی در مقیاس وسیع از آن در ملغمه سازی استفاده کرده اند. این فرایند در قرن شانزدهم در مکزیک و آمریکای جنوبی برای تولید نقره بکار برده شد. در سرتاسر قرون وسطی جیوه برای تولید طلا و نقره و همچنین برای درمان بعضی از بیماریها مانند امراض پوستی مورد استفاده قرار می گرفت. البته امروزه به دلیل شناخته شدن سمیتهای جیوه و ترکیبات آن استفاده از آن کاهش یافته است مدتهاست جیوه بعنوان آلاینده زیست محیطی بسیار خطرناک برای سلامتی انسان شناخته شده است. بیماری میناماتا طی سال ۱۹۵۶ پرتیراثرترین گزارش منتشره از آلودگی جیوه در ژاپن می باشد که مسمومیت ۲۲۰۰ نفر و مرگ بیش از ۷۵۰ نفر را بدنبال داشته است. این آلودگی ناشی از پسابهای صنعتی حاوی جیوه معدنی بود که بعد ورود به آبها و میکروارگانیسمها تبدیل به متیل جیوه و سپس وارد زنجیره ی غذایی آنها گردید. حادثه عراق نیز از دیگر موارد سمیت جیوه است که در اثر تهیه نان از دانه های گندم سم پاشی شده به وسیله قارچ کشتهای حاوی متیل جیوه رخ داد و موجب مسمومیت بیش از ۶۰۰۰ نفر و مرگ بیش از ۵۰۰ نفر گردید (Timbrell J, 2000) از آنجایی که میزان ورود جیوه به اتمسفر از منابع طبیعی به اندازه کافی قابل توجه و نزدیک به مقدار جیوه رها شده به اتمسفر در اثر فعالیتهای انسانی می باشد، تقریباً در تمام صخره ها و خاکها جیوه به غلظتهای کم یافت می شود. (Pacyna E.G. & Pacyna J.M, 2001)

## ۲-۱- تاریخچه جیوه

جیوه از کاربردهای بسیار متنوع از قبیل صنعتی، پزشکی و همچنین تحقیقات علمی برخوردار است (Calvert, J.B, 2004) منبع عمده انتشار جیوه به اتمسفر، مصرف سوختههای فسیلی در نیروگاههای حرارتی می باشد. در اروپا کل جیوه رها شده به اتمسفر بالغ بر ۳۴۲ تن در سال و میزان ورود طبیعی آن به اتمسفر ۳۰۰-۲۵۰ تن در سال برآورد شده است (Pacyna E.G., 2001, Pacyna J.M. & Pirrone N) در حالیکه کل مقادیر جهانی آن به ترتیب ۱۰۰۰۰ و ۶۰۰۰ و ۲۷۰۰ تن در سال تخمین زده شده است (Al-Saleh, I., Al-Doush, I., 2001) نیمه عمر جیوه در اتمسفر یک سال می باشد (Kraemer, Meyer, 2004) ورود فلزات سنگین به اتمسفر بتدریج طی دو دهه گذشته در اروپا و امریکای شمالی کاهش یافته با این وجود در بسیاری از مناطق بکر و طبیعی هنوز جیوه یافت می شود. بیشترین میزان ورود جیوه در اثر فعالیتهای انسانی به اتمسفر در آسیا روی می دهد و علیرغم محدودیت مصرف جیوه در بسیاری از کشورها میزان کل جیوه وارده به اتمسفر در اثر فعالیتهای انسانی در حال افزایش است (U.S.EPA 2006) جیوه در طبیعت بصورت عنصری، معدنی یا فرم آلی دیده می شود. جیوه عنصری به راحتی تبخیر شده و در اتمسفر جا به جا می گردد، بعلاوه نسبتاً بی خطر است بجز مواردی که بطور مستمر و یا به مقدار زیاد در معرض واقع گردد. با این وجود اگر تبخیر و سپس استنشاق شود، اثرات سمی شدیدی بر روی سیستم تنفسی و سیستم اعصاب

<sup>۱</sup> - Cimabar



مرکزی برجا می‌گذارد. اشکال معدنی جیوه به راحتی تبخیر نمی‌شوند و بطور نسبی بی‌خطر می‌باشند بجز مواردیکه به مقدار زیاد مصرف شود که در این صورت موجب تخریب سیستم گوارشی می‌گردند، در حالیکه اشکال آلی جیوه بویژه متیل جیوه بسیار سمی می‌باشند. متیل جیوه به سه دلیل خطرناک‌ترین شکل جیوه محسوب می‌شود: ۱- تمایل شدیدی به تخریب سیستم عصبی و احتمالا تخریب ژنها دارد. ۲- نسبت به سایر اشکال جیوه از پایداری بسیار بالایی برخوردار است، به راحتی جذب و به کندی دفع می‌گردد. ۳- احتمالا متیل جیوه فراوان‌ترین فرم جیوه موجود در غذاهای مصرفی انسان می‌باشد (2001, U.S. EPA). اگر جیوه‌ی معدنی از طریق غذا وارد معده شود ۹۸ درصد آن سریعاً از طریق ادرار و مدفوع دفع می‌گردد، متیل جیوه به میزان ۹۵-۹۰٪ توسط گندادهای جنسی جذب می‌گردد و بیش از ۸۰٪ متیل جیوه از طریق مصرف ماهیان آلوده وارد بدن می‌گردد (Schobers, ۲۰۰۳) (Mahaffey, C.C. Bodurow, ۲۰۰۴) نیمه عمر جیوه تقریباً در بافت ماهی دو ماه و در بدن انسان ۷۰ روز می‌باشد. (Kraemer, H.J. Neidhart, 2004) مصرف ماهیان آب شیرین و دریایی منبع اصلی ورود متیل جیوه به انسان می‌باشد (Porvari P, ۲۰۰۳) متیل جیوه قادر به عبور از مویرگهای خونی مغز بوده و می‌تواند به جفت نفوذ و در جنین تجمع یابد. مقدار آن در جنین ممکن است چند برابر مقدار آن در مادر باشد. در اکوسیستمهای آبی همه اشکال جیوه توسط چندین مکانیسم حیاتی و غیر حیاتی قابل تبدیل به فرم بسیار سمی متیل جیوه می‌باشند. بسیاری از گونه‌های باکتریایی و قارچ‌ها می‌توانند جیوه معدنی را متیله کنند. باکتریهای احیاءکننده سولفات و باکتریهای بی‌هوازی اجباری عوامل اولیه متیلاسیون جیوه در اکوسیستمهای آبی می‌باشند (Gilmour C.C., ۱۹۹۸) تبدلات غیر حیاتی جیوه ممکن است در رسوبات، خاکها و آبهای طبیعی رخ دهد که عبارتند از مکانیزمهای فتوشیمیایی و اثر موادهومیکی و اسید فولویک. متیلاسیون القایی وسیله اسیدهای هومیک و فولویک اسید با افزایش دما افزایش در شرایط اسیدی (pH<5) تشدید می‌یابد. (2003, Porvari P. & Verta) متیلاسیون جیوه بخش مهم سیکل جیوه در محیط زیست می‌باشد (Nikune, ۲۰۰۰) (E) برای آنکه جیوه توسط باکتریها متیله گردد و یا توسط باکتریها و فیتو پلانکتونها وارد زنجیره غذایی شود ابتدا باید از عرض غشای لیپیدی ارگانیزمهای تک سلولی عبور نماید (جذب میکروبی) به این ترتیب جذب میکروبی پایه تجمع زیستی جیوه را شکل می‌دهد. متیل جیوه در زنجیره غذایی به حرأت در آمده و در حلقه‌های بالاتر سطوح تروفي در ماهیان از طریق ایجاد باندهای سولفیدی به آمیتو اسیدها متصل و در بافت عضله در اتصال با پروتئینها تجمع و بزرگنمایی زیستی مییابد. (Mahaffey K.R., R.P. Clickner, C.C. Bodurow, ۲۰۰۴) این ترکیب نسبت به سایر اشکال جیوه به مراتب بسیار بیشتر تجمع می‌یابد و بین انواع متیل‌های جیوه نیز میزان تجمع متفاوت است، فقط منومتیل جیوه از قابلیت تجمع زیستی برخوردار است و تنها فرم فعال جیوه می‌باشد که در فیتو پلانکتونها و باکتریو پلانکتونها تجمع می‌یابد دیگر اشکال متیل جیوه به همان راحتی که وارد سلول می‌شوند به بیرون انتشار می‌یابند (Morel F.M.M., ۱۹۹۸) کلرید جیوه نیز تجمع می‌یابد اما نه به مانند متیل جیوه، کلرید جیوه ابتدا به ذرات مواد سلولی یک ارگانیزم متصل می‌شود که به این ترتیب قادر به عبور از سطوح تروفي نمی‌باشد در حالیکه متیل جیوه به مواد محلول درون سلولی یک ارگانیزم متصل شده و بطور موثری توسط سطوح غذایی بعدی جذب می‌گردد. (Morel F.M.M., ۱۹۹۸)

### ۱-۳- خواص جیوه:

#### جیوه:

جیوه عنصری شیمیاییست که در جدول تناوبی با نماد Hg که از واژه یونانی هیدرآرگاریوم (Hydrargarum) به معنای نقره آبدار یا نقره مایع اقتباس گردیده، نشان داده می‌شود و عدد اتمی آن ۸۰ می‌باشد. فلزیست نقره‌ای و سنگین که از حالتی به حالت دیگر تبدیل میگردد. جیوه یکی از تنها دو عنصری است که در دمای اطاق مایع است، عنصر دیگر یعنی برومین در ساخت دماسنجها، فشارسنجها و دیگر لوازم آزمایشگاهی مورد استفاده قرار میگیرد. جیوه بطور عمده از طریق احیاء سنگهای



معدنی بدست می‌آید. جداول ۱-۱، ۱-۲، ۱-۳ و ۱-۴ و ۱-۵ به ترتیب ویژگیهای اتمی، فیزیکی، ویژگیهای متفرقه و پایدارترین ایزوتوپهای جیوه و فرمهای مختلف جیوه در محیط زیست را نشان میدهند.

#### جدول ۱-۱: ویژگیهای اتمی جیوه

200/59 u	وزن اتمی
150(171)pm	شعاع اتمی
149 pm	شعاع کووالانت
155 pm	شعاع اربیتال اشتراکی
Xe 4f1 d10 6s2	شعاع واندروالس
۲و۸و۱۸و۳۲و۱۸و۸و۲	آرایش الکترونی
۲و۱	تعداد الکترونها در هر سطح انرژی
بطور ملایم	وضعیت اکسیداسیونی
شش وجهی دارای وجوه متوازی الاضلاع	ساختار بلوری

#### جدول ۱-۲: ویژگیهای فیزیکی جیوه

مایع	وضعیت ماده
F <sup>۳۷/۸۹</sup> k (-۲۳۴/۳۲)	نقطه ذوب
F <sup>۱۱۶۷۴</sup> K (۶۲۹/۸۸)	نقطه جوش
Cm <sup>3/mol</sup> ۱۴/۰۹	حجم مولکولی
Kg/mol ۵۹/۲۲۹	دمای تبخیر
۲/۲۹۰ Kg/mol	دمای ترکیب و امتزاج
Mpa و ۰/۲ k ۲۳۴/۳۲	نقطه سه گانه (جامد، مایع، گاز)
۲۰ c در دمای 1407m/s	سرعت صوت



## ترکیبات جیوه :

مهمترین نمکهای جیوه عبارتند از:

کلرید جیوه یک ظرفیتی به نام آکا کالول که هنوز گاهی اوقات در پزشکی از آن استفاده میشود .

کلرید جیوه دو ظرفیتی : که بسیار خورنده، متصاعد شونده، فرار و سمی میباشد .

فولمینات جیوه که یک چاشنی انفجاری است که بطور گسترده در اکتشافات مورد استفاده قرار میگیرد.

سلنید جیوه دو ظرفیتی که یک نیمه فلز است .

تلورید جیوه دو ظرفیتی که یک نیمه فلز است

.تلورید کادمیوم جیوه که یک ماده ردیاب مادون قرمز میباشد

. ترکیبات آلی جیوه مثل متیل جیوه که یکی از ترکیبات آلی جیوه و آلاینده بسیار خطرناک است و بطور وسیعی در پیکره های آبی و رودخانه ها یافت میشود.

## جدول ۳-۱: ویژگیهای متفرقه جیوه

2 pauling	الکترون گاتیویته
140 j/ (kg.k)	ظرفیت ویژه گرمایی
ms/m <sup>۱/۰۴</sup>	هدایت الکتریکی
w/(m.k) <sup>۸/۳۴</sup>	هدایت گرمایی
1007/1 kj/mol	اولین پتانسیل یونیزاسیون
1810 kj/mol	دومین پتانسیل یونیزاسیون
33kj/mol	سومین پتانسیل یونیزاسیون

## ایزوتوپهای جیوه :



هفت نوع ایزوتوپ پایدار جیوه وجود دارد که  $^{202}\text{Hg}$  فراوانترین آنهاست. پایدارترین رادیوایزوتوپهای آن  $^{194}\text{Hg}$  با نیمه عمر ۴۴۴ سال و  $^{203}\text{Hg}$  با نیمه عمر ۴۶/۶۱۲ روز میباشد، اغلب رادیو ایزوتوپهای دیگر آن نیمه عمری کمتر از یک روز دارند.

جدول ۱-۴: پایدارترین ایزوتوپ های جیوه

ایزوتوپ	فراوانی در طبیعت	نیمه عمر	مد زوال	انرژی زوال به مگا الکترون ولت	زوال محصول
$^{194}\text{Hg}$		444 سال			
$^{195}\text{Hg}$		۹,۹ سال			
$^{196}\text{Hg}$	0.15%	$^{196}\text{Hg}$ با ۱۱۶ نوترون پایدار است			
$^{197}\text{Hg}$		۶۴,۱۴ ساعت	۴	0.600	AU197
$^{198}\text{Hg}$	9.97%	$^{198}\text{Hg}$ با ۱۱۸ نوترون پایدار است			
$^{199}\text{Hg}$	16.87%	$^{199}\text{Hg}$ با ۱۱۹ نوترون پایدار است			
$^{200}\text{Hg}$	23.1%	$^{200}\text{Hg}$ با ۱۲۰ نوترون پایدار است			
$^{201}\text{Hg}$	13.18%	$^{201}\text{Hg}$ با ۱۲۱ نوترون پایدار است			
$^{202}\text{Hg}$	29.86%	$^{202}\text{Hg}$ با ۱۲۲ نوترون پایدار است			
$^{203}\text{Hg}$		۴۶,۶۱۲ روز	B	0.492	203TI
$^{204}\text{Hg}$	6.87%	$^{204}\text{Hg}$ با ۱۲۴ نوترون پایدار است			

جدول ۱-۵: فرمهای جیوه در محیط زیست



نوع جیوه	موقعیت در محیط زیست	تاثیر بر سلامتی	حد خطر	شکل جیوه
جیوه عنصری	بصورت بخار در محیط زیست	تبدیل آن به فرم یونی و ایجاد سمیت	کم تا متوسط	- بخار در اتمسفر بصورت مایع جیوه فلزی
نمکهای جیوه (I) و (II)	در معادن و آبهای تازه	آسیب رساندن به پوست و اعضای مخاطی، حالت تهوع، از کار انداختن کلیه و کبد	متوسط تا زیاد، $Hg^{2+}$ خطرناک تر است زیرا راحتتر با لیگاندهای آلی پیوند می‌دهد	- پیوندهای یونی بطور معمول بصورت $HgS$
ترکیبات آلی جیوه	در رسوبات آب و خاک	تاثیر آن مشابه نمکهای جیوه می‌باشد زیرا بسادگی توسط ارگانیسرها در سیستمهای بیولوژیکی تجزیه میگردد	متوسط تا زیاد تشکیل نمک با اسیدهای معدنی و آلی	- فنیل جیوه (Arylmercury) - آلکوکسی آلکیل جیوه (Alkoxy alkyl mercury)
سولفید جیوه	در رسوبات، خاک، آب و تجمع آن در در ماهی و سایر حیوانات	خطر برای چشم بیماریهای ataxia و dysarthria سکته و مرگ	بالا یا بسیار بالا بسیار سریع از عضوهای بیولوژیکی عبور می‌کند ۱۰۰۰ برابر از جیوه فلزی خطرناکتر است	الکیل جیوه متیل، دی‌متیل و اتیل جیوه

این فلز به علاوه دارای انبساط حجمی یکنواختی در دماهای مختلف میباشد. نسبت به روی و کادمیوم واکنش کمتری دارد و نمیتواند ئیدروژنهای یک ترکیب اسیدی را از آن جدا کند. اکسیداسیون جیوه بیشتر اوقات یک یا دو ظرفیتی میباشد و ترکیبات سه ظرفیتی پایدار آن کمیاب است. واحد تجاری آن فلاسک نام دارد و معادل ۷۶ پوند یا ۴۳.۵ کیلوگرم میباشد.  
(<http://environmentalchemistry>)

اغلب جیوه موجود در محیط زیست شامل آب، خاک، رسوبات و جانداران زنده به فرم جیوه آلی می‌باشد. ترکیبات آلی جیوه به وسیله حضور پیوند کوالانسی  $Hg-C$  شناخته می‌شوند، از جمله ترکیبات آلی جیوه عبارتند از کلرید متیل جیوه

جیوه در صنایع به سه شکل شامل؛ فلز، ترکیبات آلی و ترکیبات معدنی استفاده می شود. ترکیبات آلی جیوه شامل گروه های هیدروکربنی آروماتیک یا آلیفاتیک و ترکیبات معدنی جیوه معمولاً شامل نمک های جیوه نظیر کلریدها یا اکسیدهای جیوه می باشد. از فرم فلزی جیوه در ساخت گاز کلر و سود سوز آور، دما سنج های جیوه ای، پر کننده های دندان پزشکی، مخازن فشارسنج، باتری ها، بعضی از رنگ های پلاستیکی، لامپ های فلورسنت، تهیه کرم های ضد آفتاب و ضد عفونی کننده، انواع پماد و از فرم غیرآلی جیوه در ساخت آفت کش ها، مواد ضد عفونی کننده، باتری های خشک و مواد نگاه دارنده موجود در بعضی ترکیبات دارویی استفاده می شود. ([gov/publish/fshttp://toxics.usgs](http://gov/publish/fshttp://toxics.usgs)). یکی از کاربردهای مهم جیوه، ساخت ملغمه می باشد. ملغمه، آلیاژ جیوه با فلزات یا ترکیبات فلزی است. به عنوان مثال، ملغمه دندان که برای پر کردن دندان به کار می رود، آلیاژی به نسبت برابر از جیوه مایع و مخلوط نقره و قلع است. یکی دیگر از مصارف عمده جیوه، تولید لامپ بخار جیوه یا لامپ های کم مصرف می باشد. این لامپها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی شده و طول عمر بیشتری دارند. لامپهای کم مصرف، مصرف را ۴ تا ۶ برابر لامپهای معمولی، بهینه می کنند، اما کمتر کسی است که بداند این لامپ ها به دلیل وجود جیوه، جزء زباله های خطرناک هستند و در صورتی که همراه با زباله های دیگر و به روش سنتی دفع شوند، موجب آلودگی





محیط زیست خواهند شد. در برخی کشورها قرار دادن این لامپ‌ها همراه سایر زباله‌ها جریمه‌های سنگینی دارد اما متأسفانه در کشور ما در این زمینه اقدامات و اطلاع‌رسانی مناسبی صورت نگرفته است (Calvert, J.B, ۲۰۰۴)

استفاده از جیوه و ترکیبات آن در قارچ کش‌ها، با توجه به تأثیر خاصیت سمی جیوه بر موجودات زنده، اهمیت زیادی دارد. در کشاورزی ترکیبات آلی جیوه به منظور پوشش‌های دانه‌ای به کار برده می‌شوند تا از رشد قارچ روی بذر کشاورزی جلوگیری کنند.

ترکیبات جیوه در لوازم بهداشتی و آرایشی به عنوان مواد اولیه در کرم‌های زیبایی، محافظ پوست و جلوگیری از آکنه به کار می‌روند، ۶ تا ۱۰ درصد وزن این فرآورده‌ها را کالومل (کلرید جیوه) تشکیل می‌دهد. از آن جایی که ترکیبات جیوه به راحتی جذب پوست می‌شوند، سازمان نظارت بر مواد غذایی و دارویی آمریکا (FDA) استفاده از این ترکیبات را در فرآورده‌های بهداشتی منع کرده است اما همچنان بسیاری از تولیدکنندگان در سطح جهان با اهداف سودجویانه از این مواد جهت ساخت لوازم آرایشی و بهداشتی بهره می‌برند (U.S.FDA, ۲۰۰۴)

### آمالگام و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی؛

جیوه آلیاژ شده با تعدادی از فلزات، آمالگام را تشکیل می‌دهد که در درجه اول برای پر کردن دندان استفاده می‌شود. ترکیبات رایج آمالگام عبارتند از جیوه، قلع، نقره، مس و سایر فلزات کمیاب. استفاده از آمالگام در بخش دندانپزشکی به سال ۱۸۰۰ میلادی برمی‌گردد. کاربرد آن آسان است، دوام و استحکام خوبی دارد و مقرون به صرفه است. محبوبیت آمالگام در سال‌های اخیر به ویژه به دلیل محتوای جیوه آن کاهش یافته است و از آنجایی که مواد کامپوزیتی قابل اعتماد به طور گسترده در دسترس قرار گرفته‌اند به نسبت قبل مصرف آن با کاهش چشمگیری روبرو گشته است (A.D.A, ۲۰۰۴)

### -انواع مختلف آمالگام :

انواع مختلفی از آمالگام وجود دارد که شامل موارد زیر می‌شود:

آمالگام روی، آمالگام پتاسیم، آمالگام سدیم، آمالگام آلومینیوم، آمالگام آمونیوم، آمالگام قلع، آمالگام طلا، آمالگام نقره، آمالگام دندان

### -آمالگام روی

آمالگام روی در سنتز آلی استفاده می‌شود. قبلاً صفحات روی باتری‌های خشک با مقدار کمی جیوه ترکیب می‌شدند تا از خراب شدن در انبار جلوگیری شود که یک محلول دوتایی (مایع-جامد) از جیوه و روی است. (Ham, Peter, ۲۰۰۱)

### -آمالگام پتاسیم

برای فلزات قلیایی، آمیختگی گرمازا است و اشکال شیمیایی متمایز را می‌توان شناسایی کرد، مانند  $KHg$  و  $KHg_2$ . یک ترکیب طلایی رنگ با نقطه ذوب ۱۷۸ درجه سانتیگراد و  $KHg_2$  یک ترکیب نقره‌ای رنگ با نقطه ذوب ۲۷۸ درجه



سانتیگراد است. این آمالگام ها به هوا و آب بسیار حساس هستند، اما می توان با نیتروژن خشک کار کرد. فازهای  $K5Hg7$  و  $KHg11$  نیز شناخته شده اند. آندکامرکوریدهای روبیدیم، استرانسیوم و  $^0$  باریم شناخته شده و همساختار هستند. آمالگام سدیم ( $NaHg2$ ) ساختار متفاوتی دارد، به طوری که اتم های جیوه لایه های شش ضلعی را تشکیل می دهند، و اتم های سدیم یک زنجیره خطی هستند که در سوراخ های لایه های شش ضلعی قرار می گیرند، اما اتم پتاسیم برای این ساختار بسیار بزرگ است که در  $KHg2$  کار کند. (E.J. Duwell and N. C.)

#### - آمالگام سدیم

آمالگام سدیم به عنوان محصول جانبی فرآیند کلرآلکالی تولید می شود و به عنوان یک عامل کاهنده مهم در شیمی آلی و معدنی استفاده می شود و با آب، به محلول غلیظ هیدروکسید سدیم، هیدروژن و جیوه تجزیه می شود، که سپس می تواند دوباره به فرآیند کلرآلکالی بازگردد. اگر به جای آب از الکل کاملاً بدون آب استفاده شود، به جای محلول قلیایی، آلکوکسید سدیم تولید می شود. (fa.swewe.net)

#### - آمالگام آلومینیوم:

آلومینیوم از طریق واکنش با جیوه می تواند یک آمالگام تشکیل دهد. آمالگام آلومینیوم را می توان با آسیاب کردن گلوله های آلومینیومی یا سیم در جیوه یا با اجازه دادن به سیم یا فویل آلومینیومی برای واکنش با محلول کلرید جیوه تهیه کرد. این آمالگام به عنوان یک معرف برای کاهش ترکیباتی مانند احیای آمین ها به آمین ها استفاده می شود. آلومینیوم اهداکننده نهایی الکترون است و جیوه واسطه انتقال الکترون است. خود واکنش و ضایعات حاصل از آن حاوی جیوه است، بنابراین اقدامات احتیاطی و روش های دفع ویژه ای مورد نیاز است. به عنوان یک جایگزین سازگارتر با محیط زیست، هیدریدها یا سایر عوامل کاهنده اغلب می توانند برای به دست آوردن همان نتیجه مصنوعی استفاده شوند. یکی دیگر از جایگزین های سازگار با محیط زیست، آلیاژی از آلومینیوم و گالیم است که به طور مشابه آلومینیوم را با جلوگیری از تشکیل یک لایه اکسید، واکنش پذیرتر می کند. (Aluminum Amalgam 2001)

#### - آمالگام قلع:

آمالگام قلع در اواسط قرن نوزدهم به عنوان پوشش آینه بازتابنده استفاده شد. (www.911metallurgist, ۲۰۰۹)

#### سایر آمالگام ها:

انواع آمالگام ها شناخته شده اند که عمدتاً در زمینه تحقیق مورد توجه هستند.

#### - آمالگام آمونیوم:

آمالگام آمونیوم یک توده خاکستری، نرم و اسفنجی است که در سال ۱۸۰۸ توسط هامفری دیوی و یونس یاکوب برزیلیوس کشف شد. در دمای اتاق یا در تماس با آب یا الکل به راحتی تجزیه می شود. آمالگام تالیم دارای نقطه انجماد  $-۵۸$  درجه



سانتیگراد است که کمتر از جیوه خالص (۳۸۰٫۸- درجه سانتیگراد) است، بنابراین در دماسنج های دمای پایین کاربرد پیدا کرده است.

#### -آمالگام طلا:

طلای تصفیه شده، هنگامی که ریز آسیاب شده و در تماس با جیوه قرار می گیرد، جایی که سطوح هر دو فلز تمیز است، به آسانی و به سرعت ترکیب می شود و آلیاژی از  $AuHg_2$  تا  $Au_8Hg$  را تشکیل می شود. جیوه به دلیل راحتی و سهولت ترکیب شدن جیوه و فلزات گرانبها در معدن طلا و نقره مورد استفاده قرار گرفته است. در معدن کاری طلا، که در آن ذرات کوچک طلا از رسوبات ماسه یا شن شسته می شود، اغلب از جیوه برای جدا کردن طلا از سایر مواد معدنی سنگین استفاده می شود. آمالگام طلا در جایی که ریزه های طلا ("طلای آردی") با استفاده از روش های هیدرومکانیکی قابل استخراج از سنگ معدن نیستند، مؤثر بوده است. مقادیر زیادی جیوه در استخراج پلاسور مورد استفاده قرار گرفت و آمالگام تشکیل شده یک توده جامد سنگین از رنگ خاکستری مات است. در این فرآیند سنگ معدن خرد شده روی ورقه های مسی با پوشش جیوه شسته می شود و ذرات ریز طلا ملغمه ای را با جیوه تشکیل می دهند. آمالگام خراشیده شد و سپس طلا با حرارت دادن و تبخیر جیوه از آمالگام جدا شد، که سپس توسط یک کندانسور برای اعمال مجدد روی صفحات بازیابی می شود. آمالگام به دست آمده از هر یک از فرآیندها سپس در یک مخزن تقطیر حرارت داده شد و جیوه را برای استفاده مجدد بازیابی کرد و طلا را پشت سر گذاشت. از آنجایی که این بخارات جیوه را در جو آزاد می کند، این فرآیند می تواند اثرات نامطلوب سلامتی و آلودگی طولانی مدت ایجاد کند. (www.911metallurgist gold-ores,by Thomas)



Magnified 60 Diameters.

FIG. 1.—GOLD-MERCURY SERIES. ISOMETRIC CRYSTALS, SOLID SOLUTION.

-آمالگام دندان به دو نوع طبقه بندی می شوند:



**آمالگام دندانانی با مس کم:** اینها در گذشته مورد استفاده قرار می گرفتند و تقریباً به طور کامل با آمالگام های با مس بالا جایگزین شده اند.

**آمالگام دندانانی با مس بالا:** آلیاژهای مس بالا دارای خواص استحکام بالا، خوردگی و تیرگی کمتر، خزش کمتر و حساسیت کمتری نسبت به دست زدن به متغیرها هستند که نتایج بالینی طولانی مدت ایجاد می کند. در مقایسه با آمالگام با مس کم، ترمیم های آمالگام با مس بالا، بروز کمتری از شکست حاشیه ای را نشان می دهند. آمالگام با مس بالا شامل ۴۰-۶۰٪ نقره، ۲۷-۳۰٪ قلع و ۱۳-۳۰٪ مس و ۱٪ روی با جیوه است. ایندیوم و پالادیوم نیز شامل می شوند. نقره باعث انقباض گیر شود در حالی که مس باعث افزایش استحکام و مقاومت در برابر خوردگی می شود. قلع ممکن است باعث انقباض گیر شود در حالی که مس استحکام را بهبود می بخشد و خوردگی و کدر شدن را به حداقل می رساند، خزش را کاهش می دهد و موارد نشت حاشیه ای را کاهش می دهد. روی باعث کاهش اکسیداسیون سایر عناصر فلزی آلیاژ نیز می شود. ثابت شده است که آمالگام های حاوی روی در مقایسه با آمالگام های غیر روی عمر طولانی تری دارند. ایندیوم خزش را کاهش می دهد و استحکام را افزایش می دهد در حالی که پالادیوم خوردگی و کدر شدن را کاهش می دهد. کدر شدن به از بین رفتن درخشندگی یک سطح فلز یا آلیاژ به دلیل تشکیل یک پوشش سطحی گفته می شود. آلیاژ بدون تغییر باقی می ماند و خواص مکانیکی نیز ثابت می ماند و یک لایه سولفید تشکیل شده روی سطح باعث کدر شدن آمالگام می شود. (G.P. Thomas Jan 21 2013)

### ویژگی های مکانیکی آمالگام دندانانی:

#### خوردگی؛

خوردگی گالوانیکی زمانی اتفاق می افتد که دو فلز غیرمشابه در یک محیط مرطوب وجود داشته باشند. جریان الکتریکی بین فلزات منجر به خوردگی یکی از فلزات می شود. خوردگی سطح ممکن است باعث تغییر رنگ ترمیم آمالگام شود و ممکن است منجر به ایجاد حفره شود. با ایجاد خوردگی سطحی رابط آمالگام دندان با مواد خورنده پر گشته که باعث کاهش ریزش و نهایتاً خوردگی داخلی منجر به شکستگی و شکستگی حاشیه می شود.

#### مکانیکی:

ترمیم آمالگام باید به اندازه کافی قوی باشد تا در برابر نیروهای گزنده انسداد مقاومت کند. آمالگام دندانانی دارای استحکام فشاری بالایی است که برای آمالگام های کم مس ۳۸۰ مگاپاسکال و برای آمالگام های با مس بالا ۴۱۴ مگاپاسکال است. با این حال استحکام برشی و کششی بسیار کم است. از این رو ضروری است که ساختارهای دندان از آمالگام حمایت کنند تا موفقیت بالینی طولانی مدت تضمین شود.

### گونه شناسی جیوه:

در بحث گونه شناسی جیوه با آنالیزهای مختلف می توان آنرا به دو دسته کلی تقسیم کرد:

نمونه های خاک و رسوب



نمونه های بیولوژیکی (G.P. Thomas Jan 21 2013)

### - نمونه های خاک و رسوب:

در مورد نمونه های خاک و رسوب ترکیبات اورگانومتالیک اکثراً در سطح نمونه قرار دارند. بنابراین انحلال نمونه قبل از آنالیز مورد نیاز نیست و روشی اساسی برای آزاد سازی ترکیبات آلی فلزی از رسوبات شامل خیساندن با اسیدهایی مانند اسید کلریدریک، اسید برمیک و اسید استیک و انتقال گونه ها به محیط آبی یا متانولی می باشد. در این روش برای سرعت عمل از مافوق صوت، هم زدن، تکان دادن و یا از استخراج سوکسوله با حلال آلی کمک می گیرند. به منظور افزایش بازده استخراج افزودن یک عامل کمپلکس دهنده مانند دی اتیل دی تیو کاربامات یا تروپولن الزامی است. بطور مثال در مورد استخراج دی متیل جیوه، از نمونه های رسوب، خاک و یا نمونه های بیولوژیکی، نمونه در محلول اسیدی قرار داده می شود و دمای آن به تدریج افزایش داده می شود در این حین نمونه با گاز نیتروژن گاز دهی می گردد و آنالیت در یک تله سرد جمع آوری می گردد. برای نمونه های خاک و رسوب نیاز به مراحل طولانی آماده سازی یکی از معایب روشهای تجزیه ای می باشد.

### - نمونه های بیولوژیکی:

در مورد نمونه های بیولوژیکی، گونه های جیوه ممکن است در داخل بافتهای بیولوژیکی قرار گیرند بنابراین انحلال بافتهای بیولوژیکی قبل از جداسازی آنالیت لازم است حتی اگر در موارد ویژه ای موفقیت هایی با خیساندن نمونه ها بدست آید. یک روش هیدرولیز و هضم مناسب بایستی که انحلال کامل ماتریکس را امکان پذیر سازد در حالیکه بخش آلی فلزی آن بدون تغییر بماند سه روش اساسی برای انحلال نمونه های بیولوژیکی گسترش یافته است که عبارتند از:

۱- هیدرولیز اسیدی با HCl

۲- هیدرولیز قلیایی با NaOH متانولی یا تترا متیل آمونیوم هیدروکسید

۳- هیدرولیز آنزیمی

مزایای روش انحلال پذیری باعث انتقال ۱۰۰٪ گونه های مورد نظر به فاز آبی می باشد. پیوند فلزی لیگاند در برابر شرایط حتی سخت پایدار است، اگرچه محلولهای حاصل غنی از مواد آلی و نمکهای است که در مرحله خنثی سازی ایجاد می گردد که این عامل می تواند در مرحله استخراج مشکل ایجاد کند. (J Biomed Biotechnol, ۲۰۱۲)

### - جیوه سرخ:

ماده ای ساختگی و عوام فریبانه با ترکیبی نامشخص است که کلاهبرداران متعددی، عمدتاً روسی، ادعا می کنند آن را در ساخت بمب هسته ای استفاده میکنند (Hutcheon, I. D.; Phinney, D. L.; Whipple, R. E, ۱۹۹۸). به دلیل محرمانه بودن اسناد ساخت سلاحهای هسته ای رد این ادعا که ماده ای با نام «جیوه قرمز» در ساخت سلاحهای هسته ای استفاده می شود



سخت است اما بر اساس متون علمی موجود، تمامی نمونه‌های به‌دست آمده این ماده هیچ کاربرد خاصی برای ساخت سلاح هسته‌ای ندارند و مواد شیمیایی رایج و در دسترس عموم می‌باشند (Lee, Rensselaer, ۱۹۹۷). تاکنون ترکیب مشخصی برای جیوه سرخ ارائه نشده است. نمونه‌ای که در سال ۲۰۰۴ به‌وسیله پلیس آلمان به‌دست آمد شامل ۱۰٪ وزنی پلوتونیوم، ۶۱٪ جیوه، ۱۱٪ آنتیموان، ۶٪ اکسیژن، ۲٪ ید و ۶/۱٪ گالیوم بود. فرمول پیشنهادی  $Hg_{0.8}Sb_{0.2}O_8$  به همراه مقداری جیوه خالص بود. نمونه دیگری در سال ۱۹۹۸ به‌دست آمد که غیرپرتوزا، و ترکیب آب و یدید جیوه بود. در سال ۲۰۰۳ نیز نمونه دیگری یافت شد که تنها جیوه بود و آنتیموان و افزودنی دیگری نداشت و از این رو فرمول دیگر پیشنهادی  $Hg_{0.8}Sb_{0.2}O_8$  را رد کرد و در بازه‌های خاص زمان افراد سودجو با شایعات مبنی بر وجود این ماده افسانه‌ای در لوازم مختلف و خرید و فروش این لوازم باعث انحراف ذهن عموم نسبت به وجود این ماده گردیده‌اند و این در حالی است که تاکنون هیچ منبع علمی وجود ماده‌ای با نام جیوه سرخ و فرمولاسیون خاص را مورد تایید قرار نداده‌اند (www.theguardian.com).

### -جیوه خفاش:

چکیده مطالعات قبلی نشان داده‌اند که چندین الاینده در خفاش‌های حشره‌خوار، از جمله جیوه فلزات سنگین تجمع می‌کنند. این امر منجر به افزایش حضور جیوه در زباله‌های خفاش (گوانو) شده است (https://hero.epa.gov). در پژوهشی گوانو خفاش را از ده غار در فلوریدا و جورجیا و دو خانه خفاش در فلوریدا جمع‌آوری و نمونه‌ها را برای غلظت جیوه (ppm) تجزیه و تحلیل نمودند. از آنجا که گونه‌های غالب خفاش در غارها و جایگاه خانه‌های خفاش متفاوت بودند، هدف از این مطالعه مقایسه آماری غلظت جیوه در غارها و خانه‌های خفاش بود. میانگین غلظت در میان غارها و همچنین غلظت بین دو خانه خفاش به طور معنی‌داری متفاوت بود. این نتایج سطوح مشابهی از غلظت جیوه در گوانو خفاش را در هر دو گونه غالب خفاش که از این غارها و خانه‌های خفاش در فلوریدا و جورجیا استفاده می‌کردند، نشان می‌دهد. اما تنوع بین تمام مکان‌ها وجود دارد که نشان می‌دهد متغیرهای دیگر (به عنوان مثال، نقاط داغ جغرافیایی برای قرار گرفتن در معرض جیوه) نیز بر غلظت جیوه در گوانو تاثیر می‌گذارد. این مطالعه داده‌های پایه‌ای را برای سطح سلامت خفاش و تجمع زیستی بالقوه جیوه در شبکه‌های غذایی مانند اکوسیستم‌های غار ارائه نموده است. بخشی از بار جیوه در خفاش‌ها در مدفوع آنها به نام گوانو دفع می‌شود که عمدتاً شامل موهای خفاش، بقایای حشرات و مخاط خفاش است. بنابراین گوانو می‌تواند برای حضور جیوه در یک زیستگاه یا اکوسیستم که حاوی خفاش‌ها مانند غار یا خانه خفاش است، مورد بررسی قرار گیرد. پتی (۱۹۷۵) غلظت جیوه را در یک هسته گوانو ۱۱۰۰ ساله از یک غار اریزونا بررسی کرد که غلظت جیوه در دوران پیش از شروع صنعت بالاتر از حد انتظار بود که احتمالاً به دلیل فرایندهای زمین‌شناسی مانند فعالیت‌های آتشفشانی می‌باشد. یک مطالعه اخیر توسط هاگان (۲۰۱۴) سه گروه قدیمی گوانو خفاش را از پارک ملی غار ماموت در کنتاکی تجزیه و تحلیل کرد و دریافت که گوانو تازه دارای غلظت بالاتری از جیوه نسبت به گوانو تاریخی ۱۱۰۰ ساله و باستانی دارد (Jenise L, Virginia, ۲۰۱۶). هرچند جیوه خفاش موادی است که شناسایی و مورد آزمایش قرار گرفته است ولی با شایعه کذب مبنی بر اثر شتاببخشی و بعنوان اکسیر جاودانگی در چند دهه اخیر با کاوش افراد سودجو و آسیب رساندن به اکوسیستم و غارها؛ در نهایت باعث تهدید زندگی این موجودات مفید خواهد شد.



## - پراکندگی جیوه در محیط زیست

جیوه از نظر فراوانی در زمین در رتبه ۶۷ قرار دارد. تا کنون ۲۵ کانی معدنی از جیوه شناخته شده که مهمترین آنها سینابر (سولفید جیوه) می‌باشد. این کانی مهم غالباً در روسیه، اسپانیا، مکزیک و الجزایر یافت می‌شود. مقدار جیوه خاک، بطور گسترده‌ای به منطقه آن از نظر زمین‌شناسی و صنعتی وابسته می‌باشد. بطوری که مقدار آن از  $01/0 \text{ Kg/mg}$  تا  $5 \text{ Kg/mg}$  متغیر است. غلظت جیوه در آبها نیز بسیار متغیر است. مقادیر واقعی گزارش شده در گستره بین  $0/0001$  تا  $2/8 \text{ g/L}$  در آبهای تازه و  $0/01$  تا  $0/22 \text{ g/L}$  در آب دریا می‌باشد. مقدار جیوه در هوا بطور کلی متأثر از فعالیتهای آتشفشانی و انسانی است. غلظت جیوه در هوای تمیز کمتر از  $01/0 \text{ ng/m}^3$  می‌باشد، این مقدار در اروپا  $8/2 \text{ ng/m}^3$  در آمریکای شمالی  $8/3 \text{ ng/m}^3$  در ژاپن  $6/1 \text{ ng/m}^3$  و در هاوایی بین  $18 \text{ ng/m}^3$  تا  $250 \text{ ng/m}^3$  گزارش شده است. جیوه در محیط زیست در نتیجه فعالیتهای طبیعی و انسانی منتشر می‌شود. ورود آن به اتمسفر در نتیجه گازهای خارج شده از پوسته زمین، انتشار از آتشفشانها، فرسایش خاک و همچنین منابع انسانی می‌باشد. اغلب جیوه موجود در اتمسفر بصورت بخار جیوه فلزی است. فعالیتهای انسانی که منجر به انتشار جیوه می‌شوند شامل سوزاندن سوختها و مواد دارای جیوه و فعالیتهای صنعتی می‌باشد. مقدار جیوه در سوختهای فسیلی و زغال سنگ در حد  $100 \text{ g/g}$  است. جیوه که تحت تاثیر فرایندهای بیولوژیکی تولید می‌گردد، سبب آلودگی آبها می‌شوند و از این طریق در بدن آبزیان و ماهیها جمع می‌گردند که در اثر مصرف آنها مسمومیتهای شدیدی ایجاد می‌گردد. به دلیل چرخه وسیع زیستی و زمین‌شناسی جیوه در محیط زیست، بررسی وجود آن نیاز به آنالیز بافتهای متفاوتی دارد. هوا، آب، خاک، رسوبها، زباله‌ها و بعلاوه گستره وسیعی از نمونه‌های بیولوژیکی از جمله مواردی هستند که امکان آلودگی آنها به جیوه وجود دارد. (J Biomed Biotechnol, ۲۰۱۲)

## -توافقات سیاسی:

پس از مطالعات و مذاکرات گسترده، برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد موفق به دستیابی به یک توافق جهانی برای کاهش انتشار جیوه، مشابه با دی اکسید کربن شده است. به یاد آسیب جدی به سلامتی ناشی از انتشار جیوه در شهر میناماتا ژاپن، این توافقنامه "کنوانسیون میناماتا" نامیده می‌شود. در سال ۲۰۱۳ توسط ۱۲۸ ایالت از جمله آلمان امضا شد. این توافق در ۱۶ آگوست ۲۰۱۷، پس از آنکه بیش از ۵۰ ایالت این سند را (بیشتر با تصمیم پارلمان) تصویب کردند، اجرایی شد. این توافق اقداماتی را برای کاهش انتشار جیوه در سراسر جهان، به ویژه در دو منبع بزرگ، یعنی استخراج طلا و سوزاندن زغال سنگ، پیشنهاد می‌کند. گزینه‌های فنی برای کاهش جیوه در کتابچه راهنمای تهیه شده توسط کارشناسان فنی از هر پنج قاره توضیح داده شده است. (BAT/BEP) کتاب‌های راهنما در مورد بهترین تکنیک‌های موجود و بهترین شیوه‌های زیست‌محیطی نه تنها به گزینه‌های کاهش استخراج و نیروگاه‌های با سوخت زغال‌سنگ می‌پردازد، بلکه به اقداماتی برای کارخانه‌های سیمان، احتراق زباله و کارخانه‌های ذوب فلزات غیرآهنی همانند {مس، سرب و تولید روی} و ذوب فلزات در کوره





های قوس الکتریکی که با سوزاندن واکتیویته حرارتی مواد کربنی نظیر ذغال سنگ فعال میشوند میپردازد و تمامی کشورها را موظف به رسیدگی انتشار جیوه در هوا و حذف تدریجی برخی محصولات حاوی جیوه مینماید. (<https://www.epa.gov>)

از علائم ناشی از آلودگی به عنصر جیوه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود؛

لرز ، تشنج ، سر درد ، کاهش تحرک ، لکنت زبان، نا شنوایی و نا بینایی و در کودکان باعث قرمزی پوست، خارش شدید ، تورم ، تپش قلب ، عرق بیش از حد ، بد خلقی ، ضعف و خستگی می شود . بروز مشکلات مغزی ، احساس طعم فلز در دهان ، تهوع و درد شکم، ناراحتی کلیوی از علائم ورود جیوه به بدن انسان میباشد. (Geneva, Switzerland, ۲۰۲۳)

### -بیماری ها و اثرات بیولوژیک ناشی از قرارگرفتن در معرض جیوه و مشتقات آن:

بیماری های عصبی ، جیوه به سیستم عصبی مرکزی حمله می کند و اثرات نامطلوبی را در دهان، لثه ها و دندان ها بر جای می گذارد. اخلاق گرای جیوه ای، بیماری های پوستی ، بیماری های کلیوی و بیماری Minamata شکلی از مسمومیت جیوه می باشند. جیوه از راه تنفس، گوارش و نیز از طریق پوست قابل جذب می باشد، بخار جیوه به سیستم اعصاب مرکزی تمایل دارد، اما هدف اصلی  $Hg_2$  کلیه ها و کبد است. تا کنون مدارک محدودی در ارتباط با سرطانزا بودن جیوه ارائه شده است. مطالعات جهانی نشان می دهند که در نتیجه تماس مستقیم یا استنشاق بخارات جیوه، اختلالات مختلفی به وجود می آید که برخی از آن ها عبارتند از: اختلال سیستم اتو ایمنی، اختلال در عملکرد کلیه، ناباروری، تاثیرات منفی روی جنین، مشکلات رفتاری- عصبی، ناکارآمدی قلبی، آلزایمر، تاثیرات مخرب بر سیستم عصبی مرکزی و محیطی، تاثیرات چشمی، مشکلات دهانی، نارسایی حاد تنفسی، درماتیت، دمانس، تهوع، استفراغ، اسهال، درد شکم، هماچوری، کونژکتیویت، برونشیت، پنومونی، ادم ریوی، تب بخار فلزی و اختلالات نوروسایکوتیک، اثر بر روی غده تیروئید، تولید مثل و سمیت ژنی. استنشاق  $1 \text{ mg/m}^3$  بخار جیوه به ریه ها، کلیه ها و سیستم عصبی آسیب زده و باعث تحریک پذیری شدید، بی ثباتی احساس، لرزش، کاهش وزن، ورم لثه، سردرد، کاهش رشد، التهاب ریه و آماس پوست می شود. این عوارض ممکن است در جمعیت های عمومی در مواجهه با  $1/0 \text{ mg/m}^3$  نیز مشاهده گردد. بعد از بخار جیوه، متیل جیوه خطرناک ترین شکل جیوه است. استفاده از متیل جیوه به عنوان قارچ کش برای محافظت دانه ها سبب کاهش قابل ملاحظه پرنده گانی شد که از این دانه ها مصرف کرده بودند و همچنین صدها مرگ در عراق و آمریکا از مصرف نانی که دانه های گندم آن با متیل جیوه در تماس بوده گزارش شده است. ورود سمی ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان، بیماری میناماتا ایجاد میکند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در خلیج میناماتای ژاپن مشاهده شد. بروز این بیماری در انسان با عوارض گوناگون عصبی از جمله اختلال در حواس پنج گانه، بروز آلزایمر در سنین پیری و در موارد حاد با مرگ بیمار، همراه است. متیل جیوه نسبت به نمک های  $Hg_2$  سم قوی تری است، زیرا علاوه بر انحلال پذیری در بافت چربی، قابلیت تجمع و بزرگ نمایی زیستی دارد. همچنین می تواند از سد خونی- مغزی و جفت جنین عبور کند. فرایند متیل دار شدن جیوه در تنه شست های گل آلود رودخانه ها و به ویژه در شرایط بی هوازی توسط متیل کوبالامین صورت می گیرد. بیش تر جیوه موجود در بدن انسان به صورت متیل جیوه بوده و اغلب از طریق خوردن ماهی وارد بدن انسان می شود. جیوه یک آلاینده پایدار است که اثرات نامطلوبی بر رشد عصبی انسان، ماهی و حیات وحش دارد. یکی





از نگرانی های خاص قرار گرفتن در معرض جیوه برای جنین در حال رشد یا کودکان از جمعیت های ماهیگیری معیشتی است. در حالی که این نگرانی ها در مناطقی که آلودگی قابل توجهی از استفاده از جیوه را نشان می دهند تشدید می شود، توجه به این نکته مهم است که مناطق دورافتاده که عاری از منابع نقطه ای هستند نیز می توانند سطوح بالایی از جیوه در ماهی داشته باشند. این عمدتاً به دلیل دو مکانیسم است: ۱- جیوه ساطع شده به جو می تواند مسافت های زیادی را قبل از رسوب طی کند. ۲- میکروارگانیسم های موجود در محیط محلی می توانند به طور موثر جیوه معدنی را به متیل جیوه تبدیل کنند. متیل جیوه از راه دستگاه گوارش به خصوص در سیستم عصبی مرکزی و کلیه ها توزیع شده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری ظاهر می کند. از جمله این اختلالات: آتاکسی، پاراستزی، لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، دمانس پیش رونده، نکرور کانونی، تخریب سلول های گلیال، اختلالات حرکتی و مرگ می باشد. سیستم عصبی احتمالاً حساس ترین ارگان در برابر تماس با بخارات جیوه است. طیف وسیعی از اختلالات تنفسی، روانی، قلبی عروقی، معده ای روده ای، تولید مثلی، کبدی، کلیوی، خونی، پوستی، اسکلتی- عضلانی ایمونولوژیکی، حسی و ادراکی و ژنوتوکسیک از اثرات جیوه می تواند باشد. - اثرات فیزیولوژیکی جیوه و ترکیبات اکلیل، فنیل جیوه و الکوکی اکلیل به خوبی در چربی ها حل شده، ضمناً بسیار پایدارند. بنابراین در صورتی که در بافت های دام و انسان انباشته شوند، مکانیسم تنفسی را مختل می سازند. انواع ترکیبات کاتیونی جیوه که جذب ذرات خاک گردیده، به صورت فسفات، کربنات و سولفور جیوه ته نشین شده و نمی توانند در عمق خاک، انتقال یابند. لذا جابه جایی ترکیبات جیوه جز به حالت بخار ناچیز است. امروزه با توجه به توسعه کاربرد جیوه در صنایع دندانپزشکی و نیز شیوع بیماری های دهان و دندان توجه به کاربرد جیوه در پر کردن دندان و عوارض ناشی از آن نیز مورد توجه می باشد. جیوه از سمی ترین فلزاتی است که انسان با آن مواجه است و حتی از سرب و آرسنیک نیز سمی تر است. بخار جیوه از ماده پرکننده دندان (آلیاژ نقره - جیوه) که به آمالگام نقره معروف است آزاد می شود. تحقیقات نشان می دهد که ۱۰۰ - ۸۰ درصد بخار جیوه استنشاق شده، از ریه ها به خون و در نهایت به مغز و سایر ارگان ها و بافت های بدن می رسد. بیش از ۷۵ درصد مردم دندان پرکرده دارند و به طور مداوم با یک ماده سمی مواجه هستند. در مورد ناباروری مربوط به جیوه، مطالب جالب توجهی وجود دارد. در بسیاری از موارد زنان و مردان به خاطر مواجهه با مقادیر زیاد جیوه ناشی از پر کردن دندان و جیوه موجود در غذا و محیط نابارور می شوند. ناباروری در زنان به صورت اختلال هورمونی بروز می کند که از لقاح جلوگیری می کند در حالی که در مردان باعث نقص در حرکت یا بقای اسپرم می شود. بیش از ۱۵۰ سال از مصرف آمالگام به عنوان ماده ترمیمی در دندانپزشکی می گذرد. آمالگام آلیاژی است که از ۶۰ - ۴۵ درصد جیوه ساخته شده که با نقره، قلع، روی و مس مخلوط می شود و جهت ترمیم و بازسازی قسمت های از بین رفته دندان ها به کار می رود. به طور متوسط هر فرد حداقل ۵ گرم جیوه در دندان های پرکرده خود با آمالگام دارد. در مطالعات انجام شده، سطح مواجهه روزانه بیش از حد ایمنی بوده است. به طور متوسط از آمالگام دندان، روزانه ۳ - ۰/۵ میکروگرم جیوه وارد بدن می شود. جیوه در فرم جامعه ناپایدار بوده، لذا بخار جیوه از ماده پرکننده دندان به صورت یون های جیوه و ذرات فلزی به طور مداوم آزاد می شود. به ویژه پس از مسواک زدن و آدامس جویدن، سطوح بالایی از جیوه در هوای بازدمی آزاد می شود. بنابراین جیوه از طریق مخاط دهان، ریه ها و دستگاه گوارش جذب می شود (Geneva, Switzerland, ۲۰۲۳). آزمودنی حاضر زنی تقریباً ۵۰ ساله بود که بیش از ۱۰ سال از اختلال تعادل و سرگیجه رنج می برد. آزمودنی تحت معاینات متعددی قرار گرفت تا علت علائم وی تایید شود اما علت اصلی ناشناخته باقی ماند. علائم او گاهی اوقات به عنوان یک اختلال روانی تشخیص داده می شد، بنابراین



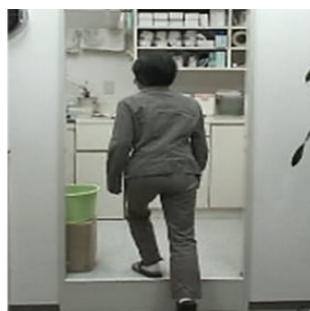
داروهای روانگردان برای او تجویز شد، اما هیچ تاثیری نداشت. او نمی توانست با ثبات راه برود و قادر به بالا رفتن حتی یک پله بدون پشتیبانی نبود.



نویسنده تشخیص داد که علائم سوژه ممکن است حساسیت بیش از حد الکترومغناطیسی باشد، زیرا علائم سوژه مشابه سایر بیماران مبتلا به حساسیت الکترومغناطیسی است. وقتی تلفن همراه را در فاصله تقریباً ۸۰ سانتی متری از قفسه سینه نگه داشت، احساس ناراحتی و سرگیجه کرد. این واکنش توسط هیچ تأثیر روانی یا اثر هیپنوتیزی القا نمی شد زیرا هنگامی که سوژه چشمانش را می بست، همچنان باقی می ماند، که نشان دهنده حساسیت بیش از حد به امواج الکترومغناطیسی است. علاوه بر این، آزمودنی هنگامی که نیمه پایینی صورتش با فویل آلومینیومی پوشانده شد تا دهانش را در برابر امواج الکترومغناطیسی مضر محافظت کند، مقداری بهبود در سطح اختلال تعادل خود نشان داد.



احساس ناراحتی و سرگیجه او حتی زمانی که تلفن همراه نزدیک بدنش بود به طور مشابه کاهش یافت. این یافته‌ها وجود ماده‌ای در ناحیه دهان او را نشان می‌دهد که امواج الکترومغناطیسی مضر را جذب می‌کند. بنابراین، تست O-ring Bi-digital برای شناسایی این ماده خارجی استفاده شد و این آزمایش یک پرکننده آمالگام را به عنوان ماده ای که به احتمال زیاد امواج الکترومغناطیسی مضر را جمع آوری می کند شناسایی کرد بنابراین، گمان می رفت که امواج الکترومغناطیسی که پرکننده آمالگام جمع آوری شده است، باعث علائم او شده است. بر این اساس، این آمالگام تحت حفاظت شدید (سد لاستیکی، عینک، و یک مکش بیرونی) برداشته شد تا از بلعیدن هر یک از بقایای آمالگام یا استنشاق بخار جیوه در حین حذف جلوگیری شود و متعاقباً، در مدت کوتاهی پس از برداشتن آمالگام، آزمودنی دیگر حتی زمانی که تلفن همراه نزدیک بدنش بود، ناراحتی نداشت. علاوه بر این، او توانایی را دوباره به دست آورد.



پُر کردن آمالگام با سیمان گلاس آینومر جایگزین شد که ایمن تر در نظر گرفته شد. پیش آگهی آزمودنی پس از عمل خوب بود. این نتیجه ماندگار بود. علاوه بر این، نه علائم دوباره رخ داد و نه عوارض جانبی وجود داشت.

در مورد رابطه بین تومورهای مغزی و امواج رادیویی ساطع شده از تلفن های همراه، گروه مطالعاتی اینترفون به این نتیجه رسید که اگرچه استفاده از تلفن همراه با افزایش خطر گلیوما یا مننژیوم مرتبط نیست، اما روندی به سمت افزایش خطر گلیوم مشاهده شد. بالاترین سطوح استفاده با این حال، تعصبات و خطا مانع از تفسیر علی این داده ها شده است. اثرات احتمالی استفاده طولانی مدت از تلفن همراه نیازمند بررسی بیشتر میباشد. با این حال، بسیاری از مقالات تنها بر راحتی این وسایل الکترونیکی بدون پرداختن به تأثیرات بالقوه منفی امواج الکترومغناطیسی ساطع شده بر بدن تأکید دارند و اجزای فلزی درون بدن می توانند به عنوان آنتن هایی عمل کنند که امواج رادیویی مضر را جذب کرده و علائم فوق را القا می کنند. در زمینه دندانپزشکی، ایمپلنت های دندانی تیتانیوم احتمالاً موادی هستند که بیشتر با فعالیت آنتن مرتبط هستند و نتایج مطالعه موردی حاضر نشان می دهد که آمالگام های دندانی ممکن است امواج الکترومغناطیسی مضر را نیز جذب مینماید. امواج رادیویی اثرات مضر بر بدن دارند، این آزمایش ممکن است ابزار تشخیصی مفیدی برای شرایط مرتبط با امواج الکترومغناطیسی مضر باشد. در زمینه دندانپزشکی، پرکننده های آمالگام حاوی تقریباً ۵۰ درصد جیوه تقریباً ۲۰۰ سال است که مورد استفاده قرار می گیرند و استفاده از آنها در این مدت بحث برانگیز بوده است. چنین آمالگام های دندانی با بسیاری از بیماری ها مرتبط است. به عنوان مثال، درماتیت ناشی از واکنش های آلرژیک به جیوه در این آمالگام ها یک بیماری شناخته شده در جامعه پزشکی است و شواهد اخیر حاکی از آن است که مقادیر کمی جیوه به طور مداوم از مواد پرکننده آمالگام آزاد می شود و جیوه از آمالگام آزاد شده در سراسر بدن توزیع می شود. (Fujii, Y, ۲۰۱۵)



## نتیجه گیری:

مشکل اصلی در گونه شناسی جیوه در نمونه های بیولوژیکی غلظت پایین این عنصر و ناپایداری آن می باشد. همچنین مشکلات ذاتی ایجاد شده در مرحله آماده سازی (به دلیل ماتریکس پیچیده) و مشکلات در جداسازی و کمی سازی باعث پیچیدگی بیشتر عملیات می گردد. با توجه به تاثیرات منفی بیولوژیکی و ژنتیکی حاصل از آزاد شدن جیوه و اثبات سرطانزا بودن این عنصر، با توجه به گستردگی کاربردهای آن و با توجه به مصوبات کنوانسیون میناماتا در راستای کنترل آسیب های ناشی از جیوه و جلوگیری از انتشار و رهاسازی جیوه و ترکیبات آن از منابع مختلف و الزام جهانی بر رعایت این قوانین به نظر میرسد که کنترل این موضوع نیازمند تمرکز مجدد پژوهشگران و صاحبان علم و ایده در سراسر جهان میباشد تا در زمان مشخص ابزار مقابله یا فیلتراسیون مناسب و علاوه بر آن تجهیزات یا مواد با کاربرد مشابه بعنوان جایگزین عملکرد جیوه در صنایع مختلف را شناسایی و معرفی نمایند.



- 1-Timbrell J. (2000). Principles of Biochemical Toxicology. 3 rd ed. Taylor & Francis Ltd., London, 394 p.
- 2-Pacyna E.G. & Pacyna J.M. (2001). An assessment of global and regional emissions of trace metal to the atmosphere from anthropogenic sources world wide. Environ. Rev. 9:269-298
- 3-Calvert, J.B.(2004) . Mercury: the role of mercury,especially its uses in science and engineering <http://www.du.edu/~jcalvert/phys/mercury.htm#pois>
- 4-Pacyna E.G., Pacyna J.M. & Pirrone N. (2001). European emissions of atmospheric mercury from anthropogenic sources. Atmos. Environ. 35: ۲۹۸۷-2996.
- 5-Al-Saleh, I., Al-Doush, I., ( 2001). Mercury Content in Shrixp and Fish Species the Gulf Goastof Saudi Arabia. Bull. Enriron. Contam. Toxicol. 68, 576- ۵۸۳.
- 6-Kraemer ,H.J. Neidhart, B. Vogt, J.R. Meyer, W.(2004). Accumulation of mercury in fish. 2 international conference on nuclear in environmental research . 29 jul. 2004. U.S.A.
- 7-U.S.EPA (2006). Water quality criteria for protection of human health: methylmercury final U.S. Environment protection Agency. EPA/823/R-۰۱/00
- 8-U.S. EPA (Environmetal Protection Agency). (2001 ). Fact Sheet : Update : National Listing of Fish and Wildlife Advisories. EPA – 823 – F- 01- 010. office of water, Washington, DC
- 9-Schobers, S.E.,T.H. Sinks , R.S. Jones et al. (2003). Blood mercury level in U.S. children and women of childbearing age , JAMA. 289: 1667-1674.
- 10-Mahaffey, K.R.,R.P.CLickner , C.C. Bodurow, (2004). Blood organic mercury and dietary mercury intake: national health and nutrition examination survey. J. Environ. Health. Prespect. 112: 562- 57



- 11- Kraemer ,H.J. Neidhart, B. Vogt, J.R. Meyer, W.(2004). Accumulation of mercury in fish. 2 international conference on nuclear in environmental research . 29 jul. 2004. U.S.A.
- 12- Porvari P. (2003). Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. Monographs of the Boreal Environment Research 23. Finnish Environment Institute, Helsinki 52 p
- 13- Gilmour C.C., Riedel G.S., Ederington M.C., Bell J.T., Benoit J.M., Gill G.A.. & Stordal .C. (1998). Methylmercury concentrations and production rates across a trophic gradient in the northern Everglades. Biogeochem. 40: ۳۲۷-345
- 14- Porvari P. & Verta M. (2003). Total and methyl mercury concentrations and fluxes from small boreal forest catchments in Finland. Environ. Pollut. ۱۲۳: 181-191.
- 15- Nikunen E., Leinonen R., Kemilainen B. & Kultamaa A. (2000). Environmental properties of chemicals. Edita Ltd. Helsinki, 1165 p
- 16- Mahaffey, K.R.,R.P.Clickner , C.C. Bodurow, (2004). Blood organic mercury and dietary mercury intake: national health and nutrition examination survey. J. Environ. Health. Prespect. 112: 562- 57
- 17- Morel F.M.M, kraepiel A.M.L. & Amyot M. (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. Annu. Rev. Ecol. Syst. 29: 543-566
- 18- Morel F.M.M, kraepiel A.M.L. & Amyot M. (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. Annu. Rev. Ecol. Syst. 29: 543-566
- 19-<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Hg.htm>1
- 20-<http://www.epa.gov/mercury>
- 21-<http://gov/publish/fshttp://toxics.usgs>.
- 22-Calvert, J.B.(2004) . Mercury: the role of mercury,especially its uses in science and engineering <http://www.du.edu/~jcalvert/phys/mercury.htm#pois>
- 23-U.S.FDA(2004). U.S. Food and Drug Administration : drugs for human use: new drugs in food <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRS>



- 24-A.D.A(2004). American Dental Association (ADA) statement on dental amalgam <http://www.ada.org/prof/resources/positions/amalgam.asp>
- 25- Ham, Peter "Zinc amalgam" in e-EROS Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis (2001)
- 26-E. J. Duwell and N. C. Baenziger- the crystal structures of KHg and Khg<sub>2</sub>
- 27-[fa.swewe.net/word\\_show.htm](http://fa.swewe.net/word_show.htm)
- 28- Aluminum Amalgam†•Emmanuel I. Troyansky-First published: 15 April 2001-  
<https://doi.org/10.1002/047084289X.ra076>
- 29- Archived from the original on 17 April 2009. Retrieved 2009-04-24/ [www.911metallurgist](http://www.911metallurgist)
- 30-the amalgamation of gold-ores,by Thomas t.read,new York,n.y.[www.911metallurgist.com](http://www.911metallurgist.com)
- 31- Amalgam: Chemical Composition, Mechanical Properties and Common Application- By G.P. ThomasJan 21 2013
- 32- Toxic Effects of Mercury on the Cardiovascular and Central Nervous Systems- J Biomed Biotechnol. 2012; 2012: 949048.Published online 2012 Jul 2
- ۳۳-Grant, P. M.; Moody, K. J.; Hutcheon, I. D.; Phinney, D. L.; Whipple, R. E.; Haas, J. S.; Alcaraz, A.; Andrews, J. E.; Klunder, G. L.; Russo, R. E.; Fickies, T. E.; Pelkey, G. E.; Andresen, B. D.; Kruchten, D. A.; Cantlin, S. (1998). "Nuclear forensics in law enforcement applications". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*.
- 34-Lee, Rensselaer (May 1997). "Smuggling update". *The Bulletin of the Atomic Scientists*.
- ۳۵-<https://www.theguardian.com/science/2004/sep/30/thisweekssciencequestions1>
- ۳۶- [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/2995070](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/2995070)
- ۳۷- Mercury Concentrations in Bat Guano from Caves and Bat Houses in Florida and Georgia Amy E. Edwards<sup>1</sup>, Jenise L. Swall<sup>2</sup>, and Charles H. Jagoe<sup>3</sup> <sup>1</sup> Hanover County Government, 9015 Pole Green Park Lane, Mechanicsville, Virginia 23116; [aeedwards@hanovercounty.gov](mailto:aeedwards@hanovercounty.gov)
- 3۸- <https://www.epa.gov/international-cooperation/minamata-convention-mercury>&<https://oekopol.de/en/topics/industrial-emissions-and-best-available-techniques-bat/reduction-of-mercury>
- 3۹ -Minamata Convention on Mercury /- 30 October – 3 November 2023 | Geneva, Switzerland.
- ۴۰- Fujii, Y. (2015) Electromagnetic Waves Collected by a Dental Amalgam Filling Induced Balance Dysregulation and Dizziness over a Period Exceeding 10 Years.



## Studying the applications of mercury and amalgam and benefits according to the conditions of use and environmental harms

Farshad Omid

Farzad Soleimani<sup>2</sup>

MSc, Payame Noor University of Semnan, Semnan, Iran      d r, Metallurgy and Materials, Faculty Member of Payame Noor University, Tehran, Iran

---

### Abstract:

Mercury has been used for centuries because of its unique properties. The only metal that is liquid at room temperature is due to the high energy ionization of this material. Mercury dissolves many other metals such as gold, silver, uranium, copper, lead, potassium and sodium, which is called amalgam. The types of amalgam used in different industries have different properties and applications. Mercury properties among other metals are unusual because they tend to form covalent bonds more than ionic bonds. Mercury organic compounds include aromatic or aliphatic hydrocarbon groups, and mercury inorganic compounds usually contain mercury salts such as chlorides or mercury oxides. Mercury metal forms are used in the manufacture of chlorine gas and caustic soda, mercury thermometers, dental fillings, pressure vessels, batteries, some plastic paints, fluorescent lamps, sunscreen and disinfectant preparations and some other industries. The mercury cycle in the environment is the result of natural and human activities. Heavy metals such as mercury that enter the environment as mineral salts may be affected by physical and chemical changes and become much more toxic substances that pose a major threat to human health. For example, mercury mineral compounds are converted into mercury alcohols, especially methyl mercury, which is much more toxic than mercury mineral compounds.

---

Keywords: mercury sulfide, mercury red, mercury bat, Carcinogenic, Minamata

---