

## تعیین مقدار آلکیل‌های جیوه و فنیل مرکوری در آب و ته‌نشست رودخانه بروش گاز کروماتوگرافی و با تغییراتی در روش وستو\*

دکتر محمود شریعت\*\*

### چکیده:

تعیین مقدار آلکیل‌های مرکوری و فنیل مرکوری بکمک گاز کروماتوگراف و با استفاده از روش وستو با اشکالاتی مواجه گردید. تغییر در محتویات ستون گاز کروماتوگراف باعث شد این ترکیبات با سانی و بادقت زیاد و در حداقل مدت تعیین مقدار شوند. روش استخراج و تصفیه در نوع خود آسانترین بوده، همچنین نسبت درصد بازگیری مواد از آب و ته‌نشست‌ها نیز بسیار جالب توجه می‌باشد. روش دقیق آزمایش و مقایسه با استانداردها و محاسبه غلظت آنها شرح داده شده است.

### مقدمه:

معدودی از محققین به روشهای تعیین مقدار ترکیبات آلی جیوه‌ای در ته‌نشست رودخانه‌ها و در مایعات بیولوژیکی توجه نموده‌اند (۱). میلرولی لیس و کسونکادر ۱۹۵۸ فنیل مرکوری را بروش اکسیداسیون بکمک پرمنگنات در محیط قلیایی متعاقب با استخراج توسط دی‌تیزون در محلول کلر فرمی استخراج نموده و بروش اسپکترو فتومتری تعیین مقدار

\* Westoo

نمودند (۲). ولی این روشها برای اتیل مرکوری چندان دقیق نبود.

Gage در ۱۹۶۱ متیل مرکوری و فنیل مرکوری را توسط اسیدی کردن محیط استخراج با بنزن و استخراج مجدد بکمک محلول مائی سولفور سدیم و اکسیداسیون بکمک پرمنگات و تیتراسیون جیوه تعیین مقدار نمود (۳).

روشهای تشخیص و تعیین مقدار ترکیبات آلی جیوه توسط گاز کروماتوگرافی از ۱۹۶۶ متداول شد و وستو (۴) در سوئد برای اولین بار متیل مرکوری را بروش گاز کروماتوگرافی تعیین مقدار کرد.

اصول روش شامل هالوژنه کردن ترکیب آلی جیوه و استخراج در یک حلال آلی و تصفیه ماده مستخرجه و استخراج مجدد در حلال آلی و تزریق به گاز کروماتوگراف میباشد. (۴) پس از او محققین بسیاری با بکار بردن روشهای مختلف استخراج و یا تصفیه مجدد و حلالهای مختلف تغییرات زیادی در روش آزمایش ایجاد نمودند و بدین ترتیب روشهای متعدد و مشابهی ابداع شد و در این مورد مقالات زیادی از نظر کاربرد هر یک از این روشها در مورد مسئله بخصوص نظیر تعیین مقدار متیل مرکوری در ماهی (۵ و ۶) حیویات (۷) میوهجات (۸) ادرار (۹) - مو (۱۰) - و خون (۱۱) در مجلات مربوط یافت میشود روش وستو جهت تعیین مقدار متیل مرکوری توسط آزمایشگاه تحقیقات آب و آلودگی هوای سوئد توصیه شده است (۱۲) - در روش وستو ستون گاز کروماتوگراف محتوی کاربوواکس ۲۰ ام بر روی واراپوت - ۳۰، ۱۰۰، ۱۲۰ مش توصیه شده است.

نگارنده آزمایشهای مکرری با ستون مورد نظر انجام داد که متأسفانه منحنی حاصله گسترده و با تأخیر زمانی زیاد بدست میآید و هر چه مقدار تزریق آلکیل مرکوری بیشتر میشد فقط بر وسعت منحنی افزوده میگشت که از نظر آزمایش با گاز کروماتوگراف مطلوب نبود. تغییرات در میزان گاز حامل و فشار گاز و درجه حرارت ستون نیز نتوانست بر این مشکل

فائق آید، لذا تصمیم به تغییر محتوای ستون گرفته شد. آزمایش با DC-200 پنج درصد نیز نتایج مطلوبی بدست نداد. استفاده از ستون محتوی  $17\% \text{OV}-17$  و  $1\% \text{QF}-1$  بر روی کرموسرب - W ۸۰ تا ۱۰۰ مش که ضمناً جهت جدا کردن و تعیین مقدار حشره کشهای کلره بکار میرود (۱۳) نتایج بسیار مطلوبی پدید آورد. بطوریکه علاوه بر بدست دادن منحنیهای بسیار مشخص و نوک تیز برای یکایک آلکیل‌های جیوه و فنیل مرکوری جمع زمان پیدایش منحنیها را به چهار دقیقه برای هر آزمایش تقلیل داد.

کاپون و اسمیت (۱۴) در مطالعات خود از همین مواد در ستون گاز کروماتوگراف استفاده نموده‌اند با این تفاوت که مقدار  $1\text{-QF}$  را به  $1\% / 95$  افزایش داده‌اند و ضمناً برای

کنترل مقدار بازیابی از روش‌افزودن جیوه رادیواکتیو متعاقب با شمارش ذرات بتا نیز استفاده نموده‌اند.

وسائل مورد نیاز در این روش و همچنین طرز تصفیه مواد مستخرجه آسانترین و میسرترین درنوع خود میباشد. در حالیکه حساسیت‌روش و مقدار درصد یا نسبت بازیابی نیز بسیار جالب توجه است.

این مطالعه در سال ۱۳۵۳ در جریان تحقیقات مربوط به تغییرات بیولوژیکی ترکیبات جیوه در آب و ته‌نشست‌ها تکمیل گردیده است.

## ۲- وسائل و روشها:

۲-۱ دستگاههای لازم: هر نوع دستگاه گاز کروماتوگراف مجهز به دتکتور الکترون کاپچر رامیتوان بکار برد. در این بررسی دستگاه گاز کروماتوگراف MT-220 ساخت کارخانه میکروتک بکار برده شد. ستون شیشه‌ای بطول یک متر و قطر داخلی  $3/2$  میلی‌متر با  $1/5\%$  OV-17 و  $1/5\%$  QF-1 بر روی کروموسرب W، ۸۰ تا ۱۰۰ مش پُر شده بود. گاز حامل ازت خالص و  $120$  میلی‌لیتر در دقیقه با فشار ۴۰ پوند بر اینچ مربع بود. درجه حرارت ورودی  $170$  درجه سانتیگراد، درجه حرارت ستون  $145$  و درجه حرارت دتکتور تری تیموم  $160$  درجه سانتیگراد بود. دستگاه ثابت با نوار کاغذ  $10$  اینچ که با یک پالس میلی‌ولت در یک ثانیه  $100\%$  عکس‌العمل نشان میداد.

سایر وسائل شامل سانتریفوژ با لوله‌های شیشه‌ای  $35$  و  $12$  میلی لیتری سرمباده لوله‌آزمایش  $8$  میلی لیتری سرمباده - پیپت‌های  $1$  و  $5$  و پیپت پاستورورسنگ  $10$  میکرولیتر بودند.

کلیه ظروف شیشه‌ای قبل از هر تعیین مقدار کاملاً تمیز شده و با محلول هیپوسولفیت  $0/1$  نرمال شستشو با آب مقطر آبکشی می‌شدند.

۲-۲ معرفهای لازم: تولوئن - بنزن (کاملاً خالص) - محلول سه مولار برمور سدیم در اسید سولفوریک ( $1+9$ ) - حجمی محلول  $1$  مولار سولفات مس - محلول  $0/005$  مولار هیپوسولفیت سدیم - محلول سه مولاریدور پتاسیم و استانداردهای آلکیل‌های جیوه در بنزن. یک سری استانداردهای منفرد از یکایک ترکیبات آلی جیوه‌ای بصورت محلولهای  $0/1$   $0/3$  -  $0/3$  الی  $1$  میلی‌گرم در لیتر بر حسب  $Hg^{+2}$  تهیه می‌شود. یک سری استاندارد مخلوط نیز تهیه می‌شود که در آن هر یک از ترکیبات آلی جیوه  $0/1$  -  $0/2$  -  $0/3$  - الی  $1$  میلی‌گرم در لیتر خواهند بود.

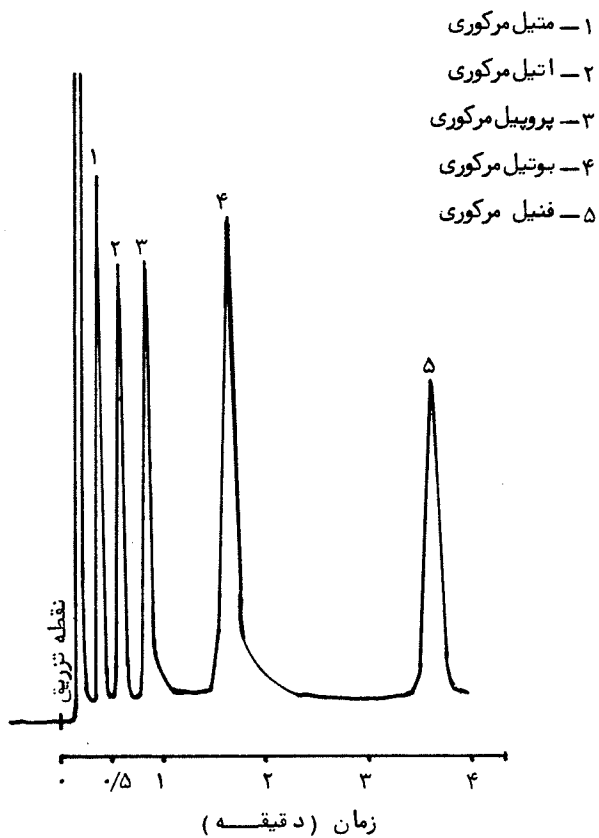
یک میکرولیتر از استانداردها بترتیب دارای ۰/۱ - ۰/۲ - ۰/۳ - ۰/۴ الی ۱ نانوکرم از هر یک از ترکیبات آلی جیوه خواهند بود .

محلولهای ترکیبات آلی جیوه بایستی در ظروف شیشه‌ای سربسته و در یخچال نگهداری شوند . محلولهای استاندارد میبایستی بطور هفتگی از نو ساخته شوند . مواد نگهدارنده مختلفی که توسط بعضی از محققین (۱۵) توصیه می‌گردد نظیر بیکرمات پتاسیم یا اسید نیتریک ۵% و یا مخلوط آنها توسط نگارنده آزمایش شد ولی هیچیک از آنها قادر نبودند محلول ۱ میلیگرم در لیتر کلرور جیوه را بیش از ۱ ماه و ترکیبات آلی جیوه را بیش از ۱۰ روز بدون تغییر نگهدارند، لذا محلولهای استاندارد همیشه تازه تهیه میشوند تا دقت آنها مورد اطمینان باشد .

### ۳- اصول روش :

در این مطالعه تغییراتی در روش وستو که توسط آزمایشگاه تحقیقات آب و آلودگی هوای سوئد پیشنهاد گردیده داده شده است . این روش نیز شامل دو مرحله استخراج ترکیبات آلکیل‌های جیوه در حلالهای آلی و تعیین مقدار با گاز کروماتوگرافی میباشد . آلکیل مرکوری‌های موجود در نمونه با فرمول عمومی (  $R \cdot Hg^*$  ) توسط اسیدی کردن محیط و افزودن برمور سدیم بصورت ترکیب بر موآلکیل مرکوریک در آورده میشوند و پس از رفع مزاحمت گروپ سولفیدریل ، ترکیب  $R \cdot Hg \cdot Br$  در تولوئن استخراج میگردد . یک روش تصفیه برای جدا کردن مقدار زیاد مواد مزاحم لازم است . تصفیه ترکیبات آلکیل مرکوری و جدا نمودن آنها از مواد مزاحم بکمک تبدیل آنها به مواد قابل حل در آب نظیر املاح هیدرواکسید یا سولفات و یا سیستئین امکان‌پذیر است (۱۶) . این روشهای تصفیه برای ترکیبات آلکیل مرکوری مناسب هستند ولی برای جستجو و تعیین مقدار آلکوکی‌ها مناسب نیستند زیرا آنها در مجاورت محلولهای اسید بسیار ناپایدار هستند حتی اگر محلولهای رقیق اسید مصرف شوند

در روش بکار رفته در این مقاله تولوئن جمع‌آوری شده از استخراج مرحله اول با محلول رقیق هیپوسولفیت سدیم مجاور میگردد . این عمل باعث می‌شود که آلکیل مرکوریهها بصورت کمپلس با هیپوسولفیت درآیند که در آب محلول خواهند بود و بدین ترتیب موادی که برای گاز کروماتوگراف مزاحم بودند جدا خواهند گردید . با افزودن مقدار زیاد یدور پتاسیم و بنزن آلکیل مرکوریهها بصورت یدور آلکیل مرکوریک در بنزن استخراج خواهند شد . استخراج بنزنی توسط گاز کروماتوگراف آزمایش میگردد .



شکل ۱

گازکروماتوگرام آلکیل‌های مرکوری و فنیل مرکوری (املاح یدوره)

مقدار تزریق ۱ نانوگرم از هر کدام

۳-۱ روش استخراج: نمونه آزمایشی میبایستی کاملاً مخلوط گردد تا قسمت برداشتی نمونه واقعی و گویای غلظت ترکیبات جیوه در محیط باشد. در صورت لزوم نمونه را با آسیابهای مخصوص یکنواخت میکنیم. حد اقل دو نمونه آزمایشی از هر کدام میبایستی آزمایش شود. ۱- حجم معینی از مایع بیولوژیکی یا تنشت را در لوله سانتریفوژ ۳۵ میلی لیتری سر سمباده میریزیم. بمقدار لازم آب مقطر بد آن اضافه میکنیم تا حجم نهائی حداکثر ۱۰ میلی لیتر شود. در مورد نمونه آب احتیاج به لوله سانتریفوژ نبوده یک لیتر از آب آزمایشی در قیف دکانتاسیون میریزیم.

۲- ۱ میلی لیتر سولفات مس و ۵ میلی لیتر محلول برمورسدیم اضافه نموده خوب مخلوط کرده میگذاریم ۵ دقیقه بماند.

۳- ۱۰ میلی لیتر تولوئن اضافه کرده بمدت دو دقیقه بشدت تکان می دهیم و سانتریفوژ میکنیم.

۴- لایه شفاف لوله سانتریفوژ را بکمک پیپت به لوله سانتریفوژ ۱۲ میلی لیتری منتقل میکنیم و حجم قسمت برداشتی را یادداشت میکنیم.

(در مورد آب احتیاج به سانتریفوژ نیست و استخراج بکمک تولوئن را یکبار دیگر تکرار میکنیم)

۵- ۲ میلی لیتر محلول هیپوسولفیت سدیم ۵/۰۰۵ مولار افزوده بمدت دو دقیقه بشدت تکان میدهیم. چنانچه حالت اولسیون دیده شد سانتریفوژ میکنیم.

۶- قسمت مائی را توسط پیپت پاستور به لوله آزمایشی ۸ میلی لیتر منتقل میکنیم.

۷- عمل استخراج را با ۱ میلی لیتر هیپوسولفیت تکرار نموده قسمت مائی را به لوله ۸ میلی لیتری منتقل میکنیم.

۸- ۱ میلی لیتر یدوریتاسیم و ۵/۰ میلی لیتر بنزن افزوده بمدت ۱ دقیقه بشدت تکان میدهیم.

۹- لایه بنزن را بکمک سرنگ ب میزان ۱ تا ۵ میکرو لیتر به گاز کروماتوگراف تزریق میکنیم. شکل ۱ کروماتوگرام چند ترکیب آلکیل مرکوری و فنیل مرکوری را نشان میدهد.

#### ۴- بحث :

تفاوت نسبتاً محسوسی بین ارتفاع منحنی بدست آمده از تزریق هالوژنه های مختلف آلکیل مرکوری ها مشاهده میشود. بطوریکه اگر در دومین مرحله استخراج آلکیل مرکوریها آنها را بصورت کلرور یا برمور یا یدور استخراج نمایم ارتفاع اوج (پیک) بدست آمده

در گاز کروماتوگرام بترتیب بدوره > بر مور ه > کلروره خواهند بود. ولی از آنجائیکه تکرار اوج (پیک) یکسان در محلول بدوره بیشتر مشاهده شد لذا افزودن بدور دو پتاسیم ترجیح داده شد.

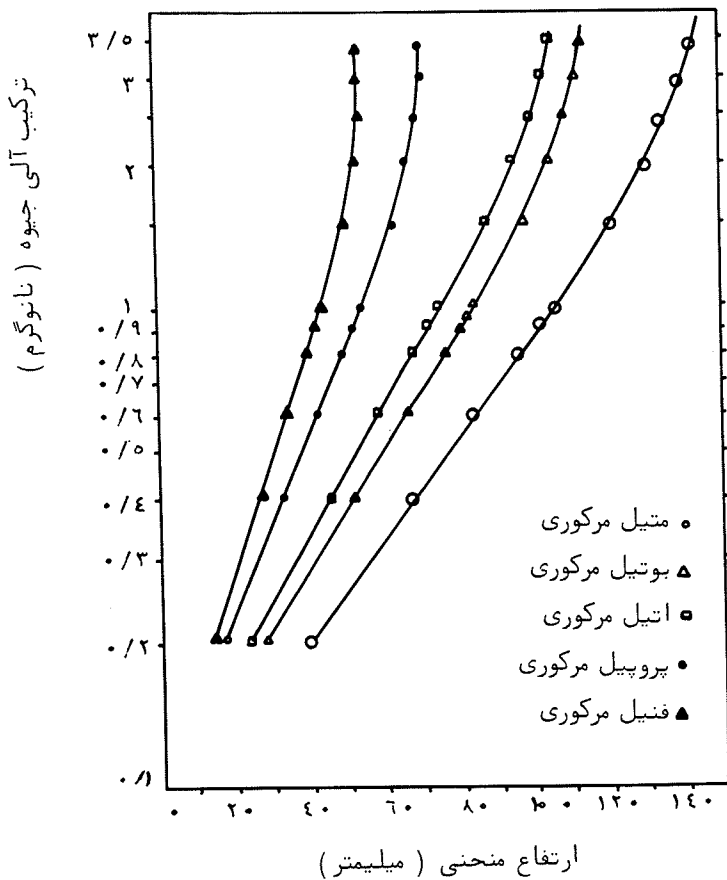
زمان تأخیری ترکیبات مختلف جیوه که از گاز کروماتوگرام شکل ۱ محاسبه شده است بقرار زیر میباشد:

<u>ترکیب آلی جیوه</u>	<u>زمان تأخیری (دقیقه)</u>
متیل مرکوری	۰/۳۹
اتیل مرکوری	۰/۵۹
پروپیل مرکوری	۰/۸۶
بوتیل مرکوری	۱/۷۳
فنیل مرکوری	۳/۶۶

عکس‌العمل دستگاه نسبت به مقدار تزریق شده تا حدود ۱ نانوگرم بر حسب ( $Hg^+$ ) خطی است و از آن به بعد تزریق مقدار بیشتری مثلاً دو برابر الزاماً پیک با دو برابر ارتفاع نمیدهد بلکه قدری ارتفاع بیشتر شده به قطر اوج (پیک) افزوده میگردد و تیزی منحنی عکس‌العمل را کم مینماید که ممکن است آزمایش کننده را از نظر تعیین مقدار با اشتباه بیاندازد. برای جلوگیری از اشتباه سعی میشود که همیشه حجم تزریق شده را برای استاندارد و آزمایشی یکسان در نظر بگیرند و از طرفی چنانچه منحنی بیشتر از مقدار ۱ نانوگرم در حجم تزریق شده نشان داد میبایستی با بنزن رقیق نموده نسبت رقت را در محاسبه منظور دارند.

منحنی‌های استاندارد از رسم میزان ارتفاع منحنی در برابر مقدار جیوه آلی تزریق شده در کاغذ نیمه لگاریتمی بدست میآیند. جدول شماره ۱ ارتفاع منحنی‌ها و عکس‌العمل دستگاه نسبت به تزریق مقادیر مختلف متیل مرکوری و شکل ۲ منحنی‌های استاندارد تعیین مقدار ترکیبات جیوه را نشان میدهد.

تجربه نشان داد که منحنی‌های استاندارد بین مقادیر ۰/۲ الی ۱ نانوگرم در هر تزریق کاملاً خطی می‌باشند و پس از آن منحنی‌ها خمیدگی خواهند داشت. از طرفی چون حساسیت دستگاه نسبت به فنیل مرکوری ۰/۲ نانوگرم بود منحنی‌ها از این مبنا تهیه شدند. ضمناً تجربه نشان داد مقادیر خیلی کم آلکیل‌های مرکوری تعیین مقدار را با اشتباه بیاندازند



شکل ۲

منحنی‌های استاندارد تعیین مقدار آلکیل‌های مرکوری و فنیل مرکوری (املاح یدوره)



لذا در صورتیکه مقدار ترکیب آلی جیوه در ماده استخراجی کم باشد بایستی استخراج بر روی حجم بیشتری از نمونه انجام گیرد .

جدول ۱ - عکس‌العمل گاز کروماتوگرام نسبت به مقادیر مختلف متیل مرکوری

ارتفاع منحنی	نانوگرم متیل مرکوری	ارتفاع منحنی میلی‌لیتر	نانوگرم متیل مرکوری
۱۲۱	۱/۵	۴۲	۰/۲
۱۳۱	۲	۶۸	۰/۴
۱۳۵	۲/۵	۸۶	۰/۶
۱۴۰	۳	۹۵	۰/۸
۱۴۲	۳/۵	۱۰۵	۱

۴ - ۱ نسبت بازگیری: در جریان آزمایش قسمت کمی از جیوه در موقع تبدیل کمپلس آلکیل مرکوری به یدور آلکیل مرکوریک از دست میرود . بدین منظور یک فاکتور اصلاحی بنام نسبت بازگیری در محاسبه منظور میگردد . فاکتور اصلاحی را با تکرار آزمایش استخراج بر روی آب ، مایعات بیولوژیکی و ته‌نشست‌هائیکه مقدار معینی آلکیل مرکوری به آنها اضافه شده است و مقایسه با استانداردهای آلکیل مرکوریه‌ها بدست می‌آوریم . جدول ۲ نسبت بازگیری ترکیبات آلکیل مرکوری و فنیل مرکوری را نشان میدهد :

جدول ۲ - نسبت بازگیری ترکیبات آلی جیوه

متوسط بازگیری	درصد بازگیری	ترکیب آلی جیوه
۰/۹۰۴	۸۵ - ۹۵/۸	متیل مرکوری
۰/۸۵۵	۷۳/۵ - ۹۷/۶	اتیل مرکوری
۰/۸۳۳	۶۹ - ۹۷/۶	پروپیل مرکوری
۰/۷۵۸	۶۳ - ۸۸/۵	بوتیل مرکوری
۰/۴۲۳	۳۸/۳ - ۴۶/۳	فنیل مرکوری

۴-۲ محاسبه غلظت در یک نمونه ناشناخته: چنانچه تطبیق زمان تأخیری منحنی‌های بدست آمده از مایع استخراج شده با منحنی‌های استاندارد آلکیل مرکوری‌هاو فنیل مرکوری وجود آنها را در نمونه آزمایشی ثابت نماید غلظت آلکیل مرکوریها بطریق زیر محاسبه میشود:

$$\text{نانوگرم آلکیل مرکوری در میلی لیتر نمونه} = \frac{W \times e \times V_1 \times 1000}{R \times d \times V_2}$$

$W$  = مقدار آلکیل مرکوری در استخراج مرحله دوم برحسب نانوگرم در میکرولیترکه از مقایسه با منحنی‌های استاندارد بدست میآید .

$e$  = حجم بنزن اضافه شده در محله هشتم عمل استخراج ( چنانچه ماده مستخرجه با بنزن رقیق شده باشد حجم نهائی بایستی منظور گردد ) .

$V_1$  = حجم تولوئن شده در مرحله سوم .

$V_2$  = حجم تولوئن برداشت شده در مرحله چهارم .

$R$  = نسبت بازگیری بصورت عدد اعشاری (مثلا برای متیل مرکوری ۰/۹۰۴)

$d$  = مقدار نمونه برداشت شده در مرحله ۱ بر حسب میلی لیتر .

۱۰۰۰ = میکرولیتر در میلی لیتر .

۴-۳ حساسیت: با در نظر گرفتن اینکه در موقع آزمایش ارتفاع منحنی بدست آمده میبایستی لااقل ۱۰ برابر میزان ارتعاشات دستگاه و تغییرات خط پایه باشد ، حد حساسیت روش بالا ۱۰ پیکوگرم ( پیکوگرم مساوی  $10^{-12}$  گرم است ) برای متیل مرکوری ، ۲۵ پیکوگرم برای اتیل مرکوری ، ۵۰ پیکوگرم برای پروپیل مرکوری ، ۲۵ پیکوگرم برای بوتیل مرکوری و ۲۰۰ پیکوگرم جهت فنیل مرکوری بود .

بنابراین اگر بنزن مرحله دوم استخراج حاوی ۱ میکروگرم درلیتر متیل مرکوری باشد تزریق ۱۰ میکرولیتر آن به گاز کروماتوگراف عکس العملی نشان خواهد داد که کاملاً واضح و قابل تعیین مقدار می باشد . حال اگر این استخراج از یک لیتر آب بوده باشد در واقع مقدار بسیار کم یعنی تا میزان نیم نانوگرم در لیتر متیل مرکوری در آب قابل جستجو و تعیین مقدار است . در مورد مایعات بیولوژیکی یا تنه نشستها مقادیر بسیار کم یعنی تا حدود ۰/۰۵ نانوگرم متیل مرکوری در میلی لیتر را با استخراج از ۱۰ میلی لیتر تنه نشست یا مایع بیولوژیکی میتوان جستجو و تعیین مقدار نمود . دقت آزمایش با تکرار بیش از ۱۰ بار هر یک از استانداردها که به آب و یا تنه نشست رودخانه افزوده شده بودند ثابت شد و محاسبات

نشان داد که اختلاف مقادیر بدست آمده از آزمایشهای مکرر از یک غلظت که همزمان و در شرایط یکنواخت گاز کروماتوگراف انجام شده باشند بیش از  $\pm 5\%$  نیست و عملاً بیش از  $90\%$  جوابها یکسان میباشند .

لازم به تذکر است که ترکیبات دای آلکیل جیوه‌ای که غیر قابل یونیزاسیون هستند نظیر دی‌متیل مرکوری - دی‌اتیل - دی‌پروپیل - دی‌بوتیل و دی‌فنیل مرکوری مستقیماً بتوسط گاز کروماتوگراف بادتکتور الکترون کاپچر قابل تعیین مقدار نمیباشند ولی روش غیرمستقیم نتایج مطلوبی بدست میدهد . (۱۷) .

#### ۵- نتیجه :

روش تعیین مقدار آلکیل‌های جیوه و فنیل مرکوری که در اینجا ذکر شد امکان میدهد که به آسانی و مستقیماً" مقادیر بسیار کم فرآورده‌های آلی قابل یونیزاسیون جیوه را بوسیله گاز کروماتوگراف تعیین مقدار نمود .

حساسیت این روش بسیار جالب است و حد حساسیت برای متیل مرکوری  $10^{-10}$  پیکوگرم ، اتیل مرکوری  $25$  پیکوگرم - پروپیل مرکوری  $50$  پیکوگرم - بوتیل مرکوری  $25$  پیکوگرم و فنیل مرکوری  $200$  پیکوگرم است . دقت آزمایش بسیار زیاد بوده و  $90\%$  آزمایشها جواب یکسان بدست میدهند و آزمایش بر روی یک غلظت معین در دفعات مختلف بیش از  $\pm 5\%$  اختلاف ندارد .

با این روش مقادیر کم یعنی تا حد  $5/0$  نانوگرم در لیتر متیل مرکوری در آب و یا  $5/0$  میکروگرم در لیتر متیل مرکوری در مایعات بیولوژیکی و ته نشست‌ها را میتوان تعیین مقدار نمود .

## REFERENCES

1. Friberg, L., and Votal, J., "Mercury in the Environment" CRC Press, Chemical Rubber Company, Cleveland, Ohio, 1972.
2. Miller, V.L., Lillis, D. and Cosnka, E., "Micro-Estimation of Intact Phenylmercury Compounds in Animal Tissue, Anal. Chem. 30, 1705, 1958.
3. Gage, J.C. "The Trace Determination of Phenyl and Methylmercury Salts in Biological Material", Analyst, 86, 457, 1961.
4. Westoo, G. "Determination of Methylmercury Compounds in Foodstuffs: I. Methylmercury Compounds in Fish, Identification and Determination", Acta Chem. Scand. 20, 2131, 1966
5. Kamps, L.R. and McMahon, B. "Utilization of the Westoo Procedure for the Determination of Methyl Mercury in Fish by Gas-Liquid Chromatography "Journal of The AOAC, vol.55, No.3 pp. 590-595, 1972.
6. Uthe, J.F., Solomon, J., and Grift, B., "Metals and Other Elements, Rapid Semimicro Method for the Determination of Methyl Mercury in Fish Tissue "Journal of The AOAC, vol.55, No.3, pp. 583-589, 1972
7. Newsome, W.H. "Determination of Methylmercury in Fish and in Cereal Grain Products" J. Agr. Food Chem. vol.19, No. 3 pp. 567-569, 1971.
8. Tatton, J.O'G., and Wagstaffe, P.J., "Identification and Determination of Organomercurial Fungicide Residue by Thin-Layer and Gas Chromatography" J. Chromatography, vol.44, pp.284-289, 1969.
9. Ross., R.T., and Gonzalez, J.G. "The Determination of Methyl Mercury in Urine" Bull. Environ. Contam. & Toxicol. vol.10, No. 3, 1973.
10. Sumino., K., "Analysis of Organic Mercury Compounds by Gas Chromatography, part II Determination of Organic Mercury

- Compounds in Various Samples "Kobe J. Med. Sci., 14, 131-148, June 1966.
11. Von Burg., R., Farris, F. and Smith, J.C. "Determination of Methyl Mercury in Blood by Gas Chromatography" Journal of Chromatography, 97, pp.65-70, 1974.
  12. Swedish Water and Air Pollution Research Laboratory, "Determination of Methylmercury by Gas Chromatography" Stockholm, Aug., 1970.
  13. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th edition, APHA-AWWA-WPCF, Washington, DC. 1976.
  14. Cappon., C.J., and Smith., J.C., "Gas-Chromatographic Determination of Inorganic Mercury and Organomercurials in Biological Materials", Analytical Chemistry, vol.49, No.3, pp. 365-369, 1977.
  15. Feldman., C., "Preservation of Dilute Mercury Solutions" Analytical Chemistry, vol.46, No.1, pp. 99-102, Jan. 1974.
  16. Sumino., K., "Analysis of Organic Mercury Compounds by G.C., part I, Analytical and Extraction Method of Organic Mercury Compounds, Kobe J. Med. Sci., vol.14, pp.115-130, June 1968.
  17. Shariat , M., "Determination of Dialkyl Mercury Compounds by G.C., J. Chrom. Sci., 17(9): 527, 1979.