

## بازیافت خاکه حاصل از مصرف پودر جوشکاری زیرپودری

کاوه ارزانی<sup>۱\*</sup>، محسن شاکری<sup>۲</sup> و سید کاظم سعیدنژاد<sup>۱</sup>

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی  
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ماشین های کشاورزی، گروه مکانیک

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۵/۲/۲۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۶/۱۱/۲۸، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۷/۵/۲۴

**چکیده** مواد مصرفی در فن آوری های جدید ضمن عرضه خواص فنی مناسب باید اقتصادی سازگار با محیط زیست باشند. انسان عصر جدید در تلاش برای یافتن راه حل های مناسبی است تا بتواند قسمت اعظم ضایعات صنعتی را به جای دور و ریختن در آب ها و اقیانوس ها و انباشتن در کویرهای جهان سوم، به روشی دوباره مصرف کند. ضایعات حاصل از مصرف پودرهای جوشکاری زیرپودری نیز یکی از موارد آلوده کننده محیط زیست است. در این تحقیق سعی شده است که باکمک آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD)، فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، بررسی نوع و شکل فازها، میکروسکوپ الکترونی روبشی (EDX, SEM)، آنالیز مقدار کربن و گوگرد (دستگاه اشترولاین) و با استفاده از روش های خردکردن، جداسازی، فرآوری، مخلوط سازی و زینترسرامیکی، روشی برای مصرف مجدد خاکه حاصل از مصرف پودر جوشکاری زیرپودری یافت شود. طی این تحقیق مشخص شد که با جداسازی ذرات آهنی افزوده شده به ترکیب خاکه می توان از زباله تولید شده دوباره برای ساخت پودر جوشکاری زیرپودری استفاده کرد.

**کلمات کلیدی** بازیافت، خاکه پودر جوشکاری زیرپودری، ذرات آهن، پودر جوشکاری ذوبی، پودر جوشکاری زینتری.

## Recycling of Deformed Powder from Submerge Arc Welding (SAW)

K. Arzani<sup>\*1</sup>, M. Shakeri<sup>2</sup> and S. K. SaidNejad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Materials Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran.

<sup>2</sup>Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Tehran, Iran.

**Abstract** Besides possessing proper technical properties, the materials used by modern technology should be economical and environment friendly. Human of the modern age is trying to find proper solutions to recycle a major part of the industrial wastes. Instead of disposing them into rivers, seas and oceans or accumulating them on the uninhabited deserts of the third World countries. SAW wastes are also considered as a class of environmental pollutants. The present research aims at finding a method for recycling such wastes by making use of Phases assessment systems, such as XRD, XRF, SEM, and carbon-sulfur assessment system (Strolein system) and by using separation, formulation, and ceramic sintering. The results of the study show that the deformed powder from SAW process might be recycled and used as powder of SAW for welding of low-carbon steel (st37) by separating the iron particles and adding some additives to deformed waste powder.

**Keywords** Recycling, Submerge Arc Welding (SAW), Iron Particles, Powder Wastes, Sintered Welding Powder st37.

\*عهده دار مکاتبات

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی.

تلفن: ۰۲۱-۴۴۸۶۹۷۸۴، دورنگار: ۰۲۱-۴۴۸۶۹۷۸۳، پیامنگار: dr\_kaveh\_arzani@yahoo.com

**۱- مقدمه**

دانه‌های سالم جدا می‌شود و به‌عنوان ضایعات پودرجوشکاری از سیستم خارج می‌گردد.

به‌این ترتیب قسمتی از پودر مصرفی در فرآیند جوشکاری زیرپودری به‌صورت خاکه غیرقابل مصرف درمی‌آید؛ درحالی‌که محتوی مواد باارزشی است که به‌صورت زباله در بیابان‌ها دور ریخته می‌شود. مواد موجود در این زباله در تماس با آب به‌صورت محلول‌های سمی وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و تأثیرات نامطلوبی بر گیاهان و موجودات زنده دارد. بنابراین هدف از این بررسی ارائه یک فرآیند بازیافت و مصرف مجدد این زباله است تا مواد مفید و گران‌قیمت به‌کاررفته در مخلوط آن دوباره مصرف شود و باعث آلودگی محیط زیست نشود.

**۲- نحوه انجام آزمایش****۲-۱- عوامل انتخاب پودر مورد تحقیق**

برای انتخاب پودر مناسب این عوامل در نظر گرفته شد:

۱. ضایعات تولیدشده طی مصرف پودر برای محیط‌زیست مضر باشند.
۲. مقدار مصرف پودر در اندازه‌ای باشد که تحقیق درمورد بازیافت ضایعات آن قابل ارزیابی باشد.
۳. روش بازیافت ضایعات از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه باشد.
۴. فرآیند تحقیق درمورد بازیافت و آمیزه‌های مجدد ضایعات باید خطری برای محققان و محیط زیست ایجاد نکند.

**۲-۲- انواع پودرهای جوشکاری زیرپودری**

پودرهای جوشکاری زیرپودری انواع متفاوت با ترکیبات

در جوشکاری صنعتی فلزات روش‌های متعددی وجود دارد که یکی از متداول‌ترین آنها روش جوشکاری زیرپودری است که از آن برای اتصال فلزات به‌شکل لوله‌های بزرگ که در خطوط طولانی انتقال آب، نفت و گاز به‌کار می‌رود یا اتصال قطعه‌های بزرگ فلزی استفاده می‌شود.

در این روش، فلزات تحت پوشش لایه‌ای از پودر دارای ترکیب و دانه‌بندی خاص به‌کمک سیم مفتولی‌شکل الکتروود به‌هم جوشکاری و متصل می‌شوند.

در روش جوشکاری زیرپودری، (تحت‌تأثیر عناصری که در پودر جوش وجود دارد) واکنش‌های الکتروشیمیایی بین فلز مذاب در بستر جوشکاری و پودر تبدیل شده و به‌سرباره مذاب انجام می‌شود. در این هنگام عناصر لازم برای بستر جوش مذاب در سیم الکتروود و پودر جوشکاری وجود دارد که حین فرآیند جوشکاری ذوب می‌شود و وارد مذاب فلزی بستر جوش می‌گردد. هم‌زمان عناصر جانبی فلز مذاب بستر جوش جذب سرباره مذاب می‌شود.

با این روش، پودر جوشکاری زیرپودری درهنگام کاربرد دارای اثرات الکتریکی، متالورژیکی و فیزیکی متفاوتی است.

یکی از ضایعات این روش ایجاد سرباره شیشه‌مانند پودر جوشکاری بر روی بستر جوش است. این سرباره که به آن گل جوش می‌گویند حاصل پودر جوشکاری روی بستر جوش بر اثر قوس ایجادشده بین فلز و مفتول الکتروود است که اثرات واکنشی بر مذاب فلز دارد.

یکی دیگر از ضایعات مهم این روش، خردشدن دانه‌های تشکیل‌دهنده پودر ضمن عملیات حمل و کاربرد فاصله و تبدیل شدن آن به خاکه محتوی ذرات تغییرشکل یافته است. خاکه حاصل شده تا حد زیادی تحت‌تأثیر عوامل نفوذ مذاب الکتروود دچار آلودگی ذرات آهنی است. خاکه ضمن الکشدن از

چسب‌های معدنی در فرمول آن تهیه می‌شود و سپس به صورت خمیر به کمک چرخ گردان دارای زاویه به صورت دانه‌های آگلومره‌ای کوچک درمی‌آید و پس از خشک شدن در کوره دوار در حرارت ۶۰۰-۹۰۰ درجه سانتیگراد زینتر می‌شود و دانه بندی و توزیع اندازه دانه های آن به صورت استاندارد می‌آید. این پودر خواص هر دو نوع قبلی را دارد [۳].

### ۳-۲. گل جوش

در ضمن جوشکاری پودر پوشش دهنده سیم الکتروود و بستر فلز در حال جوشکاری ذوب می‌شود (شکل ۱) و به علت سبکی روی بستر مذاب فلز قرار می‌گیرد و به صورت یک لایه سرباره سرد می‌شود و گل جوش ایجاد می‌کند. پودر ذوب شده بر روی بستر محل جوشکاری فلز و الکتروود اثر واکنشی خود را به کار می‌برد و در طی این عمل عناصر آلیاژی پودر به محل اتصال مذاب فلز نفوذ می‌کند و هم زمان سرباره مذاب عناصری را که حضور آنها مورد نیاز محل اتصال نیست، جذب می‌کند [۲،۱]. ضمن سرد شدن محل اتصال جوش، سرباره تشکیل شده سریعاً به شکل لایه شیشه‌ای شکل بر روی بستر جوش سرد و منجمد می‌شود (شکل ۱) که بعد از عملیات، با چکش شکسته شده و از روی بستر جوش برداشته می‌شود. به این مجموعه سرباره یا گل جوش می‌گویند [۹،۲]. گل جوش یکی از ضایعاتی است که فرآوری آن در این پژوهش مورد بررسی نشده است.

### ۴-۲. خاکه

در طی فرآیند جوشکاری زیرپودری، پودر مصرفی تحت عوامل جابه جاشدن و نقل و انتقالات فرآیند (شکل ۱) دچار خردشدگی، ساییدگی و آلودگی حاصل از مصرف می‌گردد. در نتیجه قسمتی از آن در اندازه‌های میکرونی خرد می‌شود و به علت مزاحمت در فرآیند جوشکاری قابل مصرف مجدد

مختلفی دارند شامل: اکسیدهای فلزی مثل اکسید منگنز، سیلیسیم، تیتانیوم، کلسیم، منیزیوم و زیرکونیم همراه سایر اکسیدهای فلزی و مواد افزودنی مانند فلوراید کلسیم که طی فرآیندهای مشخصی باهم مخلوط می‌شوند و با دانه بندی استاندارد به مصرف کننده عرضه می‌شود [۲،۱]. به همین علت ضایعات حاصل از مصرف آنها نیز انواع متفاوتی دارد.

### ۱-۲-۲. پودرهایی که به روش فرآیند ذوبی تولید می‌شوند

در این روش، مخلوط مواد اولیه، پودری و سپس ذوب می‌شوند و مواد مذاب در آسیاب خرد می‌شود، به صورت دانه بندی با توزیع اندازه دانه مناسب به مصرف کننده عرضه می‌شود. ترکیب این پودر بسیار همگن است و در مقابل عوامل رطوبت و نم حساسیت ندارد و می‌توان از آن در جوشکاری زیرپودری با سرعت زیاد استفاده کرد [۳].

### ۲-۲-۲. پودرهای آگلومره‌ای به هم چسبیده زینتر نشده

مواد اولیه این پودر به صورت میکرونی درآمده و سپس با چسب سیلیکات سدیم یا پتاسیم مخلوط شده و به صورت تکه های کوچک خشک و سپس با آسیاب گلوله‌ای خرد شده و با توزیع اندازه دانه مناسب مصرف می‌شود. به کارگیری این پودر در رابطه با سرعت مصرف و اندازه دانه های آن به علت توانایی جذب رطوبت محدود است. این عیب را می‌توان تا حدی با اضافه کردن مواد محتوی آلیاژ آهن و عناصر آنتی اکسیدان برطرف کرد. این پودر نسبت به انواع دیگر وزن مخصوص کمتری دارد و در حین عملیات سرباره کلفت تری روی بستر جوش ایجاد می‌کند. این سرباره به راحتی از روی بستر جوش جدا می‌شود [۳].

### ۳-۲-۲. پودرهای آگلومره‌ای زینتر شده

مواد اولیه این پودر در اندازه میکرونی با به کارگیری

انتخاب شد. این پودر محصول آلمان است و نمونه مشابه آن نیز در کارخانه‌های داخل کشور تولید می‌شود.

آنالیز (XRD) [۴] این پودر در شکل ۲ و آنالیز عنصری آن مطابق استاندارد در جدول ۱ ارائه شده است. آنالیز توزیع اندازه ذرات آن براساس استاندارد DIN32522 است؛ ولی آنالیز (XRF) [۵] این پودر با اندازه‌گیری مجدد در جدول ۲-الف ذکر شده است. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) [۶] پودر قبل از کاربرد در شکل ۳ آمده است.

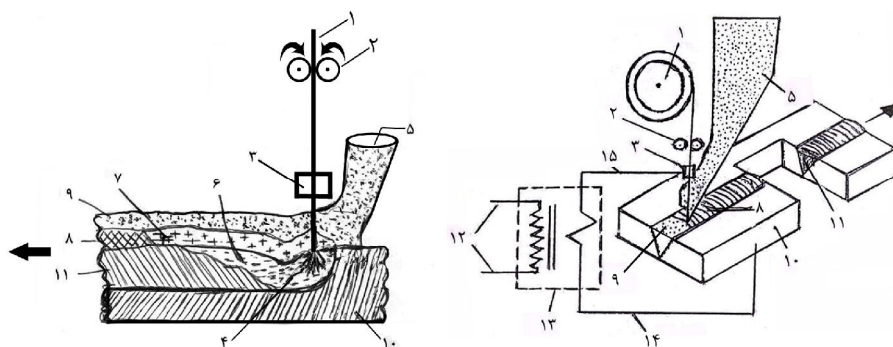
پودر LW۶۸۰ بیشتر در جوشکاری فولادهای ساختمانی کم آلیاژ و جوشکاری فلزات دیرگداز حاوی کرم

نیست. بنابراین آن را از پودر درشت دانه جدا می‌کنند و در ردیف ضایعات قرار می‌دهند. مقدار این پودر تا ۱۵٪ وزن کل پودر به کار رفته در عملیات جوشکاری است.

### ۳- فعالیت‌های تجربی

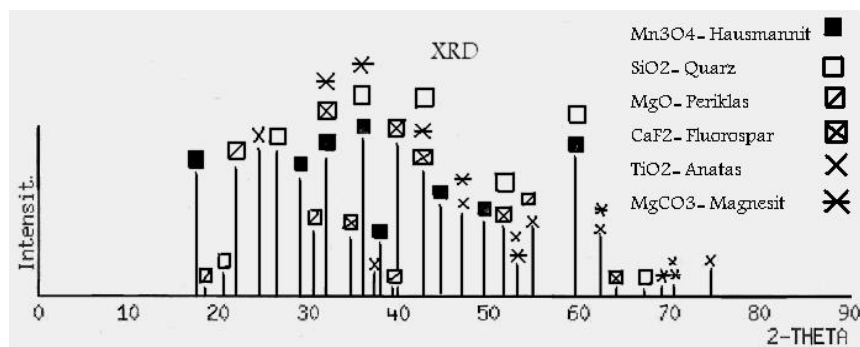
#### ۱-۳- مشخصات پودر انتخاب شده

با در نظر گرفتن عوامل یادشده، پودر جوشکاری زیرپودری با نام LW۶۸۰ و مطابق استاندارد DIN-8557-61



شکل ۱. تصویر روش جوشکاری زیرپودری [۲، ۳].

۱. مفتول جوشکاری، ۲. تغذیه‌کننده مفتول، ۳. محل اتصال برق به مفتول، ۴. قوس الکتریکی بین مفتول و قطعه در حال جوشکاری، ۵. تغذیه پودر جوشکاری زیرپودری، ۶. حوضچه مذاب الکترود و قطعه، ۷. حوضچه مذاب پودر زیرپودری، ۸. سرباره یا گل جوش، ۹. بستر بالایی پودر جوشکاری زیرپودری، ۱۰. قطعه در حال جوشکاری، ۱۱. جوش منجمد شده.



شکل ۲. شناسایی فازی (XRD) پودر جوشکاری زیرپودری LW۶۸۰

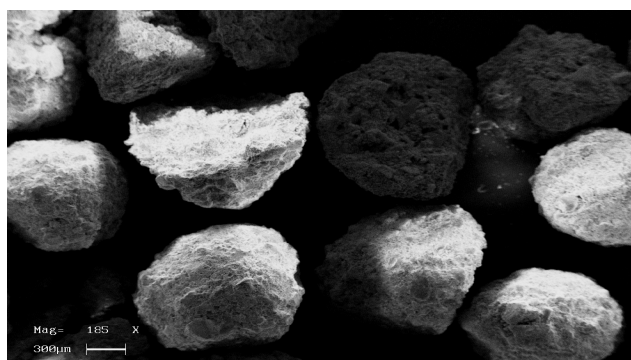
جدول ۱. معرفی درصد عناصر تشکیل دهنده پودر جوشکاری زیرپودری LW680 براساس استاندارد DIN8557-61 (مقدار فلور (F) در این جدول ذکر نشده است).

عناصر	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO+MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O
درصد	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰

جدول ۲. شناسایی عنصری (XRF) عناصر تشکیل دهنده.

(الف) پودر جوشکاری زیرپودری LW680. ب. خاکه ضایعاتی پس از آهن زدایی با آهن ربا، ج. مخلوط مواد اولیه معدنی پس از زیتتر، د. مخلوط ۸۰ درصد مواد دارای ترکیب (ب) به علاوه ۲۰ درصد از مواد دارای ترکیب (ج) به عنوان مخلوط نهایی.

درصد اکسید										نوع مواد
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	
-	۰/۲۵	۱/۰۰۰	۲/۰۰۰	۱۵/۰۰	۵/۰۰	۱۰/۶	۱۹/۴	۱۴/۰۰	۳۲/۷۵	الف
۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۹۶	۱/۹۹	۱۴/۹۸	۴/۹۸	۱۰/۵۹	۱۹/۲۲	۱۴/۰۷	۳۲/۷۰	ب
۰/۰۱	۰/۳۳	۱/۴۱	۲/۳۰	۱۶/۹۲	۴/۹	۱۰/۶۳	۲۰/۵۳	۱۳/۴۰	۳۲/۱۸	ج
۰/۰۱	۰/۲۲	۱/۰۶	۲/۰۵	۱۵/۴۰	۴/۹۶	۱۰/۵۰	۱۹/۴۰	۱۳/۸۰	۳۲/۶۰	د



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) پودر جوشکاری زیرپودری LW680 تولید شرکت Messer Gries آلمان.

که صدها کیلومتر طول دارند [۷].  
طبق آمارهای مختلف وزارت بازرگانی [۸] و براساس تحقیقات انجام شده، مصرف این نوع پودر در کشور حدود

(Cr) مانند 15CrMo44 با استفاده از سیم مفتولی الکترونی نوع S2CrMo1 مصرف می شود (جدول ۳). محصولات جوشکاری شده با این پودر شامل لوله های بزرگ انتقال آب، نفت و گاز است

دستگاه اشترولاین در جدول ۵ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود درصد عناصر آن نیز با درصد عناصر LW680 متفاوت است.

در بررسی های میکروسکوپ الکترونی (شکل ۴) ذرات کروی همراه ذرات پودری وجود دارند که براساس آنالیز ضمن میکروسکوپ الکترونی (EDX) [۶] (جدول ۳) و آنالیز

۵۶۰ تن در سال برآورد شده است؛ درحالی که طبق این پژوهش ۸۵٪ ضایعات باقی مانده از آن به صورت گل جوش، (سرباره) و بقیه به صورت خاکه از سیکل مصرف می شوند. خاکه پودر LW680 ضمن فرآیند مصرف پودر با الک از دانه های درشت تر جدا می شود. شناسایی عناصر تشکیل دهنده آن در جدول ۴ و شناسایی مقادیر کربن و گوگرد به کمک

جدول ۳. شناسایی با اشعه ایکس (EDX) عناصر تشکیل دهنده سیم مفتول الکترو S2Mo1 مورد مصرف در فرآیند جوشکاری زیرپودری درمقایسه با عناصر تشکیل دهنده ذرات آهن داخل خاکه.

درصد عناصر									جسم مورد بررسی
Fe	Nb	Mo	Cr	S	P	Mn	Si	C	
۹۶/۹۱	۰/۲	۰/۵۳	۰/۹	۰/۰۴	۰/۰۱۶	۰/۸	۰/۵۵	۰/۰۸	مفتول الکترو
۹۶/۸۶	۰/۱۸	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۷	۰/۶	۰/۰۹	ذرات آهنی

جدول ۴. شناسایی درصد عناصر تشکیل دهنده خاکه حاصل از مصرف پودر جوشکاری زیرپودری LW680 براساس شناسایی با اشعه ایکس (XRF). مقدار فلور (F) در مواد فوق به علت مشکلات دستگاهی (XRF) ذکر نشده است.

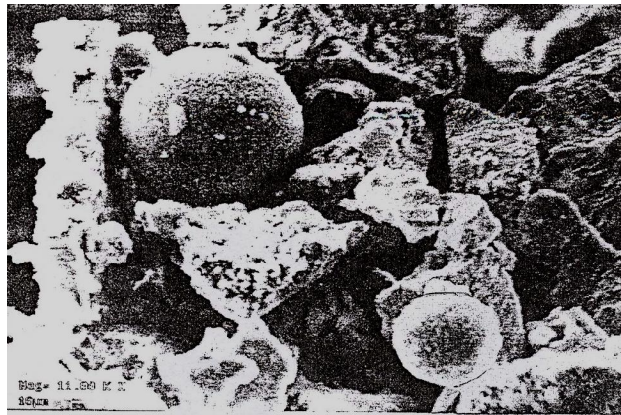
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MoO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	عناصر
۳۸/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۵۳	۰/۶۱	۱/۲۲	۳/۰۶	۹/۲	۱۱/۸	۶/۵	۸/۶۸	۲۰/۰۸	درصد

جدول ۵. مقدار کربن و گوگرد موجود در پودر LW 680 قبل از مصرف درمقایسه با خاکه براساس شناسایی با دستگاه اشترولاین.

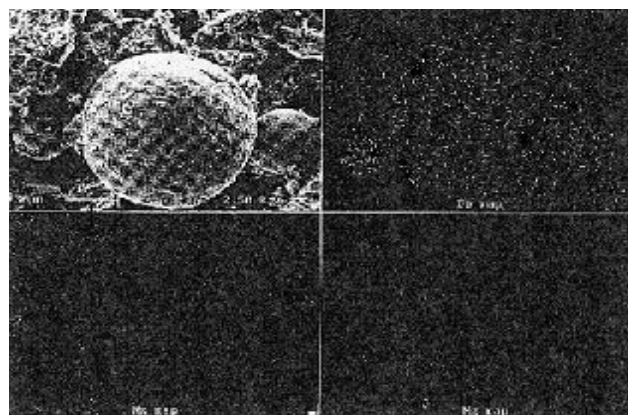
%S	%C	درصد عنصر
-	۰/۰۶۶۴	پودر LW680
۰/۰۰۱۴۲	۰/۰۷۱۶۳	خاکه

آنها کمتر از ۱۰۰ میکرون است و در مجموع ۲۵٪ وزن پودر نافرمان شده ضایعاتی را تشکیل می دهند. مطابق مرجع [۲] درضمن عملیات، الکتروود به قطرات مذاب تبدیل می شود. اندازه قطرات الکتروود به شدت جریان وابسته است؛ به طوری که در شدت جریان های کم، قطرات درشت تر هستند و می توانند مشکل ایجاد کنند. گاهی حتی احتمال تماس آنها با اتمسفر وجود دارد که باعث کم شدن محافظت سرباره می شود

توزیع عناصر (MAP) شکل ۵ ذرات کروی متعلق به سیم مفتول جوشکاری، دارای عناصر تشکیل دهنده جدول ۳ می باشد. علت به وجود آمدن این ذرات، تبدیل سیم مفتول الکتروود به میلیون ها ذره مذاب در طی فرآیند جوشکاری است که تعداد زیادی از آنها به داخل پودر جوشکاری پوشش دهنده مفتول الکتروود پرتاب شده و در آنجا منجمد شده است. اندازه این ذرات کروی آهن بین ۱۰ تا ۲۵۰ میکرون هستند که اندازه بیشتر



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) ذرات مذاب مفتول الکتروود که به شکل ذرات کروی در خاکه پراکنده شده اند.



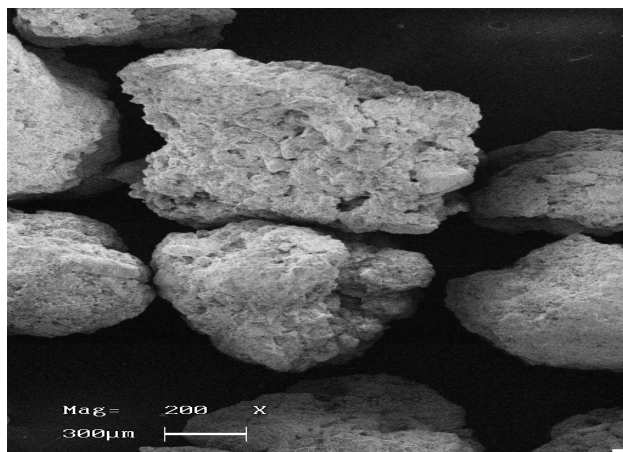
شکل ۵. شناسایی توزیع عناصر (MAP)Fe.Mg.Mn ذرات کروی موجود در خاکه پودر LW۶۸۰ با دستگاه الکترومیکروسکوپ روبشی (SEM).





جدول ۶. توزیع اندازه دانه‌های استاندارد و دانه‌های عبوری از الک و درصد آنها در پودر LW۶۸۰ در مقایسه با اندازه دانه‌های تشکیل دهنده خاکه.

مش	۲۵۰	۱۷۱	۱۱۵	۱۰۰	۶۰	۴۲	۳۲	۲۴	۱۴	۱۲
طبق پودر استاندارد DIN32522	۱/۵	۰/۶	۶/۳	۱۵/۵	۳۱	۲۳	۱۳	۵/۵	۱/۲۰	۲/۵۰
پودر LW۶۸۰	۱/۲۱	۰/۶۲	۶/۲۱	۱۵/۳۶	۳۱	۲۳/۱	۱۳/۳	۵/۴	۱/۳	۲/۵
خاکه	۵/۹۹	۴/۳۸	۴۱/۶۶	۴۶/۶۴	۰/۲۵	۰/۳	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۰۴



شکل ۶. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) دانه‌های فرآوری شده از روش ذوب خاکه پودر LW۶۸۰.

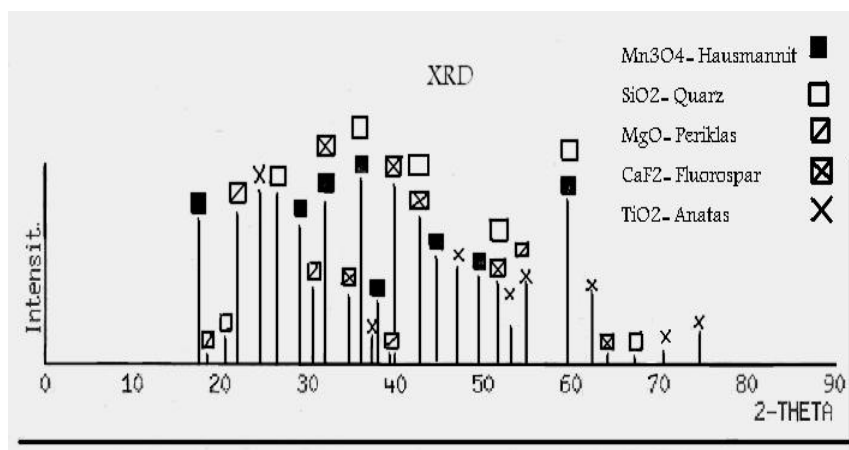
جدول ۲-ب با ۲۰٪ وزنی مخلوط مواد اولیه معدنی دارای ترکیب جدول ۲-ج مخلوط شد و ترکیب حاصل با ۱۵٪ وزن آب خوب مخلوط و همگن شد. سپس مواد مرطوب ایجاد شده به کمک میز دوار تحت زاویه خاصی به صورت دانه‌های گرد کوچک درآمدند و به مدت ۴ ساعت در حرارت  $104^{\circ}\text{C}$  خشک شدند و دانه‌های ما بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرون آن به کمک الک جدا

(Magnesit) معدن سربیشه بیرجند برای تأمین (MgO)، الکلی (Balclay) معدن دهبید طبس برای تأمین  $(\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3)$  و ایجاد چسبندگی مورد نیاز، روتیل (Rutil) خارجی برای تأمین  $(\text{TiO}_2)$  به عنوان مواد پایدارسازنده قوس الکتریکی و اکسیژن زدا.

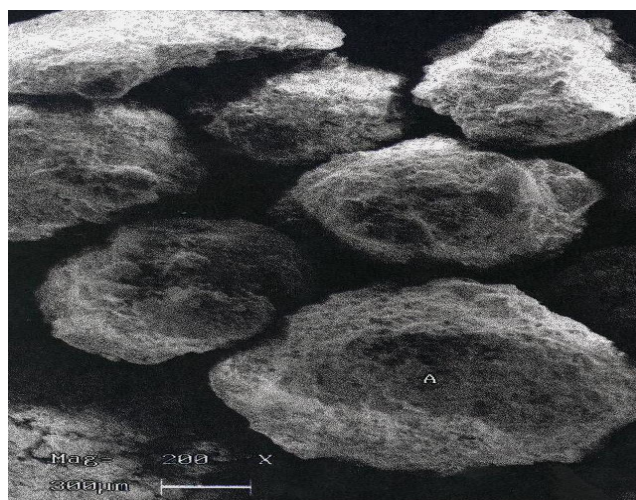
برای ایجاد مخلوط نهایی ۸۰٪ وزنی خاکه دارای ترکیب

در مقایسه با پودر ۶۸۰ در شکل ۲ ارائه شده است. پودر به دست آمده در آزمایشگاه با استفاده از سیم مفتول الکتروود S2CrMo1 (جدول ۳) در جوشکاری فولاد St 37 آزمایش شد. بررسی های اولیه بیانگر کیفیت مناسب خواص

شد و اندازه توزیع دانه بر اساس استاندارد DIN32522 تنظیم شد. سپس محصول به دست آمده در دمای  $1050^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ ساعت زیتتر شد. شکل ۸ نشان دهنده تصویر میکروسکوپ الکترونی این پودر آماده است. شناسایی فازی این پودر (شکل ۷)



شکل ۷. شناسایی فازی (XRD) مخلوط نهایی زیتتر شده (پودر مشابه سازی شده).



شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) گرانول های فرآوری شده پودر جوشکاری زیرپودری جدید، با استفاده از ۸۰٪ خاکه پودر LW۶۸۰ و ۲۰٪ مواد اولیه معدنی به عنوان چسب.

قابل مصرف درآورد، آماده مصرف مجدد در فرآیند جوشکاری زیرپودر خواهد شد. در نتیجه برای فرآوری خاکه دو روش پیشنهاد شد.

در روش اول خاکه از روش ذوبی، مشابه پودر تولید شده از روش ذوبی مصرفی فرآیند جوشکاری زیرپودری درآمد و مورد آزمایش کاربردی قرار گرفت. در روش دوم خاکه به کمک مخلوطی از چند ماده اولیه معدنی و با حرارت دادن، مشابه پودرهای تولید شده از روش زیتتر شد و مورد آزمایش کاربردی قرار گرفت.

### ۳-۴-۱. روش اول

پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی با آهن ربای قوی آهن زدایی شد و سپس به کمک کوره قوس الکتریکی آزمایشگاهی ذوب شد. مذاب پس از سرد شدن با آسیاب فکی و مخروطی خرد شد و با کمک بالمیل آزمایشگاهی به شکل دانه های کوچک درآمد.

دانه ها پس از خروج از بالمیل با کمک الک های استاندارد از هم تفکیک شدند و دوباره مطابق دانه بندی استاندارد، (DIN32322)، پودرهای جوشکاری زیرپودری تنظیم شدند. در نتیجه دانه های شیشه ای شکل و تقریباً کروی حاصل شد که نسبت به پودر LW680 سیالیت کمتری داشت. پودر جدید مطابق دستورالعمل مصرف پودرهای جوشکاری زیرپودری، با استفاده از مفتول جوشکاری S2CrMo1 در جوشکاری فولاد St37 مورد آزمایش قرار گرفت. کنترل اولیه جوش ایجاد شده بر اساس دستورالعمل های ذکر شده [۹] انجام شد، در آن دستورالعمل ها مهم ترین نکات عبارت بودند از: بررسی مقدار تنشی که جوش می تواند تحمل کند؛ بررسی نحوه پرشدگی حفره جوش؛ بررسی چگونگی صافی سطح جوش، بررسی وجود تخلخل، مک، ترک در سطح جوش؛ بررسی صدای محل جوش و بررسی وجود سوختگی یا بریدگی در کناره های محل جوش.

مکانیکی جوش ایجاد شده و تحمل تنش ( $\sigma$ ) حداکثر در حدود  $510 \text{ N/mm}^2$  [۹] بود که در مقایسه با پودر جوشکاری LW680 نتیجه خوبی را ارائه داده است.

### ۳-۳. انتخاب نوع پودر ضایعاتی

هدف اصلی این تحقیق، مطالعه فرآوری ضایعات پودرهای مصرفی در فرآیند جوشکاری زیرپودری است؛ در نتیجه پودری انتخاب شد که مصرف آن بالا باشد و ضایعات آن علاوه بر فراوانی اثرات منفی زیست محیطی چشمگیری داشته باشد و بازیافت آن نیز از لحاظ اقتصادی به صرفه باشد؛ ضمن اینکه مخلوط ساخته شده جدید برای محققان و مصرف کنندگان خطر ایجاد نکند.

در نتیجه مطالعات میدانی و آمارهای مختلف صنایع پودر LW680 با استاندارد DIN-8557-61 انتخاب شد. این پودر مصرف زیادی در سطح جهان دارد؛ به طوری که میزان مصرف آن سالانه در کشور حدود ۵۶۰ تن است. طی مصرف ۸۵٪ آن به صورت ضایعات گل جوش و ۱۵٪ به صورت خاکه از فرآیند مصرف خارج می شود و باید به صورت ضایعات دفع شود. حضور عناصر گران قیمت و ترکیب شونده کنار آب های سطحی مثل فلور، تیتان، آهن، کرم، منگان، پتاسیم، سدیم و نایبیم می تواند موجب تشکیل ترکیبات سمی با آب های سطحی شده و وارد گردش آب های زیرزمینی و سبب ضایعات زیست محیطی گردند.

### ۳-۴. فرآیند فرآوری

با اینکه منابع تحقیقاتی موثق در مورد بازیافت زباله های حاصل از پودرهای جوشکاری وجود نداشت؛ توجه شد که پس از آهن زدایی خاکه، ترکیب خاکه مشابه ترکیب پودر LW680 شود. در این شرایط اگر بتوان آن را به شکل و اندازه دانه های پودر

شکل دهی شد. این کار نشان داد که ذرات خاکه با کمک مواد معدنی مرطوب چسبناک قابلیت تبدیل شدن به دانه های بزرگتر را دارند. پودر جدید برای ایجاد استحکام در حرارت  $104^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ ساعت خشک شد. پس از خشک شدن، دانه های آن با الک های استاندارد تفکیک و دوباره طبق استاندارد DIN32522 تنظیم شدند.

پس از ایجاد دانه بندی مناسب پودر حاصل طی مدت ۴ ساعت در درجه حرارت  $105^{\circ}\text{C}$  زینتر شد. در نتیجه پودری با اندازه دانه، سیالیت، ترکیب عنصری، ترکیب فازی مشابه پودر مصرف نشده LW680 به دست آمد. پودر حاصل از روش دوم مانند روش اول مطابق استاندارد جوشکاری زیرپودری فولاد St37 با مفتول جوشکاری S2Mo1 کنترل کیفی شد. طی این کنترل محل جوش توانست  $510\text{ N/mm}^2$  تنش را تحمل کند؛ حفره جوش کاملاً پر شده بود و سطح آن صاف بدون حفره و مک یا ترک بود؛ در اثر ضربه میله فولادی به محل جوش صدای زنگ دار و سالم حاصل شد؛ هیچ گونه سوختگی یا بریدگی در اطراف محل جوش وجود نداشت. نتیجه بررسی کیفی پودر حاصل از روش دوم در مقایسه با اطلاعات ارائه شده در مراجع، حاکی از تعلق پودر فوق به گرید A و قابل مصرف بودن آن در فرآیند جوشکاری زیرپودری بود.

در مجموع بررسی باز یافت طی روش اول و دوم نشان داد که خاکه حاصل از فرآیند جوشکاری زیرپودری، قابل فرآوری عملی و علمی با رعایت اصول اقتصادی است؛ در نتیجه ادامه این پژوهش برای در حفظ محیط زیست [۱۱،۱۰] مفید خواهد بود.

#### ۴- نتیجه گیری

ضایعات مصرف پودر جوشکاری زیرپودری LW680، ۸۵٪ به صورت گل جوش و ۱۵٪ بقیه به صورت خاکه محتوی

کنترل جوش بر اساس دستورالعمل های انجام شد. این کنترل نشان داد که محل جوش  $510\text{ N/mm}^2$  می تواند تنش را تحمل کند. حفره جوش کاملاً پر شده بود و سطح آن صاف بدون حفره مک یا ترک بود. با میله فولادی به محل جوش ضربه زده شد و صدای آن زنگدار و سالم بود. هیچ سوختگی یا بریدگی در اطراف محل جوش وجود نداشت.

از این روش نتیجه گیری شد که با استفاده از روش ذوب، ساخت دانه های قابل مصرف امکان پذیر است و نتیجه بررسی کلی بنابه اطلاعات کسب شده از مراجع نشان دهنده تعلق پودر فرآوری شده به روش اول به گرید A و قابلیت مصرف آن در فرآیند جوشکاری زیرپودری بود.

#### ۳-۲- روش دوم

در روش دوم با استفاده از خاکه ضایعاتی و مواد معدنی به کمک حرارت، پودری مشابه پودر جوشکاری زیرپودری از نوع زینتر شده تهیه و تحت آزمایش قرار گرفت.

بنابراین برای یافتن یک مخلوط مناسب، چند مخلوط با مواد اولیه مختلف محاسبه و آزمایش شد تا سرانجام مخلوط مشخصی شامل کائولن زنور، کائولن گناباد، بالکلی دهبید طبس، فلورین گناباد، سنگ مرمر ازنا، برونیت قم، ایلمنیت کهنوج، مگنیزیت بیرجند و اکسید تیتان خارجی، توانست مخلوط مناسبی را ارائه نماید که از نظر ترکیب عنصری و ترکیب فازی (پس از زینتر) مشابه پودر مصرف نشده LW680 بود. درجه حرارت زینتر مواد معدنی در راستای ایجاد فاز مشابه پودر مصرف نشده طی آزمایش های متعددی حاصل شد. در نهایت حرارت  $105^{\circ}\text{C}$  و مدت ۴ ساعت مناسب تشخیص داده شد. ۲۰ درصد وزنی از مخلوط مواد اولیه با ۸۰ درصد وزنی خاکه مخلوط شد و مخلوط جدید با ۱۵ درصد وزنی آب به خوبی همگن شد. پودر مرطوب حاصل با میز دوار زاویه دار به صورت دانه های تقریباً کروی کوچک ۳۰۰-۶۰۰ میکرومتری

## پیشنهادها

پیگیری دقیق تحقیقات بازیافت ضایعات حاصل از فرآیند جوشکاری زیرپودری به صورت یک فاکتور علمی، زیست محیطی و اقتصادی.

بررسی امکان مصرف مجدد ذرات آهن جداشده از پودر تغییرشکل یافته در فرآیند تهیه سیم مفتول الکترو تپ S2CrMo1 یا به صورت قراضه در تولید فولادهای آلیاژی.

## مراجع

1. Sindo, K., "Welding Metallurgy", 2 Ed; **Wiley Interscience**, (2003) ISBN: 0-471-43491-4.
2. کوکی، امیرحسین، "تکنولوژی جوشکاری"، چاپ ششم، انتشارات آزاده، جامعه ریخته‌گران، تهران (۱۳۸۳).
3. Mercian Welding Society; "Welding Hand-Book", 8<sup>th</sup> Ed, Welding Technology, AWS, Miami, Macmillan, London, Vol. 1 (1991).
4. Chung, F. and Smith, D., "Industrial Applications of X-Ray Diffraction", Macel Dekker, (2000) ISBN: 0824719921.
5. Smith, K. A., "Soil and Environmental Analysis, Marcel Dekker", (2003) ISBN: 0824709918.
6. Castejon, O. J., "Scanning Electron Microscopy", **Springer**, (2003) ISBN: 0306477114.
7. Robert, O. C., "Welding; Management Primer and Employee Training Guide", **Industrial Press**, New York (2000) ISBN: 0-8311-3139.
8. سالنامه آمار بازرگانی جمهوری اسلامی، "واردات ۱۳۸۰"، انتشارات وزارت بازرگانی، تهران (۱۳۸۱).
9. Parmar, R. S., "Welding Processes and Technology", 200-206, 2nd ed.; **Khanna Publishers** (2001) ISBN, 81-7409-126-2.
10. Matschullant, J., "Geochemie and Umwelt, Relevant Processes in Atom-Pedo-Und Hydrosphere", Berlin, **Springer Verlag**, (1997) ISBN: 3-540-61866-X.
11. Fabian, P., "Atomopheare and Umwelt" Berlin, Heidelberg, **Springer Verlag**, (1992) ISBN: 3-540-55773-3.

ذرات کروی آهن ناشی از ذوب سیم مفتول جوشکاری است. خاکه حاصل از مصرف پودر LW۶۸۰ را می‌توان به دو روش بازیافت کرد.

۱. خاکه را می‌توان پس از آهن زدایی مستقیماً به کمک قوس الکتریکی ذوب کرد و پس از خردکردن به صورت دانه‌بندی استاندارد درآورد و به عنوان پودر جوشکاری زیرپودری از نوع ذوبی مورد آزمایش قرار داد.

۲. پس از آهن زدایی می‌توان ۸۰٪ خاکه را با ۲۰٪ مواد متشکل از مخلوط مواد معدنی به هم چسباند و سپس به کمک میز دوار تحت زاویه خاصی به صورت گرانول درآورد. پس از خشک کردن دانه‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرونی آن را جدا کرد و توزیع اندازه دانه‌های آن را براساس استاندارد تنظیم کرد و پس از زینتر مورد آزمایش قرار داد.

نتایج ظاهری جوشکاری آزمایشی با استفاده از پودرهای بازیافتی تهیه شده در آزمایشگاه نشان‌دهنده بستر خوب ظاهری جوش و خواص مکانیکی خوب درمقایسه با نتایج حاصل از مصرف پودر جوشکاری LW۶۸۰ بر روی فولاد St37 با الکترو تپ S2CrMo1 است.

مطالعات انجام شده، امکان کاربرد پودرهای بازیافتی تولید شده از پودر تغییر شکل یافته ضایعاتی در آزمایشگاه درمقایسه با پودر LW۶۸۰ را نشان می‌دهد این روش از آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از ضایعات خاکه پودر جوشکاری زیرپودری جلوگیری می‌کند و درضمن کمک شایان ذکری به اقتصاد تولید این پودرهاست.

