# ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

سال دوم. شماره ۱۰. مرداد ۱۴۰۰

ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر
مواد پیشرفته و ساخت

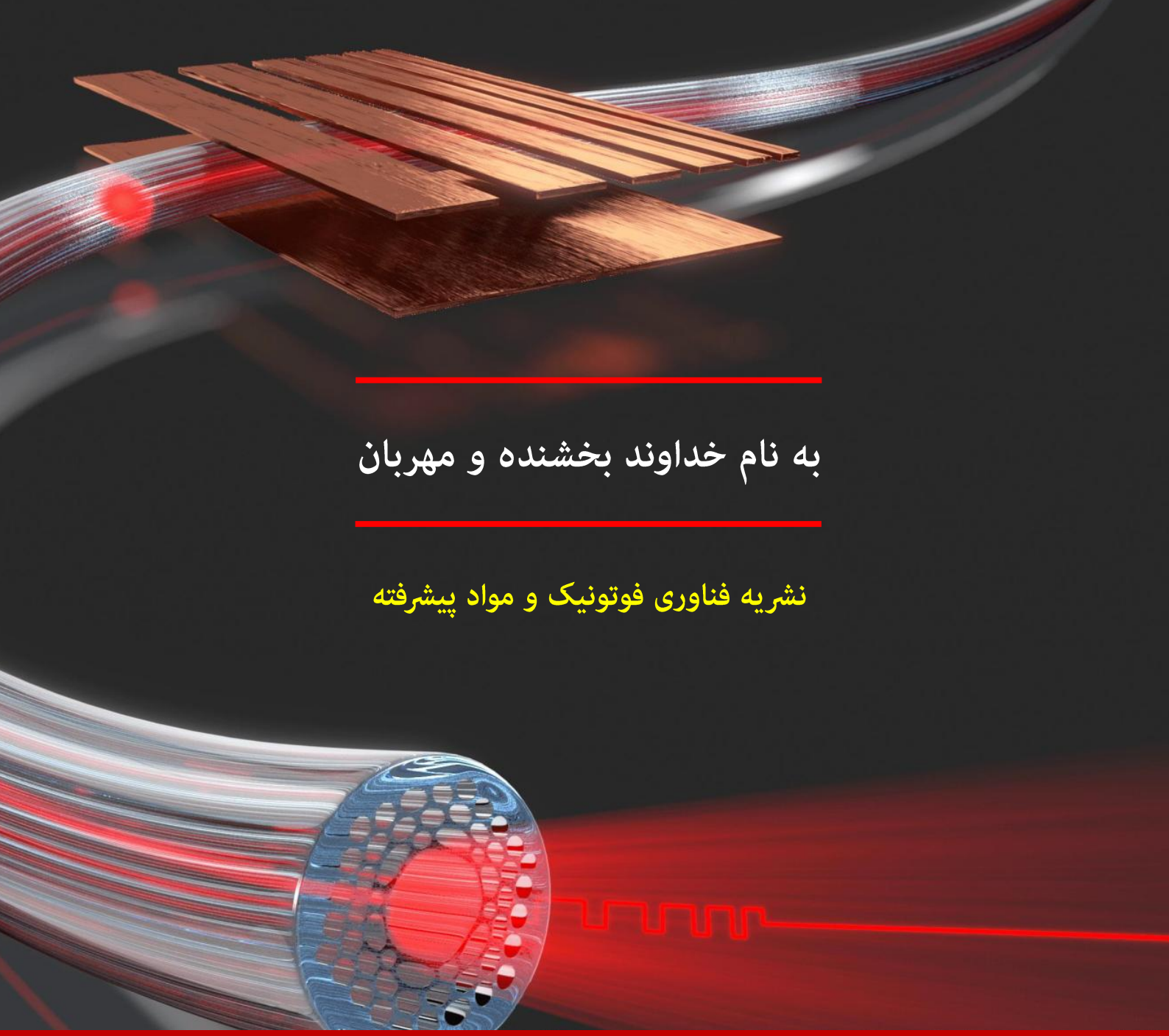
ساخت مشعل پلاسمایی برای امحاء پسماند بیمارستانی

زباله‌های پلاستیکی معدن طلا یا میدان مین؟

توسعه فناوری پلاسما برای امحاء پسماند با حمایت ستاد

لیزرهای کوانتومی برای بازیافت انرژی

saga.co.uk



به نام خداوند بخشنده و مهربان

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

ریاست جمهوری
معاونت علمی و فناوری
ستاد توسعه فناوری
فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

پژوهشکده علوم کاربردی
دانشگاه خوارزمی

نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته

صاحب امتیاز: ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت

مدیر مسئول و سردبیر: محمدحسین مجلس‌آرا

جانشین سردبیر: بابک عفافی

ویراستار و ناظر علمی: سیده ثریا موسوی

تحریریه: المیرا بلندهمت، مریم بهروان، علی کاویانفر، علی کاظم‌پور، علیرضا دادخواه‌تهرانی

سیده ثریا موسوی، بابک عفافی

گروه مشاورین: سیامک میرزازاده، مریم بهرامی کهیش‌نژاد، زهرا عربگل
سید حسین نکومنش‌فرد، سید محمد قریشی
پشتیبانی: کیومرث مهدی‌نیا گتابی

تارنما: pam.isti.ir ; asrc.khu.ac.ir
کانال نشریه: t.me/PAM_Tech
صفحه اینستاگرام: https://instagram.com/pam_tech_
صفحه کانال آپارات: https://www.aparat.com/PAM_Tech
پست الکترونیک سردبیر: deputy@pam.isti.ir
پست الکترونیک جانشین سردبیر: babak.efafi@gmail.com

تلفن: ۰۲۱۲۲۱۸۳۱۱۳
نشانی: تهران، خیابان زعفرانیه، خیابان شهید سرلشکر فلاحی، کوچه شیرکوه، پلاک ۱۱،
ساختمان شماره دو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

## سخن سردبیر

با گسترش شهرنشینی و تغییر سبک زندگی در دوران توسعه صنعتی، الگوی مصرف جوامع بشری تغییر یافت و در نتیجه این تغییر، سالانه حجم پسماند ناشی از مواد مصرفی افزایش یافت. امروزه پسماند صرفا زباله‌ای بلااستفاده نیست و تبدیل به طلای کثیفی شده است که به کمک صنعت بازیافت، ارزش افزوده بالایی پیدا کرده است. در کشورهای صنعتی همچون آلمان بالغ بر ٦٧ درصد پسماند به واسطه بازیافت، به زنجیره مصرف برمی‌گردد و ضمن اشتغال‌زایی بالا، درآمد کلانی را برای این کشورها به ارمغان می‌آورد. مطابق جدیدترین برآوردهای بانک جهانی تا سال گذشته ارزش صنایع بازیافت از مرحله جمع‌آوری پسماند تا تولید محصول، بالغ بر ٤٥٠ میلیارد دلار بوده است که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ سهم بازار جهانی از صنایع بازیافت بالغ بر ٥٣٠ میلیارد دلار باشد. این در حالی است که کشور ما برخلاف کشورهای صنعتی تنها ٢٦ درصد از پسماند موجود را بازیافت می‌کند و سهم بسیار ناچیزی از این ثروت هنگفت دارد. صنایع بازیافت فارغ از سودآوری کلان و تاثیر مستقیم بر اقتصاد، اهمیت ویژه‌ای در حوزه سلامت و حفاظت محیط زیست نیز دارند. سالانه بالغ بر ۲,٥ میلیون تن پسماند پلاستیکی وارد دریاها و منابع آبی می‌شود که زیستگاه جانداران دریایی را با مخاطرات جدی روبه‌رو می‌کند. با شیوع انواع آلودگی‌ها و عوامل سرطان‌زا در منابع آبی، حیات روی کره زمین به نابودی کشیده خواهد شد. البته صنایع بازیافت مزایای دیگری نیز دارد و یک فرصت طلایی برای تولیدکنندگان مواد خام محسوب می‌شود تا با تحقیق و توسعه در حوزه مواد جدید، محصولات جدید و زیست‌سازگار را تولید نمایند که به دلیل استفاده از مواد اولیه بی‌کاربرد می‌تواند ارزش افزوده بالایی را برای تولیدکنندگان به وجود آورد. البته بازیافت صرفا مختص به تولید یک محصول فیزیکی نیست و امروزه در کشورهای در حال توسعه امحاء زباله منجر به تولید سوخت نیز می‌شود. بنابراین لازم است در کنار فرهنگ‌سازی لازم جهت استفاده هرچه بیشتر از این ثروت بی‌انتها، برنامه‌ریزی لازم برای مطالعات گسترده و ساخت فناوری‌های مورد نیاز این حوزه انجام گیرد تا ضمن ارتقاء کیفیت مواد حاصل از بازیافت و به تبع آن کیفیت محصولات بازیافتی، با کمترین هزینه ممکن بتوان به بهره‌وری حداکثری دست یافت. لذا نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته متناظر با سیاست‌های ستاد توسعه فناوری‌های فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت، بر خود لازم می‌داند گامی هرچند کوچک در راستای معرفی و توسعه فناوری‌های مرتبط با صنایع بازیافت بردارد و ضمن معرفی جدیدترین فناوری‌ها و محصولات فوتونیکی این حوزه، مواد پیشرفته و هوشمند مورد استفاده برای امحا و خالص‌سازی پسماند، دستگاه‌های فوتونیکی تفکیک پسماند، انواع فناوری‌های زباله‌سوزی و سایر زیرساخت‌ها و امکانات موجود در داخل کشور را با هدف ارتقا کیفیت محصولات این حوزه مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. امید است با تلاش هرچه بیشتر صنعت‌گران و افزایش دانش فنی تولیدکنندگان از پیشرفت‌های اخیر این حوزه، محصولاتی با کیفیت مطابق با آخرین استانداردهای جهانی، شایسته اعتماد ستودنی هم‌میهنان عزیزمان تولید شود که به این ترتیب بتوانیم همگام با کشورهای پیشرفته دنیا در حوزه بازیافت حرکت کنیم و سهم قابل توجهی از بازار گسترده جهانی این محصولات را به دست آوریم.

# فهرست مطالب

## اخبار فناوری


اخبار فناوری داخلی----------۱۰
ساخت مشعل پلاسمایی جهت امحای زباله‌های بیمارستانی در ایران
ساخت دستگاه بازیافت لامپ‌های فلورسنت حاوی جیوه توسط یک شرکت دانش بنیان
تبدیل فیلتر سیگارهای بازیافتی به کربن فعال جهت حذف فلزات سنگین از آب
اخبار فناوری خارجی----------۱۶
نسل جدیدی از بتن‌ها با تکه‌های تایر بازیافتی
دستگاه تشخیص انواع پلاستیک با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز
اخبار علمی----------۲۲
فناوری‌های بازیافت لیتیوم از ضایعات باتری‌های یون لیتیوم
بازیافت ماژول‌های فتوولتائیک پروسکایت
تازه‌ها----------۲۴
ابداع کاغذ الکترونیکی با نمایش رنگ‌های درخشان
الکترودهای اصلاح شده OLED می‌توانند مصرف برق را کاهش دهند!


## دورنما


زباله‌های پلاستیکی معدن طلا یا میدان مین؟----------۳۰
تجزیه حرارتی پلاسمایی
تجزیه حرارتی میکروموج


## آموزش کاربردی


فناوری پلاسما در پسماندهای تجهیزات الکترونیکی ----------۴۰
پسماند الکترونیکی تهدید یا سرمایه؟
تبدیل برد مدار الکترونیکی به گنج با استفاده از پلاسما!


## گفتگو


مصاحبه اختصاصی با دکتر بابک شکری، استاد دانشگاه بهشتی----------۵۴
توسعه فناوری امحاء پسماندهای صنعتی به روش پلاسما با حمایت ستاد فوتونیک


## از علم تا ثروت


مدیریت پسماند زیر سلطه دانش و فناوری!----------۵۸
معرفی شرکت دانش‌بنیان ناب‌اندیش پسماند
تولید سوخت از انواع پسماند


## نوآورانه


استفاده از لیزر در تفکیک پسماندها ----------۶۸
روش‌های مختلف تفکیک پسماند
طیف‌سنجی مبتنی بر لیزر
تبدیل پلاستیک به سوخت
بازیافت پسماند پلاستیکی با استفاده از رآکتور حرارتی


## دروازه‌های علم


بازیافت باتری‌های لیتیومی----------۸۰
اختراعی پیشگامانه در بازیافت باتری‌های لیتیومی
لیزرهای کوانتومی برای بازیافت انرژی!----------۸۴
ساخت نوعی از لیزرهای کوانتومی که انرژی تلف شده را بازیافت می‌کنند!

# اخبار فناوری

## اخبار داخلی

ساخت مشعل پلاسمایی جهت امحاء زباله‌های بیمارستانی در ایران

به کارگیری فناوری پلاسما گرم در حوزه امحاء پسماند

ساخت دستگاه بازیافت لامپ‌های فلورسنت حاوی جیوه توسط یک شرکت دانش بنیان

به کارگیری روش جدیدی در تولید نانوکریستال سلولز از کاغذ باطله

تبدیل فیلترسیگارهای بازیافتی به کربن فعال جهت حذف فلزات سنگین از آب

## اخبار خارجی

نسل جدیدی از بتن‌ها با تکه‌های تایر بازیافتی

طرح جدید ناسا برای بازیافت

تولید اولین ترانزیستور قابل بازیافت

تولید باتری‌های بازیافتی آلومینیوم - یون گرافن

فناوری حسگر مبتنی بر لیزر برای بازیافت فلزات به جای استخراج منابع معدنی

دستگاه تشخیص انواع پلاستیک با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز

## اخبار علمی

فناوری‌های بازیافت لیتیوم از ضایعات باتری‌های یون

بازیافت ماژول های فتوولتائیک پروسکایت

## تازه ها

مواد فوم هوشمند با توانایی ترمیم در ربات‌ها

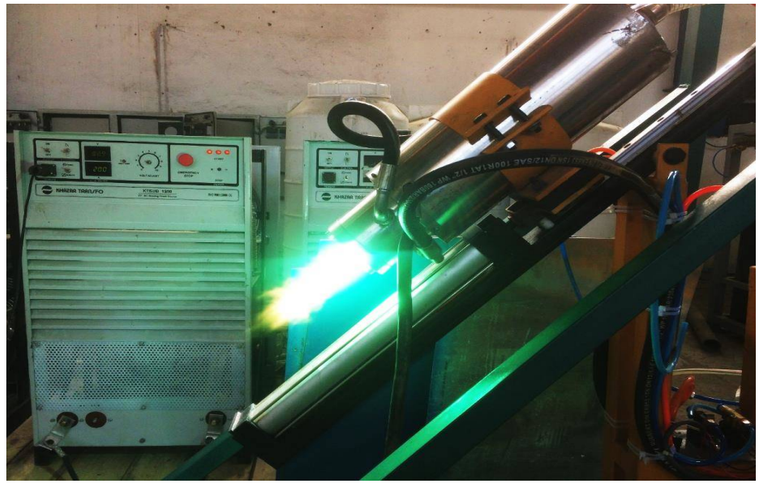
سیمان رسانا با نانو کربن سیاه

ابداع کاغذ الکترونیکی با نمایش رنگ‌های درخشان

الکترودهای اصلاح شده OLED می‌توانند مصرف برق را کاهش دهند!

اخبار داخلی

به قلم علیرضا دادخواه تهرانی
Alireza.Dadkhah.T@gmail.com



## ساخت مشعل پلاسمایی جهت امحای زباله‌های بیمارستانی در ایران

در حال حاضر رویکرد صاحبنظران حوزه پسماند در جهتی است که از دفن هر گونه پسماندی پرهیز شود. گونه‌های متنوعی از فناوری‌ها با هدف جلوگیری از آلوده کردن محیط زیست توسعه پیدا کرده‌اند. در این میان پسماندهای خطرناک بیمارستانی دارای جایگاه ویژه‌ای هستند و تمامی کشورهای پیشرفته و در حال توسعه تنها راه قطعی جلوگیری از انتشار این آلاینده‌ها در طبیعت را سوزاندن این پسماندها در دستگاه‌های پیشرفته‌ای مانند تجهیزات پلاسما می‌دانند.

اگرچه سوزاندن پسماند شهری آخرین راه حل مدیریت پسماندهای شهری است و بازیافت و تولید کود در اولویتند، اما برای پسماندهای خطرناک تنها راه جلوگیری از آلودگی، روش‌های پردازش حرارتی یا تجزیه پسماند در دمای بالا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است.

استفاده از حرارت فرآیند نهایی برای دفع پسماندهای خطرناکی است که نمی‌توان آنها را مورد بازیافت یا استفاده مجدد قرار داد و یا در محل مناسبی دفن کرد.

از جمله فناوری‌های موجود در از بین بردن و امحای پسماند می‌توان به دو روش سوزاندن احتراقی و امحای پلاسما گازی‌سازی اشاره کرد. در روش سنتی و رایج سوزاندن، پسماندها با دمای حداکثر ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده می‌شوند که در صورت عدم احتراق کامل، می‌تواند موجب تولید گازهای ثانویه خطرناک شود. فناوری پلاسما با تولید دمای بسیار بالا (۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و بیشتر) موجب تجزیه پسماند به عناصر سازنده آن شده و حجم کمی گاز تولید می‌کند.

برخلاف سوزاندن، پلاسما برای ایجاد گرما نیازی به مخلوطی از سوخت و هوا ندارد و بنابراین حجم گازهای خروجی بسیار کم است.

برای ایجاد پلاسما در راکتور مخصوص امحاسازی از مشعل‌های پلاسمایی استفاده می‌شود که فناوری ساخت این مشعل‌ها بسیار پیشرفته بوده و در اختیار چند شرکت انگشت‌شمار در کشورهای کانادا، فرانسه، آمریکا و روسیه است. ایران تنها کشور منطقه است که تاکنون به فناوری ساخت راکتور پلاسمای امحای زباله بیمارستانی دست یافته است. بدین منظور، شرکت دانش‌بنیان رایکا گستر پلاسما مستقر در بابلسر در زمینه تحقیق، طراحی و ساخت مشعل پلاسمایی جهت استفاده در سامانه‌های تولید انرژی از زباله دست یافته تا با استفاده از پیشرفته‌ترین و جدیدترین روش تخصصی در جهان، بی‌خطرسازی زباله‌های بیمارستانی را در کشور نهادینه کند. این دستگاه از نظر فناوری بسیار پیشرفته است و آسیبی به محیط زیست وارد نمی‌کند.

مشعل پلاسمایی ساخته شده توسط شرکت رایکا گستر یکی از مولدهای پلاسمای گرم در فشار اتمسفر است که می‌تواند گازهای موجود را به پلاسمایی با دمایی بین ۳ تا ۱۵ هزار درجه سانتی‌گراد تبدیل کند. این دما بسیار بالاست و هیچ فناوری دیگری قادر به تولید این دما در فشار اتمسفر نیست.

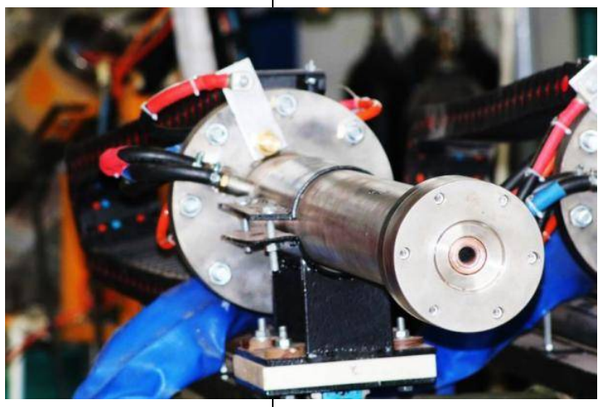
دمای بالای مشعل پلاسمایی باعث می‌شود هر ماده‌ای که در برابر شعله این دستگاه قرار بگیرد، تجزیه یا بخار شود. همین امر، بنیان کار راکتورهای گازی‌سازی پلاسمایی است که می‌تواند انواع پسماند خطرناک را به طور کامل امحا کند. این ویژگی باعث شده تا این مشعل بتواند در بین صنایع خاص از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده و مورد توجه قرار گیرد.

روند کار امحاء زباله‌ها به این صورت است که با ورود زباله‌ها به داخل راکتور پلاسما، بر اثر دمای فوق‌العاده بالای این مشعل تمامی آلودگی‌ها، باکتری و میکروب‌ها نابود شده و در ادامه، بخش اعظمی از زباله‌ها بخار شود.

درنهایت هیچ ماده‌ای نمی‌تواند بیش از چند ثانیه در مقابل شعله این مشعل مقاومت کند و به سرعت ذوب شده و به مواد بی‌خطری تبدیل می‌شود.

به طور مثال، اگر زباله‌های بیمارستانی را در برابر این سامانه بگذارید، ۹۸ درصد زباله‌ها به گازهای بی‌خطر تبدیل می‌شوند که بیشترین ترکیب موجود در آن بخار آب و دی‌اکسیدکربن است زیرا پایه همه اجزای آلی پسماند، هیدروژن، اکسیژن و کربن است.

دو درصد باقیمانده موادی مثل سرسوزن و شیشه دارو هستند که به صورت مذاب از سامانه بیرون می‌آیند و کاملاً بی‌خطر هستند.



رایکا گستر پلاسما
www.rgplasma.ir
(تمامی تصاویر متعلق به سایت شرکت رایکا گستر پلاسما است)

## به کارگیری فناوری پلاسمای گرم در حوزه امحای پسماند

شرکت آریا فن‌ورزان و شرکت مهندسی پلاسما فناور جم با همکاری علمی برخی از اساتید برجسته پژوهشکده لیزر و پلاسمای دانشگاه شهید بهشتی طی یک پروژه مشترک با به کارگیری فناوری پلاسما در امحاء انواع مختلف پسماند، اقدام به بومی‌سازی و تولید دستگاه زباله‌سوز پلاسمایی نموده است که در نهایت این دستگاه با نام تجاری DronPlas100 آماده بهره‌برداری است. ضمن ان که با توجه به تحریم‌های موجود کلیه قطعات این دستگاه توسط مهندسان و متخصصان این گروه در داخل کشور تولید می‌شود.

دستگاه DronPlas100 یک سامانه بسیار کارآمد، ایمن و دوست‌دار محیط زیست است که برای حذف انواع آلاینده‌های آلی پایدار (POPS)، بی‌فنیل‌های پلی کلرین (PCBS)، لجن‌های نفتی (OILY SLUDGE)، پسماندهای دارویی، انواع پسماندهای پتروشیمی و پالایشگاهی و سایر پسماندهای مایع و گازی بسیار موثر است. قلب این سامانه یک مشعل پلاسمای جریان مستقیم (DC) است که دمای آن به بیش از ۱۰۰۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و از گازهایی مانند نیتروژن، هوا و بخار آب برای ایجاد پلاسما در رژیم قوس الکتریکی استفاده می‌کند. در فرآیند گازی‌سازی دسترسی به اکسیژن به گونه‌ای محدود می‌شود که فرآیند احتراق انجام نگیرد و قوس الکتریکی پلاسمایی سبب از بین رفتن پسماندها شود.

بر اساس قوانین فیزیک، الکترون‌ها به دلیل جرم بسیار کم در برخورد با یکدیگر نمی‌توانند انرژی قابل توجهی را انتقال دهند، بنابراین دمای آنها قابل احساس نیست. حال اگر بستری فراهم شود که برخورد الکترون‌ها با هم بیشتر شود، به تبع آن تبادل انرژی افزایش می‌یابد. در یک میدان الکتریکی، الکترون‌ها می‌توانند به راحتی انرژی بالای خود را به یون‌ها منتقل کنند. یون‌ها از نظر جرمی هم اندازه با اتم‌های گازی هستند در نتیجه می‌توانند دمای گازها را بالا ببرند. در چنین شرایطی پلاسمایی گرم ایجاد می‌شود که دمای بالایی دارد.

دستگاه DronPlas100 با فناوری پلاسمای گرم دارای توان مصرفی ۵۵ تا ۷۰ کیلو وات، می‌تواند به راحتی شعله‌ای با دمای بالا را به وجود آورد که در آن اکسیژن وجود ندارد، هیچ آسیبی به اجزای دستگاه نمی‌رساند و به راحتی هر گونه پسماندی را از بین می‌برد.

AFV
Aria Fan Varzan
PLASMATECHNOLOGY
A part of FANDA group
www.ariafan.com
(تمامی تصاویر متعلق به سایت شرکت آریا فن ورزان است)
شرکت مهندسی پلاسما فناور جم

## ساخت دستگاه بازیافت لامپ‌های فلورسنت حاوی جیوه توسط شرکت دانش بنیان

شرکت نوآفرینان‌سبز فروردین مستقر در پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس با طراحی و ساخت دستگاه امحاء و بازیافت لامپ‌های حاوی جیوه موفق به بازیافت لامپ‌های فلورسنت و مهتابی شد.

دستگاه ساخته شده توسط این شرکت قابل استفاده برای طیف گسترده‌ای از لامپ‌های دارای بخار جیوه و بخار سدیم پر فشار (فلوئورسنت، کم مصرف، گازی) است.

لامپ‌های کم‌مصرف و فلورسنت‌ها، حاوی مقادیر اندکی جیوه هستند. البته این مقدار کم در حدی است که حجم قابل توجهی از آب را آلوده می‌کند و این آلودگی صدمات جبران‌ناپذیری بر بدن و مغز انسان وارد می‌کند. از این رو، بازیافت این لامپ‌ها امری ضروری است.

پیش از این لامپ‌های فلورسنت به دلیل آغشته بودن به جیوه قابل بازیافت نبودند و براثر دفع غیراصولی انواع لامپ‌های کم‌مصرف و فلورسنت، پسماندهای خطرناک حاوی جیوه با پسماندهای عادی شهری مخلوط می‌شد و تولید کمپوست از زباله‌های شهری را مشکل می‌ساخت. هم اکنون در فرآیند بازیافت، ابتدا لامپ‌های حاوی جیوه از واحدهای صنعتی جمع‌آوری و به‌وسیله دستگاه «امحاء لامپ» در محیطی کاملاً بسته، تحت خردایش قرار می‌گیرند. استفاده از فیلترهای هپا و کربن‌های نانو پایه با طراحی ۷ لایه جاذب آلاینده، از ویژگی‌های انحصاری این تجهیزات برای کنترل و جلوگیری از نشت جیوه به محیط کار و طبیعت است که از جمله روش‌های تولید محصولات پاک محسوب می‌شود. دستگاه امحاء لامپ، مشکل شکسته شدن که در زمان انبارکردن لامپ‌های مصرف شده رخ می‌دهد را به طور کامل از بین می‌برد. مخزن دستگاه که حاوی مواد زائد باقی مانده از فرآیند امحاء است، می‌تواند تکه‌های خرد شده ۱۰۰۰ لامپ را در خود جای دهد.

به گفته مدیرعامل شرکت نوآفرینان‌سبز فروردین، سالانه حدود ۱۰۰ میلیون لامپ در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد و طی ۱۰ سال گذشته حدود ۷ تن جیوه از طریق دفع غیراصولی لامپ‌های فرسوده در کشور وارد محیط‌زیست شده است. کنوانسیون ممنوعیت استفاده از جیوه، در سال ۲۰۱۳ میلادی با حضور نمایندگانی از ۱۳۹ کشور جهان در شهر کوماموتو ژاپن تصویب شد که هم اکنون به دلیل اهمیت مدیریت جیوه در کشور، ساخت و تولید تجهیزات تخصصی لازم با ظرفیت مناسب برای کنترل و کاهش آلودگی ناشی از آن به‌وسیله شرکت‌های دانش‌بنیان، مراحل اجرایی و عملیاتی خود را طی کرده است. اجرای برنامه‌های کاهش و کنترل جیوه مطابق با «کنوانسیون میناماتا» کشورمان را در فهرست کشورهای دوست‌دار محیط‌زیست قرار می‌دهد.

گروه فرروردین
www.farvardingp.ir

## به کارگیری روش جدیدی در تولید نانوکریستال سلولز از کاغذ باطله

نانوکریستال سلولز (CNC) گروه جدیدی از مواد سلولزی است که طی دو دهه اخیر در حوزه‌های تحقیقاتی گوناگون کاربردهای وسیعی یافته است. این نانو ذرات اغلب از طریق هیدرولیز اسیدی ترکیبات سلولزی از قبیل چوب، پنبه، نشاسته و... تهیه می‌شوند.

خواص بی‌نظیر نانوکریستال سلولز به عنوان یک ماده دوست‌دار محیط زیست کاربرد آن را در علوم و فنون مختلف گسترش داده است. نانوکریستال سلولز با برخورداری از مزایایی همچون ویژگی‌های مکانیکی عالی، خصوصیات نوری بی‌نظیر، رفتار رئولوژیک ویژه، سازگاری زیستی مناسب و واکنش‌پذیری بالا، امروزه، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. برای پاسخ‌گویی به تقاضای روز افزون برای نانوسلولز، تولید آن در مقیاس صنعتی امری اجتناب‌ناپذیر است. برای تولید صنعتی چنین ترکیبی، یکی از عوامل مهم، دستیابی به منبع ماده اولیه ارزان و قابل دسترس است که در عین حال ویژگی‌های مورد نیاز برای سنتز نانوکریستال سلولز را داشته باشد. یکی از بهترین موادی که می‌توان برای تولید نانوکریستال سلولز مورد استفاده قرار داد، کاغذ باطله است که علاوه بر فراوانی، درصد بالایی از سلولز رنگبری شده را در خود جای داده است. در تحقیقی که توسط بیتا معزی‌پور استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیل صورت گرفته است، تلاش شده که شرایط مناسب برای سنتز نانوکریستال سلولز از کاغذ باطله مهیا شود. به این منظور از روش هیدرولیز اسیدی جهت سنتز نانوکریستال سلولز از کاغذ باطله بهره‌گیری شده است.

میانگین ابعاد نانوکریستال سلولز سنتز شده از کاغذ باطله، ۱۲۵/۷ نانومتر بود که مشابه با دامنه ابعاد نانوکریستال سلولز سنتز شده از چوب است. بدین ترتیب به نظر می‌رسد کاغذ باطله منبع مناسبی برای تولید نانوکریستال سلولز باشد.

مشروح این پژوهش در اولین کنفرانس ملی مدیریت سبز پسماند خرداد ۱۴۰۰ ارائه شده است.



## تبدیل فیلتر سیگارهای بازیافتی به کربن فعال جهت حذف فلزات سنگین از آب

امروزه به علت مصرف انبوه سیگار و وجود فیلترهای سیگار به عنوان پسماندی آلوده و غیرقابل تخریب در محیط زیست، جمع‌آوری و تبدیل آنها به یک ماده قابل مصرف امری ضروری است.

معمولا ته سیگارها در محیط زیست رها می‌شوند و امروزه این حجم انبوه از پسماند سیگار، باعث آلودگی شهرها و جوامع صنعتی شده است.

فیلترهای سیگار یک پسماند غیرقابل تخریب و بسیار سمی است که حاوی مواد شیمیایی خطرناکی مانند آرسنیک، نیکوتین و سرب است و می‌تواند براحتی به نمک و آب شیرین نفوذ کند. الیاف ته سیگار اغلب جزء پسماندهای سلولزی طبقه‌بندی می‌شوند.

تاکنون تلاش‌های بسیاری برای جمع‌آوری این زباله‌ها از محیط زیست صورت گرفته است، اما نکته مهم این است که چگونه می‌توان این پسماندهای سلولزی را تبدیل به ماده‌ای نمود که قابلیت استفاده مجدد را داشته باشد.

از طرفی، وجود هر نوع ماده آلاینده بیش از حد استانداردهای تعیین‌شده در آب آشامیدنی سالم، حیات انسان را به خطر می‌اندازد. یکی از این آلاینده‌ها فلزات سنگین هستند که سمیت و پایداری زیادی در محیط دارند و در صورت ورود به سلول‌های زنده بدن، انباشته می‌گردند و خطرآفرین هستند. به همین دلیل یافتن روش‌های متنوع و ارزان برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی بسیار حائز اهمیت است. تحقیقات زیادی برای حل این مشکل به کمک جاذب‌های ارزان‌قیمت صورت گرفته است. استفاده از کربن فعال، یکی از روش‌های متداول برای حذف فلزات سنگین از آب است و جاذب‌های طبیعی به دلیل هزینه تولید پایین و کارایی بهتر، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در تحقیقی که توسط پژوهشگران دانشگاه‌های علوم تحقیقات، تهران جنوب و یزد در مقیاس آزمایشگاهی صورت گرفته راهکار جدیدی برای حل این معضل پیشنهاد شده است.

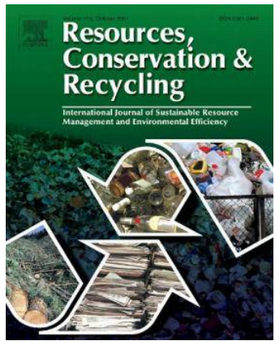
در این پژوهش، ابتدا فیلترهای سیگار مصرف‌شده جمع‌آوری و کاغذهای آن جدا شد. سپس با استفاده از محلول سدیم هیدروکسید برای فعال‌سازی آماده شد. در مرحله بعد فرآیند کربونیزاسیون با انتقال پسماندها به کوره انجام شد و در نهایت قابلیت آن در جذب کروم از محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق الیاف استات سلولز موجود در فیلتر سیگارهای مصرف شده به عنوان ماده اولیه سلولزی در تهیه کربن فعال به عنوان جاذب جدید مورد استفاده قرار گرفت.

یکی از عوامل موثر در توانایی جذب فلزات سنگین توسط کربن فعال، وجود تخلخل در آن است. بررسی‌های این مطالعه بر روی کربن فعال ساخته شده از فیلترهای سیگار، نشان داد که استفاده از غلظت‌های بالاتر سدیم هیدروکسید، حفرات و تخلل کربن فعال را افزایش می‌دهد. بنابراین میزان جذب نمونه نیز افزایش می‌یابد که به گفته پژوهشگران این مطالعه، می‌توان از فیلتر سیگارهای مصرف‌شده جهت تهیه کربن فعال برای زدودن فلز سنگین کروم از محلول‌های آبی استفاده کرد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که جاذب‌های تهیه شده در مقایسه با سایر کربن‌های فعال، دارای سطح مخصوص بالاتر و به تبع آن دارای ظرفیت جذب بیشتری هستند. این رویکرد راهکار جالبی برای بازیافت ته سیگارها و تبدیل آنها به یک ماده ارزشمند است.

یافته‌های این مطالعه با عنوان «حذف فلز سنگین کروم از محیط‌های آبی با استفاده از کربن فعال تولید شده از فیلترهای سیگار مصرف شده» در فصل‌نامه محیط زیست طبیعی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، منتشر شده است.

## اخبار خارجی




این پژوهشگران گزارش کار خود را در نشریه Resources, Conservation and Recycling منتشر کرداند.

DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105353

### نسل جدیدی از بتن‌ها با تکه‌های تایر بازیافتی

بتن بازیافتی، بتنی است که در واقع از تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌های قدیمی، اصلاح و نوسازی آن به دست می‌آید. این فرآیند به دلیل بهره‌وری و کارایی بالا از محبوبیت زیادی برخوردار است. بعلاوه این روش مزایای جالب توجه دیگری هم دارد که آن را به گزینه‌ای جذاب برای ساخت و سازهای سازگار با محیط‌زیست بدل نموده است.

بتن دومین ماده پراستفاده روی زمین بوده و مخلوطی از سیمان، آب و سنگ‌دانه است که در ساخت‌وسازها بکار می‌رود. علاوه بر این صنعت بتن، دومین تولیدکننده بزرگ $CO_2$ است و در انتشار بیش از ۵% از سهم جهانی گاز $CO_2$نقش بسزایی دارد. میزان گاز $CO_2$ تولید و منتشرشده ناشی از تولید بتن به‌مراتب بیشتر از میزان تولیدشده توسط تمامی لجستیک‌ها است.

به تازگی محققان مؤسسه سلطنتی فناوری ملبورن (RMIT) روش جدیدی را برای ریخته‌گری محصولات بتونی پیش ساخته شده با لاستیک تایر و ضایعات ساختمانی پیشنهاد کرده‌اند که بتن حاصل تا ۳۵٪ از بتن سنتی قوی‌تراست. پروفسور یوفی وو از دانشکده مهندسی، هدایت. طرح توسعه فناوری پردازش بتن لاستیکی (RCP-Tech) را بر عهده دارد و آن را یک راه حل کارآمد و ارزان قیمت برای تولید بتن می‌داند.

به گفت وی: "این فناوری می‌تواند برای بهبود قابل توجه مقاومت، سختی و دوام هر نوع ماده بتونی مانند بتن لاستیکی، بتن سنگی بازیافتی و حتی بتن معمولی مورد استفاده قرار گیرد". این روش شامل ترکیب مخلوطی از سنگدانه‌های ریز با ضایعات لاستیک، سیمان و آب است که با استفاده از فشار در قالبی سفارشی به اندازه حداقل حجم خود فشرده می‌شود. لاستیک حاصل از تایرهای زائد به دلیل ماهیت شیمیایی، قابلیت اشتعال و عدم تجزیه‌پذیری، باعث بروز مشکلات قابل توجهی در بهداشت و محیط زیست می‌شود.

دکتر سید کاظمی، محقق و خالق RCP-Tech، می‌گوید: "تیم در حال حاضر به دنبال همکاری با صنعت بتن پیش ساخته برای تولید و آزمایش نمونه‌های اولیه محصولاتی مانند بلوک‌ها و موانع کنار جاده، پانل‌های دیواری، تیرها و صفحات بتنی است. ضمن آنکه این فناوری می‌تواند به راحتی در صنعت بتن پیش ساخته اعمال شود و با تغییر بسیار اندکی تنها با اضافه کردن فقط یك مرحله فرآیندهای تولید مشابه فرآیندهای کنونی انجام می‌شود".





### طرح جدید ناسا برای بازیافت آلیاژهای فلزی در فضا

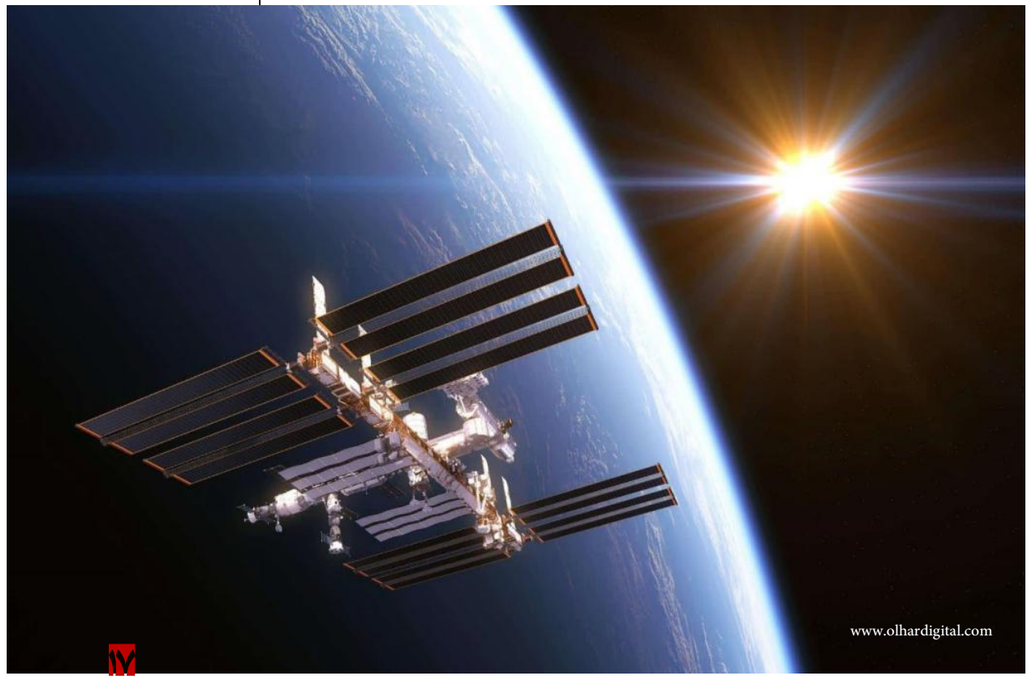
تصور کنید در یک ایستگاه فضایی به دور از زمین برای مدت طولانی زندگی می‌کنید و دسترسی به منابع و مواد اولیه برایتان مقدور نیست. در چنین شرایطی تنها می‌توان به بازیافت مواد مصرفی درون ایستگاه اندیشید. بازیافت مواد برای کاهش محدودیت‌های لجستیکی و افزایش قابلیت‌های ماموریت‌های فضایی ضروری است. تاکنون محققان توانسته‌اند پلیمرها را در گرانش صفر بازیافت کنند، اما هیچ رویکرد عملی برای بازیافت فلزات در فضای بدون جاذبه ارائه نشده است. روش‌های مرسوم در بازیافت فلزات در روی زمین برای محیط‌های داخل کابین فضایی قابل استفاده نیست. در واقع، دو مشکل اساسی پیش رو یعنی عدم وجود جاذبه و محدودیت اکسیژن در فضای بسته کابین، بهره‌گیری از این روش‌ها را ناممکن می‌کند. به تازگی محققان ناسا طرحی را پیشنهاد کردند که از فناوری پلاسما مایکروویو برای طراحی و توسعه فرآیند بازیافت فلزات در محیط با گرانش صفر بهره می‌گیرد.

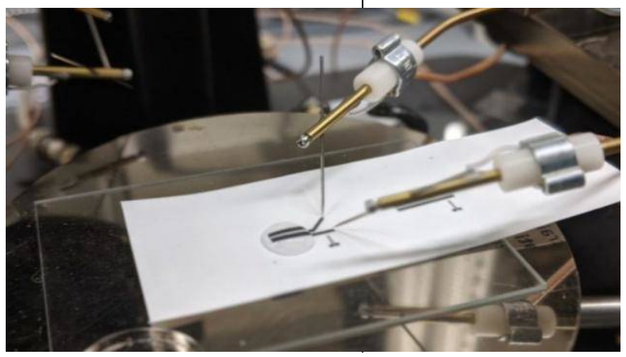
در سامانه‌های پلاسمایی به دلیل عدم استفاده از اکسیژن و دسترسی به دمای بالا، بازیافت فلزات به راحتی انجام می‌گیرد.

فرآیند بازیافت پیشنهادی می‌تواند فلزات و آلیاژهای درجه یک به کار رفته در صنایع هوا-فضا مانند آلومینیوم، فولاد ضد زنگ، تیتانیوم و غیره را با ذوب در هر دو محیط IVA و EVA جدا کند. پلاسما، به عنوان یک جاذب مایکروویو کارآمد عمل می‌کند و می‌تواند گرمایش سریع هدف و همچنین امکان افزایش درجه حرارت را فراهم کند. این سامانه پیشنهادی بازیافت فلزات می‌تواند در برنامه‌های احتمالی ناسا در ایستگاه فضایی ISS، اردوگاه مستقر بر سطح کره ماه و مریخ، سفینه‌های اکتشاف و دیگر ماموریت‌های فضایی مورد استفاده قرار گیرد و تأمین‌کننده مواد اولیه پروژه‌های تولیدی در فضا باشد.

همچنین این فناوری امکان استخراج فلزات از مواد سطح دیگر سیارات و سیارک‌ها را در فضا میسر می‌سازد.

برگرفته از:
www.sbir.nasa.gov





## تولید اولین ترانزیستور قابل بازیافت جهان توسط چاپگر

محققان دانشگاه دوک برای اولین بار در جهان با استفاده از جوهرهای مبتنی بر کربن ترانزیستوری چاپی را تولید کرده‌اند که کاملاً قابل بازیافت است. این نسل جدید از قطعات الکترونیکی قابل بازیافت، راه‌کاری نوینی برای مقابله با پسماندهای الکترونیکی است.

آرون فرانکلین، استاد مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه دوک گفت: "اجزای رایانه‌ای مبتنی بر سیلیکان هرگز از بین نمی‌روند و ما انتظار نداریم که وسایل الکترونیکی قابل بازیافت ما به راحتی جایگزین فناوری و دستگاه‌هایی شوند که پیش‌تر به طور گسترده استفاده شده‌اند".

با توجه به این که مردم در سراسر جهان هر روزه وسایل الکترونیکی بیشتری را به زندگی خود وارد می کنند، شمار وسایل دور ریخته شده که از کار افتاده‌اند یا در رقابت با مدل‌های جدید از چرخه خارج شده‌اند، رو به رشد است. طبق برآورد سازمان ملل، کمتر از یک چهارم میلیون پوند قطعه الکترونیکی هر سال بازیافت می‌شود و این وضع هر روز بدتر و بدتر می‌شود زیرا جهان به دستگاه‌های 5G و اینترنت اشیا روی آورده است. یکی از مشکلات قطعات و وسایل الکترونیکی غیرقابل بازیافت بودن آنهاست و حتی جدا کردن قطعات قابل بازیافت این محصولات نیز ساده نیست.

نتایج این تحقیق در مجله Nature Electronic منتشر شده است.

پژوهشگران برای حل این مشکل با استفاده از یک چاپگر، اولین ترانزیستور قابل بازیافت کامل را تولید کرده‌اند که با استفاده از مقداری آب و امواج اولتراسونیک به اجزای اولیه مورد استفاده برای تولید تجزیه می‌شود. برای تولید این ترانزیستور از قطعات سلولزی در ابعاد نانو استفاده شده که با استفاده از تفاله چوب و گیاهان تولید شده و به طور کامل با محیط زیست سازگار است. محققان برای استخراج جوهر قابل چاپ از این سلولزهای نانو آنها را به شکل بلورهای نمکی درآورده و جوهر عایقی به دست آوردند که با استفاده از گرافن و نانولوله‌های کربنی به محصولی رسانا و هادی الکتریسیته تبدیل شد. با استفاده از چاپگرهای جوهری در دمای اتاق و ترکیب حاصل می‌توان برای تولید این ترانزیستورها بهره گرفت. در نهایت برای بازیافت این قطعات با غوطه‌ور کردن آنها در حمام آب و لرزش آرام با امواج صوتی و سانتریفیوژ محلول حاصل، نانولوله‌های کربنی و گرافن به طور پی در پی با بازده متوسط تقریباً ۱۰۰درصد بازیابی می‌شوند. هر دوی این مواد را می‌توان دوباره در همان فرآیند چاپ استفاده کرد. این در حالی است که عملکردشان تا حد زیادی حفظ می‌شود. چاپگر یادشده به مدت شش ماه بدون هیچ مشکلی قابل استفاده بوده و قابلیت‌های خود را در قالب یک حسگر قابل چسباندن بر روی کاغذ به اثبات رسانده است. انتظار می‌رود در آینده نزدیک برای تولید انبوه این ترانزیستور برنامه‌ریزی شود.

## تولید باتری‌های بازیافتی آلومینیوم - یون گرافن

شرکت تولید گرافن (GMG) با همکاری دانشگاه تحقیقاتی کوئینزلند اعلام کرد که در حال تهیه تجهیزات برای راه‌اندازی خط تولید آزمایشی مواد مورد استفاده در تولید باتری‌های آلومینیوم-یون گرافن است. باتری‌هایی که خطر آتش‌سوزی کمی دارند و به راحتی قابل بازیافت هستند. به دنبال نتایج موفقیت‌آمیز اخیر و بازخورد بسیار دلگرم‌کننده مشتریان، این شرکت تولید یک نمونه اولیه باتری سکه‌ای تا قبل از پایان سال ۲۰۲۱ را در دستور کار خود قرار داده است. پس از راه‌اندازی این کارخانه تولید آزمایشی، مرحله بعدی، اجرای برنامه توسعه فناوری باتری این شرکت است.

کریگ نیکول، مدیرعامل شرکت گروه ساخت گرافن می‌گوید: "شرکت ما معتقد است که تولید باتری‌های آلومینیوم-یون گرافن در داخل به ما این امکان را می‌دهد که تولید باتری‌های کیسه‌ای و سلول پاچی را برای آزمایش اولیه مشتریان مورد مطالعه قرار دهیم و توسعه و تجاری‌سازی این فناوری هیجان‌انگیز را با سرعت بیشتری دنبال کنیم. تجهیزات لازم برای راه‌اندازی خط تولید آزمایشی ما نیز موجود است و به اعتقاد ما این فناوری از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. زیرا به همان تجهیزات استاندارد مورد استفاده برای ساخت باتری‌های موجود سکه‌ای نیاز دارد".

کریگ نیکول افزود: "ما درخواست‌های زیادی را در مورد این فناوری امیدوارکننده از سراسر جهان دریافت کرده‌ایم و مشتاقانه آماده پاسخگویی به تقاضای بازار در زمینه فناوری باتری‌های قابل شارژ نسل بعدی هستیم. ما تا پایان سال ۲۰۲۱ برای ارائه نمونه اولیه سلول سکه‌ای تجاری و سال ۲۰۲۲ برای تولید نمونه اولیه تجاری سلول پاچی به همکاری نزدیک با دانشگاه کوئینزلند ادامه می‌دهیم. "

این شرکت معتقد است که نتایج آزمایش‌های مربوط به عملکرد نمونه‌های اولیه، درباره انرژی و چگالی انرژی بسیار دلگرم‌کننده بوده و باتری‌ها پس از بالغ بر ۳۰۰۰ چرخه شارژ و دشارژ، عملکرد خود را به صورت کامل حفظ می‌کنند.

علاوه بر این، شرکت معتقد است که چنین نتایجی نشان می‌دهد که باتری‌های گرافن آلومینیوم-یونی قابل بازیافت هستند، خطر آتش سوزی بسیار کمی دارند و از لیتیوم و فلزات کمیاب خاکی استفاده نمی‌کنند.

تاکنون نتایج آزمایشات نشان داده است که فناوری ذخیره انرژی باتری آلومینیوم-یون گرافن در مقایسه با فناوری باتری‌های لیتیوم-یون موجود در بازار فعلی دارای تراکم قدرت بالاتری است. این بدان معنی است که عمر مفید این باتری‌ها (حداقل ۳ برابر) می‌تواند بیشتر باشد.

THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

Powered by
GMG
GRAPHENE
www.graphenemg.com

کارخانه آزمایشی بازیافت فلزات که در پروژه PLUS ایجاد شده است. این پروژه با بهره‌گیری از یک فرآیند مرتب‌سازی مبتنی بر لیزر توسعه یافته است که به کمک آن می‌توان آلیاژهای با ارزش را به طور موثر از ضایعات فلزی بازیابی کرد.

## فناوری حسگر مبتنی بر لیزر برای بازیافت فلزات به جای استخراج منابع معدنی

به منظور کمک به صنعت برای دسترسی بیشتر به مواد اولیه، موسسه فناوری لیزر ILT فرانهوفر آلمان و با همکاری شرکت بازیافت مواد Cronimet Ferroleg، فرآیند جداسازی ضایعات فلزی مبتنی بر لیزر را توسعه داده‌اند.

با بهره‌گیری از حسگری که به تازگی ساخته شده است، بازیافت مواد اولیه فلزی به مراتب کارآمدتر از قبل صورت می‌گیرد.

اخیراً اتحادیه اروپا یک پروژه مهم در زمینه بازیافت مواد فلزی با نام "REVaMP" تعریف کرده است که در این پروژه کارشناسان ILT فرانهوفر نیز از ژانویه ۲۰۲۰ با توجه به تخصص خود در زمینه تجزیه و تحلیل مواد در سطح اروپا کمک می‌کنند.

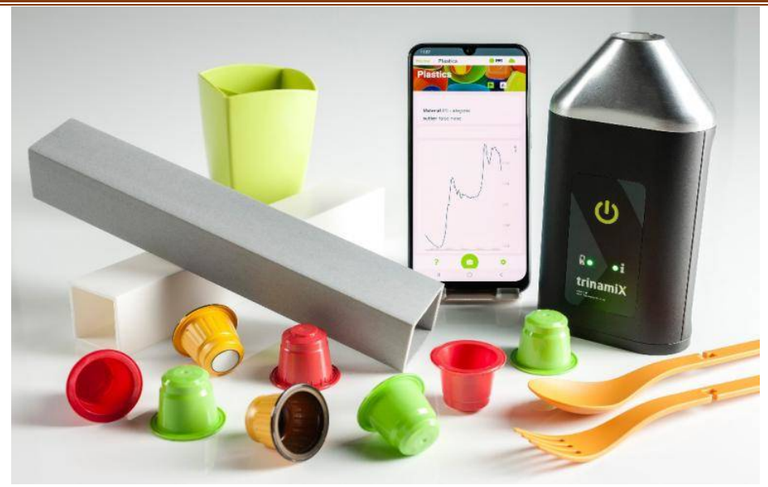
فناوری حسگرهای لیزری که به عنوان بخشی از پروژه PLUS (کارخانه آزمایشی برای مرتب‌سازی آلیاژهای خاص بر اساس لیزر) با حمایت مالی وزارت آموزش و تحقیقات فدرال آلمان (BMBF) ساخته شده است، فرآیند تشخیص و جداسازی آلیاژهای موجود در ضایعات فلزی را بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر کرده است.

فرآیندهای معمول به اندازه‌گیری دستی چند آلیاژ محدود می‌شود. از طرف دیگر، طیف‌سنجی تجزیه با استفاده از لیزر (LIBS) که در ILT فرانهوفر توسعه یافته و در PLUS استفاده می‌شود، نسل جدیدی از فناوری است که می‌تواند بیش از ۲۰ آلیاژ ویژه را حتی در قطعات کوچک ضایعات فلزی به صورت خودکار، سریع و بدون تماس شناسایی کند.

در صورت موفقیت این پروژه اتحادیه اروپا این امکان را فراهم خواهد کرد که از این سامانه برای تفکیک و شناسایی مواد فلزی کارخانه‌های بازیافت مواد به صورت گسترده استفاده شود.







## دستگاه تشخیص انواع پلاستیک با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز

به گفته آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا، تولید پلاستیک در در این کشور طی چند دهه گذشته به طور قابل توجهی افزایش یافته است، تقریباً بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۸ ، بیش از ۳۵ میلیون تن زباله پلاستیکی تولید شده است. بیشتر این مواد به محل دفن زباله حمل می‌شوند، جایی که تجزیه آنها تا ۵۰۰ سال طول می‌کشد. علاوه بر این حدود ۸ میلیون تن پلاستیک نیز سالانه به اقیانوس‌ها راه پیدا می‌کند. با وجود تولید این حجم عظیم از زباله، تنها میزان کمی از زباله‌های پلاستیکی بازیافت می‌شوند.

زیرا انواع مختلفی از پلاستیک با ترکیبات شیمیایی مختلف وجود دارد و پلاستیک‌های بازیافتی در صورت مخلوط شدن گونه‌های مختلف آلوده می‌شوند. جداسازی پلاستیک‌ها از سایر مواد قابل بازیافت و انواع مختلف پلاستیک‌ها از یکدیگر، کار پرهزینه‌ای است و تاکنون هیچ راه حل ساده‌ای برای این مشکل پیدا نشده است. اما به تازگی شرکت trinamiX زیرمجموعه BASF (بزرگترین شرکت صنایع شیمیایی جهان) یک دستگاه اسکن دستی تولید کرده است که با بهره‌گیری از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) امکان شناسایی انواع پلاستیک را فراهم می‌کند. به عنوان مثال، یک کیسه مواد غذایی اغلب از نوعی پلاستیک معروف به پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) ساخته می‌شود، اما یک بطری آب معمولاً از نوع دیگری به نام پلی اتیلن ترفتالات یا PET تشکیل شده است. این اقلام باید قبل از بازیافت جدا شوند زیرا از مواد کاملاً متفاوتی ساخته شده‌اند.

فناوری دستی دستگاه trinamiX می‌تواند از طریق طیف‌سنجی (مطالعه تعامل بین امواج نور و یک شیء خاص) بین انواع مختلف پلاستیک‌ها تمایز قائل شود. مانند اثر انگشت، هر نوع پلاستیکی الگوی منحصر به فرد خود را از نور منعکس شده، منتشر می‌کند. با تجزیه و تحلیل این الگو، می‌توان به سرعت دریافت که چه نوعی از پلاستیک در حال بررسی است. هنگامی که اسکن با استفاده از طیف‌سنج انجام می‌شود، داده‌های جمع‌آوری شده فوراً با سایر مشخصات اپتیکی ذخیره شده در یک بانک اطلاعات که توسط BASF نگهداری می‌شود، مقایسه شده و نتیجه مطابقت در یک برنامه گوشی هوشمند نمایش داده می‌شود. این دستگاه به راحتی جنس پلاستیک مورد نظر را مشخص می‌کند و انواع پلاستیک را در مسیر بازیافت به سرعت تفکیک و مرتب می‌کند.

trinamiX

## اخبار علمی

نتایج این مطالعه در مجله **Materials Advances** منتشر شده است.

Doi: 10.1039/D1MA00216C

### فناوری‌های بازیافت لیتیوم از ضایعات باتری‌های یون لیتیوم

مصرف مواد بر پایه لیتیوم به دلیل افزایش تقاضا برای کاربردهای لیتیوم به عنوان باتری یون لیتیوم در هشت سال اخیر، بیش از دو برابر شده است. به دلیل استفاده از این نوع باتری‌ها در گوشی‌های همراه و دستگاه‌های الکترونیکی، بازار باتری‌های لیتیوم یونی هر سال به طور مداوم رشد کرده است و در حال حاضر ارزش این بازار به رقم ۴۰ میلیارد دلار می‌رسد. لیتیوم فلزی کاربردی است که در شرایط استاندارد دما و فشار سبک‌ترین فلز و کم چگالی‌ترین عنصر جامد است. این فلز، ماده اصلی صنعت باتری‌های لیتیوم یون است، که از مواد معدنی طبیعی و آب نمک به صورت رسوب شیمیایی استخراج می‌شود. اما این فرآیندها پیچیده هستند و مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کنند. علاوه بر این، مصرف لیتیوم در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است و می‌توان پیش‌بینی کرد که با محدودیت ذخایر لیتیوم، کاهش این ماده قریب الوقوع است. هرچند کمتر از ۱ درصد لیتیوم بازیافت می‌شود، اما این امر منجر به توسعه فناوری‌هایی برای بازیافت لیتیوم از باتری‌های لیتیوم یونی در مسیر جدیدی شده است. در تحقیقی که موسسه ملی علوم و فناوری اولسان کره جنوبی انجام داده است، انواع روش‌های بازیافت لیتیوم از باتری‌های لیتیومی فرسوده و از کار افتاده بررسی شده است.

در این تحقیق، مراحل بازیافت به دو مرحله پیش آماده‌سازی و استخراج لیتیوم تقسیم می‌شوند. در مرحله اول، با توجه به این که باتری‌های دور ریخته شده امکان انفجار و یا خروج گازهای سمی از خود را دارند، ابتدا قطعات باتری با روش‌های مکانیکی جدا می‌شوند. در مرحله استخراج روش‌های پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج این تحقیق معرفی روش‌های جدیدی است که می‌توان لیتیوم خاص را از باتری‌های فرسوده بازیابی کرد. همچنین در این تحقیق، فرآیندها، مزایا، معایب، راندمان استخراج لیتیوم، قیمت، آلودگی محیط زیست و میزان تجاری سازی هر روش به صورت کمی مقایسه و تحلیل شده است.

### بازیافت ماژول‌های فتوولتائیک پروسکایت

در سال‌های اخیر علاقه به بهره‌گیری از انرژی خورشیدی و نصب پنل‌های خورشیدی در حال افزایش است. با پیشرفت فناوری در دستگاه‌های فتوولتائیک، سلول‌های خورشیدی پروسکایتی دارای سریع‌ترین رشد فناوری خورشیدی تا به امروز بوده‌اند.

به دلیل پتانسیل این فناوری در دستیابی به بازده بالاتر و هزینه ساخت پایین‌تر، این سلول‌ها توجه زیادی را از نظر تجاری به خود جلب کرده‌اند. اما این افزایش تقاضا یک سوال کلیدی را مطرح می‌کند و آن این است که وقتی این سلول‌های خورشیدی خراب شوند یا به پایان عمر خود برسند، چه اتفاقی می‌افتد؟

این نکته قابل توجه است که اکثر مواد به کار رفته در این نوع سلول‌های خورشیدی (مانند سرب) از نظر زیست محیطی خطرناک محسوب می‌شود که بازیافت آنها پس از کار افتادگی این سلول‌ها یک ضرورت اساسی است. بازیافت پنل‌های خورشیدی هنوز در مراحل اولیه خود است و راه‌اندازی برنامه‌های جمع‌آوری و استفاده مجدد کار ساده‌ای نیست. عمر مفید سلول‌های خورشیدی به طور کلی ۲۰ تا ۲۵ سال است و اکثر آنها در یک دهه گذشته نصب شده‌اند.

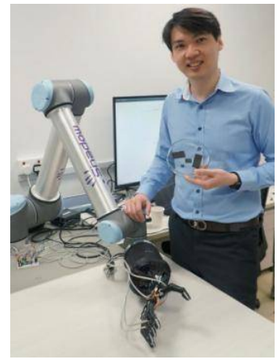
پس در آینده‌ای نه چندان دور شاهد انبوهی از پنل‌های خورشیدی ضایعاتی خواهیم بود.

در جدیدترین پژوهش انجام شده توسط محققان دانشگاه کرنل آمریکا، بازیافت موثر ماژول‌های خورشیدی پروسکایتی مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این پژوهش روش صحیح بازیافت شناسایی شده و نتایج به دست آمده نشان داده است که در صورت استفاده از این روش بازیافتی سلول‌های خورشیدی، ۷۲/۶ درصد انرژی بازیابی شده و ۷۱/۲ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاسته شده است.

نتایج این تحقیق در مجله **Nature Sustainability** منتشر شده است.

Doi: 10.1038/s41893-021-00737-z

## تازه ها



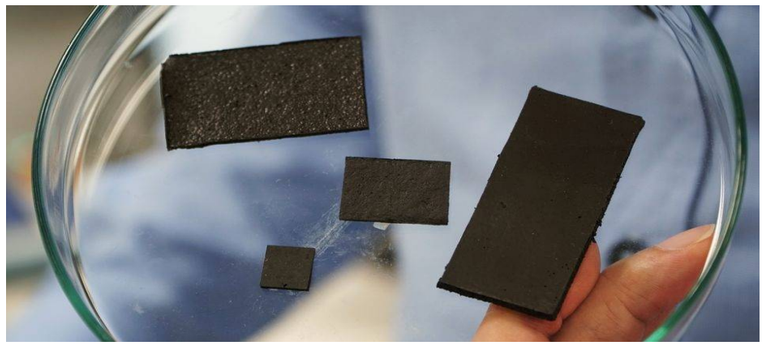
دکتر بنجامین تی با نمونه‌هایی از AiFoam، در کنار بازوی رباتیک مجهز به فوم که به آن این امکان را می دهد اشیا را در مجاورت خود با تشخیص میدان‌های الکتریکی آنها حس کند، در آزمایشگاه علوم و مهندسی مواد دانشگاه ملی سنگاپور.

### مواد فوم هوشمند با توانایی ترمیم در ربات‌ها

محققان سنگاپوری فوم هوشمندی ساخته‌اند که به ربات‌ها اجازه می‌دهد تا اشیا نزدیک خود را حس کنند و در صورت آسیب دیدن، درست مثل پوست انسان، خود را ترمیم می‌کند. فوم برخوردار از عصب‌سازی مصنوعی یا AiFoam، پلیمری کاملا الاستیک است که از اختلاط فلوروپلیمر با ترکیبی ایجاد می‌شود که کشش سطحی را کاهش می‌دهد. به گفته محققان دانشگاه ملی سنگاپور، با بهره‌گیری از این فوم مواد اسفنجی می‌توانند هنگام برش به راحتی به یک قطعه تبدیل شوند. بنیامین تی، محقق ارشد این تحقیق گفته است: "کاربردهای زیادی برای چنین ماده‌ای وجود دارد، به ویژه در رباتیک و دستگاه‌های مصنوعی، جایی که ربات‌ها هنگام کار در اطراف انسان باید از هوش بیشتری برخوردار باشند". محققان برای دستیابی به حسی مشابه لامسه در انسان، مواد را با ذرات فلزی میکروسکوپی تلفیق کرده و الکترودهای ریزی را در زیر سطح فوم ایجاد کردند. وقتی که به سطح فشاری وارد می‌شود، ذرات فلز درون ماتریس پلیمر به هم نزدیکتر می‌شوند و خصوصیات الکتریکی آنها را تغییر می‌دهند.

این تغییرات توسط الکترودهای متصل به رایانه قابل تشخیص است و به ربات می‌گوید که چه کاری انجام دهد.

به گفته وی: "هنگامی که انگشتم را به سمت حسگر حرکت می‌دهم، می‌توان دید که حسگر در حال اندازه‌گیری تغییرات میدان الکتریکی من است و به همین دلیل به لمس من پاسخ می‌دهد. این ویژگی نه تنها دست رباتیک را قادر به اندازه‌گیری مقدار نیروی وارد شده می‌سازد بلکه جهت نیرو را نیز تشخیص می‌دهد و به طور بالقوه ربات‌ها را باهوش و تعاملی می‌کند".



### سیمان رسانا با نانو کربن سیاه

همکاری بین MIT و مرکز ملی تحقیقات علمی فرانسه (CNRS) منجر به ساخت سیمانی شده است که سبب انتقال جریان الکتریکی و تولید گرما می‌شود. نانسی سلیمان مدیر پروژه می‌گوید: "سیمان به طور طبیعی یک ماده عایق است، اما وقتی ذرات نانوکربن سیاه را به آن اضافه می‌کنیم، از یک ماده عایق به ماده‌ای رسانا تبدیل می‌شود".

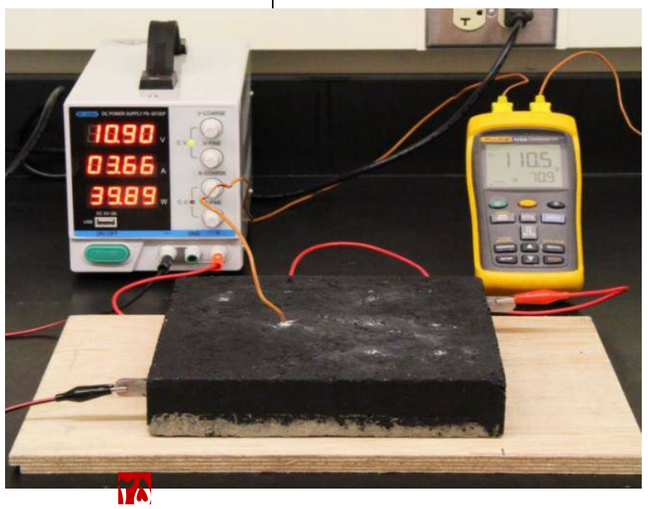
سلیمان و همکارانش با افزودن ۴ درصد نانوکربن سیاه در حجم مخلوط‌های سیمانی، نقطه آستانه‌ای که در آن نمونه‌ها توانایی عبور جریان الکتریکی را دارند، تعیین کردند. همچنین آنها متوجه شدند که عبور جریان از این نوع سیمان می‌تواند گرما تولید کند که به عنوان اثر ژول شناخته می‌شود.

نیکولاس چانوت، یکی از پژوهشگران این پروژه، توضیح می‌دهد: "گرمایش ژول (یا گرمایش مقاومتی) در اثر فعل و انفعالات بین الکترون‌های در حال حرکت و اتم‌ها در ماده رسانا ایجاد می‌شود. الکترون‌های شتاب گرفته در میدان الکتریکی هر بار که با یک اتم برخورد می‌کنند، انرژی جنبشی را مبادله کرده و باعث ایجاد لرزش در اتم‌های شبکه می‌شود که به صورت گرما و افزایش دما در مواد ظاهر می‌شود".

این تیم تحقیقاتی در آزمایشات خود دریافتند که حتی ولتاژ کوچکی -به اندازه ۵ ولت- می‌تواند درجه حرارت سطح نمونه‌ها (اندازه تقریبی ۵ سانتی‌متر مکعب) را تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد.

به گفته چانوت: "این فناوری می‌تواند برای گرمایش کف قسمت‌های داخلی اتاق‌ها و ساختمان‌ها مناسب باشد. به طور معمول، گرمایش داخلی با گردش آب گرم در لوله‌های زیر سطح زمین انجام می‌شود. اما ساخت و نگهداری این سامانه می‌تواند چالش برانگیز باشد. وقتی سیمان خود به عنصر گرمایشی تبدیل می‌شود، نصب سامانه گرمایشی ساده‌تر و قابل اطمینان‌تر صورت می‌گیرد. بعلاوه، به دلیل پراکندگی بسیار خوب نانوذرات در مواد سیمان، توزیع گرمایی همگن‌تر خواهد بود".

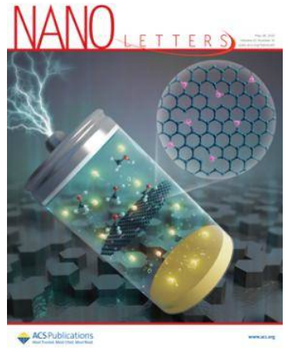
همچنین می‌توان از این ماده در کف پیاده‌روها که در زمستان دچار یخزدگی می‌شوند، استفاده کرد. سیمان نانوکربن در یخزدایی از روسازی بدون نمک پاشی قابل استفاده است. به طور بالقوه، بهره‌گیری از این ماده منجر به میلیون‌ها دلار صرفه‌جویی در هزینه‌های تعمیر و بهره‌برداری خواهد شد و برای رفع نگرانی‌های ایمنی و زیست محیطی، بسیار مفید است. همچنین در برخی از برنامه‌های خاص که حفظ شرایط استثنایی روسازی از اهمیت بالاتری برخوردار است، مانند باند فرودگاه، این فناوری کاربردهای فراوانی دارد.




PHYSICAL REVIEW MATERIALS
Research Updates
Emerging topics in materials research

نتایج کار این پژوهشگران در مجله Physical Review Materials منتشر شده است.

DOI:
10.1103/PhysRevMaterials.4.125401




مشروح این پژوهش در مجله
nano letters
منتشر شده است.

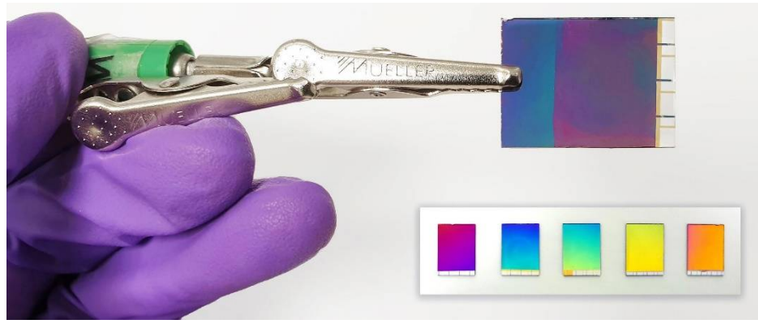
DOI:
10.1021/acs.nanolett.1c00904

## ابداع کاغذ الکترونیکی با نمایش رنگ‌های درخشان

تصور کنید که در فضای آزاد در زیر نور آفتاب نشسته‌اید و با یک نمایشگر نازک، ویدئویی را تماشا می‌کنید. این ویدئو به همان اندازه که صفحه نمایش را در یک اتاق سایه‌دار می‌بینیم واضح است. با توجه به این موضوع، به تازگی دانشمندان دانشگاه چالمرز سوئد کاغذ الکترونیکی بسیار نازکی را تولید کرده‌اند که می‌تواند به صورت صفحه نمایش درآید. این صفحه نوعی بازتابنده است که طیف متنوعی از رنگ‌های روشن و شفاف را با کیفیت بهتر و درخشان به نمایش درمی‌آورد که ضمن بهره‌گیری از نور محیط، مصرف انرژی الکتریکی را به حداقل می‌رساند صفحات. دیجیتال سنتی، از نور پس زمینه برای روشن کردن متن یا تصاویر نمایش داده شده، استفاده می‌کنند. این نوع صفحات برای استفاده در خانه مناسب است اما هنگام استفاده از چنین صفحاتی در زیر نور آفتاب همه ما دچار مشکل می‌شویم. این در حالی است که صفحات بازتاب‌دهنده با استفاده از نور محیط، از نحوه واکنش چشم ما به کاغذ طبیعی تقلید می‌کنند. برای اینکه صفحات بازتابنده با صفحات دیجیتالی پرمصرفی که امروز از آنها استفاده می‌کنیم رقابت کنند، تصاویر و رنگ‌ها باید با همان کیفیت بالا تولید شوند. اکنون تحقیقات محققان گروه شیمی و مهندسی شیمی در «دانشگاه صنعتی چالمرز» در سوئد نشان می‌دهد که چگونه می‌توان این فناوری را برای کاربردهای تجاری جذاب کرد. این محققان پیش‌تر موفق به تولید ماده‌ای بسیار نازک و انعطاف‌پذیر شده بودند که تمام رنگ‌هایی را که صفحه نمایش LED می‌تواند نمایش دهد، تولید می‌کرد، در حالی که تنها به یک دهم انرژی یک تبلت استاندارد نیاز داشت. اما در طراحی قبلی رنگ‌ها روی صفحه بازتابنده با کیفیت مطلوب نمایش داده نمی‌شدند. اکنون آنها با استفاده از یک ماده متخلخل و نانوساختار حاوی تری اکسید تنگستن، طلا و پلاتین که قبلتر در مورد آن تحقیق شده بود، روش جدیدی را ارائه داده‌اند. آنها این طراحی را به گونه‌ای وارونه‌سازی کردند که باعث شد رنگ‌ها با دقت بسیار بیشتری بر روی صفحه نمایش ظاهر شوند.

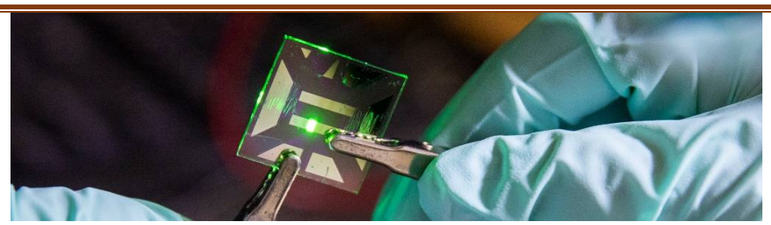
آنها تا پیش از این، مولفه مبدل ماده به رسانای الکتریکی را در بالای ماده نانو ساختار پیکسلی شده مولد رنگ‌ها، قرار می‌دادند. اما در این روش، آن را در زیر نانوساختار قرار می‌دهند. طراحی جدید امکان نظاره مستقیم به سطح پیکسلی را فراهم می‌کند که در نتیجه آن می‌توان رنگ‌ها را با وضوح بیشتری مشاهده کرد. در حال حاضر حدود یک دهم انرژی باتری یک تلفن هوشمند معمولی صرف روشنایی صفحه نمایش آن می‌شود.

با توجه به مصرف کم انرژی در کاغذ الکترونیکی می‌توان آنها را به عنوان بهترین گزینه برای صفحه نمایش تلفن آینده دانست.







## الکترودهای اصلاح شده OLED می‌توانند مصرف برق را کاهش دهند!

محققان یک دیود نورگسیل آلی (OLED) تولید کرده‌اند که در مقایسه با OLEDهای دیگر ۲۰٪ نور بیشتری ساطع می‌کند. از آنجا که الکترود جدید هزینه کمی دارد و تولید آن ساده است، می‌توان آن را به راحتی تجاری کرد. این OLEDها می‌توانند به افزایش عمر باتری تلفن‌های هوشمند و لپ‌تاپ‌ها کمک کنند و یا در نمایشگرها و تلویزیون‌های نسل بعدی بسیار کارآمدتر عمل کند.

در چند سال اخیر فناوری OLED در زندگی روزمره ما نقش اساسی ایفا کرده است. با توجه به انعطاف‌پذیری و کم هزینه بودن، به طور معمول در تلفن‌های همراه، رایانه‌ها و تلویزیون‌ها این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. OLEDهای استاندارد دارای بازده کوانتومی داخلی ۱۰۰٪ هستند، به این معنی که می‌توانند تمام انرژی دریافتی را به نور تبدیل کنند. اما بازده کوانتومی خارجی آنها (سهم فوتون‌های تولید شده) فقط حدود ۲۰٪ است.

در OLED معمولی، هر فوتون نوری که با زاویه عمود نزدیک ساطع نشود، از طریق دستگاه منعکس و هدایت می‌شود. فوتون‌های ساطع شده بر اثر بازتاب داخلی، به صورت مدهای سطحی پلاسمون-پلاریتون و مدهای موجبر از بین می‌روند. این اثرات گیرافتادگی فوتون نور در لایه‌ها در عملکرد الکتریکیOLED تداخل ایجاد می‌کند. محققان دانشگاه میشیگان با جایگزینی الکترود شفاف استاندارد که بخشی جدایی‌ناپذیر از یکOLED است، به این مهم دست یافتند. محققان به جای استفاده از لایه معمولی اکسید قلع ایندیم (ITO)، از یک فیلم نقره با ضخامت فقط ۵ نانومتر استفاده کردند که روی یک لایه دانه‌ای مس قرار گرفته است. این لایه جدید خاصیت رسانایی دارد و می‌تواند به عنوان یک الکترود عمل کند، همین‌طور به اندازه کافی نازک است و می‌تواند مدهای موجبر را از بین ببرد.

محققان ضمن تجزیه و تحلیل سیستماتیک OLED، دریافتند که مدهای موجبر به دلیل نازکی لایه نقره و قدرت منفی ذاتی فلز در طول موج‌های مرئی، حذف شده‌اند. به گفته محققان این طرح، در ترکیب با سایر فناوری‌های OLED مانند شیشه‌های طرح‌دار که باعث کاهش نور به دام افتاده می‌شود، OLED جدید می‌تواند در ساخت صفحه‌های دیجیتالی کارآمدتری استفاده شود که از انرژی الکتریکی کمتری استفاده می‌کنند.

با توجه به این که تولید چنین لایه‌های نازکی با فرآیندهای تولید موجود سازگار است و به راحتی توسط اغلب شرکت‌های تجاری قابل اجرا است. این یافته‌ها می‌تواند در مورد انواع دیگر LEDها که با مشکلات به دام افتادگی نور مواجه هستند (مانند پروسکایت‌ها، نقاط کوانتومی و LEDهای مبتنی بر III-V) نیز به کار گرفته شود.

محقق ارشد این طرح چانگیونگ جئونگ، استاد مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه میشیگان گفت: "آنچه که من از آن هیجان زده‌ام این است که ما یک رویکرد بسیار عملی را در پیش گرفته‌ایم که می‌تواند به راحتی بدون اینکه هیچ مرحله پیچیده‌ای طی شود، در تولید OLED اتخاذ شود. به علاوه دستگاه OLED به دلیل انعطاف‌پذیری مکانیکی الکترود فلزی نازک، در مقایسه با مواد شکننده‌ای مثل ITO بسیار منعطف و حتی قابل خم شدن است".

نتایج این کار در نشریه
*Science Advances*
منتشر شده است.

DOI: 10.1126/sciadv.abg0355

دورنما

# زباله‌های پلاستیکی

## معدن طلا

## یا

## میدان مین

!؟

در کنار مدیریت اقتصاد جهانی بازیافت زباله، فناوری‌های بازیافت در آینده به مدیریت پیوندهای شیمیایی درون مواد گره خورده است. دقیقا مانند پازلی است که بارها و بارها می‌توانیم تکه‌های آن را جدا کنیم و دوباره بدون افت کیفیت و آسیب، آن را از نو بسازیم. این همان مسیری است که سر منزلش دستیابی به یک سرمایه عظیم اقتصادی با تضمین سلامت محیط زیست است.

تولید سالانه میلیون‌ها تن پلاستیک و تبدیل آن به زباله می‌تواند یک منبع با ارزش باشد. اما چنانچه به حال خود رها شود می‌تواند میدان مینی باشد که به انفجار و نابودی محیط زیست منجر شود. در حال حاضر با وجود پیشرفت‌های مهم و اساسی در صنعت بازیافت زباله‌های پلاستیکی، هنوز شیوه‌های مکانیکی و حرارتی سنتی به طور گسترده به کار گرفته می‌شوند. در این مقاله به بررسی فناوری‌های تجزیه پلاسمایی، تجزیه میکروموج و تجزیه کاتالیستی می‌پردازیم. این فناوری‌های در حال توسعه، قابلیت تجزیه انواع پلیمرها را دارند و آن‌ها را به مونومرها تبدیل می‌کنند. بهره‌وری بازیافت در این فناوری‌ها بسیار بالا بوده و محصولاتی چون مونومرهای خالص، سوخت‌های گازی و سوخت‌های مایع تولید می‌کنند. میزان آلودگی در این روش‌ها بسیار ناچیز است، چرا که اغلب در محیط بدون اکسیژن فرآیند تجزیه صورت می‌گیرد.

# زباله‌های پلاستیکی معدن طلا یا میدان مین!؟

به قلم علی کاظم‌پور
kazempoorali.a@gmail.com

تصور زندگی روزمره بدون پلاستیک غیرممکن است. کمی به این موضوع فکر کنید. حتی اگر روزی برسد که دیگر نیازی به تولید مواد پلاستیکی نداشته باشیم، تا سال‌های سال باید در یک دنیای پر از مواد پلاستیکی زندگی کنیم. سوال اینجاست که چرا انواع پلاستیک جایگزین بسیاری از مواد دیگر مانند فلزات شده‌اند؟ امروزه در بسیاری از صنایع رد پای مواد پلاستیکی دیده می‌شود. از لوازم خانگی و مواد غذایی گرفته تا خودروسازی و پزشکی! به نظر شما سرانجام این حجم عظیم پلاستیک تلنبار شده در دنیا چه خواهد شد؟!

پلاستیک‌ها موادی ارزان‌قیمت، سبک، در دسترس و شکل‌پذیر هستند. این ویژگی‌ها باعث شده است که به مرور زمان گوی سبقت را از دیگر مواد برباید. اما علاقه ما به پلاستیک هزینه زیست‌محیطی سنگینی را در پی داشته است. به طور تقریبی از ۸/۳ میلیارد تن پلاستیک ساخته شده بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵، بیش از ۷۵٪ آن اکنون زباله است! ۷۹٪ این زباله‌های پلاستیکی یا دفن شده‌اند و یا در محیط دور ریخته شده‌اند. این بدین معنا است که هم‌اکنون حتی اقیانوس‌های کره زمین نیز غرق در زباله‌های پلاستیکی هستند. اگرچه این زنگ خطر بزرگی برای بحران آلودگی زیستی است اما توسعه فناوری بازیافت این مواد می‌تواند صدای این زنگ را قدری گوش‌نواز کند.

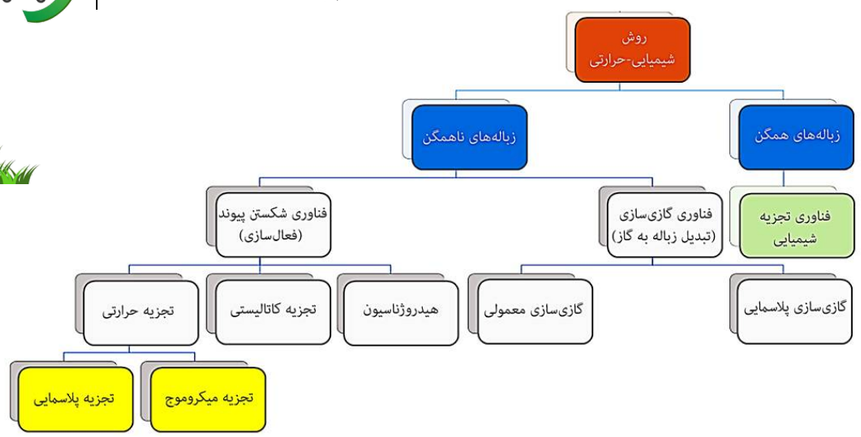
برای غلبه بر نگرانی‌های بزرگ زیست‌محیطی که توسط پلاستیک ایجاد شده است، باید ارزش زباله‌های پلاستیکی را به عنوان یک منبع ارزیابی کنیم. از این گذشته، زباله‌های پلاستیکی به علت پیوندهای شیمیایی پایدار، ماندگاری بالایی دارند. بنابراین حداقل باید سعی کنیم این انرژی نهفته را بازیابی کنیم. در حقیقت، ثبات این پیوندها باعث می‌شود که پلاستیک‌ها مدت زیادی در محیط باقی بمانند. بدیهی است که برای بازیابی این مواد باید این پیوندها را درهم بشکنیم.

در حال حاضر دنیای پلاستیک‌های دور ریخته شده به بازیافت مکانیکی و حرارتی معمولی متکی است. در این نوع بازیافت، پلاستیک‌ها دسته‌بندی می‌شوند، ذوب می‌شوند و برای ایجاد محصولات پلاستیکی با درجه کیفیت پایین‌تر، دوباره ساخته می‌شوند. این روند محدود است و تعداد دفعات بازیافت یک قطعه پلاستیک را محدود می‌کند.

برای اطمینان از اینکه پلاستیک در طولانی مدت و طی چندین‌بار بازیافت شدن، ارزش خود را حفظ می‌کند، به راه‌کارهای بازیافت جایگزین نیاز داریم. در سال‌های اخیر توسعه فناوری‌های پایدار برای ایجاد یک چرخه اقتصادی در صنعت مواد پلاستیکی به ویژه پلیمرها، به طور فزاینده‌ای اهمیت یافته است. افزایش آگاهی مردم و دانشمندان از تأثیرات مخرب پلیمرها بر محیط زیست و همچنین تغییر نگرش جهانی

نسبت به انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از تولید مواد پلاستیکی در مراکز پتروشیمی، منجر به تمرکز مجدد در بازیافت پلیمرها و مدیریت پسماند شده است. علاوه بر تلاش‌های بسیار جهت تولید مواد تجزیه‌پذیر و کاهش حجم زباله‌های تولید شده، رویکرد به کار گرفته شده در فناوری‌های جدید جهت بازیافت مواد پلاستیکی و شیمیایی نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. هدف اصلی ظهور این فناوری‌ها، بسته شدن چرخه تولید و بازیافت مواد است به گونه‌ای که بتوان از دفن کردن آن‌ها جلوگیری کرده و دوباره به مرحله تولید بازگردانده شوند.

با وجود اینکه پیشرفت‌های بزرگی در فناوری بازیافت پلاستیک صورت گرفته است، اما دنیای بازیافت در مقیاس جهانی، هنوز به فناوری‌هایی همچون مرتب‌سازی و ذوب مکانیکی زباله‌های پلاستیکی محدود است. روش‌های قدیمی به دلیل آلودگی زیاد، بهره‌وری اندک و همچنین نیاز به انرژی بالا، در حال حذف شدن و یا ارتقاء فناوری هستند. همچنین با رواج یافتن بهره‌گیری از مواد پلیمری ناهمگن در صنعت پلاستیک، دیگر روش‌های حرارتی و شیمیایی قدیمی در تجزیه و جداسازی مواد مختلف ناکارآمد شده‌اند.




روش بازیافت حرارتی-شیمیایی یکی از روش‌هایی است که به سرعت درحال توسعه است. با استفاده از فناوری‌های مختلف مانند شکستن پیوندهای شیمیایی، تجزیه کاتالیستی و همچنین تولید گاز که زیرمجموعه این روش است، امکان تجزیه مواد پلیمری به مونومرها وجود دارد و با بهره‌وری بسیار بالا می‌توان مواد بازیافتی را دوباره در چرخه تولید پلیمر قرار داد. در روش تولید گاز، خروجی عملیات بازیافت گازهای مختلفی است که برای سوخت و تولید انرژی استفاده می‌شود. در این مقاله به بررسی فناوری شکستن پیوندهای شیمیایی و تجزیه کاتالیستی خواهیم پرداخت.

فناوری‌های بازیافت حرارتی-شیمیایی را می‌توان با توجه به سه ویژگی بررسی و مقایسه کرد. دمای فرآیند، حساسیت به آلودگی مواد اولیه و سطح تجزیه پلیمر سه ویژگی اصلی فناوری بازیافت پلاستیک است.

دمای بالاتر باعث افزایش میزان تجزیه پلیمر و خلوص بالاتر مواد پردازش شده می‌شود. پلیمرهای مختلف دمای ذوب متفاوتی دارند و برای تجزیه به مونومرها به شرایط دمایی متفاوت نیاز دارند و ممکن است پلیمرهای با دمای ذوب کمتر آسیب ببینند. با این حال یکی از راه حل‌های این مشکل تفکیک دقیق‌تر زباله‌ها قبل از بازیافت است تا بتوان با شناسایی و دسته‌بندی زباله‌ها دمای بهینه فرآیند را تعیین نمود و حساسیت فرآیند نسبت به آلودگی‌ها را کاهش داد. در واقع اصلی‌ترین چالش پیش رو این است که چگونه می‌توان پلیمرها را تا جایی که امکان دارد تجزیه نمود؟!

## شکست حرارتی(تجزیه معمولی)

تجزیه معمولی یک فناوری مناسب برای پلاستیک‌های زائد است که به سختی می‌توان آن‌ها را تفکیک کرد. برای مثال بسته‌بندی‌های پلاستیکی چند لایه در حال حاضر سوزانده می‌شوند. این فرآیند در دمای ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در غیاب اکسیژن انجام می‌شود. مشکلات اصلی این فرآیند پیچیدگی واکنش‌ها و مقدار زیاد انرژی مورد نیاز است. پارامترهایی که بر محصولات نهایی تأثیر می‌گذارند، عبارتند از: دما، فشار و زمان ماند که با افزودن کاتالیزور قابل کنترل هستند. مواد حاصل از تجزیه معمولی پلاستیک‌های زائد، گاز، ذغال و روغن است که عمدتا به عنوان سوخت‌های هیدروکربنی و یا ماده اولیه تولید مجدد پلیمرها استفاده می‌شوند.

کشورهای ژاپن، چین، آمریکا، اسپانیا و آلمان در سال‌های اخیر از این فناوری استفاده کرده‌اند و کارخانه‌ها و نیروگاه‌های بزرگی جهت بهره‌برداری از زباله‌های پلاستیکی احداث کرده‌اند. با این حال روند توسعه و پیشرفت این فناوری همچنان ادامه دارد. دو فناوری جدید تجزیه در اثر حرارت به زودی توسعه خواهند یافت و بسیاری از مشکلات و چالش‌های موجود را برطرف خواهند کرد. فناوری پلاسما و میکروموج نوید بخش بازگشت هرچه تمام‌تر زباله‌های پلاستیکی به چرخه تولید و زندگی انسان‌ها هستند.





## تجزیه حرارتی پلاسمایی

تجزیه حرارتی پلاسمایی یک فناوری در حال توسعه است که زباله‌های پلیمری را در دمای ۱۷۳۰ تا ۹۷۳۰ درجه سانتی‌گراد، به مونومر تجزیه می‌کند. این فرآیند بسیار سریع است (در حد چند ثانیه) و دارای چندین مزیت نسبت به تجزیه حرارتی معمولی است. درصد بالای تجزیه پلیمر، کاهش تولید قطران، تولید حرارت بالا و تولید گازهایی مانند هیدروژن و متان، از مزایای این فناوری است. گازهای تولید شده به عنوان سوخت‌های گازی در تولید انرژی به کار می‌روند.

تجزیه پلاسمایی یک روش مناسب برای بازیافت مواد ناهمگن چندلایه و تولید اتیلن از آن‌ها است. اتیلن سنگ بنای تولید بسیاری از مواد پلاستیکی اطراف ما است. دکتر آن‌فان در دانشگاه نیوکاسل و همکارانشان توانستند با روش تجزیه پلاسمایی حدود پنجاه برابر تجزیه حرارتی معمولی اتیلن تولید کنند و این دست‌آورد یعنی یک گام بزرگ در راستای تجزیه کامل مواد پلاستیکی! این فناوری تاکنون توانسته است ۲۵% از حجم زباله اولیه را به محصولات مفید ثانویه تبدیل کند. همچنین این فناوری با دمای بالایی که طی فرآیند دارد، مشکل ترکیبات سمی موجود در سوخت گازی تولید شده را برطرف می‌کند. درجه حرارت تا حدی بالا است که گازهای سمی را تجزیه کرده و تشکیل کلر آزاد از HCl را محدود می‌کند. تجزیه این گازها که برای آلودگی محیط زیست بسیار نگران‌کننده هستند، می‌تواند یک منبع انرژی مهم و مفید باشد.

طبق گزارش انستیتوی فناوری جورجیا، گازی‌سازی پلاسمایی می‌تواند انرژی تجدیدپذیر بیشتری نسبت به انرژی پیش‌بینی شده از انرژی خورشیدی، بادی، گاز ناشی از دفن زباله و انرژی زمین‌گرمایی به‌همراه داشته باشد. با اینکه سال‌های زیادی است بشر به توانایی پلاسما در پردازش مواد پی برده است، اما تبدیل صددرصدی زباله‌های پلاستیک به انرژی شبیه یک رویا است که در حال تبدیل شدن به واقعیت است! می‌توان نام آن را کشف یک منبع انرژی تجدیدپذیر گذاشت که بسیار هیجان‌انگیز خواهد بود.

در کشورمان ایران، دانش فناوری پلاسما در جایگاه خوبی قرار دارد. چندین شرکت دانش بنیان در حوزه پردازش مواد به کمک پلاسما محصولاتی را به بازار عرضه کرده‌اند. اما در حوزه بازیافت به کمک فناوری پلاسما ظرفیت‌های بسیاری وجود دارد که در کشور به آن پرداخته نشده است. با توجه به اینکه محصولات فناورانه ارائه شده در کشور فقط به سوزاندن زباله‌های خطرناک محدود شده است، به کارگیری فناوری پلاسما در بازیافت زباله، به ویژه زباله‌های پلاستیکی، امری ضروری است. محصولات تولید شده نشان می‌دهد دانش به کارگیری این فناوری در کشور وجود دارد. همچنین حجم عظیم زباله‌های پلاستیکی در کشور رو به افزایش است و پلاسما یکی از روش‌هایی است که می‌تواند تهدیدهای زیست محیطی زباله‌ها را به فرصت توسعه فناوری و اشتغال و همچنین جذب ثروت تبدیل کند.

شرکت‌های «هیتاچی متالز» و «وستینگ‌هاوس پلاسما» یکی از اولین تأسیسات گازی‌سازی گاز پلاسمایی را در ژاپن توسعه دادند. این مجموعه، روزانه چندین تن زباله را بازیافت و از آن انرژی تولید می‌کند. یکی دیگر از شرکت‌های بزرگ در این زمینه، شرکت «Alter NRG» است که کارخانه وستینگ‌هاوس را خریداری کرده و در حال حاضر برای ۵۰ پروژه گازی‌سازی پلاسمایی زباله در سراسر جهان در حال فعالیت است.

شرکت‌های مختلفی در حال رقابت برای تکمیل روند توسعه و ارتقاء بهره‌وری فناوری تجزیه پلاسمایی در مقیاس بزرگ صنعتی هستند و در تلاشند تا به طور کامل در عملیات مدیریت پسماند شهری برای شهرهای بزرگ سهمی داشته باشند.

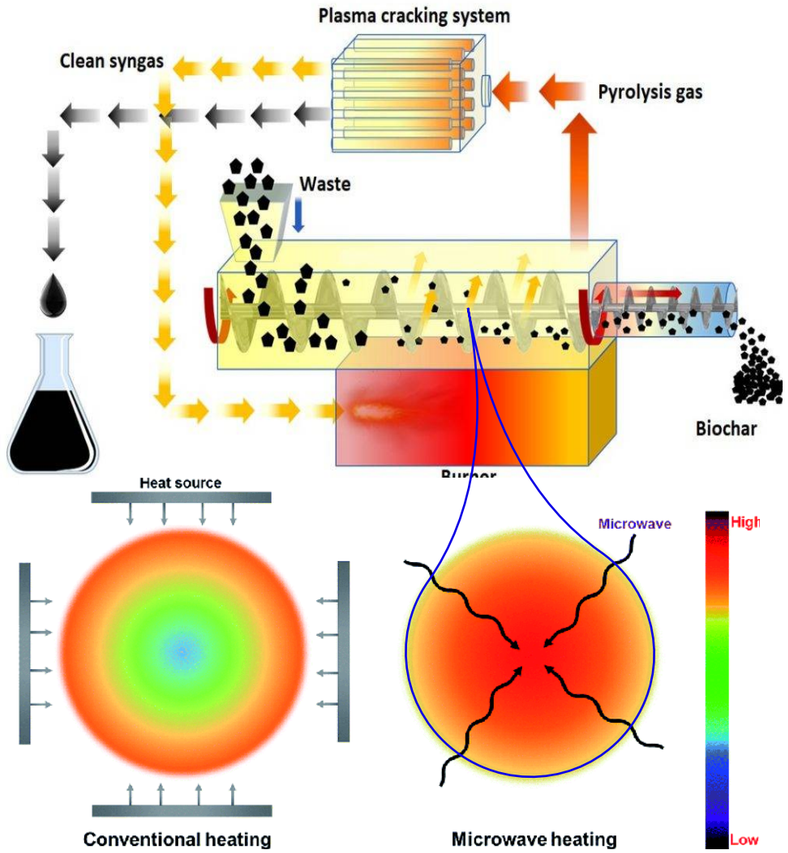
«گروه پلاسکوانرژی» در کانادا نیز با فرآیند اختصاصی‌سازی گاز پلاسما، رویکرد متفاوتی را اتخاذ کرده و ادعا می‌کند که می‌تواند مصرف خالص انرژی در سامانه را کاهش دهد. این ایده خلاقانه با حذف هر نوع ماده‌ای که به طور سنتی قابل بازیافت باشد، آغاز می‌شود. پسماندهای باقی‌مانده به یک دستگاه تبخیر سنتی (نه پلاسما) منتقل می‌شوند. در این فرآیند گازهای مختلفی از جمله گازهای بسیار سمی آزاد می‌شود. گازهای تولید شده به کمک تخلیه الکتریکی پلاسما پردازش شده و به عنوان یک منبع انرژی استفاده می‌شوند. پلاسکو ادعا کرده است که استفاده از قوس پلاسما برای تصفیه گاز خام به جای سوزاندن زباله‌های جامد، از نظر تولید انرژی بسیار کارآمدتر است. گروه انرژی پلاسکو، Alter NRG و سایر شرکت‌های بزرگ پلاسمایی سکان‌دار این فناوری خواهند بود.

به نظر می‌رسد میزان تولید انرژی از بازیافت زباله به کمک پلاسما حتی از امیدوارکننده‌ترین منابع انرژی طبیعی مانند انرژی خورشیدی و بادی نیز بیشتر باشد؛ به ویژه این که پلاسما علاوه بر تولید انرژی، فناوری شگفت‌انگیزی برای بازیافت زباله نیز هست.

## تجزیه حرارتی میکروموج

فناوری تجزیه حرارتی میکروموج بر پایه تولید حرارت از مواد دی‌الکتریک عمل می‌کند. این مواد ابرجاذب میکرواموج را دارا هستند و از این طریق دمای آن‌ها به شدت بالا می‌رود. مخلوط کردن این مواد با زباله‌های پلاستیکی باعث انتقال حرارت و تحریک پیوندهای مولکولی شده و در نتیجه پلیمرها تجزیه می‌شوند. عدم حضور اکسیژن در این فرآیند موجب رفع مشکلاتی از قبیل تولید رسوبات اکسیدی و آلاینده‌های گازی مانند دی‌اکسیدکربن می‌شود. این فرآیند مزایای متعددی نسبت به یک فرآیند معمولی دارد. توزیع یکنواخت گرما، سرعت گرمایش بیشتر، کنترل بیشتر فرآیند و افزایش سرعت تجزیه در مقایسه با تجزیه حرارتی معمولی، از مزایای این فناوری است. مقدار گرمایش به مقاومت ماده دی‌الکتریک بستگی دارد. به طور کلی، پلاستیک‌ها از

شرکت چینی «Huayin» در حوزه بازیافت زباله‌های پلاستیکی فعالیت دارد. محصولات این شرکت مبتنی بر فناوری تجزیه حرارتی است و قابلیت تبدیل چندین تن زباله به سوخت مایع و گاز را دارد. محصولات نهایی پس از فرآیند بازیافت، ۵۰٪ -۷۵٪ سوخت روغنی، ۳۰٪ -۳۵٪ کربن سیاه و ۸٪-۱۰٪ گاز قابل اشتعال است.

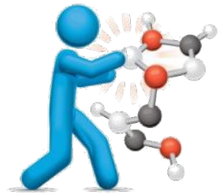



مقاومت حرارتی ضعیفی برخوردارند و هنگامی که با دی‌الکتریک جاذب مخلوط می‌شوند، بازده گرمایی مواد نهایی متفاوت خواهد بود. این مشکل به علت وجود ترکیبات مختلف در زباله‌های پلاستیکی به وجود می‌آید و به دنبال آن ممکن است استفاده مؤثر از جاذب‌های دی‌الکتریک در مقیاس صنعتی با چالش مواجه شود. با این حال تجزیه میکروموج یکی از قابل‌کنترل‌ترین فناوری‌های بازیافت پلاستیک است.

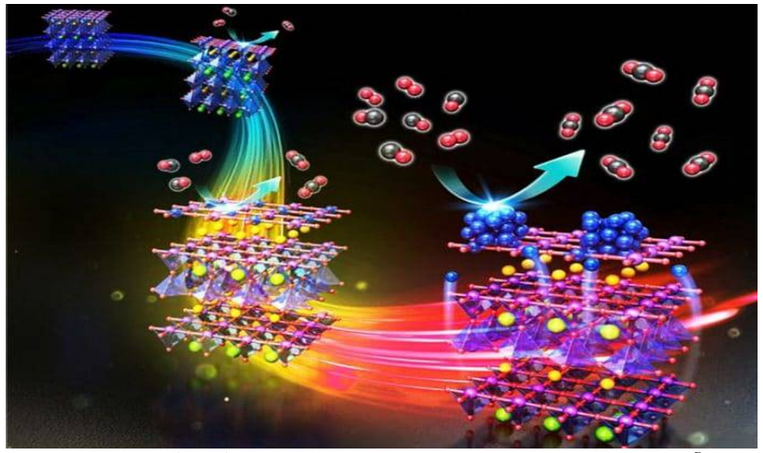
یکی از مواد جاذب میکروموج‌ها SiC است که نقطه ذوب بسیار بالایی دارد. پیوندهای مولکولی این ماده از نوع کووالانسی است که از قوی‌ترین پیوندهای بین مولکولی است.

## تجزیه کاتالیستی

تجزیه کاتالیستی با افزودن کاتالیزور به فرآیند تجزیه در اثر حرارت باعث صرفه‌جویی در انرژی و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. کاتالیزورها دمای مورد نیاز فرآیند را کاهش می‌دهند. با افزودن یک کاتالیزور، دمای فرآیند را می‌توان تا دمای ۳۰۰-۳۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داد. استفاده از یک کاتالیزور همچنین می‌تواند تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر را افزایش دهد. از کاتالیزورها همچنین برای به‌روزرسانی محصول و به‌دست آوردن روغن با خواصی مشابه سوخت‌های فسیلی نیز استفاده شده است.



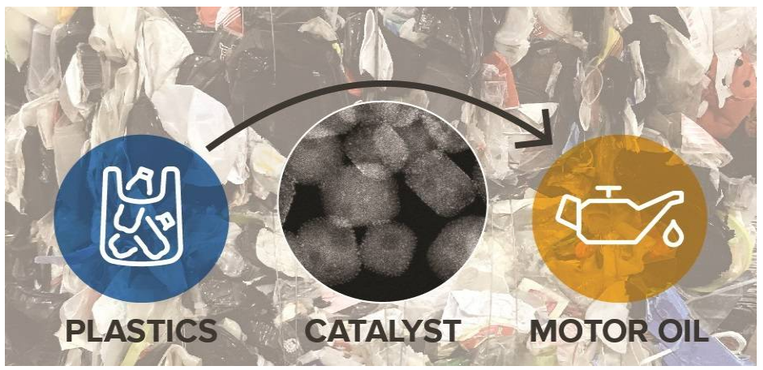
در سال‌هاي اخير بيشترين رشد مصرف كاتاليست متعلق به كشورهايي همچون چين و منطقه خاورميانه است كه به واسطه افزايش ظرفيت پالايش نفت و توليد محصولات پتروشيمي در اين مناطق افزايش يافته است. حال اگر مصرف كاتاليست در بازيافت پلاستيک را نيز به آن اضافه كنيم با حجم عظيمي از نياز به اين مواد روبه‌رو خواهيم شد. در ايران ساليانه حدود ۲۱ هزار تن كاتاليست به ارزش تقريبي ۳۱۲ ميليون دلار در صنايع پتروشيمي و پالايشي كشور نياز است كه عمده آن از طريق واردات تأمين مي‌شود. قيمت تمام شده نمونه‌هاي خارجي بسيار پايين‌تر از توليد داخل است و علاوه بر آن كيفيت نمونه‌هاي داخلي قابل مقايسه با نمونه‌هاي وارداتي نيست. به نظر مي‌رسد توسعه فناورانه صنعت كاتاليست به كمک دانش داخلي، با توجه به پرمصرف بودن آن چه در بخش پالايش و چه در بخش بازيافت، مي‌تواند اعتماد مشتريان را جلب كرده و گامي بزرگ در صنعت بازيافت كشور باشد.



بيشتر فرآيندها در زمينه تجزيه كاتاليستي براي بازيافت پليمرهاي خالص انجام شده است زيرا اين روند ممكن است تحت تأثير آلاينده‌هاي موجود در پلاستيک‌هاي ناهمگن قرار گيرد. كاتاليزور فرآيند تجزيه را سرعت مي‌بخشد. بازده توليد روغن‌هاي مشابه سوخت فسيلي با افزودن كاتاليزور، بيش از ۸۰ درصد است. مشكل اصلي اين روش وجود اجزاي كلريد و نيتروژن در زباله خام است كه كاتاليزور را غيرفعال مي‌كند. بنابراين تفكيک پسماندها اغلب به عنوان يک اقدام پيش‌گيرانه ضروري صورت مي‌گيرد. با اين حال تلاش براي ساخت كاتاليزورهايي با ويژگي‌هاي مناسب براي استفاده در فرآيندهاي تجزيه پليمرها ادامه دارد. يک كاتاليزور با قابليت ارتقاء كيفي فرآيند تجزيه كه بتواند با انواع مواد تركيبي موجود در پلاستيک‌ها سازگار باشد و به طور هوشمند عمل كند، بسيار شگفت‌انگيز خواهد بود.

از كاتاليزورها براي بهينه‌سازي توزيع و انتخاب محصول به ويژه در زمينه سوخت‌هاي خودرو و مواد شيميايي مورد استفاده در صنايع پتروشيمي استفاده مي‌شود. تجزيه كاتاليستي پليمرها همان مراحل واكنش تجزيه كاتاليزوري هيدروكربني را كه در پالايشگاه‌هاي نفت استفاده مي‌شود، دنبال مي‌كند و كاتاليزورهاي استفاده شده نيز مشابه هستند.

نكته بسيار مهمي كه قبلا به آن اشاره شد، پيچيدگي ساختاري زباله‌هاي پلاستيكي ناهمگن است. اين پيچيدگي ناگزير ما را به سمت تلفيق فناوري‌هاي موجود و ارتقاء آن‌ها سوق مي‌دهد. همچنان كه در فناوري‌هاي تجزيه پلاسمايي و ميكروموج، استفاده از كاتاليزورها منجر به افزايش كيفيت محصولات توليدي و كاهش زمان و انرژي لازم جهت بازيافت پسماندها مي‌شود.



چندين فرآيند تجزيه كاتاليستي تجاري در مقياس صنعتي وجود دارد. شركت‌هاي بسياري در سرتاسر جهان با اين فناوري كار مي‌كنند. آزمايشگاه «آمس» وابسته به وزارت انرژي آمريكا، كاتاليست‌هايي از نانوذرات سيليس متخلخل را ارائه كرده است كه متشكل از يک هسته پلاتيني با نقاط فعال است. به‌كمک طراحي خاص استفاده شده در اين نوع كاتاليست‌ها، امكان تبديل زنجيره‌هاي طولاني‌تر پليمري به مونومرهاي يكنواخت فراهم شده است كه پتانسيل استفاده مجدد در محصولات مفيدتر نهايي را خواهند داشت. در نتيجه، از اين فرآيند مي‌توان براي توليد سوخت، حلال‌هاي شيميايي و روغن‌هاي روان‌كننده استفاده نمود.

ونيو هوانگ (Wenyu Huang)، از محققان آزمايشگاه آمس كه در حوزه كاتاليزورهاي مبتني بر نانومواد فعاليت دارد، در اين باره مي‌گويد: «ما توانستيم نشان دهيم كه روند كاتاليزوري، توانايي انجام چندين مرحله تجزيه يكسان بر روي يک مولكول، قبل از آزاد كردن آن را دارد». كاتاليزورهاي مبتني بر نانوذرات سيليس مي‌توانند پلاستيک‌هاي پلي‌الفين (Polyolefin)، مانند پلي‌اتيلن و پلي‌پروپيلن را تا سطح مولكولي تجزيه كنند. طيف وسيعي از زباله‌هاي پلاستيكي خانگي و صنعتي را مي‌توان با اين فناوري به چرخه توليد بازگرداند و مانع دفن كردن و يا سوزاندن آن‌ها شد.

حجم پسماند به طور عمده بر اساس دو عامل پيش‌بيني مي‌شود: جمعيت در هر منطقه خاص و الگوي مصرف مردم كه با روند توليد ناخالص داخلي در ارتباط است. اين دو عامل مهم تعيين‌كننده ميزان زباله هستند.

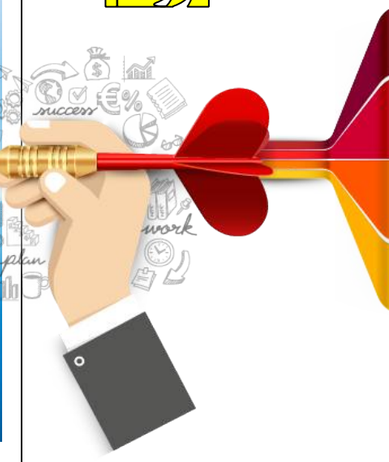
طبق اعلام سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰، كل جمعيت جهان در حدود ۹/۵ ميليارد نفر خواهد بود. توجه به اين نكته مهم است كه ۹۷٪ اين رشد در آسيا و آفريقا اتفاق خواهد افتاد كه شامل فقيرترين كشورهايي است كه كم‌ترين توانايي جذب پسماند را دارند.

علاوه بر جمعيت، افزايش چشم‌گير سرانه توليد ناخالص داخلي به ويژه در كشورهاي در حال توسعه در راه است. در سال ۲۰۲۵، توليد جهاني در مقايسه با سال ۲۰۰۵ دو برابر خواهد شد. جفري ساكس، اقتصاددان آمريكايي، تخمين زده است كه تا سال ۲۰۵۰ در كشورهاي در حال توسعه سرانه توليد ناخالص داخلي در حدود ۴۰،۰۰۰ دلار خواهد بود كه با توليد ناخالص داخلي در ايالات متحده در سال ۲۰۰۵ برابراست! بديهي است كه افزايش جمعيت و رشد چشم‌گير توليد ناخالص داخلي در جهان باعث افزايش حجم زباله خواهد شد.

از اين رو زباله مي‌تواند يا نقش يک معدن با ارزش طلا را ايفا كند و يا نقش يک ميدان مين را كه منجر به نابودي محيط زيست انسان و ساير جانداران مي‌شود!

**چالش‌های مهم صنعت بازیافت در ایران**

- سرعت افزایش تولید زباله همگام با رشد جمعیت در کشور
- عدم هماهنگی بخش‌های مختلف سامانه بازیافت
- عدم استفاده از فناوری‌های جدید با وجود ظرفیت‌های علمی بالا
- عدم وجود سازمان مستقل متولی بازیافت در کشور
- میزان کم سرمایه‌گذاری در بخش خصوصی
- عدم سرمایه‌گذاری خارجی



جای امیدواری است که هرچه تولید ناخالص داخلی بیشتر رشد یابد، سامانه‌ها و فناوری‌های پیشرفته و موثر در مدیریت پسماند نیز توسعه می‌یابند. بنابراین رشد جهانی تولید ناخالص داخلی به طور قطع سرعت توسعه و پیشرفت فناوری‌های جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت انواع زباله را در سراسر جهان چند برابر خواهد کرد.

سه چالش اساسی در زمینه بازیافت پسماند در سطح جهانی وجود دارد که روند رشد بازار آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اولین سؤال اساسی این است که آیا فناوری‌های موجود و حتی فناوری‌های جدیدتر در سال‌های آینده پاسخگوی حجم عظیم چندین میلیون تنی زباله خواهند بود؟

سؤال دوم در ارتباط با نابرابری رشد تولید ناخالص داخلی کشورها است. کشورهای فقیر به ویژه در آسیا و آفریقا رشد تولید ناخالص داخلی اندکی دارند. در آینده، جمعیت و به دنبال آن نرخ تولید زباله در آن‌ها افزایش خواهد یافت. این کشورها با وجود فقر و عدم توسعه‌یافتگی، چگونه از فناوری‌های پیشرفته بازیافت زباله بهره خواهند برد؟!

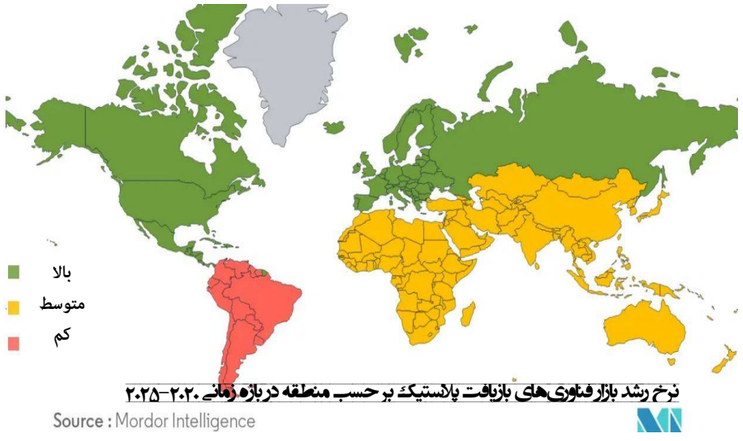
چالش سوم که یک چالش فراگیرتر است، تغییر ترکیبات زباله‌ها و به‌روز شدن آن‌ها است. عامل اصلی آن بالا رفتن انتظارات مردم در نیازهای زندگی است. استفاده از مواد جدید با ساختارهای پیچیده شیمیایی در بسیاری از صنایع تولیدی، ترکیب شیمیایی زباله‌ها را نیز تغییر می‌دهد. مشکل اصلی این است که سرعت پیشرفت مواد جدید بسیار سریع‌تر از سرعت توسعه فناوری‌های بازیافت زباله است.

اما راهکار چیست؟ بهتر است برای درک بهتر، پیشرفته‌ترین سامانه‌های بازیافت جهان یعنی سامانه‌های بازیافت اروپا را مثال بزنیم. بررسی موفقیت و عدم موفقیت بهترین سامانه بازیافت جهان می‌تواند بینش مفیدی را برای توسعه یک رویکرد کارآمد جهانی در مورد مدیریت پسماند در اختیارمان قرار دهد. واضح است که اتحادیه اروپا به دنبال سامانه مدیریت پسماند با بهره‌وری بالا و زیست‌سازگار است. البته هزینه‌های بالایی نیز صرف شده است. در مدیریت پسماند اروپا، دفن زباله و انتشار متان به میزان قابل توجهی کاهش یافته است و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در حال گسترش است. اما در این بین ذکر برخی از موارد جالب توجه است. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ ، صادرات زباله های پلاستیکی در اروپا با ۲۵۰٪ افزایش، به ۲/۲۷ میلیون تن رسید. تنها ۵ میلیون تن زباله پلاستیکی سالانه در اروپا بازیافت می‌شود. صادرات زباله و حتی در برخی موارد قاچاق آن





نشان می‌دهد که اقتصاد بازیافت زباله نمی‌تواند یک امر منطقه‌ای باشد بلکه یک موضوع جهانی است. با توجه به توسعه فناوری‌های جدید هر کشوری، علاوه بر فرصت اقتصادی مناسبی که صادرات و واردات زباله دارد، تأثیر آلودگی زباله‌ها بر محیط زیست تنها یک یا چند کشور را تهدید نمی‌کند بلکه همه جهان در خطر خواهند بود. لذا توجه به سیاست‌های فناورانه و اقتصادی جهانی به ویژه در کشورهای فقیر امری ضروری تلقی می‌شود. در واقع بهترین سامانه مدیریت پسماند در جهان تا حد زیادی به تجارت جهانی (قانونی و غیرقانونی) انواع زباله بستگی دارد. هیچ سامانه مدیریت پسماندی توانایی کافی یا خودکفایی برای مواجهه با افزایش حجم و تغییر سریع ترکیب زباله را نداشته است. ایران یکی از ۱۰ کشور پر مصرف ظروف پلاستیکی در دنیا است. سالانه بیش از ۵۷۰ هزار تن زباله پلاستیکی در کشور تولید می‌شود که بخش زیادی از آن یا دفن می‌شود و یا در طبیعت رها می‌شود. با توجه به اینکه فناوری‌های پیشرفته جمع‌آوری و تفکیک هوشمند زباله در کشور توسعه نیافته است، فرصت بسیار خوبی جهت سرمایه‌گذاری در این بخش وجود دارد. سالانه تنها ۹% از پلاستیک‌ها در کشور بازیافت می‌شوند. فناوری‌های بازیافت در کشور اغلب مکانیکی و حرارتی سنتی است که علاوه بر بهره‌وری پایین، آلودگی زیستی نیز دارد. در واقع راهی طولانی در مسیر فناوری بازیافت خواهیم داشت که نیازمند توجه بیشتر و آماده‌سازی زیرساخت‌های ضروری است. ایران در فناوری‌های بازیافت زباله، نرخ رشد متوسطی دارد. در آسیا و اقیانوسیه، بیشتر تقاضای بازیافت از از کشورهای چین، ژاپن و هند است. در چین و هند، با افزایش کاربرد پلاستیک، بازار بازیافت نیز در حال افزایش است. تقریباً ۸۰٪ بطری‌های پلاستیکی در این دو کشور بازیافت می‌شود. چالش مهم تعیین‌کننده آینده قرن ۲۱ این است که بشریت سرنوشت مشترکی دارد. این سرنوشت در حال حاضر خواستار اشکال جدید همکاری جهانی است. در کنار مدیریت اقتصاد جهانی بازیافت زباله، فناوری‌های بازیافت در آینده به مدیریت پیوندهای شیمیایی درون مواد گره خورده است. دقیقا مانند پازلی که می‌شود آن را بارها و بارها به اجزایش تقسیم کرد و دوباره بدون افت کیفیت و آسیب، از نو ساخت. مسیری که سرمنزلش دستیابی به یک سرمایه عظیم اقتصادی و نجات جان محیط زیست است.




نرخ رشد بازار فناوری‌های بازیافت پلاستیک بر حسب منطقه در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۲۵

Source : Mordor Intelligence

انتظار می رود بازار بازیافت پلاستیک تا سال ۲۰۲۵ با بیش از ۶٪ رشد، به ۵۶ بیلیون دلار برسد. سریع‌ترین رشد بازار مربوط به اروپا و بزرگترین بازار از آن آسیا خواهد بود. بیش از ۵۰٪ از سهم بازار مربوط به آسیا و اقیانوسیه خواهد بود.

# آموزش کاربردی

## نه به مدگرایی

## و

## ذخیره سازی وسایل منسوخ الکترونیکی

## از پسماند تا گنج!

## فناوری پلاسما در پسماندهای تجهیزات الکترونیکی

## تبدیل قطعات الکترونیکی به طلا

## با استفاده از Tetronics

## AUTOSORT Fines Optical Sorter

## مرتب‌سازی نوری قطعات الکترونیکی

به قلم المیرا بلندهمت
e.bolandhemmat@gmail.com

ورود فناوری اطلاعات و ارتباطات به زندگی روزمره در نیمه دوم قرن بیستم و دیجیتالی کردن فرآیندهای تولید، تقاضای زیادی برای تولید وسایل برقی و الکترونیکی ایجاد کرده، به طوری‌که زندگی الکترونیکی با زندگی همه ما عجین شده است و انکار آن غیر ممکن به نظر می‌رسد.

به نظر شما آیا می‌توان تنها به جنبه‌های مثبت و مزایای این پیشرفت فناوری دلخوش بود و یا می‌توان معایبی که زندگی آینده‌مان را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد، نادیده گرفت؟

بدیهی است که همگام با پیشرفت‌های فزاینده فناوری در جهان و استعمال آن‌ها، مشکلات عدیده‌ای نیز به وجود آمده و منجر به افزایش تولید پسماندهای الکترونیکی شده است.

پس لازم است، مدیریت پسماندهای تولیدی حاصل از این نوع زندگی را جز اولویت‌ها قرار دهیم.

پیشرفت سریع فناوری منجر به عمر کوتاه‌تر و جایگزینی مکرر محصولات الکترونیکی شده است به طوری‌که محصولات الکترونیکی به سرعت ارزش فروش مجدد خود را از دست می‌دهند، اما با این وجود، مصرف‌کنندگان با اعتقاد به ارزشمند بودن کالاهای الکترونیکی منسوخ شده، به ذخیره‌سازی خود ادامه می‌دهند که مخاطرات روزافزون ناشی از آن‌ها بر کسی پوشیده نیست و دغدغه مهار این نوع پسماندها همگان را درگیر خود کرده است.

حال سوالی که اینجا مطرح است" وقتی عمر مفید این محصولات به پایان می‌رسد یا کهنه می‌شوند، چه باید کرد؟

## پسماند الکترونیکی تهدید یا سرمایه؟

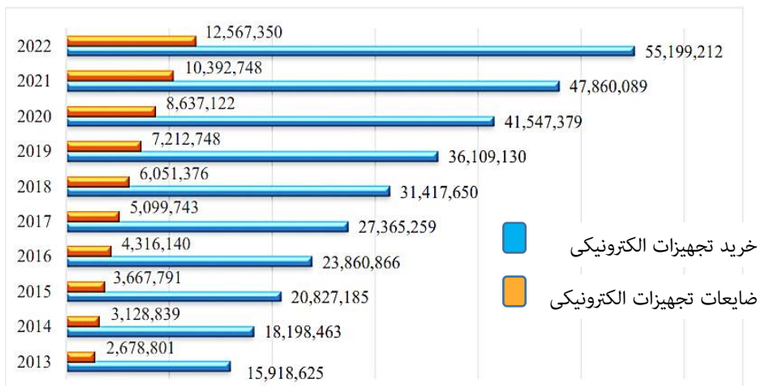
اگر به اطراف خود نگاه کنیم، شمار زیادی از دستگاه‌ها و قطعات الکترونیکی مصرف شده همچون تلویزیون‌های منسوخ شده، نمایشگرهای رایانه، واحدهای پردازش مرکزی (CPU) و تلفن‌های ثابت و تلفن همراه، لوح فشرده و ... را می‌بینیم که به دلیل مدگرایی یا خراب شدن بدون استفاده مانده‌اند. این قطعات همان پسماندهای الکتریکی هستند.

این پسماندها حاوی فلزات خطرناک مانند سرب، کادمیوم و جیوه و ... هستند که در صورت رهاسازی در طبیعت پس از پایان عمر مفید و عدم بازیافت صحیح، از جمله مهمترین آلاینده‌های خطرناک محیط زیست به شمار می‌آیند و بازیافت غیر اصولی آنها منجر به آلودگی‌های گسترده‌ای می‌شود که مشکلات مختلف سلامتی از جمله آسیب مغزی، واکنش‌های آلرژیک و سرطان و ... را به همراه دارد.حجم پسماندهای الکترونیکی تولید شده در سراسر جهان در سال ۲۰۱۹ تقریبا ۵۴ میلیون تن بوده است و پیش‌بینی می‌شود اگر این روند ادامه داشته باشد، تا سال ۲۰۳۰، تولید پسماندهای الکترونیکی سالانه در سراسر جهان تقریباً ۳۰ درصد افزایش یابد.

دکتر عبدولی و دکتر دریابیگی از محققان دانشگاه تهران، به این نتیجه رسیده‌اند که تا سال ۲۰۲۱، تقریباً ۷/۸۳ میلیون تن پسماند الکترونیکی رایانه تولید خواهد شد و از آن‌جایی که اکثر قطعات رایانه‌ها الکترومگنتیک هستند و امواج آن‌ها به صورت عمود بر هم ساطع می‌شوند. تشعشات ناشی از آن‌ها جز تهدیدهای سلامتی و محیط زیست به شمار می‌آید.

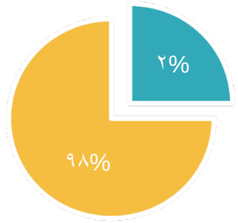
اگرچه لوازم برقی قدیمی و منسوخ شده، غیرقابل‌استفاده به نظر می‌رسند، اما در واقع از مواد با ارزشی ساخته شده‌اند، به همین دلیل این اشیا در مراکز بازیافت، جداسازی و در مرحله‌ای مجزا، به قطعات کوچک‌تری خرد می‌شوند تا برای بازیافت آماده شوند. این نوع تخریب، ایمنی‌ترین شیوه برای حفاظت از داده‌های محرمانه است.

سپس آهنرباهای غول‌آسا فلزاتی مانند فولاد را از سایر مواد جدا می‌کنند. فلزاتی مانند آلومینیوم هم که جذب آهنربا نمی‌شوند، توسط سامانه‌های مغناطیسی جداسازی می‌کنند. در نهایت قطعات پلاستیکی، توسط اشعه مادون قرمز پاکسازی و به مراکز بازیافت منتقل می‌شوند. سپس هر بخشی که از فلزات جدا شده است، در یک محصول و صنعت جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد.



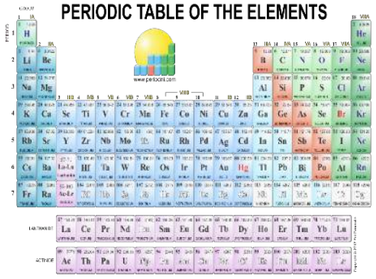

ارتباط بین تعداد خریدهای محصولات و ضایعات الکترونیکی در ایران از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲

The Status of Electronic Waste in Iran




اگر به لحاظ آماری بررسی کنیم پسماندهای الکترونیکی تنها ۲ درصد از حجم کل پسماندهای تولید بشری را به خود اختصاص می‌دهند. اما این حجم کم، منشأ حدود ۷۰ درصد آلودگی‌ها است. با جمع کردن این وسایل و سپردن به مراکز بازیافت، می‌توانیم در کاهش این آمار بسیار موثر باشیم.

ضـایعات تجهیـزات الکتریکـی و الکترونیکـی (WEEE) منبع مس، آلومینیوم و طـلا هسـتند. وقتـی ایـن منـابع بازیـابی نشـوند، بـرای تولیـد محصولات جدیـد، بایـد مـواد اولیـه اسـتخراج و پردازش شود که همین امر منجـر بـه از دسـت رفـتن حجـم قابـل تـوجهی از منـابع شـده و آسیب‌های زیست محیطی ناشی از استخراج، ساخت، حمل و نقل و اسـتفاده از انـرژی را در پی دارد.




از بـین ۱۱۸ عنصـر جـدول تنـاوبی حـدود ۷۵ عنـصر، داخل گوشـی‌های تلفـن همـراه وجـود دارد. برای تولید تلفن همراه، باید مـواد خـام از طریـق زمـین اسـتخراج شـوند، سـپس از طریـق زنجیـره تـامین بـین‌المللـی بـه مراکـز تصـفیه و کارخانه‌ها بروند. خیلی از عنـاصر بـه کـار رفتـه در ایـن ابزارهـا منـابع محـدودی دارنـد و جایگزینی بـرای آن‌هـا وجـود نـدارد. پـس بهـتر است به جای کندن زمـین و اسـتخراج بیشـتر از گوشی‌های قدیمی اسـتفاده شـود کـه متاسـفانه تنها ۱۰ درصد از آن‌ها بازیافت می‌شوند. اغلـب این دستگاه‌های الکترونیکی سـه یـا چهـار سـال قابلیت استفاده دارند و بعد از مـدتی بـه دلیـل ارتقـاء فنـاوری، مـصرف‌گرایی و تنـوع‌طلبی بلااستفاده می‌شوند و این نوید خبر خوبی بـرای ذخیره مواد معدنی است.

از این رو، توسعه فرآیندهای جدید بازیافـت از اهمیت بالاتری برخوردار است و از ایـن طریـق می‌توان به منابع ارزشمندی بـرای تولیـد مجـدد دست پیدا کرد.

دفن و سوزاندن از جمله راهکارهـای پـر خطـری است که مشکلات زیادی بـرای محـیط زیسـت و سلامتی ایجاد می‌کنند. پـس بـرای توسـعه و حـل این مشکلات به راهکارهای مکانیکی (بازیافـت و جداسـازی) متوسـل می‌شـویم. بازیافـت پسماندهای الکترونیکی یا پردازش و مرتـب‌سـازی ضایعات الکترونیکی با حجم بالا به ابزار مناسـبی برای کار نیـاز دارنـد کـه در ایـن بخـش بـه طـور مختصـر بـه معرفـی یکـی از بهـترین ابـزار مرتب‌سازی می‌پردازیم.

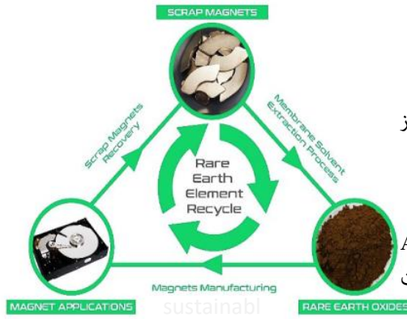
### Tomra AUTOSORT Fines Optical

TOMRA، دستگاهی است که راه‌حل‌های مبتنی بر سامانه‌های حسگری را برای بهره‌وری بهینـه از منابع ارائه می‌دهد.

AUTOSORT Fines Optical Sorter یکی از بهـترین سـامانه‌های کارامـد و دقیـق اسـت کـه توانایی و دقـت بـالایی در مرتـب‌سـازی قطعـات فلـزی گـران‌بهـا در محـدوده ۱-۲ میلـی‌مـتر دارد. همچنـین بـه عنـوان "چـاقوی ارتـش سـوییس" شـناخته شـده اسـت کـه می‌توانـد آلومینیـوم و فلزات گران‌بها را جداسازی کند.

این سامانه کـاربردی از ویژگی‌هـای منحصـر بـه فردی برخوردار است که از جملـه مهمـترین آنهـا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- وضوح فوق‌العاده بالا در نزدیکی طیف‌سنج مادون قرمز.
- آشکارسازی به‌وسیله دوربین.
- حسگرهای فلزی با وضوح بالا.
- تشخیص شی عمیق LAIser با اسـتفاده از هوش مصنوعی.



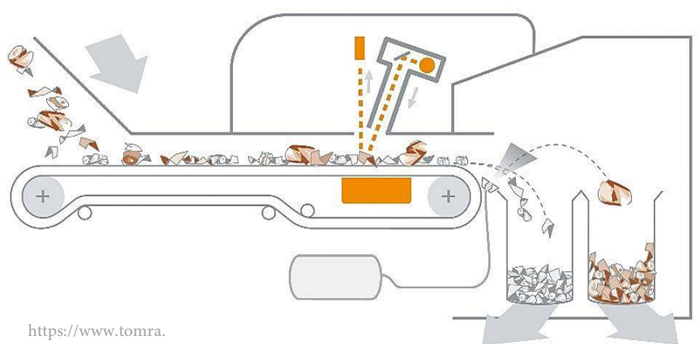

نحـوه عملکـرد دسـتگاه AUTOSORT Fines برای پردازش پسماندهای الکترونیکـی بـه صـورت زیر است:

Tomra سامانه مرتب‌سازی مبتنی بر حسـگر بـا بـازده بـالا، طیـف گسـترده‌ای از مـواد را بررسـی می‌کنـد و می‌توانـد در کمـتر از ۱۵ دقیقـه یـک سوله بزرگ که بـا مجموعـه بسـیار گسـترده‌ای از پسماند پوشانده شده است را تجزیـه و تحلیـل و مرتب کند. خواه این مرتب‌سـازی بـرای بازیافـت مواد باشد، خواه بـا هـدف کـاهش ردپـای $CO_2$ صـورت گیـرد. سـامانه‌هـای مرتـب‌سـازی انعطاف‌پذیر، خروجی بـا بـالاترین بـازده را ارائـه می‌دهند.

بـرای بازیـابی فلـزات در TOMRA مـی‌تـوان از محصولات زیر که بسیار کاربردی و موثر هستند، استفاده کرد:

- Finder
- Autosort
- Combisense
- X-Tract
- Combisense Chute

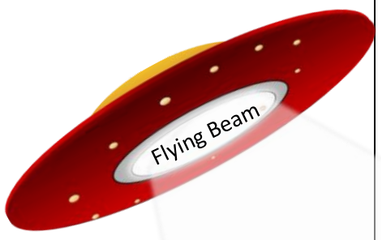
FINDER به لطف طراحی مدولار بسیار انعطاف‌پذیر، هم برای پسماندهای مخلوط و هم برای بازیابی فلزات مفید است. برای پردازش پسماندهای الکترونیکی و ضایعات الکترونیکی، حالت Finder Mode TOMRA Autosort opter sorter's از حسگرها برای جداسازی فلزات از غیرفلزات و بخش‌های پاکسازی به شما کمک می‌کند. TOMRA Sorting's FINDER به دلیل قابلیت بازیابی موثر بخش‌های فلزی با خلوص بالا، صرف‌نظر از پیچیدگی ترکیب یا اندازه دانه، مشهور است. TOMRA's AUTOSORT ویژگی‌ها و فناوری‌های پیشرفته را در یک دستگاه ترکیب می‌کند و با برخورداری از فناوری TOMRA's FLYING BEAM®، از توزیع نور همگن عالی برای تشخیص و نظارت بهتر در کل عرض تسمه، بهره گرفته است. در فناوری TOMRA's Deep LAISER علاوه بر شناسایی موادی که شناسایی آنها قبلا امکان‌پذیر نبود، سطح خلوص مرتب‌سازی حتی بیشتر از قبل افزایش یافته است. همچنین وضوح بالای اشعه ایکس (XRT) از نسل DUOLINE® همراه با قابلیت‌های کانال چند تراکم و دقت مرتب‌سازی، امکان شناسایی حتی پیچیده‌ترین مخلوط مواد را در طیف گسترده‌ای از کاربردهای فلز فراهم می‌کند. فناوری پردازش، همراه با توسعه نرم‌افزار منحصر به فرد TOMRA، به این معنی است که X-TRACT مرتب‌سازی موثر با بالاترین توان



https://www.tomra.com/pt-








عملیاتی و کیفیت بالا را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین دارای بسته‌های کابردی برای طراحی مکانیکی سفارشی است. اپراتورهای X-TRACT که اکنون به رابط کاربری جدید ACT مجهز شده‌اند، می‌توانند به راحتی و با یک نگاه اطلاعات مرتب‌سازی و داده‌های پردازش شده را در زمان واقعی مشاهده کنند.

- تشخیص هوشمند اشیا برای مرتب‌سازی مواد غیر آهنی
- سازگار با انواع برنامه‌ها و مجموعه پسماندها.
- غربالگری با توان بالا برای دستیابی به بازده بالا.

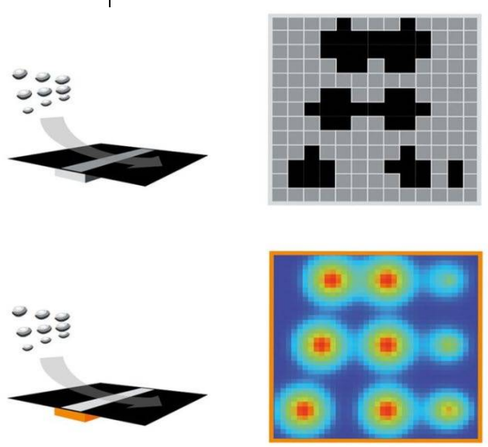
TOMRA COMBISENSE مواد را بر اساس رنگ و شکل برای جدا کردن بخش‌های فلزی با خلوص بالا طبقه‌بندی می‌کند.

مزایای کلیدی:

- داشتن پنجره تخلیه با قابلیت تنظیم خودکار.
- قابلیت انعطاف‌پذیری همپوشانی با برنامه‌های دیگر.

با فناوری انقلابی پردازش تصویر SUPPIXX® TOMRA، سطح وضوح تصویر، هشت برابر افزایش می‌یابد و "نوفه" ناشی از تأثیرات مکانیکی و الکتریکی به طور کامل از بین می‌رود. ضمن آن که امکان شناسایی ذرات با دقت بسیار زیادی فراهم می‌شود که در ادامه می‌توان آن‌ها را با دقت بالا از هم جدا کرد. GAIN یک بخش ضمیمه مرتب‌سازی مبتنی بر یادگیری عمیق برای ماشین‌های TOMRA's AUTOSORT است. با طبقه‌بندی اشیا از داده‌های حسگر، GAIN از مقادیر زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده برای شناسایی اشیا با شکل یا بافت خاص بهره می‌گیرد. در ترکیب با TOMRA's AUTOSORT، هم اشیا غیرپلی‌اتیلن (PE) و هم کارتریج‌های PE-سیلیکان را می‌توان با موفقیت از پسماند PE خارج کرد که همین امر منجر به دقت بیشتر نتایج مرتب‌سازی و حفظ سرعت عملیاتی AUTOSORT می‌شود.

فناوری اصلی FLYING BEAM® نور همگن را در کل تسمه نقاله توزیع می‌کند و با قرار گرفتن واحد روشنایی در داخل اسکنر، امکان توزیع نور و ماندگاری مداوم آن را فراهم می‌کنند. ترکیبی از FLYING BEAMAR و SHARP EYE سیگنال سامانه را برای انتقال اطلاعات دقیق‌تر و پایدارتر افزایش می‌دهد. سیگنال‌های قوی‌تر، جداسازی گروه‌های مواد را دقیق‌تر و بسته به نوع کاربرد انجام می‌دهد و منجر به ۲-۵٪ افزایش میزان بازیابی خواهد شد. در حین کار، لامپ‌های به هم پیوسته با عملکرد بالا بر روی یک آینه چرخان می‌تابند و از این طریق نور به حسگر منتقل می‌شود. ضمن آن که نور همگن در کل عرض تسمه توزیع می‌شود. این حسگر می‌تواند طول موج خاصی از نور را در طیف نزدیک به مادون قرمز شناسایی کند.



## تاثیر فناوری پلاسما بر تجهیزات الکترونیکی!

نوری که توسط لامپ‌ها ساطع شده است به مواد نفوذ می‌کند و سپس جذب خواهد شد. مواد بر اساس اطلاعات داده شده و الگوریتم‌هایی خاص طبقه‌بندی می‌کنند و با توجه به این نتایج معلوم می‌شود که چه موادی را بایدبیرون ریخت؟ سپس سیگنال مربوطه را به دریچه‌های دستگاه می‌فرستند تا مواد بر اساس آن مرتب شوند.

لامپ‌ها محصولات ماندگار و نشکنی نیستند و در نهایت در طول چرخه زندگی، عملکرد خود را از دست می‌دهند. در واقع پس از کارکرد مکرر، نور و کیفیت سیگنال لامپ‌ها تغییر می‌کند و از کارایی آنها کاسته می‌شود که همین امر بر روی شناسایی مواد و در نتیجه مرتب‌سازی تأثیر نامطلوبی دارد. فناوری FLYING BEAM® با شناسایی تغییرات سیگنال و تطبیق خودکار پارامترهای فرآیند تجزیه و تحلیل مواد برای حفظ بهترین عملکرد، این مشکل را بر طرف کرده است، همچنین یک سامانه روشنایی داخلی ثابت را ارائه می‌دهد که خطاهای موقعیت‌یابی را از بین برد و زمان تعمیر و نگهداری را به شدت کاهش دهد. گزینه‌ای مانند کلید LOD، مکمل مطلوبی برای تجهیزات موجود در سامانه TOMRA است. LOD با تولید نور امکان دیدن اشیایی مانند پلاستیک‌های سیاه (پلی‌پروپیلن (PP)، پلی اتیلن(PE)، پلی اتیلن ترفالات (PET) و ...)، شیشه و مواد زائد را که از طریق حسگرهای نزدیک به مادون قرمز (NIR) قابل تشخیص نیستند، فراهم می‌کند.

در فرآیند بازیافت پس از مرحله تفکیک که با استفاده از دستگاه‌های معرفی شده صورت می‌گیرد، باید پسماندها را با روش‌های شیمیایی یا فیزیکی پردازش کرد که در این بخش به معرفی روش پلاسمایی بازیافت مواد الکترونیکی می‌پردازیم..

همانطور که می‌دانید، پلاسما به عنوان حالت چهارم ماده شناخته شده است و طی سالیان اخیر در تصفیه پسماندهای مضر، کاربرد گسترده‌ای داشته است. در واقع ذوب با دمای بالا در راکتور پلاسما، یکی از چند گزینه احتمالی و مورد توجه برای بازیافت پسماندهای الکترونیکی است. مزیت این روش استفاده از گاز با دمای بالا به جای سوزاندن و تولید گازهای سمی و خطرناک است. پلاسما، پسماند را به مواد اولیه مفیدی تبدیل می‌کند.

چنین حجمی، از نظر استفاده مجدد قابل اغماض نیست و می‌توان از فرآیند بازیافت پلاسمایی که به روند واکنش‌های شیمیایی رخ داده در اتاق واکنش راکتور پلاسما بستگی دارد، به بهترین شکل ممکن بهره برد.

قسمت پسماند آماده شده از طریق تغذیه‌کننده خودکار به محفظه راکتور پلاسما منتقل می‌شود. درون محفظه، پسماندها توسط سه جریان پلاسما سوزانده و ذوب می‌شوند. سپس، بخارات پسماند سوزانده شده به دستگاه تمیزکننده (Scrubber) منتقل و خنک شده ، سپس از دستگاه خارج می‌شوند. البته فلزات و گدازه‌ها، به شکل مذاب از راکتور خارج شده و در قالب ریخته می‌شوند. سپس می‌توان آن‌ها را بازیابی و بازیافت کرد و برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار داد.

ساختمان محفظه راکتور به شکل شش ضلعی بوده و از سه لایه زیر تشکیل شده است:

- بتونی ضدحریق.
- عایق حرارتی.
- پوسته فلزی (ساختمان خارجی).

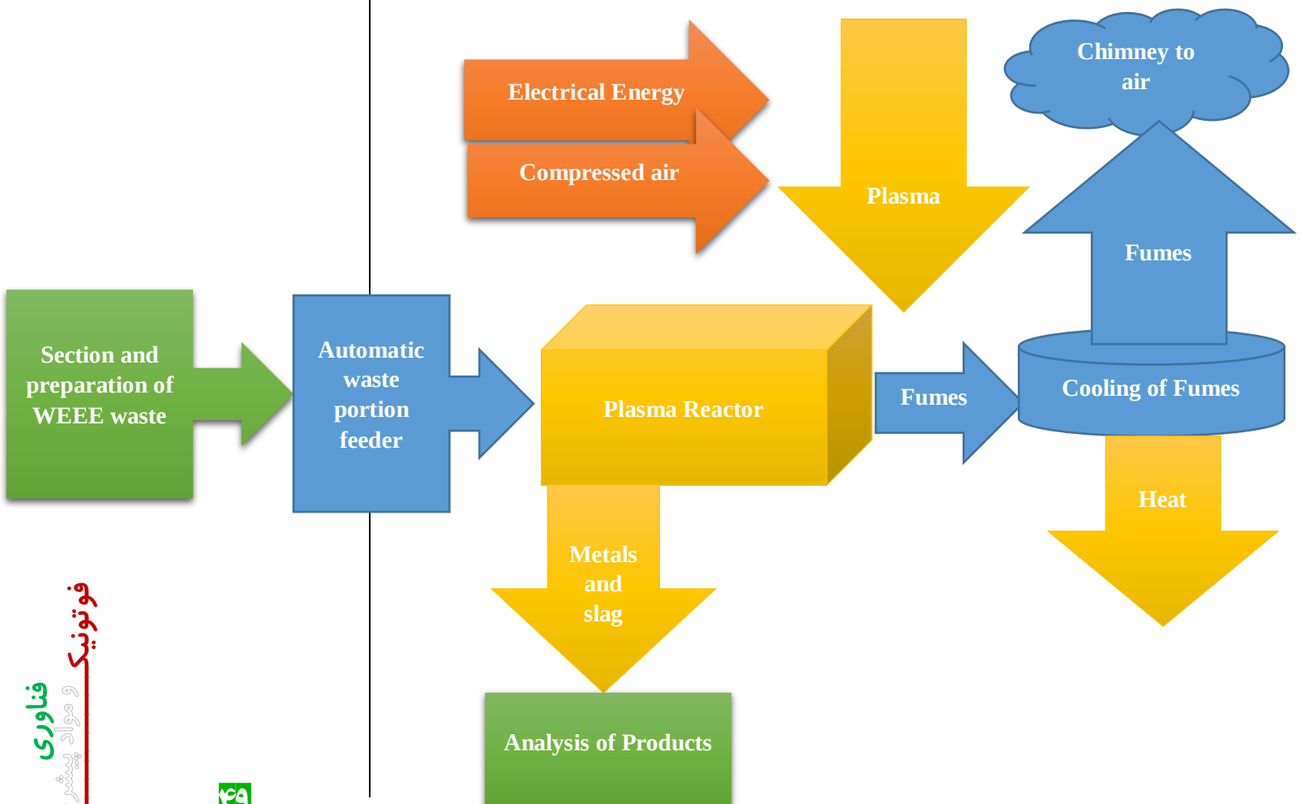
چنین ساختاری امکان تحمل دما تا ۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد را فراهم می‌کند. با این حال، در ناحیه‌ای که جریان پلاسما بر پسماند تأثیر مستقیم دارد، دما بیش از دمای فوق است.

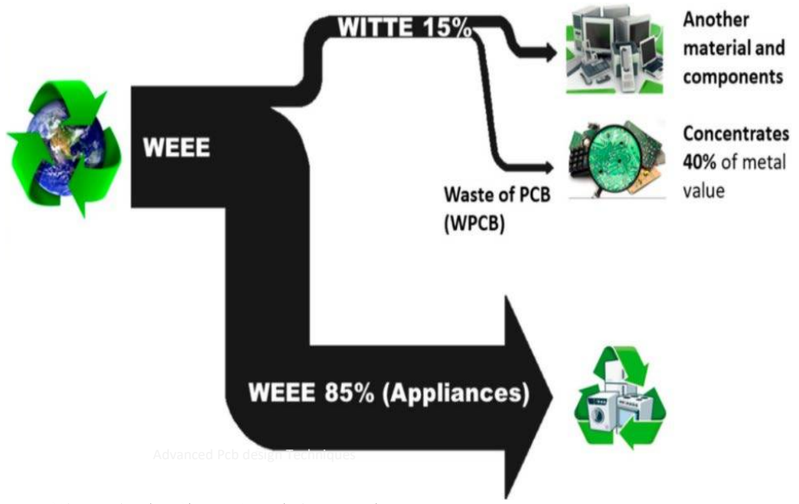
## تبدیل برد مدار الکترونیکی به گنج با استفاده از پلاسما!!

حال می‌خواهیم نمونه‌ای از این تجهیزات الکترونیکی را که امروزه با دیجیتالی شدن وسایل و ماشین‌آلات، به برد مدار الکترونیکی مجهز شده‌اند را مورد بررسی قرار دهیم. برد مدار الکترونیکی پس از پایان عمر دستگاه، به پسماندهای خطرناکی تبدیل می‌شوند و برای رهایی از این معضل، برای پردازش برد مدار چاپی (PCB) و بازیابی فلزات روش‌های زیر پیشنهاد می‌شوند:

- ذوب مواد شیمیایی و پسماند بر اثر حرارت.
- فرآوری مکانیکی .

پردازش مکانیکی امکان بازیابی آلومینیوم، مس، فلزات آهنی، شیشه و ... را فراهم می‌کند.






روش‌های مکانیکی اولین قدم برای بازیابی فلزات گران‌بها از جمله PCB است. این فناوری پردازش پسماندهای PCB را به همان شکل موجود، بدون خرد کردن و بدون نیاز به پیش پردازش، انجام می‌دهد و باعث می‌شود مقدار انرژی مورد نیاز برای پردازش پسماند و تعداد مراحل کار کاهش یابد. این فناوری کاربردی نه تنها مواد بلکه بازیابی انرژی نسبی پسماند را نیز تسهیل می‌کند. گاز تولید شده ناشی از این فرآیند برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌تواند به الکل اتیل، سوخت دیزل و سوخت موتورهای موشکی تبدیل شود. در این روش، علاوه بر خنثی‌سازی پسماندها و بازیابی فلزات، فرآیند بازیابی گرما نیز صورت می‌گیرد. بنابراین استفاده از فناوری پلاسما برای پردازش پسماند PCB، صرفه جویی در گرمایش نیروگاه‌ها را نیز به همراه دارد. با استفاده از گرمای تولید شده ناشی از پردازش پسماند، حمل و نقل بین شهری (انتقال پسماند) و مصرف سوخت‌های فسیلی به حداقل مقدار خود می‌رسد که دست کم ۸ درصد انرژی یک منطقه قابل جبران است. یکی از برترین مزایای پردازش پسماند که در نزدیکی مناطق شهری، جمع می‌شود، این است که چنین رویکردی فرصت‌های شغلی جدیدی را ارائه می‌دهد.

با توسعه فناوری نوین پلاسما برای پردازش پسماند حتی در مقیاس‌های کوچک، می‌توان زیرساخت‌های اقتصادی را تا حد قابل توجهی توسعه داد.

اما در بخش بعد می‌خواهیم با استفاده از فناوری تترونیک، نقش پلاسما را در فرآیند بازیافت بررسی کنیم و اهمیت این فناوری را در حوزه‌های مختلف به صورت کاربردی نشان دهیم.

سامانه‌های قوس پلاسمای جریان مستقیم، برای طیف گسترده‌ای از برنامه‌های بازیابی منابع، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و به عنوان یک فناوری پیشرو در دنیا شناخته می‌شوند.

فناوری پلاسما در فرآیندهای بازیابی فلزات با خروجی نزدیک به صفر ضایعات، سودآورترین



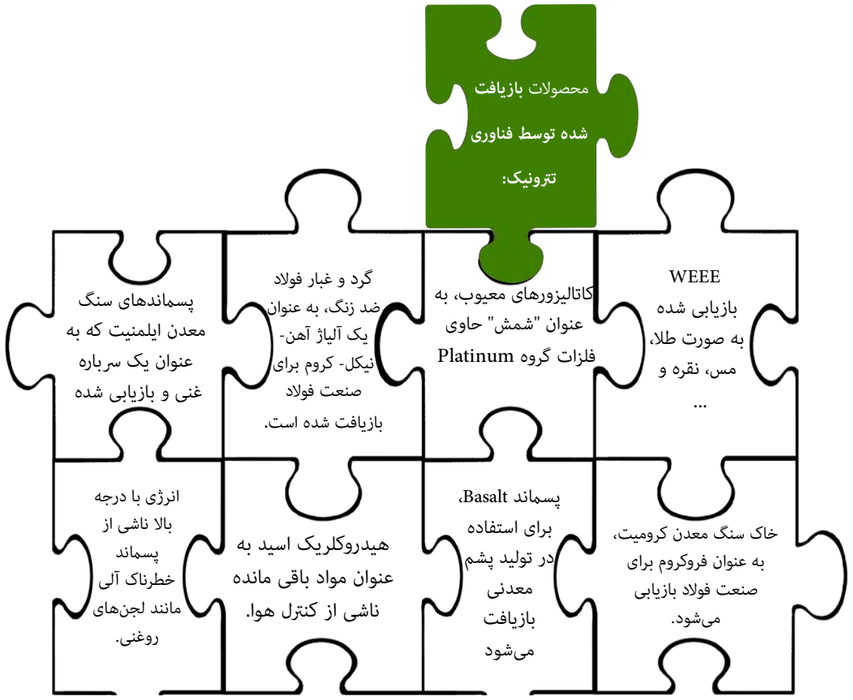


Tetra(Four)+Ionics(IondGas)

**TETRONICS**

حالت خود را دارد. و نرخ بازیابی بالاتر در مقایسه با سایر فناوری‌های جایگزین و همچنین قابلیت کاربرد محصولات بازیافتی در طیف وسیعی از فرآیندهای تولیدی، این فناوری را در صدر قرار می‌دهد. از پلاسما برای بهبود کیفیت مواد و نیز ارتقای کارایی فرآیندهای تولید آن‌ها استفاده کرده‌اند. از آنجا که تشکیل قوس پلاسما شامل احتراق مستقیم سوخت برای تولید گرما نیست، آن را یک منبع گرمایی "تمیز" می‌دانند که آلودگی ایجاد نمی‌کند. قوس پلاسما و همچنین گرمای شدید، مقادیر زیادی نور به ویژه فرابنفش را ساطع می‌کند که به تخریب سریع ترکیبات آلی کمک می‌کند. از این رو، آلاینده‌های آلی مضر، راحت از بین می‌روند.

فناوری پلاسمای پاک Tetronics با استخراج فلزات گران‌بهایی مانند طلا، نقره، مس و قلع و ...،




ضمن از بین بردن مواد خطرناک، اهمیت بازیافت دستگاه‌های الکترونیکی قدیمی را بیش از پیش نمایان می‌کند.

در فرآیند پلاسمای Tetronics، با ورود مواد اولیه به کوره، دستگاه تغذیه می‌شود، سپس در محیط تحت کنترل با استفاده از قوس پلاسما که توسط یک یا چند الکترود/مشعل پلاسما ایجاد شده است، گرم می‌شوند.

فرآیند به گونه‌ای طراحی شده است که ترجیحاً فلزات ارزشمند، مواد معدنی و سایر مواد از مواد اولیه جدا شده و سپس بازیابی می‌شود.

در حالی که عناصر خطرناک از بین می‌روند و یک ماده شیشه‌ای غیرخطرناک به نام Plasmarok® باقی می‌ماند که می تواند به عنوان یک محصول ساختمانی در صنعت ساخت و ساز مورد استفاده قرار گیرد.

**بازده بازیابی در آزمایش‌های صورت گرفته توسط این فناوری بیش از ۹۸/۵ درصد است و سود خالصی حدود ۱۲۰۰ پوند در هر تن را محقق کرده است.**

www.tetronics.com

# گفتگو

مصاحبه اختصاصی با جناب آقای

دکتر بابک شکری

عضو هیأت علمی پژوهشکده لیزر و

پلاسما دانشگاه شهید بهشتی

**مصاحبه اختصاصی با جناب آقای دکتر بابک شکری**

**عضو هیأت علمی پژوهشکده لیزر و پلاسما و گروه فیزیک دانشگاه شهید بهشتی**

با سلام، به منظور آشنایی مخاطبان نشریه با حضرتعالی لطفا ضمن معرفی خود قدری درباره زندگینامه شخصی و علمی‌تان بفرمایید و زمینه تخصصی کاری خود را تشریح نمایید.

با سلام، اینجانب بابک شکری عضو هیات علمی پژوهشکده لیزر و پلاسما و گروه فیزیک دانشگاه شهید بهشتی هستم. در سال ۱۳۷۶ از انستیتوی لبدوف روسیه موفق به دریافت مدرک دکتری در رشته فیزیک پلاسما شدم. سپس در همان سال به کشور بازگشتم و در دانشگاه شهید بهشتی اقدام به راه اندازی گروه فیزیک پلاسما نمودم. در سال ۱۳۸۰ با تاسیس پژوهشکده لیزر و پلاسما که در حال حاضر قطب علمی-فناوری لیزر و پلاسما کشور است اقدام به راه‌اندازی رشته مهندسی پلاسما در کشور نمودیم. راه‌اندازی ۴ آزمایشگاه پلاسما و کاربردها، آزمایشگاه پلاسما پزشکی، آزمایشگاه پردازش مواد و لایه‌نشانی و آزمایشگاه انرژی و محیط زیست از جمله اقدامات انجام شده طی سالیان گذشته است. همچنین در سال ۱۳۹۲ اقدام به راه‌اندازی انجمن علوم و مهندسی پلاسما جهت برقراری ارتباط و ایجاد شبکه علمی فناوران حوزه پلاسما نمودیم و شاهد حضور فعالان این رشته به صورت منظم در همایش‌های سالیانه هستیم. در حال حاضر با راه‌اندازی دو شرکت دانش‌بنیان و ارائه ۱۲ محصول دانش‌بنیان به دنبال تجاری‌سازی و ارائه خدمات مبتنی بر فناوری به کشور هستیم.

لطفا در ارتباط با حوزه فعالیت گروه پژوهشی خود توضیح دهید.

حوزه فعالیت گروه پژوهشی ما بر اساس فناوری نوین پلاسما و کاربردهای آن در دو بخش کاربردی و مرز دانش است. به عنوان مثال بررسی و ساخت تجهیزات پلاسما در زمینه درمان زخم دیابت و بستر، درمان سرطان و جوانسازی پوست در حیطه پلاسما پزشکی است. همینطور در بخش انرژی و محیط زیست در حال ایجاد دانش فنی در زمینه سیستم‌های پیرولیز پسماند و تصفیه اگزوزها با استفاده از فناوری پاک پلاسما هستیم. در بخش مهندسی مواد و لایه نشانی تجهیزات آزمایشگاهی و صنعتی جهت کاربرد در صنعت چاپ و بسته بندی، میکروالکترونیک و سنسورها و ایجاد پوشش‌های مقاوم به خوردگی و حرارت را طراحی نمودیم و آماده خدمت‌رسانی هستیم.

همچنین از چند سال گذشته کار بر روی انواع باتری‌های جدید از جمله لیتیوم-یونی آغاز کرده‌ایم.

این گروه دانش‌بنیان با چه هدفی شکل گرفته و در آینده چه برنامه‌هایی را دنبال خواهد کرد؟

در سال ۱۳۹۴ شرکت دانش‌بنیان دانش پویان ساتیا با هدف طراحی و ساخت تجهیزات آزمایشگاهی جهت ترویج فناوری پلاسما در دانشگاه‌ها، راه اندازی شد و تا کنون موفق به ارائه خدمت به بیش از ۲۰ دانشگاه معتبر کشور شده است. در این شرکت ۱۱ محصول دانش‌بنیان در حوزه فناوری پلاسما قابل ارائه است و در حال حاضر می‌توان گفت که جامع‌ترین شرکت دانش‌بنیان در حوزه فناوری پلاسما بر اساس تنوع و کیفیت محصولات در سطح کشور است. همینطور در سال ۱۳۹۵ شرکت دانش‌بنیان پلاسما فناور جم با هدف و رویکرد صنعتی و انجام فعالیت در بخش‌های تولیدی و صنعتی کشور شروع به فعالیت نمود و در حال حاضر با ارائه ۷ محصول فناورانه در صنعت، در حال فعالیت و ترویج فناوری می‌باشد.

گروه شما چه محصولاتی را تولید می‌کند و این محصولات در کدام زمینه‌های تخصصی کاربرد دارد؟

**در زمینه پزشکی:** در حال حاضر دستگاه پلاسما آرگون برای درمان زخم دیابت، پلاسما هلیوم برای درمان زخم بستر، پلاسما شاور برای جوانسازی و حذف آکنه، دستگاه پرتابل جوانسازی پوست خانگی و دستگاه اسپارک مد در بخش جوانسازی پوست قابل ارائه است. همینطور در بخش درمان سرطان فعالیت‌ها برای ایجاد یک سیستم تجاری در حال انجام است.

**پردازش مواد و لایه نشانی:** در حال حاضر خط تولید ماسک‌های آنتی‌باکتریال و آنتی‌ویروس با ظرفیت تولید ۳۰ هزار فیلتر در روز در حال فعالیت است. همینطور تجهیزات صنعتی کرونا پرینت، جهت ایجاد قابلیت چاپ بر روی انواع فیلم‌های پلیمری و منسوجات عرضه می‌گردد. تجهیزات لایه‌نشانی حساس و در ابعاد نانو از دیگر محصولات ما است. در بخش ارائه خدمات پوشش‌های مقاوم به حرارت و خوردگی، با فناوری پلاسما اسپری نیز آماده ارائه خدمات هستیم.

**انرژی و محیط زیست:** در حال حاضر با مشارکت یک شرکت خصوصی در حال راه‌اندازی خط تولید و خدمات‌رسانی سیستم پیرولیز صنعتی انواع پسماندهای مایع هستیم تا ضمن امحا کامل انواع پسماندها، محصولاتی با ارزش افزوده شامل سین گاز به عنوان سوخت و کربن فعال را در قالب یک ماده ارزشمند ارائه نماییم. همینطور طراحی و ساخت سیستم‌های صنعتی جهت حذف بو و آلاینده‌ها از محیط‌های صنعتی را در برنامه داریم.

با توجه به موضوع این شماره نشریه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته مرتبط با نقش این فناوری‌ها در حوزه پسماند و بازیافت، در این مجال قدری در مورد اهمیت و کاربرد محصولات خود در این حوزه صحبت فرمایید.

همانطور که می‌دانید کشور ما همواره با مشکل مدیریت پسماند و بازیافت مواجه بوده است. دلیل آن عدم حمایت از فناوران این حوزه و وجود مافیا در بخش بازیافت است. همانطور که معروف است پسماند به عنوان طلای کثیف ارزش بسیار بالایی دارد. از طرفی به دلیل بالا بودن قیمت فناوری‌های مرتبط با مدیریت پسماند و بازیافت، خرید این تجهیزات از خارج با هزینه‌های هنگفتی همراه است. شرکت دانش‌بنیان مهندسی پلاسما فناور جم با درک به موقع این موضوع اقدام به فعالیت در این بخش نمود. انجام چندین پروژه امکان سنجی برای پسماندهای نفتی و پتروشیمی کشور مسیر فعالیت در این بخش را روشن نمود و در حال حاضر دستگاه با ظرفیت ۱ تن در روز در حال فعالیت است. در این فناوری از پلاسما حرارتی با دمای بالای ۶۰۰۰ درجه جهت ایجاد یک ناحیه حرارتی دمابالا در غیاب اکسیژن استفاده می‌شود. در این حالت تجزیه حرارتی پسماند اتفاق افتاده و محصولات فلزی گرانبها مانند طلا و تیتانیوم و ... به صورت مذاب از بخش پایینی کوره خارج می‌گردد. پسماند در اثر فرآیند پیرولیز پلاسمایی به فاز گازی در آمده و از خروجی طراحی شده در بخش بالای کوره خارج می‌گردد. محصولات تولیدی شامل سین گاز به عنوان سوخت و کربن فعال به همراه فلزات ارزشمند بازیافت شده است.

به نظر شما این فناوری در کشور ما چقدر توسعه یافته و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آتی چه پیشرفت‌هایی در این زمینه حاصل شود؟

این فناوری در کشور بسیار جدید است و در حال حاضر ۲ الی ۳ شرکت در این بخش فعال هستند که با توجه به حجم بالای تولید پسماند در کشور نیازمند فعالیت بیشتر و سرمایه گذاری است. امیدوارم طی سالیان آینده، طراحی، ساخت و اجرا در ظرفیت‌های ۲۰ تن در روز در کشور میسر شود.

دستگاه‌های موجود تولید شده در کشور از چه قابلیت‌هایی برخوردار هستند و آیا امکان رقابت با محصولات خارجی را دارند؟

مهم‌ترین نکته در محصولات تولیدی وجود دانش‌فنی به دلیل برقراری ارتباط با دانشگاه بوده و از این جهت امکان ارائه محصولات جدید و فناورانه میسر است. همینطور به دلیل تولید ۱۰۰% این محصول در کشور، از نظر قیمت و کیفیت، قابل رقابت با نمونه‌های مشابه خارجی را دارد. اما نکته قابل توجه سرمایه‌گذاری بسیار زیاد کشورهای توسعه‌یافته در این بخش است که متاسفانه به دلیل عدم نگاه بلند مدت در کشور ما مورد غفلت واقع شده است.

با توجه به این که یکی از مهمترین اهداف شرکت‌های دانش‌بنیان اشتغال‌زایی و بومی‌سازی دانش فنی به منظور جلوگیری از ارزبری است، میزان اشتغال‌زایی و ارزآوری مجموعه خود را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ و بفرمایید که تاکنون تا چه حدی به اهداف پیش‌بینی شده خود در این زمینه دست یافته‌اید؟

بدلیل اینکه حوزه فعالیت ما در بخش پلاسما بسیار جدید است متاسفانه شناخت و آگاهی لازم در بخش صنعت کشور وجود ندارد. از این رو گروه ما ضمن طراحی و ساخت تجهیزات اقدام به ترویج فناوری می‌نماید. نمونه‌های خارجی محصولات، قیمتی تا ۵ برابر محصولات تولیدی ما را داشته و از این منظر در صورت خرید تجهیزات، ارز قابل توجهی از کشور خارج می‌شود. از این رو طی ۵ سال آینده و با ترویج این فناوری می‌توان انتظار ارزآوری حداقل ۱۰ میلیون دلار در سال را پیش‌بینی نمود. همچنین امکان صادرات این محصول به کشورهای همسایه وجود داشته و می‌تواند ارزآوری قابل توجهی را نصیب کشور نماید.

با توجه به پیشرفت‌های علمی اخیر، جایگاه کشورمان را در این عرصه در مقایسه با کشورهای برخوردار از این فناوری در چه سطحی برآورد می‌فرمایید؟

کشور ایران از منظر علمی در رتبه ۱۵ دنیا در بخش تولید مقالات علمی و فناورانه پلاسما است. خوشبختانه با رویکردهای صنعتی در نظر گرفته شده شاهد طراحی و ساخت سامانه‌های پلاسمایی هستیم که متعلق به ۱۰ کشور برتر دنیا است. به عنوان مثال در زمینه تولید دستگاه پلاسما تکس برای پردازش منسوجات، سیستم پیرولیز پلاسما و تجهیزات پلاسما پزشکی، در ردیف ۱۰ کشور اول دنیا هستیم. قطعا نگاه بلند مدت و حمایت‌های بیشتر از این فناوری می‌تواند جایگاه ایران را ارتقا دهد.

## گفتگو

**لطفا در مورد موانع و چالش‌هایی که بر سر راه تولید محصولات خود با آن روبرو بوده‌اید و راهکارهایی که برای برون رفت از آن‌ها به کار گرفتید، بفرمایید.**

یکی از مهم ترین چالش‌های پیش رو بحث مالکیت معنوی و امضا قرار دادها بوده است. خوشبختانه با شرکت در کارگاه‌ها و مشاوره از کارشناسان، این مشکل تا حدود خوبی حل شده است. همینطور بزرگترین چالش پیش رو عدم آشنایی با این فناوری در کشور است که با همکاری دانشگاه شهید بهشتی برگزاری کارگاه‌های منظم ترویج فناوری پلاسما به خوبی در حال انجام است. همینطور نوسانات قیمت مواد اولیه در کشور و نایاب شدن آن‌ها طی سالیان گذشته مشکلات زیادی رو متوجه همه صنعت‌گران کشور نموده است. همینطور رکود مالی که بواسطه تحریم‌ها طی سالیان گذشته بوجود آمد باعث ایجاد مشکلاتی شده است. محصولات تولیدی ما ماهیت صادراتی داشته و قطعا جهت توسعه فعالیت‌های خود می‌بایست ارتباطات خوبی با سایر کشورها برقرار نمود. از این رو امیدواریم طی سالیان آینده این مشکلات حل شود.

**با توجه به شرایط اقتصادی و تحریم‌ها، ضرورت و امکان تولید و عرضه محصولات شما در داخل و احیانا خارج از کشور به چه صورت است؟**

بخشی از محصولات ما در حوزه پزشکی به شدت امکان صادرات داشته و تحریم‌های موجود موانع سختی برای دستیابی به اهداف بوده‌اند. در بخش مدیریت پسماند طی سالیان اخیر در حال تکمیل دانش فنی بوده‌ایم و طی ۲ الی ۳ سال ینده می‌بایست فرایند صادرات آن را آغاز کنیم. از این رو امیدواریم تحریم موجود هر چه سریع‌تر رفع گردد.

**آیا زیرساخت لازم جهت تولید تجهیزات مورد نیاز این حوزه در داخل کشور فراهم است؟**

خوشبختانه بخش عمده‌ای از تجهیزات و مواد اولیه در کشور وجود دارد. اما به دلیل نوسانات نرخ ارز ممکن است برخی تجهیزات با افزایش قیمت مواجه شوند یا در بازار نایاب شوند. از نظر دانش فنی و متخصصان، خوشبختانه وضعیت مناسب در کشور وجود دارد، هرچند بخش قابل توجهی از فارغ التحصیلان این رشته اقدام به مهاجرت نموده‌اند و این یکی از چالش‌های جدی طی سالیان آینده است.

**در صورت امکان، مختصری در مورد نقشه راه مجموعه خود در سال‌های پیش رو و اهداف بلند مدت آن توضیح دهید.**

مجموعه ما در حال حاضر در ۳ بخش تخصصی مشغول فعالیت است و امیدواریم بتوانیم طی ۳ سال آینده با افزایش پرسنل شرکت به ۳۰ نفر و افزایش آمادگی در بخش ارائه سرویس و خدمات پس از فروش، زمینه رضایت‌ندی هرچه بیشتر مشتریان در داخل کشور را میسر نماییم. همینطور با شناخت و هدف‌گذاری سایر کشورها زمینه صادرات محصولات را هموار نماییم.

سعی خواهیم کرد تعداد افراد بیشتری را در قالب شرکت‌های دانش‌بنیان دور هم جمع کنیم و جهت‌گیری به سمتی است که محصولاتی برای اولین بار در سطح جهانی عرضه گردد. به عبارت دیگر ما تدریجا باید در کشور محصولاتی را که هنوز عرضه جهانی نشده‌اند را معرفی کنیم و در مراحل اولیه بازار آن محصول ورود نماییم.

**بازار کار این حوزه را چگونه ارزیابی می‌کنید و چه توصیه‌ای برای علاقمندان به فعالیت در این حوزه تخصصی دارید؟آیا گروه شما ظرفیتی برای جذب علاقمندان به این حوزه را دارد و چگونه می‌توان از این ظرفیت مطلع شد؟**

این حوزه بشدت نیازمند حمایت و سرمایه گذاری است تا بتواند بستر ایجاد کار را هموار نماید. مجموعه ما آمادگی همکاری و جذب نیرو رو همواره داشته و علاقه‌مندان می‌توانند در صورت تمایل با ارسال ایمیل یا تماس با شرکت از وضعیت و شرایط جذب نیرو مطلع گردند.

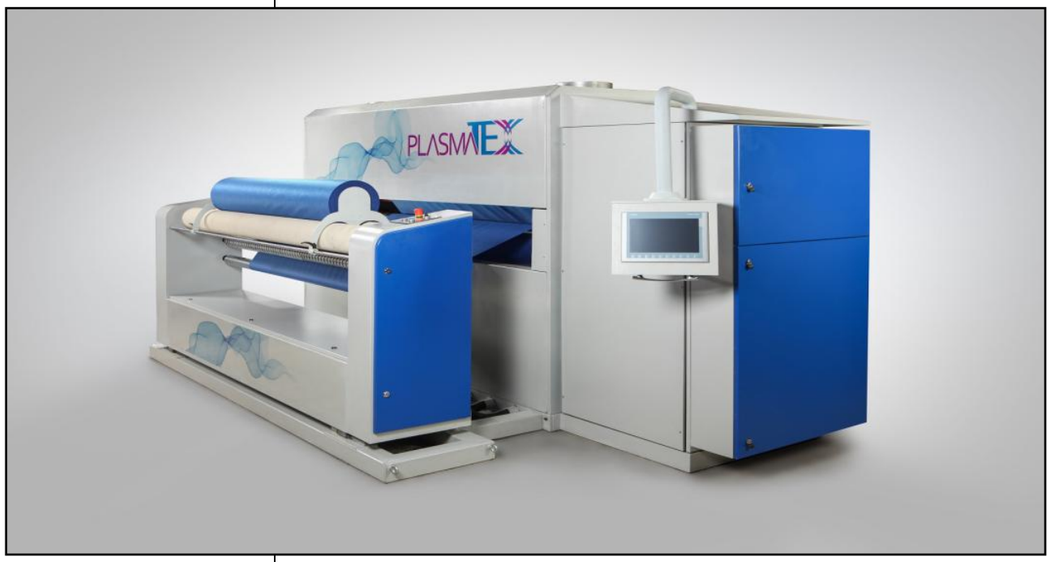
**از نگاه یک موسس یا مدیر یک گروه دانش‌بنیان بفرمایید که سهم محصولات دانش‌بنیان در توسعه اقتصاد کشور چگونه است و چه راهکارهایی را بر موفقیت گروه‌های نوپا پیشنهاد می‌فرمایید؟**

با قاطعیت معتقدم که تنها راه پیشرفت کشور سرمایه‌گذاری در بخش دانش‌بنیان و حمایت از شرکت‌های نوپا است. این امر ضمن جلوگیری از مهاجرت بخش نخبه کشور، زمینه اشتغال‌زایی و درآمدزایی هنگفتی را میسر می‌نماید. مطالعه پیشرفت کشوری مانند آلمان بخوبی نشان می‌دهد که نیازمند سرمایه‌گذاری بلند مدت و جزیره‌ای در بخش فناوری داخل کشور هستیم.

**بعنوان سخن آخر بفرمایید که ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر، مواد پیشرفته و ساخت از کدام طرح شما و به چه شکل حمایت نمود؟ شما به عنوان یک فناور برای بهبود شیوه حمایت‌های ستاد یا سایر نهادهای دولتی چه پیشنهادی دارید؟**

خوشبختانه ستاد توسعه فناوری فوتونیک، لیزر و مواد پیشرفته بخوبی جایگاه فناوری پلاسما را درک نموده و از فعالیت‌های گروه ما در بخش پلاسما حمایت کرده است. امیدواریم هرچه سریعتر با راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع پلاسما پزشکی کشور، زمینه خدمت‌رسانی هر چه بهتر به مردم عزیز میسر شود.






**دستگاه پلاسما تکس**
**برای صنایع نساجی**

**تصویر تعدادی از دستگاه‌های ساخته شده**

**دستگاه پلاسما جت**
**برای حوزه زیبایی و پزشکی**

**دستگاه کرونا پرینت نسل جدید سامانه‌های جرقه زن (جرقه گیر) برای صنایع چاپ و بسته‌بندی**

# مدیریت پسماند

## زیرساخت دانش و فناوری

در ایران اگرچه اهمیت موضوع بازیافت به خوبی درک شده است اما همچنان راه زیادی برای رسیدن به اهداف برنامه‌ریزی شده وجود دارد. سازمان‌ها و مراکز دولتی و خصوصی بسیاری در مدیریت پسماند نقش دارند اما بدون کمک فناوری عملا کاری از پیش نخواهند برد. مدیریت صحیح پسماند در دنیای امروز نیازمند توسعه فناوری به طور هماهنگ و یکسان در همه بخش‌های سامانه مدیریت پسماند است؛ هدفی که در کشورمان هنوز محقق نشده است. برنامه‌ریزی‌های دقیق بلندمدت و سرمایه‌گذاری در بخش خصوصی بازیافت دانش‌بنیان، زیر نظر یک سازمان مستقل مسیر را هموارتر خواهد کرد. در حال حاضر بیش از ۳۵ شرکت دانش‌بنیان در حوزه مدیریت پسماند در سه بخش جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت زباله فعالیت دارند که در این بخش به معرفی یکی از این شرکت‌ها در تهران خواهیم پرداخت. شرکت «ناب‌اندیش پسماند» که محصولات و خدماتی در حوزه بازیافت مواد پلاستیکی و زباله‌های شهری و کشاورزی ارائه نموده است.

# مدیریت پسماند؛ رسالت دانش و فناوری!

به قلم علی کاظم‌پور
kazempoorali.a@gmail.com

تاریخچه بازیافت هر کشور به سابقه صنعتی آن بستگی دارد. با رشد جمعیت به ویژه در شهرهای بزرگ، نیاز به تولید در بخش‌های مختلف نیز افزایش یافت. به دنبال آن، کاهش ذخیره منابع طبیعی و افزایش حجم زباله، باعث شد استفاده دوباره از کالا در فرآیند تولید و مصرف به عنوان یک راه حل گره‌گشا مورد توجه قرار بگیرد.

یکی از اولین کارخانه‌های بازیافت در ایران، کارخانه بازیافت کاغذ بود که در سال ۱۳۱۳ تأسیس شد. دومین کارخانه در سال ۱۳۳۵ به عنوان مقواسازی شرق تهران و سومین کارخانه بازیافت در سال ۱۳۳۶ در کهریزک تأسیس شد. در گذشته استفاده از مواد زائد حیوانی و گیاهی برای کشاورزان و مردم روستاها یک امر عادی بود. کشاورزان اصفهان و یزد از ارزش این مواد و اثر آن در افزایش محصولات کشاورزی آگاه بودند. کارخانه کمپوست اصفهان با ظرفیت روزانه صد تن در سال ۱۳۴۸ آغاز به کار کرد. کارخانه تولید کود گیاهی در تهران نیز در سال ۱۳۵۱ تأسیس شد. به دنبال آن کارخانه‌های مختلفی به منظور بازیافت زباله و ضایعات برای تولید مواد اولیه و همچنین تولید انرژی مورد نیاز ساخته شدند.

در سال‌های اخیر با روند رو به رشد تولید زباله و پیدایش کالاها با مواد جدید، انسان‌ها دست به دامان فناوری‌های جدیدتر شدند و امروزه در اکثر کشورها، فناوری‌های مدیریت پسماند در حال توسعه هستند. امروزه باید به زباله از دید یک منبع مهم برای توسعه و افزایش تولید ناخالص داخلی نگاه کنیم. برای دست‌یابی به اهداف بزرگ در صنعت بازیافت، نیازمند برنامه‌های دقیق و بلندمدت هستیم و اولین قدم شناخت چالش‌ها و فرصت‌ها در این حوزه است.

در ایران اگرچه اهمیت موضوع بازیافت به خوبی درک شده است اما همچنان راه زیادی برای رسیدن به اهداف برنامه‌ریزی شده وجود دارد. در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴، وضعیت مطلوب مدیریت پسماند برای دسته‌های مختلف پسماند از قبیل پسماندهای بیمارستانی و شهری هدف‌گذاری شده است و این در حالی است که هنوز هم حجم زیادی از زباله‌ها روزانه در کشور دفن می‌شوند. یک سؤال اساسی که در اینجا مطرح می‌شود این است که تعریف مدیریت پسماند در سطح کلان چیست؟ هماهنگی بخش‌های مختلف سامانه مدیریت پسماند در کشور به چه میزان است و فناوری‌های به‌روز در مدیریت پسماند از چه جایگاهی برخوردارند؟

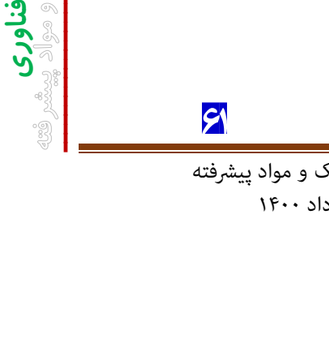
اگرچه سازمان‌ها و مراکز دولتی و خصوصی بسیاری در مدیریت پسماند نقش دارند اما بدون کمک فناوری عملا کاری از پیش نخواهند برد. اگر نگاهی به اولویت‌های مدیریت پسماند بیاندازیم، خواهیم دید که در جامعه امروز ورود فناوری‌های مختلف در مدیریت پسماند، تنها راه رسیدن به مقصود مورد نظر است. جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت زباله، سه بخش مهم و عمده در مدیریت پسماند هستند. در هر کدام از این بخش‌ها فناوری‌های جدیدی ظهور پیدا کرده و در حال توسعه است. رباتیک و بینایی ماشین، حسگرها، لیزر، پلاسما، کاتالیزورها، خودروهای بدون سرنشین، فناوری خلاء و مشابه آن، همگی نقش مهمی در بخش‌های مختلف مدیریت پسماند دارند.

یکی از چالش‌های مهم مدیریت پسماند در ایران، عدم توسعه یکسان فناوری‌ها در بخش‌های مختلف است. به طور مثال، استفاده از پلتفرم‌های آنلاین برای تشویق مردم جهت جمع‌آوری و تفکیک زباله یکی از استارت‌آپ‌هایی است که چندین شرکت دانش‌بنیان در حال حاضر به آن پرداخته‌اند. حال فرض کنیم که تفکیک زباله در مبداء با جدیدترین فناوری‌ها به خوبی صورت گرفته باشد.

آیا در مرحله بعدی، فناوری لازم برای بازیافت مواد تفکیک شده با بهره‌وری بالا در کشور وجود دارد؟!

متأسفانه پاسخ این سؤال خیر است. به نظر می‌رسد عدم وجود یک سازمان مستقل که بتواند همه بخش‌ها را به طور هماهنگ مدیریت کند، مشکل اصلی در این حوزه است. توسعه فناوری دانش‌بنیان در مدیریت پسماند، نیازمند یک سامانه یکپارچه جهت تعیین اهداف فناورانه در سه بخش جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت است. با تعیین اهداف بلندمدت و همکاری سازمان‌های مختلف دولتی و مراکز خصوصی در یک سامانه یکپارچه، مسیر مشترکی طی خواهد شد و همه نیازهای فناورانه در بخش‌های مختلف متناسب با هم توسعه خواهند یافت.

اولویت‌های مدیریت پسماند
بر اساس صرفه اقتصادی
و اثرات زیست محیطی






علم‌وثروت
فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
۶
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره دهم مرداد ۱۴۰۰

یکی از نیازهای اساسی در توسعه و بالابردن بهره‌وری بازیافت انواع زباله، استفاده از فناوری‌های فوتونیکی است که در ایران با وجود دانش بومی آن، رشد خاصی نداشته است. استفاده از روش‌های حسگری و طیف‌سنجی در تفکیک زباله، تجزیه مواد پلاستیکی با پلاسما و جمع‌آوری هوشمند به کمک بینایی ماشین، از جمله فناوری‌هایی هستند که قابلیت توسعه آنها در کشور وجود دارد.

حجم پسماند خشک که روزانه در کل کشور تولید می‌شود، حدود ۱۲میلیون تن است و ۴۶ میلیون تن نیز سهم زباله‌های تر است. بیش از ۸۰% این زباله‌ها قابلیت بازیافت دارد. با اینکه مقدار ناچیزی از این حجم زباله بازیافت می‌شود، اما سالانه حدود پانصد میلیون دلار ارزش افزوده ایجاد می‌کند. در حال حاضر برخی صنایع، بخشی از نهاده‌های مورد نیاز خود را از بازیافت برآورده می‌کنند که شامل کاغذ و مقوا، فولاد، روغن موتور، الیاف پلی‌استر و پلی‌آمید و تولید کمپوست است. در حال حاضر بیش از ۳۵ شرکت دانش بنیان در بخش‌های مختلف مدیریت پسماند فعال هستند. بخش عمده فعالیت‌های دانش‌بنیان در کشور مربوط به فناوری‌های بازیافت زباله‌های صنعتی و شهری است. شرکت «ناب‌اندیش پسماند» یکی از این شرکت‌ها است که در ادامه با آن آشنا می‌شویم.

## شرکت دانش‌بنیان ناب‌اندیش پسماند

شرکت ناب‌اندیش پسماند در زمینه طراحی و تولید تجهیزات به‌روز دنیا در جهت مدیریت پسماند شهری و بازیافت زباله فعالیت می‌کند. برنامه‌ریزی‌های توسعه این شرکت بر مبنای دست‌یابی به جدیدترین فناوری‌های روز دنیا است و موجب رشد ناب‌اندیش پسماند با شتابی فزاینده شده است. این شرکت در کنار محصولات مرتبط با حوزه بازیافت، پروژه‌های بسیاری نیز در شهرهای مختلف انجام داده است و در حال حاضر نیز به عنوان سرمایه‌گذار و مجری مدیریت پسماند و بازیافت زباله‌های شهر ورامین فعالیت می‌نماید.

یکی از اهداف مدیریت پسماند، کاهش تدریجی دفن و افزایش ظرفیت بازیافت و پردازش زباله است. شرکت ناب‌اندیش پسماند با اجرای طرح تولید کمپوست از انواع پسماندهای شهری و کشاورزی، آلودگی‌های زیست‌محیطی را تا حد زیادی کاهش داده است که باعث بهبود وضعیت اجتماعی و بهداشتی محیط زندگی مردم خواهد شد.

شرکت ناب‌اندیش پسماند ارتباطات خوبی با شرکت‌های خارجی فعال در زمینه بازیافت زباله دارد و استفاده از تجربیات این شرکت‌ها و همکاری‌های مشترک در روند پیشرفت شرکت بسیار مفید واقع شده است. یکی از این شرکت‌ها، شرکت کانادایی «DRYCAKE» است که ناب‌اندیش پسماند، نمایندگی رسمی آن در ایران است. شرکت DRYCAKE با چشم‌انداز ترویج فناوری‌های اروپایی نظیر حمل‌ونقل، نصب و راه‌اندازی سامانه‌های مدیریت پسماند جامد، سامانه‌های تصفیه فاضلاب و شیرابه، در بازار آمریکای شمالی فعالیت دارد.

بازار هدف شرکت ناب‌اندیش پسماند، شهرداری‌ها، صنایع معدنی، صنایع غذایی و کشاورزی، صنایع نفت و گاز، صنایع چوب و کاغذ و مشابه آن است.

اهداف شرکت ناب‌اندیش پسماند عبارتند از: ۱) تأمین نیازهای اساسی صنایع بازیافت و کمپوست کشور.۲) راه‌اندازی سایت و مشارکت و سرمایه‌گذاری در طرح‌های مدیریت پسماند و بازیافت.۳) تأمین ماشین‌آلات و راه‌اندازی خطوط پسماند، کمپوست و کرم کمپوست. ٤) ارتقاء و بهسازی خطوط بازیافت و کمپوست. ٥) فروش کود کمپوست ارگانیک غنی شده و کرم کمپوست و کرم زباله خور. در ادامه با برخی از محصولات و خدمات شرکت ناب‌اندیشان پسماند آشنا خواهیم شد.

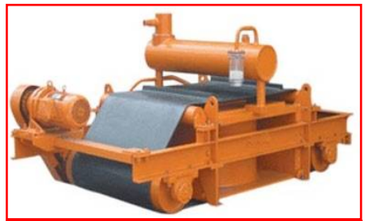
علم‌تاثروت

## خط تفکیک زباله

عدم تفکیک مناسب در ایستگاه تفکیک زباله همواره یکی از اصلی‌ترین مشکلاتی است که در مدیریت پسماند شهری با آن روبه‌رو هستیم. تفکیک مناسب از چند جهت دارای اهمیت است؛ مواد قابل بازیافت با ارزشی هستند که به علت عدم تفکیک مناسب، مقدار قابل توجهی از آن وارد محل دفن می‌شود و از طرف دیگر، عدم تفکیک مناسب در مراحل اولیه مدیریت پسماند باعث بی‌کیفیت شدن محصول فرآوری شده می‌شود.

یکی از مشکلات موجود در امر تفکیک زباله، عدم جدا شدن مناسب نایلون‌های پلاستیکی است. به طور مثال ماندن نایلون در فرآیند تولید کمپوست شهری، باعث اختلال در فرآیند می‌شود. از طرفی این مواد قابلیت بازیافت دارند و با عدم تفکیک مناسب، ارزش اقتصادی خود را از دست می‌دهند و چون بازیافت هم نمی‌شوند، دوباره وارد محیط خواهند شد.

شرکت ناب‌اندیش پسماند با بهره‌گیری از جدیدترین روش‌های به روز، اقدام به ساخت دستگاه خلاء کرده است. این دستگاه بر اساس حجم و نوع پسماند تولیدی طراحی شده است و با قرار دادن این دستگاه در طول خط تفکیک پسماند، نایلون‌های پلاستیکی در طول فرآیند با بازدهی بسیار بیشتری تفکیک، جمع‌آوری و بازیافت خواهند شد. دستگاه مگنت نیز در سامانه تفکیک مواد فلزی کاربرد دارد. این دستگاه هم در مرحله تفکیک زباله و هم در کوره ذوب پس از سردسازی فلزات ذوب شده که با مواد دیگر مخلوط شده‌اند، کاربرد دارد و با بهره‌وری بالا نقش بسزایی در بازیافت فلزات دارد. این خط به صورت کامل می‌تواند در سوله‌ای با ابعاد ۱۰*۷۰ متر با ارتفاعی در حدود ۶ متر جایگذاری کرد در شکل زیر شماتیکی از این سوله نشان داده شده است.



دستگاه جاذب مغناطیسی تفکیک زباله

سامانه خلاء در خط تفکیک زباله شرکت ناب‌اندیش پسماند

مقادیر زیر با احتساب ۳۳۰ روز کاری در سال، برای خروجی یک خط تولید سوخت از پسماند با ظرفیت ۳ تن زباله در روز محاسبه شده است:

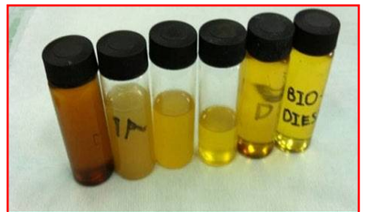
- ✓ روغن سوختی: ۴۴۵ تن
- ✓ دوده صنعتی (کربن سیاه): ۳۹۶ تن
- ✓ مفتول سیمی: ۴۹۵ تن
- ✓ گاز طبیعی : ۹۹ تن





## تولید سوخت از انواع پسماند

مهم‌ترین بخش مجموعه خط تولید سوخت از پسماند شرکت ناب‌اندیش، شامل یک کوره دوار (روتاری) است که با تنظیم دما و افزودن کاتالیزور در غیاب اکسیژن، مواد درون آن ذوب و تجزیه می‌شوند. سامانه بازیافت کاملا بسته است و خروجی آن نیز اغلب ترکیبات کربنی است که در صنایع مختلف استفاده می‌شود. به طور مثال اگر ماده اولیه تایر اتومبیل باشد، محصول خروجی دوده کربنی است و اگر ماده اولیه PET (پلی‌اتیلن‌ترفتالات) باشد، خروجی گاز خواهد بود. بازیافت مواد اولیه دیگری مانند قیر طبیعی نیز منجر به تولید مقدار زیادی کربن سیاه می‌شود. سوخت‌های روغنی هم یکی از محصولات خروجی این خط بازیافت است.



انواع سوخت‌های روغنی

از مهم‌ترین مزایای این سامانه، عدم وجود هرگونه بخار یا دود و آلاینده در محیط زیست است. در واقع فرآیند در محیطی کاملا بسته و منزوی شده و با کنترل ویژه و ایمن صورت می‌پذیرد.

### مشخصات خط تولید سوخت از پسماند در شرکت ناب‌اندیش پسماند

STEP 01
۴۰ متر مکعب نفت و گاز مصرفی در سال(این میزان جهت تأمین انرژی راه‌اندازی سامانه

STEP 02
نیاز به ۹ نفر نیروی کاری مستقیم و ۵ نفر غیرمستقیم در سه شیفت کاری

STEP 03
۳۳۰ متر مکعب آب در گردش برای یک سال و ۱۰۰کیلووات‌ساعت برق مصرفی در روز

STEP 04
نیاز به زمین با مساحت ۶۰۰ متر مربع برای خط تولید سوخت و ۳۰۰۰ متر مربع برای احداث مجموع کارخانه با سایر بخش‌ها

STEP 05
ظرفیت بازیافت از ۳ تن تا ۲۰ تن زباله در روز در سه شیفت کاری

سامانه کوره ذوب و تجزیه در خط تولید سوخت و روغن از پسماند

یکی از مراحل اصلی در احداث هر واحد تولیدی، انتخاب ماشین آلات مناسب است. برخی از تجهیزات مورد نیاز جهت بازیافت زباله‌های شهری و کشاورزی عبارتند از: کلوخه خردکن، نقاله، هم‌زن، تجهیزات تفکیک مانند سامانه خلاء و مگنت، خشک‌کن و ... که انتخاب این تجهیزات باید بر اساس مشخصات فنی، میزان ظرفیت تولید ماشین‌آلات و همچنین چگونگی کار با این ماشین‌آلات انجام شود. در هر واحد تولیدی کمیت و کیفیت باید مورد توجه ویژه قرار گیرد و نوع ماشین آلات نقش اساسی را در این مورد ایفا می‌کند.

## بوگیر و تصفیه‌کننده هوا> کارخانه بازیافت

یکی از اصلی‌ترین مشکلات در کارخانه‌های صنعتی، وجود بوی نامطبوع در محیط کارگاه و کارخانه است. این بو از یک طرف در بازدهی نیروهای کار تاثیرات نامطلوبی دارد و از طرفی دیگر به دلیل وجود مواد سمی و خطرناک موجب آسیب به سلامتی آن‌ها می‌شود. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته، بوی نامطبوع ایجاد شده در کارخانه‌های تفکیک پسماند به دلیل وجود گازهایی نظیر $SO_2$، $NO_2$ و $NH_3$ است و از طرف دیگر به دلیل اینکه اکثر دستگاه‌های موجود در این کارخانه‌ها با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند، آلاینده‌هایی نظیر CO و $CO_2$ به مقدار قابل توجهی در فضا وجود دارد. شرکت ناب‌اندیش پسماند با بهره‌گیری از جدیدترین فناوری‌ها و تعامل سازنده با شرکت‌های معتبر اروپایی و آمریکایی، اقدام به تولید بوگیرهای صنعتی در حجم‌های مختلف کرده است. این دستگاه مجهز به فیلترهای تصفیه هوا جهت حذف آلاینده‌های سمی و خطرناک است. عملکرد این دستگاه به صورتی است که هوا از محیط کارخانه مکیده شده و در مجاورت آب قرار می‌گیرد. در ادامه هوا وارد سامانه تصفیه اصلی شده و آلاینده‌های موجود در آن حذف می‌شود. این دستگاه در چندین واحد صنعتی از جمله مرغداری‌ها، صنایع پلاستیک و کارگاه‌های تولید کود گرانوله مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاصل از کاربری این دستگاه، موجبات رضایت‌مندی مشتریان را فراهم نموده است.

## تولید کود کمپوست

کود کمپوست بقایای تخمیر شده زباله‌های شهری و ضایعات زراعی است و به عنوان کود آلی اثرات مثبت و سودمندی در تغذیه گیاهان دارد. یکی از مشکلات شهرهای بزرگ، دفع زباله‌های خانگی بوده که بر سلامتی شهروندان نیز تاثیر می‌گذارد. طبق برآوردهای به عمل آمده روزانه ۶۰۰۰ تن زباله در شهر تهران تولید می‌شود. برای دفع این زباله‌ها از روش‌های سوزاندن، دفن کردن و بازیافت استفاده می‌شود. در روش اول زباله‌های سوزانده شده مشکلاتی از قبیل آلودگی به وجود می‌آورد. در روش دوم معمولا زباله‌ها در خارج از شهر دفن می‌شوند، اما بهترین و مهم‌ترین روش، بازیافت زباله‌های شهری و کشاورزی و تبدیل آن به کود کمپوست است.

تولید کود کمپوست به روش صنعتی توسط سازمان بازیافت انجام می‌شود. روش صنعتی مراحلی دارد، بدین ترتیب که پس از تحویل زباله‌ها مراحل بعدی که شامل روش تغذیه، دسته‌بندی، خرد کردن، تخمیر و در نهایت خشک کردن و بسته بندی است، انجام می‌شود. تمامی این مراحل در طرح‌های شرکت ناب‌اندیش پسماند، اجرا شده است.

کود کمپوست برای انواع محصولات کشاورزی استفاده می‌شود زیرا از نظر حاصل‌خیزی و عناصر غذایی و افزایش حجم محصول، اثرات مفیدی دارد. یکی از مشکلات تولید کود کمپوست وجود بعضی از آلودگی‌های میکروبی، فلزات سنگین و عناصر سمی است. همچنین نمک موجود در کود کمپوست نیز برای کشت گیاهان ممکن است مشکلاتی را در بر داشته باشد. بنابراین مقدار شوری و عناصر موجود در کود کمپوست را باید هر ساله کنترل کرد. به عبارت دیگر کود کمپوست باید از نظر ترکیب شیمیایی کنترل شود و بسته به نوع ماده اولیه کود کمپوست دارای ترکیبات شیمیایی متفاوتی است. برای شناسایی عناصر شیمیایی موجود در کود از روش‌های مختلف شیمیایی و طیف‌سنجی استفاده می‌شود.

هر کیلوگرم کود کمپوست دارای مقدار زیادی عناصر مختلف از جمله ازت، فسفر، پتاس، آهن، روی، مس و منگنز است. نه تنها استفاده از مواد آلی در بخش کشاورزی از لحاظ بهداشتی سالم و بدون عوارض است، از جنبه اقتصادی نیز مقرون به صرفه است. حجم عظیمی از زباله‌های خانگی که روزانه در تمام شهرها تولید می‌شود یک منبع بزرگ و با ارزش رایگان است که می‌تواند با تبدیل به کود کمپوست ارزش افزوده بالایی را دربر داشته باشد. تولید این کود علاوه بر استفاده در کشاورزی و جلوگیری از آلودگی محیط، در تولید پروتئین و کرم زنده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از جمله کودهایی که در شرکت ناب‌اندیش پسماند تولید شده است می‌توان کود آلی گرانوله ازته، کود آلی گرانوله فسفاته و کود آلی گرانوله گوگردی را نام برد که برای کشت انواع گیاهان و درختان استفاده می‌شود. علاوه بر صرفه اقتصادی که در تولید کرم کمپوست وجود دارد، پرورش کرم‌های زباله‌خوار نیز یک روش بسیار مفید است که این روزها کشورهای بسیاری از جمله هند، بنگلادش و آمریکا به آن روی آورده‌اند.

استفاده از این کود ارگانیک تا حد بسیار زیادی نیاز به کودهای شمیایی را کاهش می‌دهد به طوری که زمین‌های کشاورزی که خاک‌های آن‌ها در اثر سموم شیمیایی بیش از حد در حال نابودی است، دوباره قابلیت کشت خود را به دست می‌آورند و خاک آن‌ها احیا خواهد شد.

استفاده از کمپوست کرمی سبب اصلاح بافت خاک شده و علاوه بر آن باعث زنده شدن خاک‌های مرده و احیای خاک‌های شور می‌گردد. همچنین به دلیل قدرت بالای نگهداری آب، سبب افزایش بهره آبیاری شده و هزینه‌های اجرای سامانه‌های آبیاری را کاهش می‌دهد.

# نوآورانه

- روش‌های تفکیک پسماند
- لیزر و تحول صنعت بازیافت
- تبدیل پلاستیک به سوخت

# استفاده از لیزر در تفکیک پسماندها

به قلم علی کاویان‌فر
kavianfar.optonics@yahoo.com

**تولید پسماند توسط انسان‌ها روز به روز بیشتر و بیشتر می‌شود. تقریبا هر جایی که انسان در آن قدم گذارده است، پسماندهایش باقی مانده و این موضوع متاسفانه باعث آلوده شدن آب، خاک و به طور کلی محیط‌زیست شده است. طبق آمار، سالانه فقط در آسیای شرقی حدود پانصد میلیون تن پسماند تولید می‌شود. این مقدار در آمریکای شمالی به سیصد میلیون تن در سال می‌رسد و در خاورمیانه حدود یکصد و سی میلیون تن پسماند تولید می‌شود. این در حالی است که آمار تولید پسماند توسط انسان‌ها در پنجاه سال گذشته حدود یک چهارم این مقدار بوده است. به همین منظور محققان این زمینه به دنبال راهی هستند که با بازیافت مناسب این پسماندها و تبدیل آنها به مواد دست دوم و انرژی بتوانند از آسیب جدی به محیط‌زیست جلوگیری کنند. روش‌های متعددی در زمینه بازیافت پسماندها وجود دارند که متناسب با کیفیت‌شان دارای بهره‌وری متفاوتی هستند.**

**البته ما در این بخش به دنبال بررسی روش‌های بازیافت پسماندها نیستیم بلکه قصد داریم دیدی کلی درباره پتانسیل گسترده فناوری‌های نوری در حوزه بازیافت پسماندها در اختیار شما قرار دهیم. آنچه مسلم است حوزه بازیافت یکی از بخش‌هایی است که از ظرفیت‌های بالایی هم برای درآمدزایی و هم برای حفظ تداوم سلامت انسان و محیط زیست برخوردار است که می‌تواند بستر مناسبی را برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی فراهم کند. محصولات بازیافت شده می‌توانند دوباره به چرخه تولید برگشته و در قالب کالایی فرآوری شده و باکیفیت در بازارهای داخلی و خارجی عرضه شوند. اما برای دستیابی به سود خالص و ارزآوری، بهره‌گیری از تجهیزات و فناوری‌های روز دنیا مطابق با استانداردهای بین‌المللی امری اجتناب ناپذیر است. برای آشنایی با کاربردهای لیزر و تجهیزات فوتونیکی در فرآیندهای بازیافتی تا آخر این بخش با ما همراه باشید.**

**اولین قدم در فرآیندهای بازیافتی، تفکیک پسماندها متناسب با جنس و ابعاد و حتی میزان رطوبتشان است که معمولا به چند دسته مختلف تفکیک می‌شوند. این تفکیک بسیار مهم است! چرا که در صورت عدم انجام آن و یا تفکیک نامناسب، ممکن است روند بازیافت به درستی انجام نشود. به عنوان مثال، در یکی از روش‌های بازیافت مواد پلاستیکی، آن‌ها را در دمای مشخصی ذوب می‌کنند و در صورت وجود ماده‌ای به جز پلاستیک، روند ذوب کردن و به دست آوردن ماده دست دوم یکپارچه به درستی انجام نخواهد شد. این موضوع همچنین در مورد ابعاد پسماندها نیز صدق می‌کند. پسماندهای بزرگتر نیازمند انجام فرآیندهای بیشتری نسبت به پسماندهای با ابعاد کوچکتر هستند. پس بنابراین دقت در تفکیک مناسب منجر به بازیافت مناسب خواهد شد. در این بخش توضیح خواهیم داد که چگونه می‌توان با استفاده از لیزر به دقت مورد نظر در تفکیک پسماندها دست یافت.**

## اهمیت تفکیک پسماند

فرآیند تفکیک پسماند از ابتدا به شکل امروزی خود نبوده است. اولین شواهد تاریخی بازیافت مربوط به سال ۱۰۳۰ پس از میلاد است. ژاپنی‌ها اسناد و مدارک قدیمی خود را خرد کرده و آن‌ها را به ورقه‌های جدید تبدیل می‌کردند.

در سال ۱۳۵٤ میلادی، پادشاه ادوارد سوم، طرحی را تحت عنوان رکر (raker) پیاده‌سازی کرد. رکرها افرادی بودند که برای تمیز کردن پسماند از سطح خیابان استخدام شده بودند. این رکرها پسماندها را برای ریختن به رودخانه جمع‌آوری می‌کردند. در سال ۱۳۸۸ میلادی، بریتانیا ریختن پسماند در آبراهه‌ها و خندق‌های عمومی را غیرقانونی اعلام کرد. تا نیم قرن بعد تغییرات خیلی زیادی اتفاق نیفتاد تا اینکه در سال ۱۸۹۷، نیویورک یکی از اولین تاسیسات بازیافت مواد را افتتاح کرد. به این صورت که پسماندهای با ارزش از سطل‌ها جمع‌آوری می‌شدند و پس از تفکیک مجددا در اختیار مردم قرار می‌گرفتند تا از آن‌ها استفاده کنند. در آن زمان آن‌ها متوجه شدند که با تفکیک مناسب پسماندها می‌توانند به شکل بهتری آن‌ها را بازیافت کنند.

در اواسط قرن بیستم، بازیافت بیشتر به جای اینکه راهکاری برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها باشد، به راهی برای کاهش پسماند و به حداکثر رساندن طول عمر یک ماده تبدیل شد. در آن زمان کشورهای غربی از برخی مزایای استفاده مجدد و بازیافت مواد به شکل صحیح مطلع بودند، اما این امر خیلی معمول نبود. با گذشت زمان بازیافت پسماندها جایگاه خود را پیدا کرد. طی چند دهه گذشته، مدیریت پسماندها بطور اساسی تغییر کرده است. تولید این پسماندها از ۸۸/۱ میلیون تن در سال ۱۹٦۰ به ۲۹۲/٤ میلیون تن در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است. این حجم از پسماند بدون تفکیک و دسته‌بندی هرگز به بازیافت مناسب نخواهد رسید. در بین همه پسماندها، پلاستیک از همه خطرناک‌تر است زیرا مدت زمان تجزیه پلاستیک طولانی است و رها شدن آن در طبیعت نیز بسیار زیان‌آور است.

بنابراین در سال‌های اخیر، تفکیک پسماندها به‌ویژه پلاستیک به شکل باورنکردنی پیشرفت کرده و دستخوش تغییر و تحول شده است. امروزه از روش‌های مختلفی برای تفکیک پسماند بهره گرفته می‌شود که در اینجا به معرفی چند مورد از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین‌شان خواهیم پرداخت.

## طلای کثیف!

طلای کثیف همان پسماندهای درون سطل زباله خانه‌ها و اتاق‌هایمان است که مجددا به شکل ارزشمند و قابل استفاده‌ای به زندگی ما برمی‌گردند.

یکی از جدیدترین فناوری‌های معرفی شده در زمینه تفکیک پسماند سطل بازیافت هوشمند است که با تصویربرداری از پسماند به شما کمک می‌کند تا آن را در مخزن مناسب بیندازید.

## روش‌های مختلف تفکیک پسماند

امروزه روش‌های مختلفی برای تفکیک پسماند وجود دارند که چهار مورد از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

**تفکیک در منازل** : در این روش، به مردم توصیه می‌شود پسماندها را از همان ابتدا در منزل تفکیک کنند. مشکلی که این روش در بر دارد این است که ایجاد این فرهنگ در بین همه مردم امکان‌پذیر نیست و در عمل همه پسماندها تفکیک شده از منازل خارج نمی‌شوند.

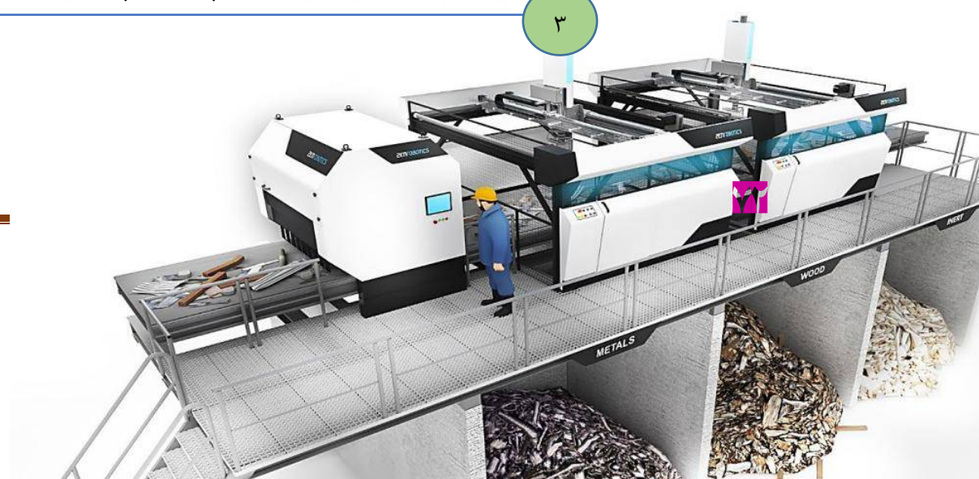
۱

**تفکیک در کارخانه بازیافت:** این روش در بسیاری از کارخانه ها توسط افراد و ابزارآلات صنعتی انجام می‌شود، اما بسیار زمانبر بوده و خطای زیادی دارد. به همین دلیل بهره‌گیری از روشی کارآمدتر، امری ضروری است.

۲

**تفکیک مبتنی بر ماشین بینایی:** در این روش از فناوری ماشین بینایی به منظور تفکیک پسماندها استفاده می‌شود. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها این است که دقت زیادی در تفکیک دارد و نیازی به دخالت انسان جهت تفکیک پسماندها نیست. از اصلی‌ترین کاربردهای ماشین بینایی در تفکیک پسماندهای پلاستیکی است.

۳




**تفکیک مبتنی بر فوتونیک**: روش‌های مبتنی بر فوتونیک با استفاده از انتشار نور، تصویربرداری و تحلیل طیفی در تفکیک دقیق پسماندها کاربرد گسترده‌ای دارد.

۴

همانطور که ذکر شد از بین روش‌های مختلف تفکیک پسماند، روش‌های مبتنی بر فوتونیک به دلیل سرعت و دقت زیاد از جایگاه ویژه‌ای در مقایسه با سایر روش‌های تفکیک پسماند برخوردار است. هر چند که روش‌های فوتونیکی دارای تنوع زیادی است که از آن جمله می‌توان به رویکردهای زیر اشاره کرد:

**طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)**: FTIR با انتشار نور فروسرخ و تحلیل نور بازتابی می‌تواند به سرعت و با دقت بالا اجزای پلاستیک، رنگ، لاستیک، رزین، چسب و ... را تشخیص دهد.

**تصویربرداری ابر طیفی مادون قرمز (MIR-HSI)**: در تصویربرداری یا اسکن به این روش از یک آشکارساز، منبع تابش و طیف‌سنج (که تابش عبوری و بازتابیده را بر اساس طول‌موج از هم جدا می‌کند) استفاده می‌شود که با تصویربرداری از پسماندها، می‌توان آن‌ها را بهتر تفکیک نمود.

**طیف‌سنجی رامان (RS)**: پراکندگی رامان اطلاعات دقیقی در مورد هویت مولکولی و ساختار نمونه‌ها در ناحیه فروسرخ میانه فراهم می‌کند و با تکیه بر این اطلاعات طیفی می‌توان جداسازی پسماندها را مدیریت کرد.

**تصویربرداری تراهرتز (THz)**: این روش بر اساس طیف‌سنجی مبتنی بر تداخل تابش نور با ماده بنیان‌گذاری شده است. از جمله نقاط ضعف روش مذکور این است که در فلزات نفوذ نمی‌کند و توسط آب تضعیف می‌گردد.

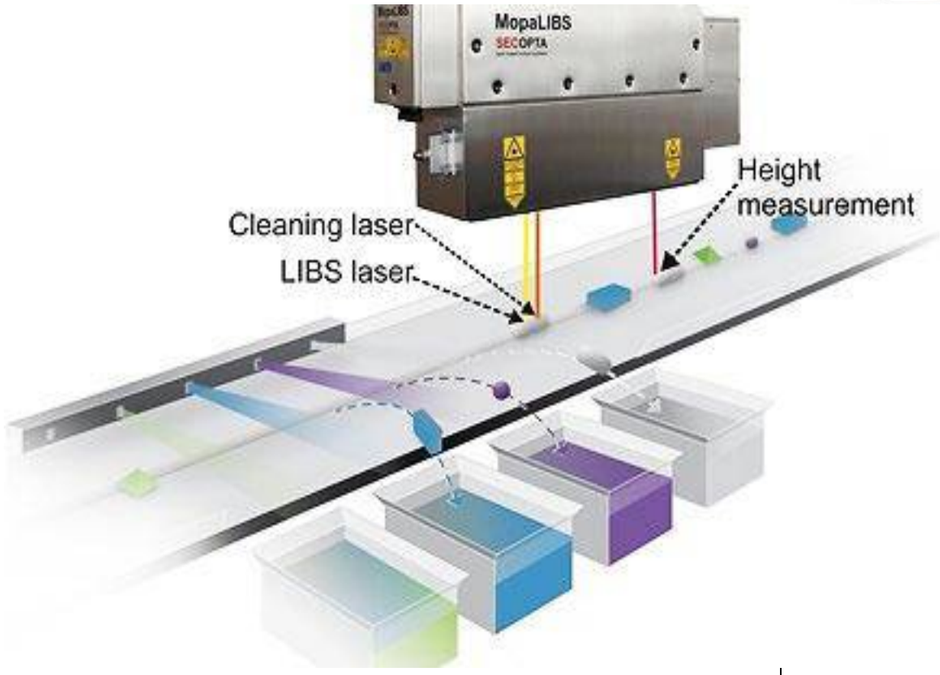
**طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIRS)**: در این روش پسماندها نور فروسرخ را بازتاب می‌کنند. حسگرهای فروسرخ طیف مشخصی را آشکار کرده و قادرند که در هر ثانیه تا ده میلیون پرتو را آشکار سازند. این حسگرها می‌توانند ابعاد، ساختار، جنس و موقعیت پسماندها را تشخیص دهند.

**طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRFS)**: XRFS یک طیف سنجی با انرژی بالا است که با تجزیه و تحلیل تابش اشعه ایکس ساطع شده (فلورسانس) پس از برخورد اشعه ایکس و ماده مورد نظر، اطلاعاتی در مورد ترکیب عنصری نمونه هدف ارائه می‌دهد.

همه روش‌های ذکر شده در تفکیک پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما آنچه که در ادامه خواهید خواند، جدیدترین روش مبتنی بر فوتونیک با استفاده از فناوری لیزر است که از قابلیت تفکیک با دقت بالایی برخوردار است.

دستگاه صنعتی CIRRUS®PlasticMax™ یکی از جدیدترین دستگاه‌های اپتیکی تفکیک پسماند است که با دقت و حساسیت بالا جهت تفکیک ظروف پلاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

# طیف‌سنجی مبتنی بر لیزر جهت تفکیک پسماند LIBS




**طیف‌سنجی مبتنی بر لیزر (LIBS):** یک فناوری جذاب برای طیف وسیعی از کاربردهای تحلیلی از جمله تجزیه و تحلیل فلزات، کنترل کیفیت سلول‌های خورشیدی سیلیکانی، تجزیه و تحلیل گیاهان و خاک، مطالعات پزشکی قانونی و زیست پزشکی، مواد منفجره و کشف مواد جنگی بیولوژیکی است. نکته جالب در استفاده بالقوه از این فناوری در ابزارهای نظارت بر فرآیندهای صنعتی، بویژه در صنایع فلزی است. برای مثال، LIBS می‌تواند برای کنترل و بهینه‌سازی فرآیندهای مهم متالوژی، سنجش کیفیت محصولات فلزی یا تجزیه و تحلیل و مرتب‌سازی ضایعات فلزی قبل از بازیافت استفاده شود. در LIBS از لیزر به عنوان منبع برانگیختگی برای ایجاد یک پلاسما در سطح ماده مورد نظر استفاده می‌شود.



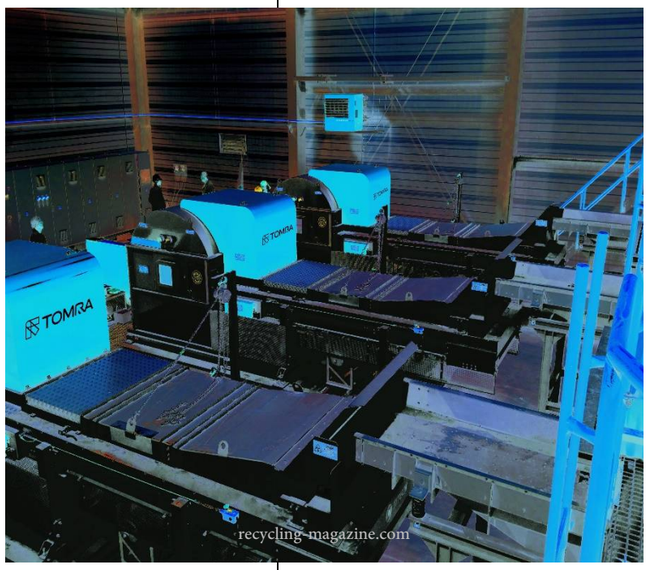


علاوه بر این، سامانه‌های LIBS می‌توانند در ابعاد کوچک و به صورت دستگاه‌های قابل‌حمل در بازار در دسترس باشند. هر دستگاه LIBS از یک لیزر پالسی با انرژی بالا به عنوان منبع استفاده می‌کند و از ادوات نوری برای متمرکز کردن نور لیزر بر روی نمونه و جمع‌آوری نور و یک آشکارساز در محدوده Vis-NIR استفاده می‌کند. برای دریافت بهتر طیف‌های LIBS، لازم است تاخیر بین پالس لیزر و طیف بدست آمده بهینه شود تا از افزایش دما و انتشار پلاسمای موجود در اولین میکروثانیه پس از برخورد لیزر با نمونه جلوگیری شود. طیف LIBS از خطوط اتمی گسسته و باریک تشکیل شده است.

پارامتر دیگر شدت لیزر است که باید به اندازه کافی بالا باشد تا پلاسما روی سطح مواد ایجاد شود.

اگرچه LIBS می‌تواند برای تجزیه و تحلیل ترکیب بسیاری از گازها، مایعات، آئروسل‌ها، پودرها و مواد جامد استفاده شود، اما اولین کاربرد صنعتی آن برای تشخیص سریع و کم هزینه فلزات سنگین است که عمدتا در فرآیندهای بازیافت به منظور افزایش ارزش محصول خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

LIBS برای تجزیه و تحلیل ساختاری انواع پلاستیک بر اساس خطوط طیفی اکسیژن، کربن و هیدروژن استفاده می‌شود. از نظر تفکیک پلاستیک‌ها با استفاده از LIBS، اجزای آلی از ترکیبات شیمیایی مشابهی برخوردارند که بر اساس گروه‌های سیانو، پیوندهای کربن-کربن و کربن-هیدروژن، اکسیژن و اتم‌های نیتروژن قابل تشخیص و شناسایی هستند. نقطه قوت اصلی روش LIBS توانایی آن در انجام تجزیه و تحلیل شیمیایی سریع و از راه دور برای تعیین ترکیب اولیه نمونه‌های تحت آزمایش بدون هیچ گونه نیاز به آماده‌سازی و تغییر و تحولی در نمونه است. از دیگر مزایای LIBS می‌توان به توانایی




آن در تهیه پروفایل عمق و از بین بردن آلودگی سطحی اشاره کرد. یک نمونه از کاربردهایی که در آن از وجود سامانه‌های LIBS بهره گرفته می‌شود، تفکیک آلومنیوم در فرآیند بازیافت آن است. در واقع آلومینیوم به طور کامل و ۱۰۰٪ قابل بازیافت است. فرآیند بازیافت آلومینیوم شامل جمع‌آوری پسماندهای آلومنیومی و استفاده مجدد از آن به عنوان ماده ثانویه در تولید محصولات جدید است و فناوری LIBS می‌تواند در این زمینه بسیار مفید واقع شود.

**نتیجه‌گیری**

حد تشخیص LIBS در مقایسه با تصویربرداری اشعه ایکس، تقریبا یک مرتبه بالاتر است. LIBS با امکان تکرارپذیری و حساسیت بالاتر به مراتب می‌تواند کارآمدتر عمل کند. در حقیقت این روش نقطه ضعف آنچنانی ندارد و در اکثر مقالات و بررسی‌های سال‌های اخیر فقط به دقت بالا و سرعت تشخیص و تفکیک عالی این فناوری اشاره شده است و این به دلیل حضور نور و استفاده از ادوات فوتونیکی دقیق است.

http://oslomanifesto.org/quantafuel/

# تبدیل پلاستیک به سوخت

مواد پلاستیکی از جمله موادی هستند که رها کردن آن‌ها در محیط‌زیست به شدت خطرآفرین است. مواد پلاستیکی در صورتی که در محیط‌زیست قرار بگیرند ممکن است تا هزاران سال نیز تجزیه نشوند و باعث تخریب محیط‌زیست شوند.

این مواد آب را آلوده و چهره طبیعت را زشت می‌کنند. بنابراین در بین پسماندها، مواد پلاستیکی از نظر بازیافت از همه مهم‌تر هستند. پلاستیک‌ها به دلیل سبک بودن، دوام زیاد و انعطاف‌پذیری به بخشی ضروری در دنیای امروز تبدیل شده‌اند و تقریبا بخش زیادی از وسایل، چه در داخل منزل و چه در خارج از آن، از پلاستیک ساخته شده‌اند.

از طرف دیگر تولید سوخت فسیلی در جهان و علی‌الخصوص کشورهای جهان سوم، یک معضل جدی است. از این رو، در سال‌های اخیر همه کشورها در صدد آن هستند که راه‌حل‌های جایگزینی را به کار بگیرند تا مشکل دسترسی به سوخت با هزینه مناسب برطرف شود.

در برخی از نقاط جهان که دسترسی به سوخت‌های فسیلی میسر نیست و یا دسترسی محدوی وجود دارد، این سوخت را با انواع دیگر انرژی از جمله انرژی بادی و انرژی خورشیدی جایگزین کرده‌اند. هزاران سال طول کشیده است تا گیاهان در حال تجزیه که در زیر لایه‌های رسوبی و سنگ‌ها مدفون شده‌اند، تبدیل به ذخایر غنی از کربن شوند که اکنون آنها را تحت عنوان سوخت‌های فسیلی می‌نامیم.

این سوخت‌های تجدیدناپذیر که شامل زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی می‌شوند، تقریبا ۸۰ درصد انرژی جهان را تأمین می‌کنند.



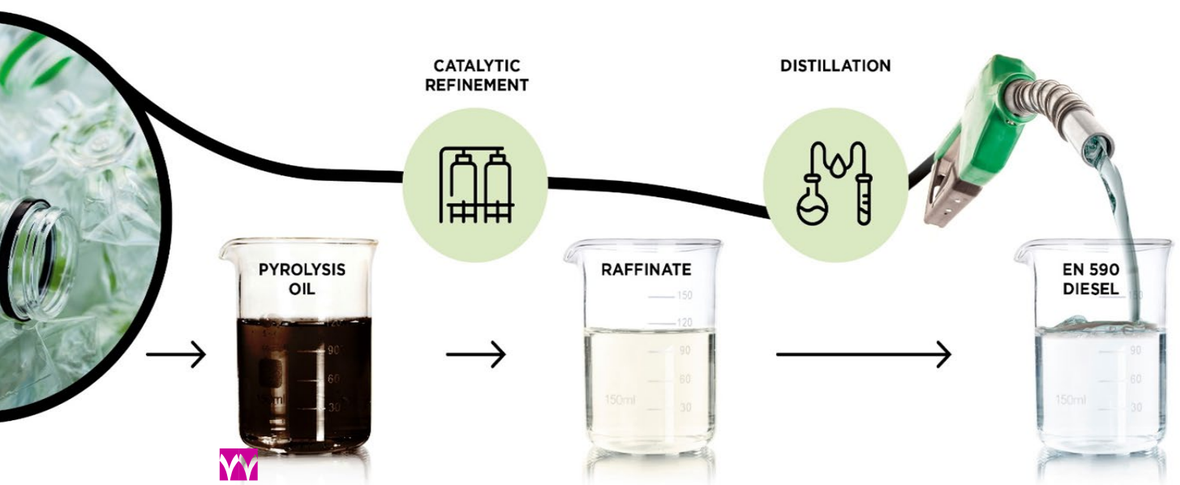


سوخت‌های فسیلی منبع تامین برق، گرما و حمل و نقل هستند. از این رو، دستیابی به راهکاری نوین برای تولید سوختی سریع‌تر و راحت‌تر از جمله چالش‌های مهم عصر حاضر محسوب می‌شود. حال آن که استفاده از پسماندها و معرفی روشی مقرون‌به‌صرفه برای بازیافت آن‌ها و تولید سوخت مورد نیاز می‌تواند به عنوان یک راه‌حل نوآورانه و کاربردی در نظر گرفته شود! شاید در نگاه اول کمی دور از تصور باشد که بتوان از بازیافت پسماندها سوخت بدست آورد اما در ادامه می‌بینیم که چگونه تخیل دانشمندان هر فکر و ایده‌ای را تبدیل به واقعیت می‌کند.

تولید سوخت از پلاستیک یکی از مهمترین مباحث تحقیقاتی در سراسر جهان است. ترموشیمیایی، هیدروکراکینگ و تبدیل کاتالیستی از پرکاربردترین روش‌های تولید سوخت از پلاستیک‌ها هستند. در این میان، به نظر می‌رسد روش ترموشیمیایی بیشتر از سایر روش‌ها استفاده شده باشد. در روش ترموشیمیایی پلیمرهای بزرگ را به هیدروکربن‌های کوچک‌تر با تعداد مختلف کربن در یک محیط بی‌اثر و در دمای بالا می‌شکنند. از هیدروکربن‌هایی با دمای عنوان بنزین موتور استفاده کرد و آنهایی که دمای جوشی بین ۱۸۵ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد دارند را به عنوان گازوئیل مصرف کرد. هیدروکراکینگ شامل تجزیه هیدروکربن‌های بزرگتر مانند پلیمرها به هیدروکربن‌های کوچک‌تر در حضور هیدروژن در دمای بالا است. محققان هیدروکراکینگ پلی اتیلن را در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در بستر کربن فعال مطالعه کردند و دریافتند که هیچ زغال‌سنگی در این فرآیند تشکیل نمی‌شود. هیدروکراکینگ وقتی با کاتالیزور انجام شود موثرتر عمل می‌کند. مواد اسیدی از جمله کاتالیزورهایی هستند که در فرآیند هیدروکراکینگ بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تبدیل کاتالیستی، کاتالیزورها برای بهبود فرآیند تبدیل، کیفیت سوخت و کاهش دمای تجزیه در اثر حرارت و زمان ماند به واکنش‌های تجزیه شیمیایی اضافه می شوند.

سه موردی که توضیح داده شد، از معدود روش‌هایی هستند که طی دو دهه گذشته معرفی و به کار گرفته شده‌اند. اکنون قصد داریم روش تجزیه در اثر حرارت را معرفی کنیم که تشابه زیادی به فناوری‌های ذکر شده در بالا دارد اما روش انجام آن‌ها تا حدی متفاوت است.

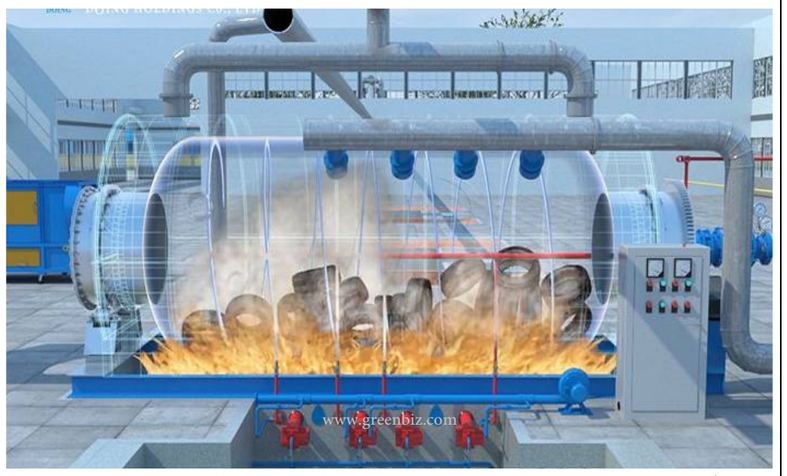
اخیرا محققان دانشگاه واشنگتن روشی نوآورانه برای تبدیل پلاستیک به اجزای سوخت جت ایجاد کرده‌اند که استفاده مجدد از پلاستیک‌ها را در این زمینه آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌کند. محققان توانستند ظرف یک ساعت و در دمای محیط، ۹۰ درصد پلاستیک را به سوخت جت و سایر محصولات با ارزش هیدروکربنی تبدیل کنند.



## پلاستیک دائمی

بازیافت شیمیایی، به معنای بازیافت موادی است که در حقیقت قابل بازیافت نیستند. با استفاده از بازیافت شیمیایی دیگر نیازی به تفکیک پلاستیک به رنگ‌های مختلف نیست و می‌توان انواع پلاستیک را بدون اینکه تبدیل به سوخت شوند، مجددا به پلاستیک تبدیل کرد.

## بازیافت پسماند پلاستیکی با استفاده از رآکتور حرارتی




امیدوارکننده برای بازیافت پسماندهای پلاستیکی است. در این روش، مواد مصنوعی و آلی در دماهای بالا و در غیاب اکسیژن تجزیه می‌شوند و طی این فرآیند سوخت تولید می‌شود.

رآکتور یک سامانه بسته است که در هنگام انجام واکنش هیچ ورودی و خروجی از واکنش‌دهنده‌ها یا محصولات ندارد. این فرآیند معمولا در دمای بین ۵۰۰ - ۳۰۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود. از آنجا که دما واکنش شکست زنجیره پلیمری را کنترل می‌کند، از این رو می‌توان آن را مهم‌ترین پارامتر عملیاتی در فرآیند تجزیه در اثر حرارت در نظر گرفت.

مولکول‌ها توسط نیروی وان‌دروالس جذب می‌شوند و همین امر از ریزش مولکول‌ها جلوگیری می‌کند. وقتی درجه حرارت سامانه افزایش می‌یابد، هنگام تبخیر مولکول‌ها، ارتعاشات مولکولی در داخل سامانه بیشتر می‌شود. علت این امر ایجاد انرژی بالاتر ناشی از نیروهای وان‌دروالسی در زنجیره‌های پلیمری در مقایسه با آنتالپی پیوند C-C در زنجیره است که منجر به شکستن زنجیره کربن می‌شود.

کاتالیزور واکنش شیمیایی را سرعت می بخشد اما خود تا پایان روند بدون تغییر باقی می‌ماند. هنگامی که از کاتالیزور استفاده می‌شود، انرژی فعال‌سازی فرآیند کاهش یافته و در نتیجه سرعت واکنش افزایش می‌یابد.

بنابراین، کاتالیزور دمای مطلوب مورد نیاز را کاهش می‌دهد و این امر بسیار مهم است زیرا فرآیند تجزیه در اثر حرارت به انرژی بالایی نیاز دارد. کاتالیزور مورد استفاده در این فرآیند هیدروکسید پتاسیم است.

سیم‌پیچ تنگستن به طول ۲ متر به عنوان عنصر گرم‌کننده استفاده می‌شود. سیم‌پیچ به منظور تأمین گرمایش الکتریکی راکتور هنگام روشن شدن منبع، در حدود ۱۰ دور پیرامون راکتور پیچیده می‌شود.

این نوع سیم‌پیچ به دلیل ضریب انبساط حرارتی پایین برای گرم کردن تجهیزات در دماهای بسیار بالا انتخاب شده است. ضمن آن که هدایت الکتریکی سیم‌پیچ تنگستن در مقایسه با سیم‌پیچ‌های دیگر مطلوب‌تر است.



ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره دهم مرداد ۱۴۰۰



سوخت تولید شده در فرآیند تجزیه در اثر حرارت، از نظر ماهیت اسیدی دارای pH بین ۱/۵ - ۳/۸ است. با افزودن برخی آلاینده‌ها می‌توان میزان اسیدیته را کاهش داد. این ترکیب، مخلوط پیچیده‌ای از هیدروکربن‌ها است که می‌تواند در پالایشگاه نفت خالص‌سازی شود و در انتقال سوخت، گرمایش و تولید برق مورد استفاده قرار گیرد. به طور معمول چنین سوختی قهوه‌ای رنگ است و بوی تندی دارد.

عمده محصولات جانبی این فرآیند زغال‌سنگ و گاز است. زغال‌سنگ یک ماده سیاه رنگ است که در انتهای رآکتور تشکیل می‌شود. جزء اصلی زغال‌سنگ کربن است. این ماده برای سطح جاده‌ها، مواد ساختمانی و به عنوان ماده اولیه در تولید کربن فعال و همچنین برای تولید برق در دیگ‌های بخار استفاده می‌شود. گاز تولید شده به نوع پلاستیک مورد استفاده در فرآیند بستگی دارد. اجزای اصلی موجود در گازها هیدروژن، متان، اتان، پروپان و بوتان هستند. از این گازها برای تولید برق در توربین‌های گازی استفاده می‌شود.

**مزایا:**

- ✓ راه‌حل مناسب برای بازیافت پسماندهای پلاستیکی
- ✓ جایگزین مناسب سوخت‌های فسیلی
- ✓ کاربرد گسترده در تولید برق و کاهش هزینه آن
- ✓ کاهش حجم پسماندهای موجود در محیط
- ✓ محافظت از طبیعت و محیط زیست
- ✓ کاهش اثرات گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین
- ✓ غیرسمی بودن این فرآیند

در نهایت می‌توان تولید انرژی از طریق تجزیه حرارتی را راه‌حلی کارآمد و موثر برای رفع مسائل زیست‌محیطی و معضلات مربوط به آن دانست. از آنجایی که میزان پسماندهای پلاستیکی موجود در هر کشور به میلیون‌ها تن می‌رسد، ضرورت بهره‌گیری از این فرآیند واضح و روشن است. این رویکرد حل چالش‌های موجود در زمینه تقاضای روزافزون انرژی و همچنین وابستگی به سوخت فسیلی را میسر می‌کند.

بعلاوه، استفاده از این سوخت در موتور دیزل از نظر فنی و اقتصادی مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج حاکی از آن است که امکان جایگزینی سوخت بدست آمده از این روش با سوخت معمولی فراهم است. باید توجه داشت که سوخت به دست آمده در این فرآیند در مقایسه با سوخت‌های متداول پاک‌تر است.

# دهان‌های عدم

اختراعی پیشگامانه در

بازیافت باتری‌های لیتیومی

## بازیافت انرژی تلف شده

## در لیزرهای کوانتومی!

# اختراعـــی پیشـــگامانه در بازیافت باتری‌های لیتیومی

به قلم سیده ثریا موسوی
s.soraya.mosavy@gmail.com

حتما شما هم با دیدن یک خودروی زیبا، نوین و خوش‌دست هیجان‌زده می‌شوید. همه روزه خودروهایی پیشرفته، کارآمد و جذاب وارد بازار می‌شوند و مصرف‌کنندگان مشتاقانه از محصولات عرضه شده استقبال می‌کنند. شاید هم از آن دسته افرادی باشید که علاقه خاصی به خودروهای کلاسیک دارند و از بازسازی و به روزرسانی خودرهای فرسوده لذت می‌برند. دیدن خودروهای قدیمی با ظاهری نو و شکیل همه ما را به حال و هوای گذشته می‌برد و حس دلچسبی را در ما برمی‌انگیزد. در واقع نوسازی خودروها یکی از جذابترین روش‌های بازگرداندن آنها به چرخه مصرف است. اما خب گاهی هم این امر هزینه‌های گزافی را به همراه دارد و شاید چندان به صرفه نباشد.

در هر حال فرقی هم نمی‌کند که جزو کدام دسته باشید زیرا هر خودرویی روزی دیگر قابل استفاده نبوده و ناگزیر روانه گورستان ماشین‌ها خواهد شد. دست کم برخی از قطعات آن از کار خواهد افتاد و چاره‌ای جز تعویض آنها نیست. از این رو، قبل از آن که دنیا تبدیل به یک گورستان جمعی خودروها شود، لازم است چاره‌ای برای برگرداندن خودروهای اسقاطی به چرخه مصرف اندیشیده شود. به طور قطع بهترین راه‌حل بازیافت تک تک اجزای خودرو و استفاده مجدد آنها خواهد بود. امروزه با توجه به ذخیره رو به اتمام سوخت‌های فسیلی، تولید خودروهای الکتریکی رواج دوچندانی یافته است. خودروهای الکتریکی نسل جدیدی از خودروها هستند که توسط باتری‌های یونی لیتیومی lithium ion batteries (LIBs) تغذیه می‌شوند و بازارشان داغ و به سرعت در حال گسترش است. یکی از اصلی‌ترین اجزای این خودروها باتری‌هایشان است.

عمر متوسط باتری‌های وسایل نقلیه کنونی چیزی در حدود ده سال است و اگر عوامل دیگری که باعث حذف و اسقاط خودرو می‌شوند را هم در نظر بگیریم، تا سال ۲۰۳۰ تنها در انگلستان میزان ضایعات باتری لیتیومی به رقمی بیش از ۴۲ هزار تن می‌رسد.

برای این که یک دید نسبی از میزان این ضایعات داشته باشید، لازم است بدانید که در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۰۰ هزار تن باتری لیتیومی در سرتاسر جهان بازیافت شد که حدود دو سوم این فرآیند در کشور چین صورت گرفت. با این تفاسیر می‌توان دریافت که بازیافت این قطعات هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست‌محیطی، بسیار سودمند خواهد بود!

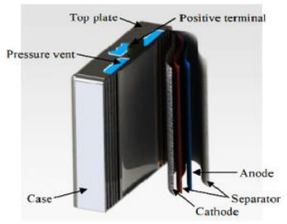
به تازگی محققان دانشگاه لستر روش جدیدی را برای بازیافت باتری‌های خودروهای برقی ابداع کرده‌اند. در پروژه‌ای که منسوب به موسسه فارادی بوده و با هدایت پروفسور اندی ابوت در دانشگاه لستر به انجام رسید، بازیافت باتری‌های لیتیوم یونی (ReLiB) با بهره‌گیری از روشی نوین به کمک امواج مافوق صوت مورد مطالعه قرار گرفت.

در این روش، امواج مافوق صوت برای حل یک چالش مهم استفاده شده است که عبارت است از چگونگی جدا کردن مواد با ارزش از الکترودها به گونه‌ای که بتوان این مواد را در پایان عمر باتری‌ها به طور کامل بازیابی کرد.

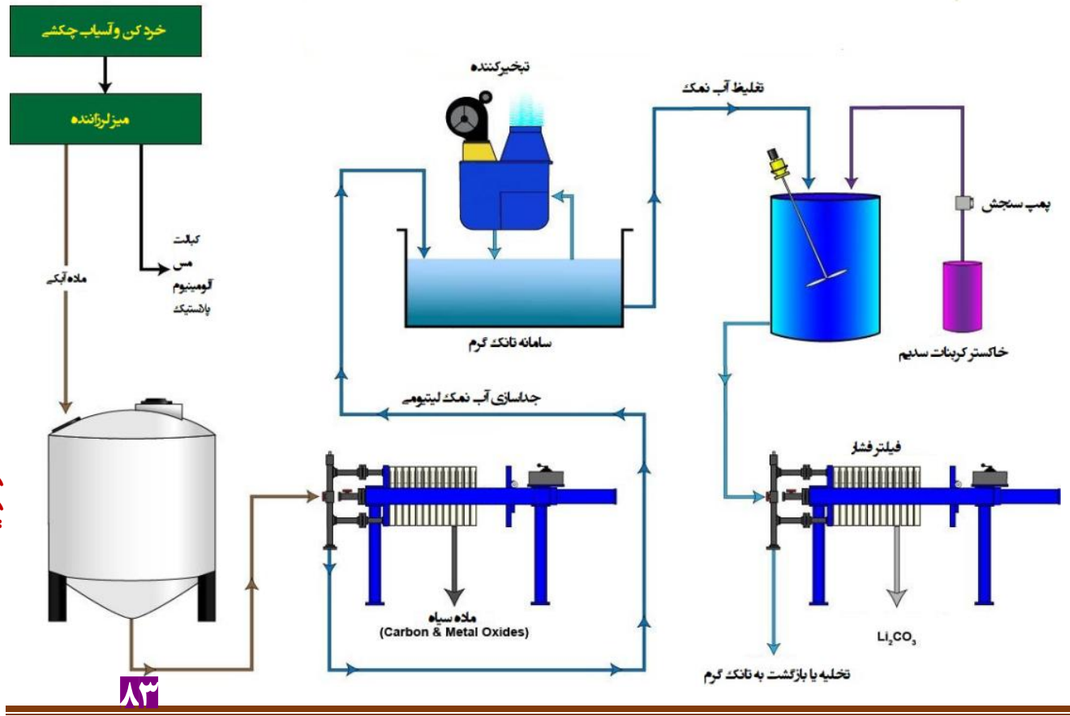
در روش‌های مرسوم کنونی به طور معمول باتری‌های فرسوده را در یک خردکن یا راکتور دمای بالا می‌اندازند. در این روش‌ها برای دستیابی به موادی قابل استفاده، مجموعه پیچیده‌ای از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد که اغلب باعث مصرف زیاد انرژی شده و چندان هم کارامد نیستند (طرحواره زیر این فرآیند را به تصویر کشیده است). از این رو، چنانچه بتوان از روش‌های دیگری به جای خرد کردن برای جداسازی باتری‌های فرسوده بهره گرفت، امکان بازیابی مواد با خلوص بالا نیز امکان‌پذیر خواهد بود.

حتما برای شما هم جالب است که بدانید فرآیند بازیافت باتری‌های لیتیومی چه محصولاتی در بر خواهد داشت. از این رو پیش از هر بحث دیگری لازم است با ساختار این نوع از باتری‌ها آشنا شویم.

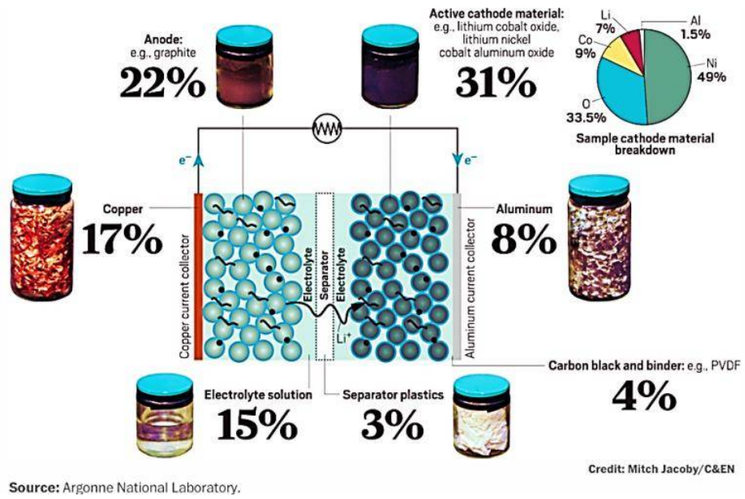
بسته‌های باتری یون لیتیومی حاوی ماژول‌های چندبخشی هستند. در فرآیند بازیافت ابتدا بسته‌ها و ماژول‌ها از بین برده می‌شوند، سپس سلول‌ها وارد فرآیند بازیافت می‌شوند.




بسته‌های باتری یون لیتیومی حاوی ماژول‌های چندبخشی هستند.



بنا بر گفته پروفسور توماس:" برای آن که تمام ارزش فناوری‌های باتری حفظ شود، ما می‌بایست بر کل چرخه عمر باتری -از استخراج مواد ضروری گرفته تا تولید و بازیافت آن- متمرکز شویم تا بتوانیم یک چرخه اقتصادی پایدار ایجاد کنیم که هم برای کره زمین سودآور باشد و هم برای صنعت"




**Source:** Argonne National Laboratory.

ارزش اصلی سلول‌ها به ماده فعال تشکیل‌دهنده اجزای سلول مربوط است که شامل عناصری همچون کبالت، لیتیوم و حتی گرافیت است. این مواد در الکترودها یافت می‌شود و بخش اعظم فرآیندهای بازیافتی صرف استخراج این مواد از اجزای الکترود درون سلول می‌شود. الکترودهای باتری‌های لیتیومی از یک لایه ترکیبی متخلخل تشکیل شده است که ضخامتی در حدود ۲۰۰ میکرون دارد و حاوی مواد فعال، پیوندهای پلیمری و افزودنی‌های رساناست که در هر دو طرف یک فویل فلزی یا جمع‌کننده جریان (با ضخامت ۸-۲۰ میکرومتر) ساندویچ شده‌اند. پیوندها شامل پلیمرهایی مانند پلی وینیلیدن دی فلوراید (PVDF) یا کربوکسی متیل سلولز مخلوط (CMC) و لاستیک استایرن بوتادین (SBR) است که بسته به نوع حلال و پایداری ماده فعال در حضور آب و هوا انتخاب می‌شود.

بازیابی ماده فعال با استفاده از حلال‌های آلی یا آبی برای حل کردن فویل فلزی، پیوند پلیمری یا ماده فعال صورت می‌گیرد. کارایی این روش به طور قابل توجهی به فرآیند ورق جریان (process flow sheet) بستگی دارد که به دلیل پیچیدگی‌های ساختاری به طور معمول از خرد کردن ماژول‌های باتری آغاز می‌شود. جداسازی اجزای خرد شده با خلوص مناسب برای ساخت باتری‌های جدید بسیار دشوار است. تحقیقات اخیر حاکی از آن است که جداسازی الکترود به جای خرد کردن باتری، می‌تواند به صورت قابل توجهی خلوص محصولات به دست آمده را بهبود ببخشد. از این رو به لحاظ اقتصادی هم روندی مقرون به صرفه محسوب می‌شود.

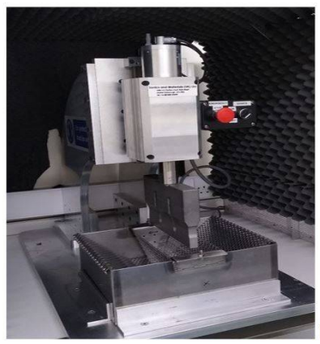
در فرآیند بازیافت LIBها، از ارتعاشات فراصوت با توان کم (۵۰-۱۰۰ وات برای هر گالن از محلول) استفاده می‌شود که در لایه‌برداری الکترود بسیار موثر عمل می‌کند. این فرآیند بسیار کند است و بین ۵ تا ۹۰ دقیقه زمان می‌برد. یک روش موثر برای تحریک فراصوتی، قرار دادن هورن فراصوت در محلول، جایی نزدیک الکترود است.

بنا بر مقاله‌ای که توسط این محققان به چاپ رسیده است، وقتی الکترود به صورت مستقیم زیر یک سونوترود قوی (۱۰۰۰-۲۰۰۰ وات) قرار می‌گیرد، فرآیند لایه لایه شدن الکترودهای باتری در مدت زمانی کمتر از ۱۰ ثانیه صورت می‌گیرد. این امر با هدف شکستن پیوندهای چسبنده بین مواد فعال و جمع‌کننده‌های جریان می‌شود که می‌توان از این طریق جمع‌کننده جریان سالم و مواد فعال پودری را بازیابی کرد.

در این پژوهش از الکترودهای باتری Nissan Leaf استفاده شده است.

برای بازیافت این باتری‌ها، ابتدا سلول‌های کیسه‌ای با دست جدا شده و برای حذف الکترولیت لیتیوم هگزا فلوروفسفات، آنها را با دی متیل کربنات (DMC) شستشو می‌دهند. صفحات آند این باتری‌ها متشکل از یک فویل مسی جمع‌کننده جریان با ضخامت ۱۵ میکرومتر است که از دو طرف با ماده فعالی (که حاوی گرافیت با٪ PVDF ۳ wt یا حدود ۴/۵ درصد وزنی اتصال‌دهنده CMC/SBR است) با ضخامت ۷۰ میکرومتر پوشانده شده است.

برای این مطالعه از یک سامانه فراصوت تجاری (Branson Sonics, 1.25DCXa20-V)بهره گرفته شده است. این سامانه دارای یک سونوترود استوانه‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر است که در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز کار می‌کند و توان متغیری تا ۱۲۵۰ وات دارد که می‌تواند توانی با شدت ۳۹۸ وات بر سانتی‌مترمربع از سونوترود را به سطح جلوی آن منتقل کند. در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز، فرآیند لایه‌برداری به واسطه نوسانات متعدد حباب‌های حفره‌ای قبل از بزرگ شدن و فروپاشی سرعت می‌یابد. برای بازیافت باتری‌های کیسه‌ای یک وسیله نقلیه الکتریکی، سامانه

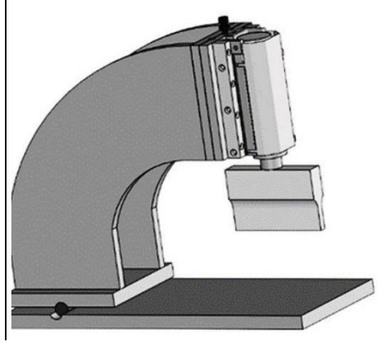


b)

فراصوتی با قدرت بالا ساخته شده است که با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و حداکثر توان ۲۲۰۰ وات کار می‌کند. این سامانه سونوترودی با سطح مقطع جلویی ۲۱ × ۱/۵ سانتی‌مترمربع، می‌تواند حداکثر توان ۷۰ وات در هر سانتی‌مترمربع را ارائه دهد. پشته همگن‌ساز فراصوت (Sonicator stack) شامل یک مبدل، تقویت‌کننده و یک سونوترود است که بر روی یک بدنه نصب شده‌اند (شکل زیر یک طرحواره و تصویر واقعی از این ابزار را نشان می‌دهد).

حمامی متشکل از یک مخزن، سینی و سبد نمونه به صورت مستقیم زیر سونوترود قرار می‌گیرد، جایی که لایه‌برداری انجام می‌شود. در فرآیند لایه‌برداری، الکترود در فاصله ۳ میلی‌متری بین سونوترود و سینی نمونه قرار می‌گیرد و با نرخ ۲ تا ۳ سانتی‌متر در هر ثانیه تغذیه می‌شود. سپس از طرف دیگر تیغه سونوترود به صورت ورقه فلزی لایه لایه شده خارج می‌شود. لایه حاوی مواد فعال نیز در مخزن حلال پراکنده شده و در نهایت به راحتی از طریق فیلتراسیون حلال بازیابی می‌شود.

تیم تحقیقاتی این فناوری را بر روی چهار نوع رایج باتری آزمایش کرده و دریافتند که در تمام موارد با کارایی یکسانی عمل می‌کند. روش جدید ۱۰۰ برابر سریع‌تر و سبزتر از روش‌های معمول بازیافت باتری است و منجر به خلوص بیشتر مواد بازیابی می شود.

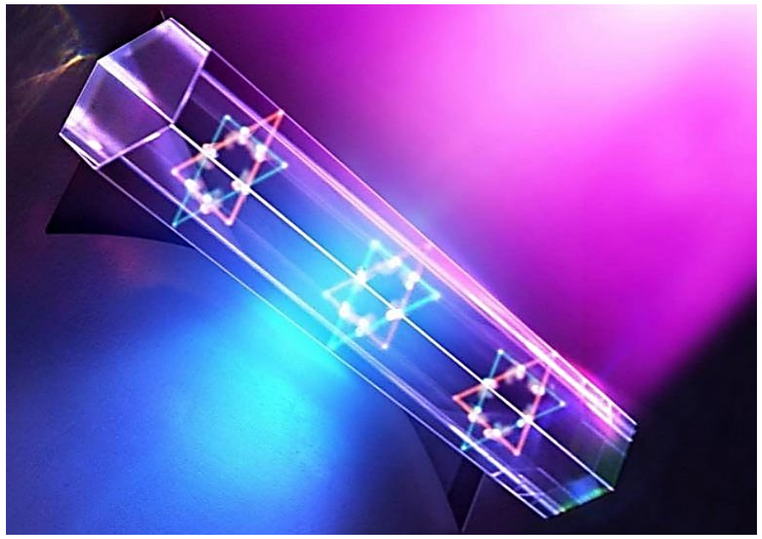


a)

این تحقیق در نشریه Green Chemistry منتشر شده است و به زودی توسط این تیم تحقیقاتی به رهبری پروفسور ابوت ثبت اختراع خواهد شد.

Chunhong Lei, and et al., **Lithium ion battery recycling using high-intensity ultrasonication**. *Green Chemistry*, 2021; DOI: 10.1039/D1GC01623G

## ساخت نوعی از لیزرها کوانتومی که انرژی تلف شده را بازیافت می‌کنند!



در این شماره، شما با انواع روش‌های بازیافت مواد آشنا شدید. اما در این بخش قصد داریم صورت نوین و متفاوتی از فرآیندهای بازیافتی را برایتان شرح دهیم که در آن انرژی بازیافت خواهد شد.

به تازگی دانشمندان لیزری ساخته‌اند که با تولید ذرات کوانتومی می‌تواند انرژی تلف شده را با بهره بالایی بازیافت کند. این سامانه لیزری که توسط محققان کره‌ای دانشگاه KAIST ساخته شده است، در دمای اتاق گونه‌ای از ذرات کوانتومی را تولید می‌کند که بر روی یکدیگر اثرگذار هستند. تحقیقات آنها به صورت مقاله در نشریه Nature Photonics منتشر شده است. بر اساس نتایج این تحقیق لیزر مذکور با بهره‌گیری از یک کاواک میکرومتری علیرغم افزایش میزان اتلاف انرژی، می‌تواند با انرژی آستانه کمتر به عملکرد خود ادامه دهد. فیزیکدان دانشگاه KAIST دکتر چو و همکارانش میکروکاواکی شش ضلعی با بستری از جنس نیترید سیلیکان را طراحی کرده‌اند. میزان اتلاف این میکروکاواک به گونه‌ای تنظیم شده است که می‌تواند از خود نور ساطع کند.

نحوه طراحی این سامانه به صورتی است که قادر است در دمای اتاق لیزر پلاریتون تولید کند.

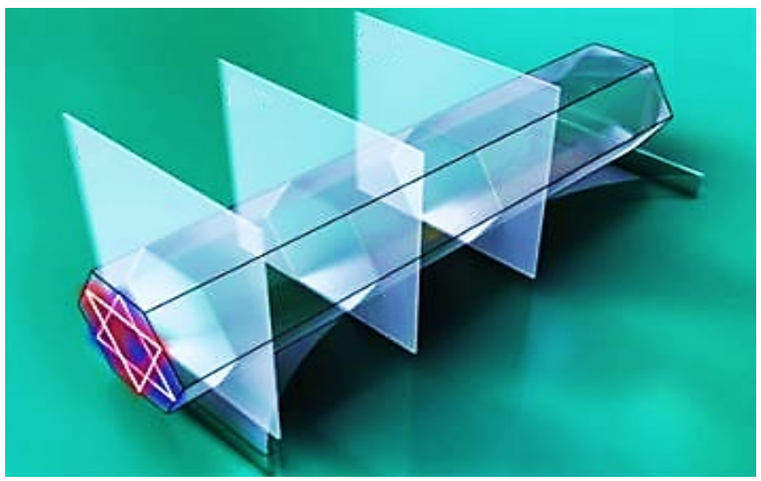
لیزر پلاریتون‌ها نسل جدیدی از منابع لیزری هستند که برای دستیابی به آستانه لیزینگ بسیار پایین از ماهیت چگالش بوز اکسیتون-پلاریتون در نیم‌رساناها بهره می‌گیرد.

این دستاورد بدان دلیل هیجان‌انگیز است که به طور معمول این اثر در دماهای برودتی بسیار پایین (cryogenic temperatures) ظاهر می‌شود. اگر چه ساخت این لیزر در دمای اتاق به خودی خود ابداع جالب توجهی است، اما محققان در این طرح متوجه ویژگی‌های منحصر به فرد و برخلاف شهود دیگری نیز شده‌اند.

همانطور که می‌دانید انرژی در حین کار با لیزر از بین می رود. اما محققان دریافتند که در این سامانه با افزایش اتلاف انرژی، مقدار انرژی مورد نیاز برای القای فرآیند لیزینگ کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که انگار انرژی از دست رفته دوباره بازیابی شده و برای عملکرد لیزر به کار گرفته می‌شود! اما به نظر شما چه چیزی منجر به ظهور این پدیده خارق‌العاده شده است؟ جواب این سوال را باید در نوع طراحی و مواد به کار رفته برای ساخت این لیزر جستجو کرد. چرا که چنین اثری تنها در این نوع معماری خاص لیزری ظاهر شده است. برای درک این پدیده می‌بایست برهم‌کنش‌های نور درون میکروکاواک ساخته شده را به دقت مورد بررسی قرار داد.

در این میکروکاواک شش وجهی ذرات نور به دو صورت مختلف هدایت می‌شوند: در یک حالت نور از مثلث ضلع بالایی شش وجهی عبور می‌کند و در حالت دیگر از مثلث وجه پایینی می‌گذرد. در هر دو حالت انرژی و مسیر ذرات نور یکسان است. به این ترتیب ذرات باید بی آن که با هم برهم‌کنشی داشته باشند، مسیر خود را طی کنند.

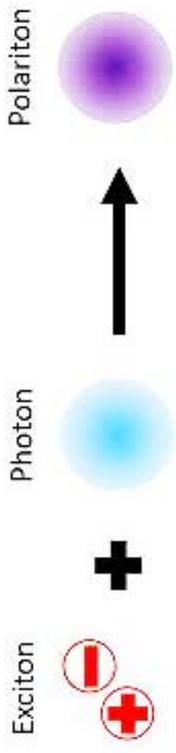
اما ساختار این میکروکاواک شش وجهی نیم‌رسانا به گونه‌ای است که منجر به تولید ذراتی می‌شود که با هم برهم کنش می‌کنند. این ذرات نوری را اکسایتون می‌نامند. آنچه در اثر تعامل اکسایتون‌ها با نور حاصل می‌شود، ذرات کوانتومی جدیدی به نام پلاریتون‌ها هستند. در واقع پلاریتون‌ها شبه ذرات بوزونی هستند که ماهیت آنها نیمی ماده و نیمی فوتون است. حال حدس بزنید که اگر این پلاریتون‌ها نیز با یکدیگر برهم‌کنش کنند، حاصل تعاملشان چه خواهد بود؟



نتیجه چنین برهم کنشی، لیزری است که تحت عنوان لیزر پلاریتون شناخته می‌شود.

در این نوع لیزرها، با کنترل میزان اتلاف انرژی بین میکروکاواک و بستر نیم‌رسانا، پدیده جذابی رخ می‌دهد که در اثر آن با افزایش انرژی تلف شده، انرژی آستانه مورد نیاز کم‌تر می‌شود. استفاده از این پدیده می‌تواند منجر به توسعه لیزرهایی با کارایی بالا و آستانه پایین شود که افزاره‌های نوری کوانتومی آینده از آن بهره خواهند برد. پروفسور چو در این باره می‌گوید: "این سامانه از مفهومی در فیزیک کوانتومی تبعیت می‌کند که به نام تقارن معکوس پاریته-زمان شناخته می‌شود و بستر مهمی است که اجازه می‌دهد از انرژی تلف شده به عنوان بهره تقویت استفاده شود. از این مفهوم می‌توان برای کاهش انرژی آستانه لیزر در دستگاه‌ها و حسگرهای نوری کلاسیک و همچنین دستگاه‌های کوانتومی و کنترل جهت نور استفاده کرد. "

در سامانه‌های غیرهرمیتی، تقارن معکوس زمان-پاریته (PT symmetry) منجر به از بین رفتن تقارن خودبه خودی سامانه می‌شود. برای دستیابی به تقارن PT در فوتونیک، به یک سامانه با پروفایل بهره/اتلاف نامتقارن نیاز است.






دروازه‌های علم
فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
۸۷
ماهنامه فناوری فوتونیک و مواد پیشرفته
شماره دهم مرداد ۱۴۰۰

از آنجایی که فوتون‌ها به صورت ذاتی با هم تعاملی ندارند، انتخاب دو جزء فوتونیکی برای اتصال غیرمستقیم از طریق میدان‌های نزدیک، ضروری است.

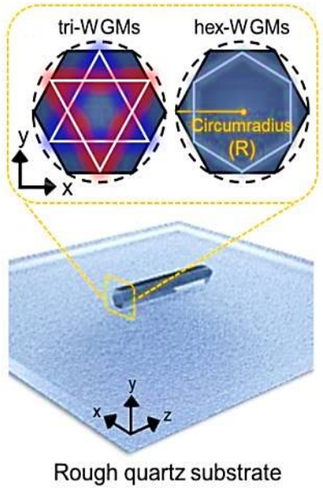
اکسایتون-پلاریتون‌ها به صورت مستقیم از طریق اجزای اکسایتونی با هم در تعامل هستند. بنا بر نتایج منتشر شده در این مقاله، پیوند مستقیم بین حالت‌های پلاریتون-اکسایتون می‌تواند بسترهای فوتونیکی معمولی در سامانه‌های غیرهرمیتی را به بستری پلاریتونی با تنها یک جزء تبدیل کند. به این ترتیب طراحی و تجمیع سامانه‌های جفت شده با آزادی عمل بیشتری قابل انجام است.

آنها با تمرکز بر ساخت میکروکاواک با تقارن شش تایی از برهم‌کنش حالت‌های فوتونیکی تبهگن بهره گرفتند. به طوری که با جفت کردن مستقیم حالت‌های پلاریتونی بالا و پایین در میکروکاواک شش تقارنی و نیز دستکاری و تنظیم اتلاف موفق به شکست تقارن PT با گذار فاز آستانه پایین شدند.

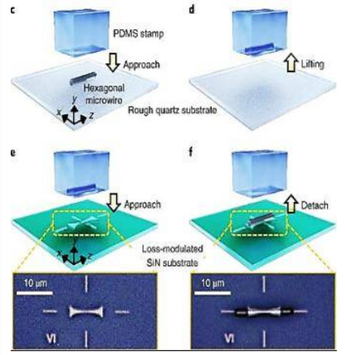
برای این منظور، محققان از میکروسیم‌های شش وجهی گالیوم نیترات به عنوان میکروکاواک استفاده کرده‌اند. اگرچه روش رشد سطح انتخابی برای تولید میکروسیم‌های شش وجهی به واسطه امکان تعیین منطقه رشد، به طور قطع منجر به تشکیل یک ساختار شش وجهی خواهد شد، با این وجود چنین روشی نمی‌تواند تقارن شش تایی ساختار را نیز تضمین کند.

در ساختارهای کریستالی ورتزیت صفحه m به صورت ذاتی، وجه ثابت است و زاویه بین صفحات مجاور همواره ۱۲۰ درجه است که همین امر منجر به شکل‌گیری هندسه شش وجهی می‌شود.

حال اگر سرعت رشد هر یک از صفحات ناهمسان باشد، ساختارهای شش وجهی متمایزی شکل می‌گیرد که باعث ایجاد طول متفاوت هر یک از صفحات می‌شود. از این رو به وضوح روشن است که تقارن شش تایی تنها تحت شرایطی ایجاد می‌شود که نرخ رشد تمام صفحات یکسان باشد. محققان برای مشاهده مشخصه‌های هندسه‌های شش وجهی متمایز میکروسیم‌های شش وجهی را بر روی بستری از جنس کوارتز پخش کردند (شکل زیر) و طیف فوتولومینسانس آنها را مورد مطالعه قرار دادند.



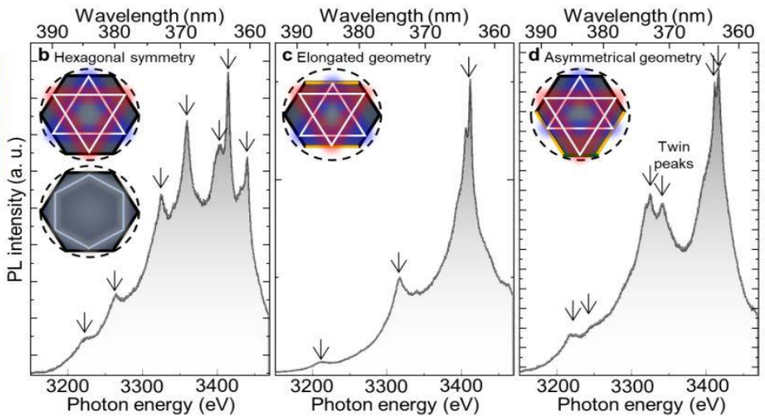

در شکل بالای صفحه بعد می‌توانید به وضوح ارتباط میان بیشینه‌های طیف فوتولومینسانس با هندسه‌های مختلف میکروسیم‌ها را مشاهده کنید. عدم تقارن در هندسه میکروسیم باعث ایجاد اختلاف راه اپتیکی می‌شود که حتی در حد بسیار کم هم باعث افزایش تبهگنی خواهد شد و نتیجه نهایی مطلوب نخواهد بود. هر دو هندسه دیگر اعم از ساختار نامتقارن و کشیده قادر به تولید همزمان همه مدهای WGM (**whispering-gallery mode**) به صورت شش وجهی و مثلثی نیستند. تنها حالت تقارن شش تایی است که شکل‌گیری مدهای مثلثی و شش وجهی WGM را تضمین می‌کند. WGMها موج‌هایی هستند که می‌توانند درون سطوح مقعر حرکت کنند و در کابردهای لیزر مورد



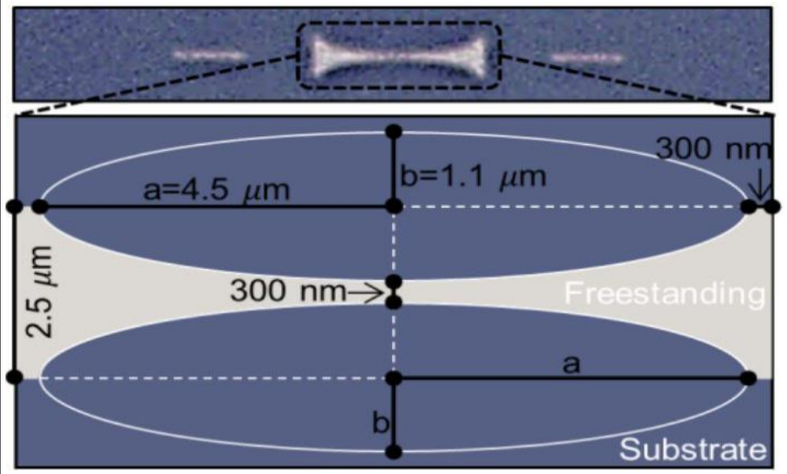

محققان با تمرکز بر ساخت میکروکاواک با تقارن شش تایی از برهم‌کنش حالت‌های فوتونیکی تبهگن بهره گرفتند. به طوری که با جفت کردن مستقیم حالت‌های پلاریتونی بالا و پایین در میکروکاواک شش تقارنی و نیز دستکاری و تنظیم اتلاف موفق به شکست تقارن PT با گذار فاز آستانه پایین شدند.





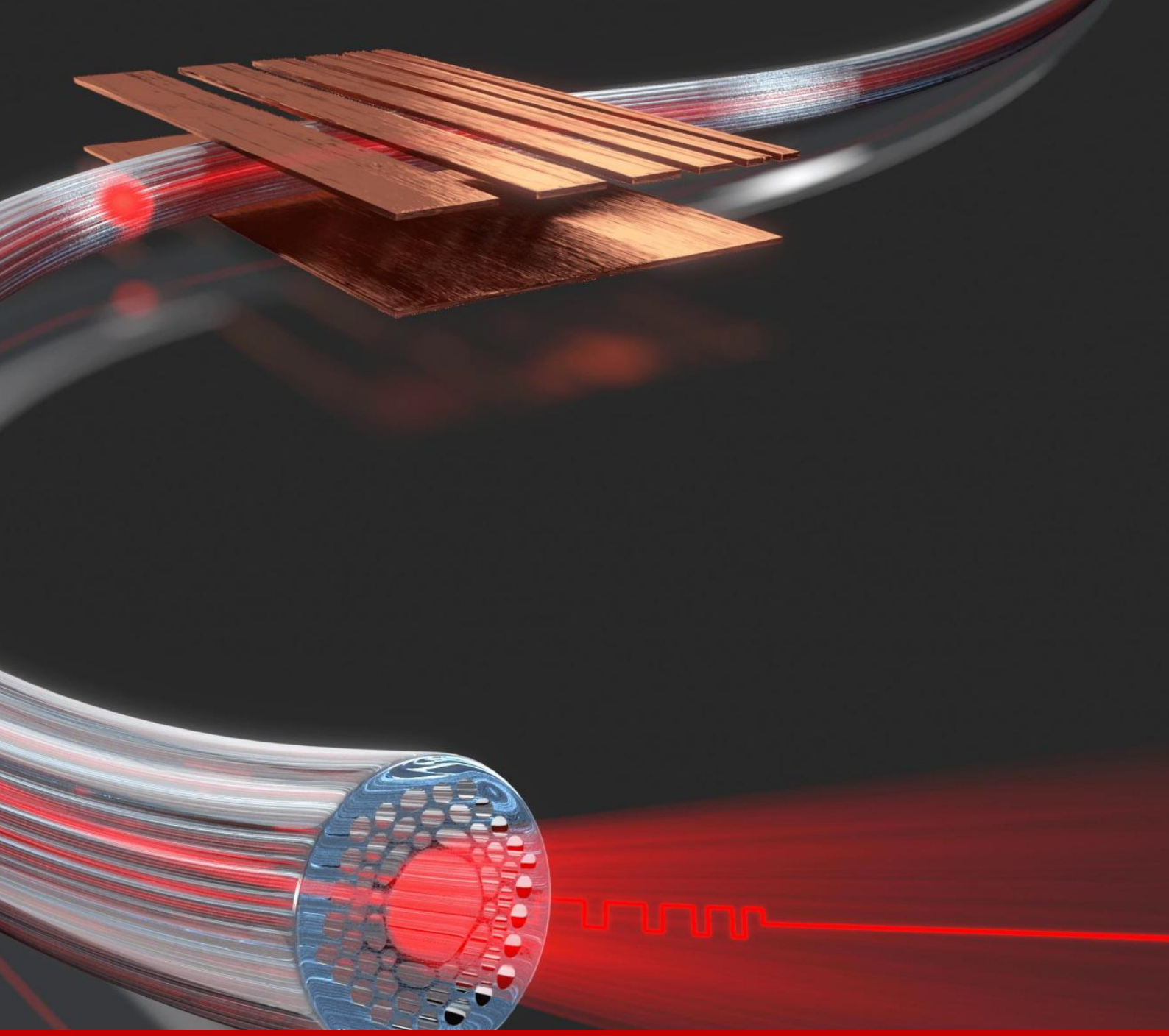


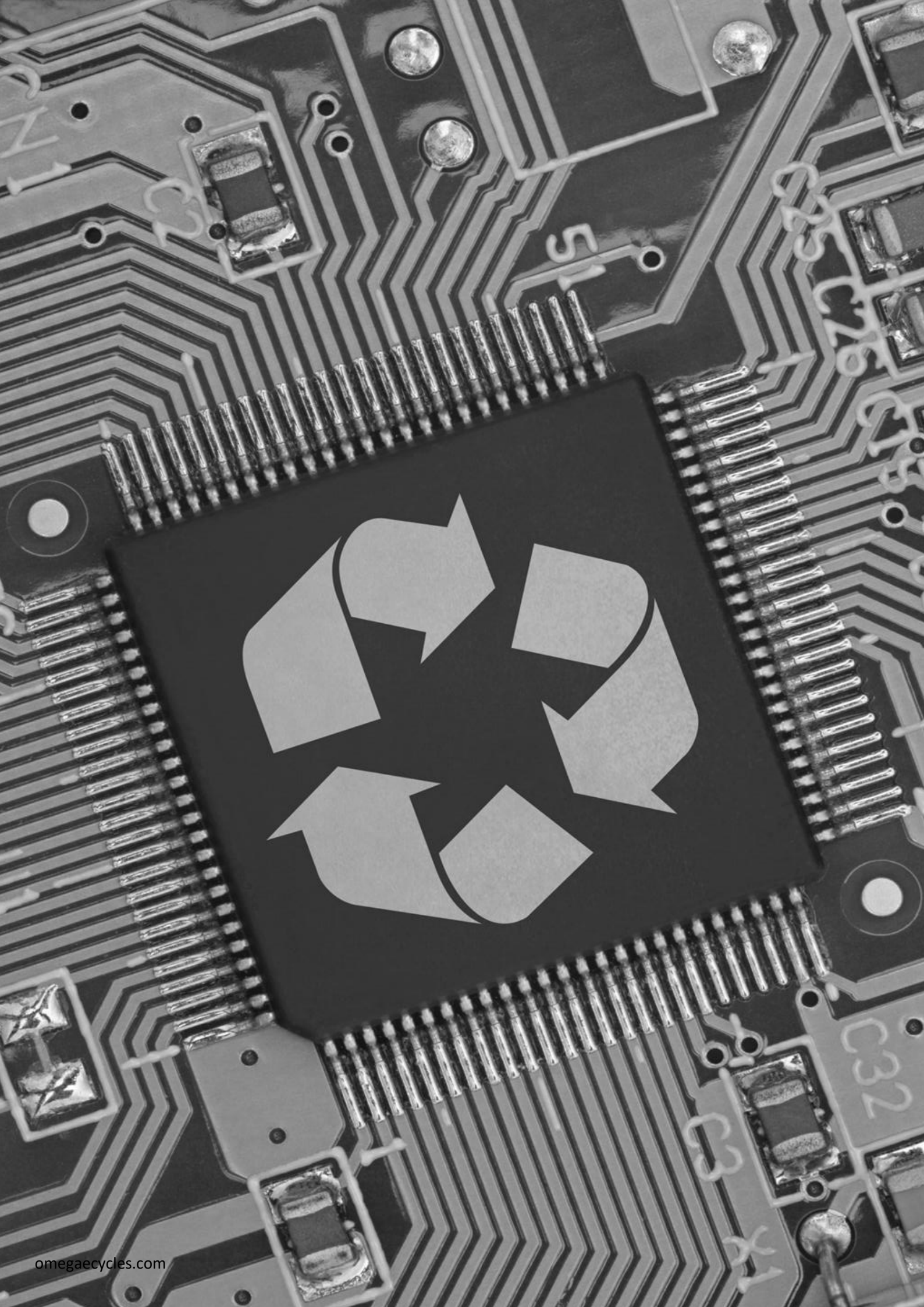

ساخت این نوع لیزر پلاریتون، تنظیم دقیق اندازه میکروکاواک است که محققان با استفاده از معادله هامیلتونی نوسانگر جفت شده و نیز با در نظر گرفتن مدل صفحه-موج، اندازه میکروکاواک را به صورت تئوری محاسبه کردند و اطلاعات مربوط به قطر میکروکاواک شش وجهی را در راستای محور سیم به دست آوردند. این مقادیر با اندازه‌گیری‌های تجربی که توسط تصویربرداری میکروسکوپ الکترون روبشی انجام شده بود کاملا مطابقت داشت. در اغلب بخش‌های این مقاله نتایج آزمایش‌های تجربی با نتایج محاسبات تئوری و شبیه‌سازی به خوبی مقایسه شده و مطابقت دارد.




به این ترتیب، این محققان با کنترل دقیق ابعاد و تقارن میکروکاواک‌های یک لیزر پلاریتونی موفق شدند علیرغم اتلاف انرژی، عملکرد لیزر با توان آستانه کمتر را تسهیل کنند. جزئیات این تحقیق جذاب را می‌توانید در مرجع زیر مطالعه کنید.

Song, H.G., Choi, M., Woo, K.Y. *et al.* Room-temperature polaritonic non-Hermitian system with single microcavity. *Nat. Photon.* **15,** 582–587 (2021). https://doi.org/10.1038/s41566-021-00820-z





omegaecycles.com