بررسی عوامل موثر بر آزادسازی تالیوم از پسماندهای الکترونیکی در محیط‌های آبی و خاکی

هومن بهمن‌پور: استادیار، عضو هیات علمی گروه مهندسی محیط زیست،دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران (* نویسنده مسیول). ایمیل h.bahmanpour@srbiau.ac.ir

ژانت فرساد: کارشناس ارشد اداره مواد غذایی و اماکن عمومی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی.
ایمیل farsad@heaith.gov.ir

چکیده:

زمینه و هدف: پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی انواعی از پسماندهای ویژه می‌باشند که قطعات اصلی آن‌ها شامل خازن، ترانزیستور، آی.سی، مدارات الکترونیکی، قطعات کاتدی و آندی بوده و دارای خاصیت سمیت، بیماری‌زایی و پایایی در محیط پیرامون و حتی در پیکره جانداران، خورندگی تاسیسات و تجهیزات و مشابه آن می‌باشند. بر این اساس، هدف از این تحقیق تعیین و شناسایی عوامل موثر در آزادسازی این فلزات و اختصاصاً عنصر تالیوم در محیط پیرامون است.

روش کار: جهت بررسی این موضوع تاثیر عوامل مختلف مانند دما، pH، ترکیبات هامیک و زمان بر روی آزادسازی عنصر تالیوم از اینگونه پسماندها به محیط‌های آبی و خاکی مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور قطعات انتخابی آنالیز گردیده و مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج بیانگر آن بوده است که در محیط آبی، میزان نفوذ تالیوم در pH بسیار اسیدی و بسیار قلیایی افزایش می‌یابد. همچنین؛ در محیط آبی، افزایش دما سبب افزایش میزان نفوذ عنصر تالیوم در محیط می‌گردد و اثر پارامتر زمان تماس نیز متناسب با تغییرات pH متغیر است.

نتیجه‌گیری: در محیط خاکی، افزایش رطوبت، سبب افزایش آزادسازی عنصر تالیوم در محیط می‌شود.

واژگان کلیدی: پسماند الکترونیکی، فلزات سنگین، تالیوم، ترکیبات هامیک، pH، محیط آبی، محیط خاکی

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

مقدمه

پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی انواعی از پسماندهای ویژه است که دارای خاصیت سمیت، بیماری‌زایی و پایایی در محیط پیرامون و حتی در پیکره جانداران، خورندگی و مشابه آن می‌باشند و در اصل، به پسماندهای ویژه‌ای گفته می‌شود که غالب قطعات اصلی آن‌ها شامل خازن، ترانزیستور، آی سی، مدارات الکترونیکی، قطعات کاتدی و آندی و از این قبیل می‌باشد (۱). بطور کلی این پسماندها به دو دسته الکتریکی مانند باتری، یخچال، ماشین لباسشویی، اتو، لامپ، ... و الکترونیکی مثل کلیه قطعات رایانه‌ای، دستگاه‌های رادیویی و تلویزیون، انواع پخش‌کننده‌های صوتی و تصویری، ... تقسیم می‌شوند. این نوع پسماند مشکلی است که به‌تازگی در حال پدیدار شدن می‌باشد و همچنین به‌عنوان یک فرصت شغلی که دارای اهمیت روزافزون است نیز تلقی می‌شود. حجم زیادی از پسماندهای الکترونیکی تولید شده در جهان می‌تواند حاوی مواد سمی و همچنین مواد باارزش باشد. از تجزیه این مواد، آهن، مس، آلومینیوم، طلا و دیگر مواد به دست می‌آید که متجاوز از ۶۰٪ می‌باشد (۲).

آمریکا بزرگ‌ترین تولیدکننده پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی در جهان می‌باشد. در خاورمیانه، سریع‌ترین بازار مصرف پسماندهای الکترونیکی نیز مربوط به ایران می‌باشد. سرانه تولید این زباله‌ها در دنیا از ۲۰۰ گرم تا ۱۴ کیلوگرم متغیر است (۳). در این نوع از پسماندها، عناصری از قبیل سرب، استرانسیوم، جیوه، کادمیوم، نیکل، آرسنیک، مس، روی، باریم، برلیوم، انواع پلاستیک‌ها، آلومینیوم، طلا، نقره، پلاتین، مواد شیمیایی خطرناک حاصل از مواد مصرفی، دی فنیل اترهای پلی برومینه (PBDEs۱)، و به صورت نادر آلوده‌کننده‌های آلی پایدار (POPs) یا ترکیبات هالوژن‌دار مخرب لایه ازن از قبیل پلی‌کلرو بی‌فنیل‌ها (PCBs) یافت می‌شوند که اثرات زیان‌آوری روی محیط زیست و سلامتی انسان می‌گذارند (۲ و ۴).

هر رایانه رومیزی دارای ۳۲ درصد پلاستیک، نزدیک به ۷ درصد سرب، ۴۱ درصد آلومینیوم، مقادیری طلا، نقره و آهن و نیز مقادیری فلزات سنگین و خطرناک مانند کادمیوم، جیوه و آرسنیک است. بنابراین، می‌توان به‌طور تقریبی محاسبه کرد که ۴ میلیون رایانه از دور خارج شده، حاوی چه حجم عظیمی از عناصر خطرناک و در کنار آن دارای چه عناصری ارزشمند مانند طلا و نقره است که بازیافت اصولی آنها می‌تواند علاوه بر صرفه اقتصادی، جلوی خطرات زیست‌محیطی را نیز بگیرد. بنابراین، دفن یا سوزاندن زباله‌ها سبب ورود عناصر سنگین و گازهای سمی به محیط‌زیست و آب‌های زیرزمینی می‌شود (۱ و ۵).

فلزات سنگین به هر عنصر شیمیایی فلزی که دارای چگالی نسبتاً زیادی باشد و همچنین در غلظت‌های پایین سمی باشند، اطلاق می‌شود. فلزات سنگین از عناصر سازنده پوسته زمین هستند و دچار تخریب و یا فرسایش نمی‌شوند. این فلزات که از جمله آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌باشند، در اندازه بسیار کم، از طریق غذا، آب آشامیدنی و یا هوا وارد بدن ما می‌شوند و می‌توانند مسمومیت‌های مزمن و بعضاً حاد خطرناکی را ایجاد نماید (۶). رشد سریع آلودگی‌های الکترونیکی و ورود سریع و بی‌رویه آن‌ها به محیط‌زیست، امروزه به‌صورت یک بحران درآمده است. این بحران اگرچه تاکنون بیشتر متوجه کشورهای صنعتی و پیشرفته دنیا بوده است، اما باید به این نکته هم توجه کرد که موج بحران در کشورهای صنعتی، قاعدتاً با چند سال تأخیر به کشورهای در حال‌توسعه هم خواهد رسید (۷).

مدیریت دفع این مواد به دلیل دشواری جداسازی و ناکافی بودن تحقیقات در زمینهٔ فرایند بازیافت آن‌ها با چالش مواجه است. به‌عنوان نمونه، خطرات فلزات سنگین بر روی انسان آسیب به اندام‌های حساس نظیر کلیه و کبد می‌باشد و پلاستیک‌ها در صورت زباله‌سوزی تولید گروه گازهای دی‌اکسین و فوران می‌نمایند، که سرطان‌زایی آن‌ها قطعی است. انتخاب شیوه‌های جمع‌آوری، جداسازی، پردازش، بازیافت و دفع مناسب و مبتنی بر اصول قابل پذیرش علمی کمک شایانی در کنترل و مداخله مؤثر در چرخه گردش

1 - Diphenyl ethers of poly Burma

Email:rsj@iums.ac.ir

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

مواد زائد و جهت‌دهی آن به سمت بهره‌گیری دوباره همزمان با کاهش مخاطرات زیست‌محیطی می‌گردد (۸).

«کنوانسیون بازل» زباله‌های الکترونیکی را به‌عنوان زباله‌های خطرناک می‌شناسند. امروزه به‌موازات شناخت اثرات سوء و مخرب ناشی از مواد شیمیایی خطرناک، راهبردهایی در جهت کنترل صحیح آن‌ها در نظر گرفته‌شده است و تنها با تحقق بخشیدن به این راهبردهای پیشگیری‌کننده است که می‌توان کشورها را از تکرار اشتباهات مکرر بر حذر داشت (۹).

هدف اصلی این تحقیق، بررسی عوامل موثر در جداسازی و انتشار عناصر سمی (تالیوم) موجود در قطعات الکترونیکی و الکتریکی پس از رهاسازی در محیط زیست است.

تالیوم و مشتقات آن بسیار سمی بوده و لازم است که با نهایت دقت با آن کار شود. خاصیت سمی بودن آن ناشی از توانائی این فلز در جایگزینی فلزات قلیایی همانند سدیم و پتاسیم در بدن می‌باشد؛ کل این فلزات از حالت اکسیدسازی +۱ برخوردار هستند. این جایگزینی باعث ایجاد اختلال در کارکرد بسیاری از فرایندهای سلولی خواهد بود. خاصیت سمی بودن این فلز باعث استفاده از آن (اکنون در بسیاری از کشورها قطع شده است) در تولید مرگ موش گردید. از میان خواص سم تالیوم می‌توان به موارد ریزش مو و آسیب به محیط اطراف اعصاب اشاره کرد. همچنین تماس این فلز با پوست خطرناک بوده و می‌بایست در زمان ذوب آن تهویه کامل هوای محیط انجام گردد (۵-۱). ترکیبات تالیوم خاصیت بسیار بالای حل شدن در آب را داراست و مظنون به سرطان‌زایی در انسان می‌باشد. زمانی تالیوم به عنوان سلاحی مؤثر در مرگ و میر مطرح بود و آن زمانی بود که پادزهر آن (پروسیان آبی) هنوز کشف نگردیده بود (۱۰). در مجموع با توجه خصوصیات فیزیکو شیمیایی ویژه این نوع از پسماند، بهترین راهکار جهت کاهش عوارض زیست محیطی و بهداشتی آن بازیافت اصولی آن می‌باشد.

علاوه بر این تولید محصولات الکترونیکی با سموم کمتر از جمله اقدامات مدیریتی مؤثر محسوب می‌گردد (۲).

امروزه از روش‌های مختلفی برای مدیریت پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی استفاده می‌شود. از قبیل سوزاندن، دفن و بازیافت. که البته هر یک مشکلات خاص خود را دارا می‌باشند، از جمله، روش سوزاندن منجر به تولید دی‌اکسین‌ها، فوران‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چندهسته‌ای[۲](PAHs)، هیدروکربن‌های آروماتیک چند هالوژنه[۳] (PHAHs) و هیدروژن کلراید می‌گردد (۸ و ۲).

در این راستا، برخی مطالعات توسط محققان و دانشمندان انجام شده است. از جمله هوانگ[۴] و همکاران (۲۰۱۵)، اثرات دفع پسماندهای الکتریکی بر محیط‌های آبی در کشور غنا را بررسی کردند. نتایج بیانگر آن بوده است که مقدار فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، مس، روی و تالیوم در نمونه‌های آبی بسیار زیاد است. همچنین، روش‌های قدیمی بازیافت پسماندهای الکترونیکی نیز منجر به آزادسازی این فلزات سنگین می‌شود و سرعت فلزات سنگین و آلاینده‌های آزاد شده از پسماندهای الکترونیکی به‌شدت به pH بستگی دارد (۱۱). مایکل[۵] و همکاران (۲۰۱۵)، نمونه آب‌های رودخانه‌های متفاوت را بررسی کردند و مقدار فلزات سنگین آزادشده از پسماندهای الکتریکی را در آن‌ها اندازه گرفتند. نتایج نشان داد اکثر فلزات تمایل به جداسازی دارند و میزان جداسازی آن‌ها به کیفیت آب بستگی دارد. در نتیجه جداسازی، پارامترهای فیزیکی- شیمیایی مانند pH و سختی نمونه‌های آب تغییر کرد. این بررسی بر خطر دفع پسماندهای الکتریک در بستر رودخانه به‌ویژه در زمان پایین بودن جریان آب و ساکن شدن جریان تأکید داشت (۱۲). زین[۶] و همکاران (۲۰۱۴)، اثرات زیست محیطی پسماندهای الکتریکی را بررسی کردند و مشخص شد تحرک فلزات سنگین از جمله تالیوم، در محدوده pH اسیدی بسیار بیشتر است (۱۳). آمفو-اوتو[۷] و همکاران (۲۰۱۴)، آلودگی خاک به فلزات سنگین آزاد شده از پسماندهای الکترونیکی را

18- Multi-nuclear aromatic hydrocarbons
19- Multi-halogenated aromatic hydrocarbons
4 - Huang

5 - Michael
6 - Zeine
7 - Amfo-Otu

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

بررسی کردند. نتایج نشان داد بازیافت پسماندهای الکترونیکی منجر به آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌شود (۱۴). کیهانگ[8] و همکاران (۲۰۱۰)، آلودگی خاک و آب اطراف یک سایت متروکه بازیافت پسماندهای الکترونیکی به فلزات سنگین و عوامل انتشار این فلزات را در محیط بررسی کردند. خاک سطحی سایت‌ها به‌شدت به کادمیوم، مس و تالیوم آلوده بوده و مقدار آن‌ها بسیار بیشتر از مقدار استاندارد بود. غلظت فلزات سنگین معمولاً با عمق سایت کاهش می‌یابد که این مساله با افزایش pH و کاهش TOM در گرادیان عمق ارتباط دارد. آب دریاچه بسیار اسیدی و آلوده به فلزات سنگین بود، در حالی که آب چاه کمی آلوده بود. (۱۵). بیزو[9] و همکاران (۲۰۰۹)، بازیافت تالیوم از برد مدارهای چاپی کامپیوترهای دست‌دوم را بررسی کردند (۱۶).

روش کار

تحقیق حاضر از نوع مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد که در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود و مطابق با دستورالعمل آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) صورت گرفته است (۱۷). ابتدا قطعات متعدد و متنوعی از برد الکترونیک تا حد امکان به قطعات ریز تبدیل گردید. سپس نصف مقدار نمونه با ترازو وزن شده (۲۱۵/۲۱gr) و در بشر یک لیتری ریخته شد و روی آن به اندازه ۳۰۰ cc اسید نیتریک غلیظ ۶۵٪ (۱۴/۴ مولار) اضافه شد که گاز خرمایی رنگ دی اکسید نیتروژن متصاعد گردید. نمونه به مدت ۴۵ دقیقه در همان حال نگهداری شد تا قطعات فلزی موجود در نمونه تا حد امکان در محیط اسیدی حل شوند که در نهایت محلول سبز رنگ ایجاد شد. سپس ۳۰۰ cc آب مقطر به محلول افزوده گردید و به مدت ۴۵ دقیقه نمونه جوشانده شد و در این مدت مرتباً هم زده شد. سپس نمونه با قیف صاف شد تا قطعات درشت جدا شود و با کاغذ صافی صاف گردید و محلول به دست آمده در بالن تخت ریخته و با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس با دستگاه جذب اتمی (مدل ICP-MS) درصد عناصر موجود در آن اندازه‌گیری شد. از بین عناصر شناسایی شده، عنصر تالیوم انتخاب و تاثیر pH، دما، ترکیبات هامیک و زمان بر روی آن در محیط‌های آبی و خاکی بررسی شد.

ترکیبات هامیک ترکیبات فنولی حاصل از کمپوست‌ها هستند که خاصیت اسیدی و کمپلکس کنندگی داشته و حضورشان در آب و خاک باعث می‌شود که یون‌های فلزی بیشتر در آب کشیده شوند. این ترکیبات از خانواده کاتکول‌ها می‌باشد. برای بررسی اثر ترکیبات هامیک ۳۰ گرم قطعه برد الکترونیکی به همراه ۸۰۰cc آب مخلوط کرده و نمونه‌ها با استفاده از HCl و NaOH یک مولار در pHهای ۴، ۷ و ۱۰ آماده شدند.

8 - Qihang
9 - Bizzo

Email:rsj@iums.ac.ir

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

یافته‌ها

نتایج در دو بخش جداگانه (محیط آبی و خاکی) ارایه می‌شوند.

- **تاثیر کمیت‌های مختلف بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی**

الف) pH

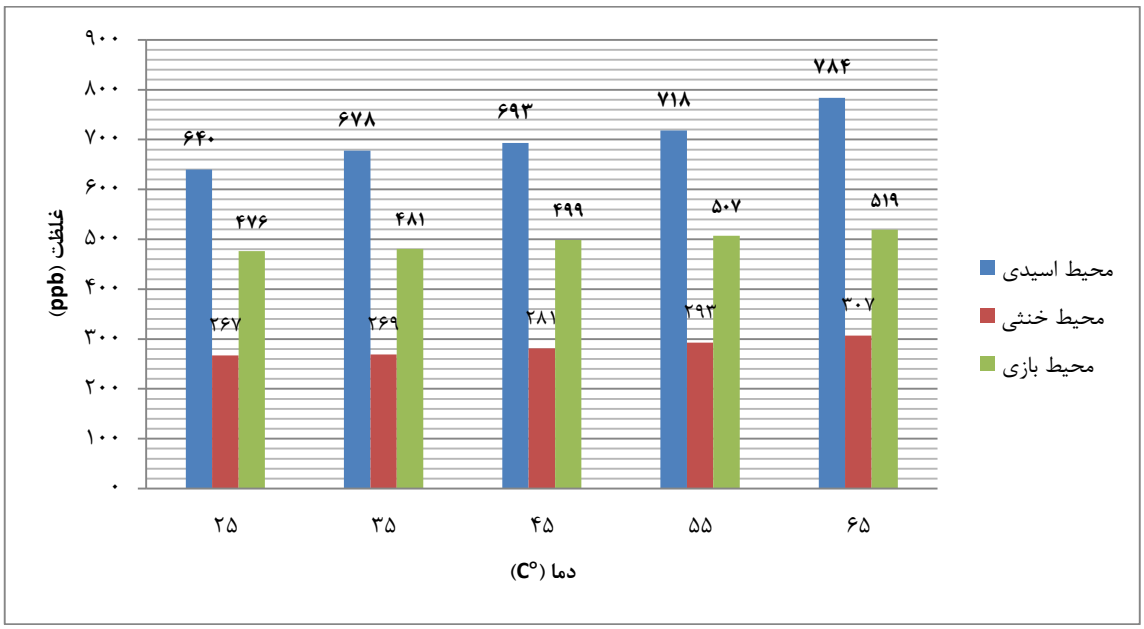
جدول ۱ نتایج حاصل از نفوذ عنصر تالیوم از قطعه برد الکترونیکی مورد آزمایش به محیط آبی در pHهای متفاوت را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تاثیر pH مختلف بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی

pH	۳	۴	۶	۷	۸	۱۰
C Tl (ppb)	۷۴۳	۶۳۹	۴۳۱	۲۶۷	۳۴۹	۴۷۶

ب) دما

شکل ۱ روند میزان نفوذ عنصر تالیوم از قطعه برد الکترونیکی به محیط آبی را در سه محدوده pH اسیدی (۳)، خنثی (۷) و بازی (۱۰) در دماهای متفاوت نشان می‌دهند.



شکل ۱: نمودار تاثیر دما بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

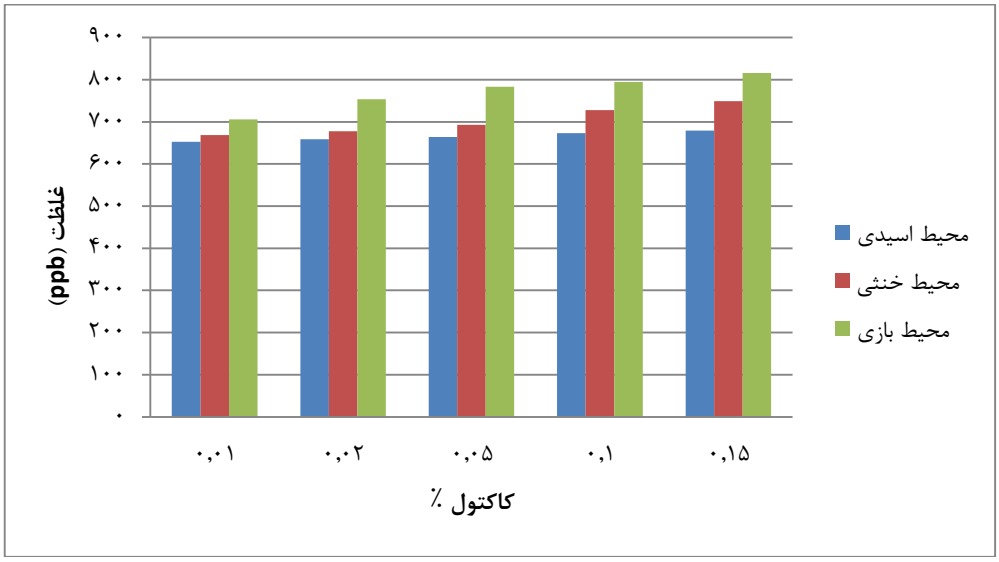
Email:rsj@iums.ac.ir

پ) ترکیبات هامیک

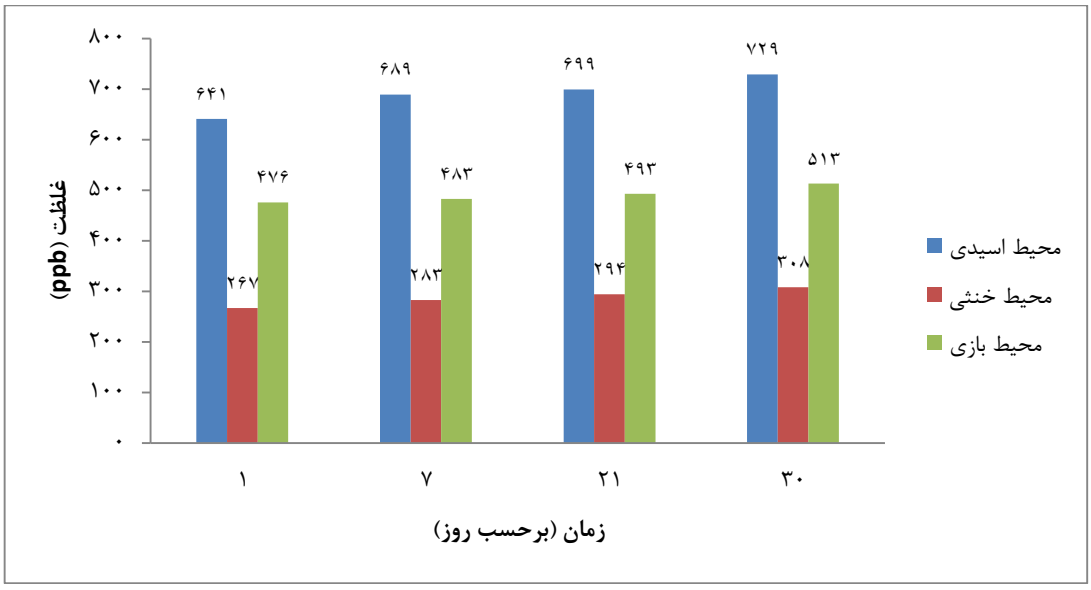
شکل ۲ روند میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی در محیط آبی با حضور ترکیبات هامیک، در محدوده‌های pH اسیدی، خنثی و بازی را نشان می‌دهد.

ت) زمان

مشاهدات صورت گرفته از تاثیر زمان بر میزان نفوذ تالیوم در محیط آبی در شکل ۳ ثبت گردیده است.



شکل ۲: نمودار تاثیر ترکیبات هامیک بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی



شکل ۳: تاثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به آبی در محیط‌های اسیدی، خنثی و بازی

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

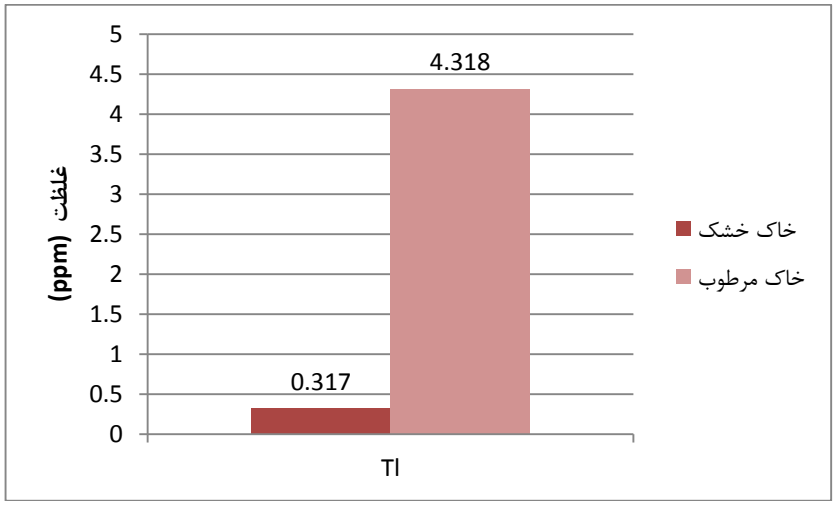
- **تاثیر کمیت‌های مختلف بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی**

الف) رطوبت

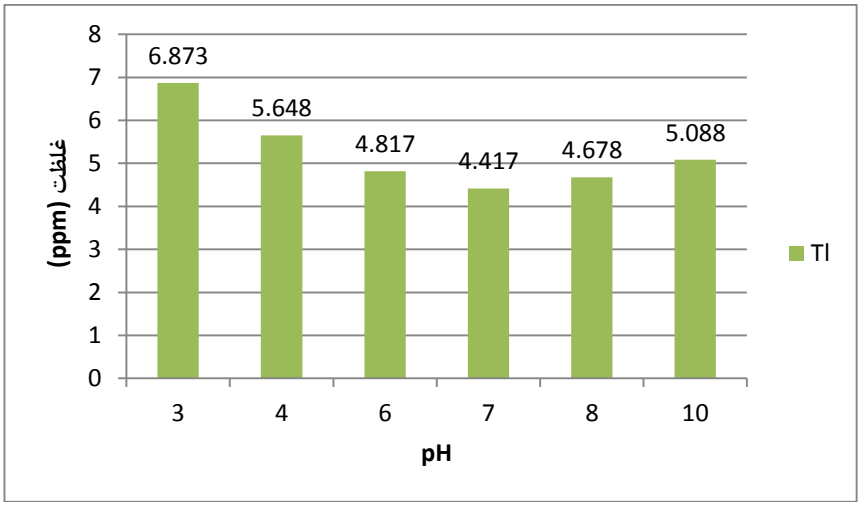
جهت بررسی تاثیر رطوبت بر میزان نفوذ عناصر سنگین در محیط خاکی از خاک مرطوب با رطوبت ۲۵ درصد استفاده گردید و مشاهدات صورت گرفته در شکل ۴ ثبت گردیده است.

ب) pH

در مورد بررسی تاثیر pH بر میزان نفوذ عناصر سنگین در محیط خاکی از خاک مرطوب استفاده گردید و مشاهدات صورت گرفته در محدوده pH اسیدی، خنثی و بازی در شکل ۵ ثبت گردیده است.



شکل ۴: نمودار تاثیر رطوبت بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی



شکل ۵: نمودار تاثیر pH بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

پ) دما

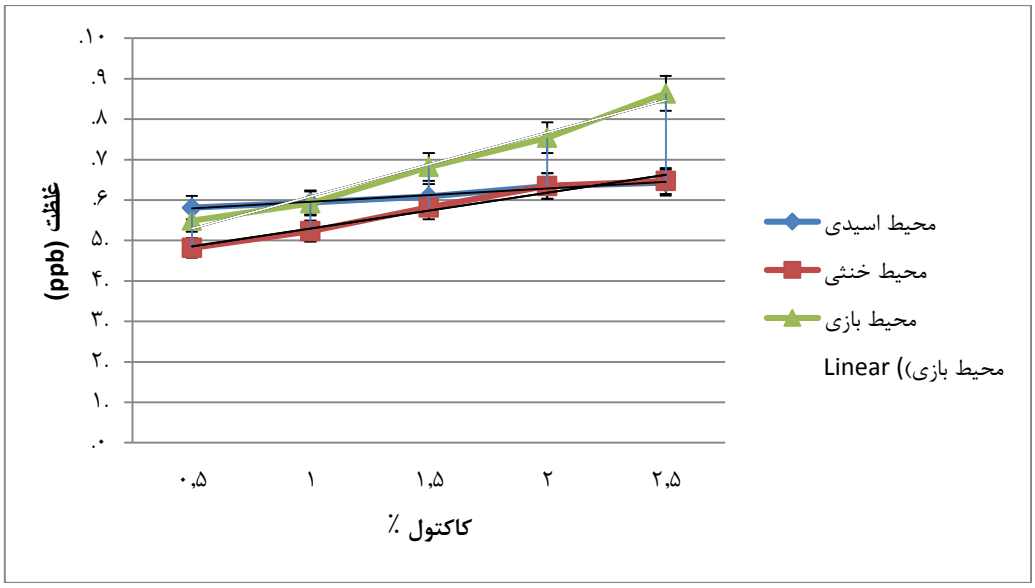
جدول ۲ مشاهدات صورت گرفته از تاثیر افزایش دما بر میزان نفوذ تالیوم در محیط خاکی در محدوده pHهای اسیدی، خنثی و بازی را نشان می‌دهد. طبق نتایج و مشاهدات صورت گرفته با افزایش دما در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی افزایش نفوذ عنصر تالیوم در محیط خاکی رخ می‌دهد.

جدول ۲: تاثیر دما بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در محیط‌های اسیدی، خنثی و بازی

T (^{0}c)	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
pH= ۳					
C Tl (ppm)	۴,۴۱۷	۴,۶۱۸	۴,۹۱۶	۵,۳۲۱	۵,۴۰۸
pH= ۷					
C Tl (ppm)	۴,۴۱۷	۴,۶۱۸	۴,۹۱۶	۵,۳۲۱	۵,۴۰۸
pH= ۱۰					
C Tl (ppm)	۵,۰۸۸	۵,۳۴۵	۵,۸۱۹	۶,۳۹۳	۶,۷۳۴

ت) ترکیبات هامیک

تاثیر ترکیبات هامیک بر روی میزان نفوذ عنصر تالیوم در محیط خاکی در محدوده‌های pH اسیدی، خنثی و بازی ثبت گردیده است (شکل ۶).



شکل ۶: تاثیر ترکیبات هامیک بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

ث) زمان

جدول ۳ نتایج حاصل از نفوذ تالیوم از پسماند الکترونیکی به محیط خاکی در محدوده‌های اسیدی، خنثی و بازی را نشان می‌دهد.

جدول ۳: تاثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر تالیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی

زمان (روز)	۱	۷	۲۱	۳۰
pH= ۳				
C Tl (ppm)	۵,۶۴۸	۶,۳۱۷	۷,۷۶۹	۸,۱۱۹
pH= ۷				
C Tl (ppm)	۴,۴۱۸	۴,۶۲۱	۴,۹۳۲	۵,۳۲۱
pH= ۱۰				
C Tl (ppm)	۵,۱۰۶	۵,۳۵۲	۵,۸۷۱	۶,۰۲۱

بحث

میزان تالیوم اندازه‌گیری شده در نمونه پسماند الکترونیکی مورد مطالعه، ۱/۷۸۳ میلی‌گرم بر لیتر بوده است و این در حالیست که در استاندارد آب آشامیدنی در کشور، حداکثر مجاز برای این عنصر قید نشده است.

نتایج بررسی عوامل موثر در آزادسازی تالیوم از قطعات الکترونیکی در محیط آبی بیانگر آن بوده است که در pH اسیدی و بازی میزان آزادسازی تالیوم افزایش می‌یابد ولی در محدوده خنثی، کاهش می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند تشکیل کمپلکس این عنصر با OH^- باشد (۱۴). با توجه به نتایج به دست آمده از تست‌های صورت گرفته، رابطه مستقیم میان افزایش دما و افزایش میزان نفوذ عنصر تالیوم در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی وجود دارد.

افزایش دما باعث افزایش تحرک مولکول‌ها شده و در نتیجه میزان آزادسازی عنصر بالا می‌رود. هر چه محیط اسیدی‌تر شود، آنیون اسید راحت‌تر با عناصر موجود تشکیل کمپلکس داده و میزان آزادسازی عنصر افزایش می‌یابد. اثر تالیوم در محدوده قلیایی به دلیل تشکیل کمپلکس‌های قوی‌تر بیشتر می‌باشد (۶-۲). ترکیبات هامیک کمپلکس‌ساز می‌باشند و هر چه محیط قلیایی‌تر شود، آنیون قوی‌تری ساخته شده و کمپلکس قوی‌تر تشکیل می‌شود و در نتیجه اثر ترکیبات هامیک نیز افزایش می‌یابد. در هر سه محدوده pH، با افزایش میزان ترکیبات هامیک، میزان نفوذ تالیوم به محیط آبی نیز افزایش می‌یابد. به عبارتی رابطه مستقیم میان افزایش میزان ترکیبات هامیک و نفوذ عنصر تالیوم در محیط آبی وجود دارد. همچنین؛ براساس یافته‌های تحقیق، در بازه‌های زمانی متفاوت در pHهای اسیدی، خنثی و بازی، با افزایش زمان تماس قطعات الکترونیکی با محیط، میزان نفوذ عنصر تالیوم نیز افزایش می‌یابد.

نتایج بررسی عوامل موثر در آزادسازی تالیوم از قطعات الکترونیکی در محیط خاکی بیانگر آن است که هر چه میزان رطوبت بیشتر باشد، عوامل شیمیایی مانند اسیدی شدن، کمپلکس شدن و ... به روی خوردگی تالیوم تاثیر بیشتر گذاشته (۱۸) و در نتیجه میزان آزادسازی عنصر تالیوم به محیط نیز افزایش می‌یابد. طبق نتایج به دست آمده، در مورد تالیوم با کاهش میزان اسیدیته، میزان آزادسازی نیز کاهش می‌یابد و در محدوده بازی افزایش میزان نفوذ عناصر در محیط خاکی رخ می‌دهد.

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

با افزایش میزان ترکیبات هامیک در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی، افزایش میزان نفوذ عنصر تالیوم در خاک صورت می‌گیرد. مطابق با نتایج به دست آمده در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی با افزایش مدت زمان ماندگاری پسماند الکترونیکی در محیط خاکی، افزایش میزان نفوذ عنصر تالیوم در خاک رخ خواهد داد.

نتیجه‌گیری

بررسی عوامل مختلف بر میزان آزادسازی تالیوم نشان داد که با افزایش میزان اسیدیته و قلیاییت در هر دو محیط آبی و خاکی، میزان آزادسازی عنصر تالیوم نیز بیشتر می‌گردد. این نتیجه با مطالعات هوانگ و همکاران (۲۰۱۵)، مایکل و همکاران (۲۰۱۵) و زین و همکاران (۲۰۱۴) منطبق می‌باشد. از سوی دیگر، نتایج تحقیق در مورد پارامتر دما نشان داد که در محیط‌های آبی و خاکی با افزایش دما می‌توان شاهد افزایش میزان آزادسازی تالیوم بود. این مورد با نتایج اخذ شده توسط مایکل و همکاران (۲۰۱۵) مشابهت داشته است. زمان پارامتر دیگری بود که در تحقیق حاضر بررسی شد. نتایج حاکی از ارتباط مستقیم میان عامل زمان و میزان آزادسازی تالیوم در محیط‌های آبی و خاکی بوده است. این مورد با نتایج تحقیق کیهانگ و همکاران (۲۰۱۰) مشابهت داشته است.

در خصوص ترکیبات هامیک، نتایج تحقیق بیانگر آن بوده است که در هر سه حالت اسیدی، خنثی و بازی میزان آزادسازی عنصر تالیوم با میزان ترکیبات هامیک در ارتباط مستقیم می‌باشد. به طوریکه با افزایش ترکیبات هامیک، میزان آزادسازی تالیوم افزایش می‌یابد. این حالت در هر دو محیط آبی و خاکی رخ می‌دهد. از آنجا که پارامتر ترکیبات هامیک برای نخستین‌بار و در تحقیق حاضر بررسی شده است، بنابراین امکان مقایسه نتایج با تحقیقات پیشین وجود ندارد.

در مجموع، می‌توان عنوان نمود که فلز سنگین تالیوم پس از قرارگیری در محیط (آبی و خاکی)، در شرایط کاملاً اسیدی و یا قلیایی و نیز دمای بالا سریع‌تر آزاد شده و ایجاد آلودگی خواهد نمود. همچنین؛ طولانی شدن زمان ماندگاری پسماند الکترونیکی در خاک و یا آب نیز سبب نفوذ و آلودگی بیشتر محیط توسط این عنصر خواهد شد. در نتیجه در مبحث مدیریت پسماند قطعات الکترونیکی و الکتریکی حاوی تالیوم، پیشنهاد می‌گردد، نسبت به دفن بهداشتی و ایزوله کردن محیط سرعت عمل بیشتری وجود داشته باشد و بستر تا حد امکان خنثی باشد.

به منظور دستیابی به نتایج گسترده‌تر و درک عمیق‌تر از ابعاد مساله تحقیق، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی موارد زیر بررسی گردند:

- اندازه‌گیری‌ها در بازه گسترده‌ای از pH صورت گیرند؛
- حالت‌های ترکیبی بیشتری از پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گیرند؛
- سایر فلزات سنگین نیز بررسی گردیده و نتایج مورد مقایسه قرار گیرند.

تقدیر و قدردانی

شایسته است تا از جناب آقای دکتر مهدی ریاضی بابت راهنمایی‌های ارزشمندشان در زمینه آزمایشات و همچنین زحمات خانم مهندس مرضیه رحیمی قدردانی گردد.

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

منابع

1. Najafi A, Management of electronic waste and its role in protecting the environment, 5th Specialized Conference on Environmental Engineering, Tehran, University of Tehran, Faculty of Environment, 2012 (Persian).
2. Moosavi SA, Khamootian R, Parvaneh M, Evaluating the status of electronic waste management in the world and Iran, the first exhibition and seminar on environment, energy and industry, 2014 (Persian).
3. Nnorom I.CH., Osibanjo O., Okechukwu1 K., Nkwachukwu1 O., Chukwuma R.C., Evaluation of Heavy Metal Release from the Disposal of Waste Computer Monitors at an Open Dump, International. Journal of Environmental Science and Development; 2010; 1:3.
4. Guo Y., Huang C., Zhang H., Dong Q. Heavy metal contamination from electronic waste recycling at Guiyu, Southeastern China. J Environ Qual; 2009 Jun 23; 38(4):1617-26.
5. Asadi M, Faezi Razi D, Nabizadeh R, Vojdani M, Hazardous Waste Management, Publications of the Environmental Protection Agency, Tehran, 2000, 349 p. (Persian).
6. Manc G, Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. 1st Ed., Elsevier; 1987, Science Publishers, New York
7. Ahmadi B, Investigating the Role of Heavy Metals on Human Health, Zanjan Regional Water Company, 2009. (Persian).
8. Song Q., Li J., Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: a systematic review. Waste Manag; 2014 Dec; 34(12):2587-94.
9. Amoozeshi F, Mozafari E, Mohammadi F, Investigating the recycling of electronic waste and its solutions. The fourth National Conference on Management of Waste Management, 2009 (Persian).
10. Magnetic susceptibility of the elements and inorganic compounds, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition, CRC press; 2008.
11. Huang J., Nkrumah P., Anim D., Mensah E. E-waste disposal effects on the aquatic environment: A, Ghana. Rev Environ Contam Toxically; 2014; 229:19-34 (WEEE) management practices in developing countries through leaching tests. African Journal.
12. Michael C., Sugumar R.W., Studies on Leaching of Heavy Metals from E – waste.
Oriental Journal of Chemistry; 2013. 29(03):1149-1154.
13. Zeine W, Environmental impact assessment of waste electronic and electric equipment of Environmental Science and Technology Full Length Research Paper; 2015, Vol. 9(8), pp. 671- 681.
14. Amfo-Otu1 R., Kwesi Bentum J., Omari S., Assessment of Soil Contamination through E-Waste Recycling Activities in Tema Community One. Environment and Pollution; 2013, Vol. 2, No. 2: 66-70.
15. Qihang W., Leung j., Xinhua G., Shejun Ch., Xuexia H., Haiyan L., Zhuying H., Libin Z., Jiahao Ch., Yayin L. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals. Science of the Total Environment; 2015, Volumes 506–507, Pages 217-225.
16. Bizzo W.A., Figueiredo R.A., Andrade V.F., Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation. Materials; 2014, 7, 4555-4566
17. EPA. 2004, Environmental measurements and modeling, United

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

printed circuit boards in a typical e-waste workshop of South China. Atmospheric Environment; 2010, Volume 44, Issue 35, Pages 4440-4445.

States Environmental Protection Agency, pp. 144

18. Xinhui B., Bernd S., ZhenZhen W., Xinming W., Guoying SH., Jiamo F. The major components of particles emitted during recycling of waste

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]

Investigating the Factors Affecting the Releasing of Tallium from Electronic Waste in Water and Soil Environment

Hooman Bahmanpour: Department of Environment, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran. (*Corresponding Author). Email:h.bahmanpour@srbiau.ac.ir

Janet Farsad: Master of Science in Food and Public Health Department of the Ministry of Health and Medical Education. Email:farsad@heaith.gov.ir

Background and Objective(s): The electronic and electrical wastes are special types of wastes, the main components of which include capacitors, transistors, ICSI, electronic circuits, cathode and anode components, and have toxicity, pathogenicity and stability in the environment and even in the body of organisms. Corrosive installations and equipment, and the like. Accordingly, the purpose of this study is to investigate and identify the factors affecting the release of these metals and especially the thallium element in the surrounding environment.
Materials and Methods: In order to study the effect of different factors such as temperature, pH, hamic acid and time on the release of thallium from such waste to aquatic and terrestrial environments has been studied. For this purpose, the selected parts were analyzed and examined.
Results: The results indicated that in the aqueous medium, the amount of thallium penetration increased at a very acidic and very alkaline pH. Also, in an aqueous medium, the temperature increase increases the penetration of the thallium element in the environment, and the effect of the contact time parameter is also proportional to the pH variation.
Conclusion: Increasing of moisture in the soil enhances the release of thallium in the environment.

Keywords: Electronic waste, Heavy metals, Thallium, Hamic compounds, pH, Aquatic environment

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2026-11-18]