

## پژوهش‌نامه ریخته‌گری

### مقاله پژوهشی:

# شبیه‌سازی ریخته‌گری تبرید مستقیم در حضور میدان مغناطیسی با فرکانس پایین به منظور تولید بیلتهای آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵

حمید دانشمند<sup>۱</sup>، مسعود عراقچی<sup>۲\*</sup>، محمد سلیمانی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، ارگان اصلی مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران، ایران.

۲- استادیار، ارگان اصلی مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران، ایران.

۳- کارشناسی ارشد، ارگان اصلی مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران، ایران.

\* نویسنده مکاتبه کننده: تلفن: ۰۹۳۳۳۷۷۹۸۴۳، Email: maraghchi@aeoi.org.ir

### چکیده:

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

در ریخته‌گری تبرید مستقیم یک روش مناسب برای تولید بیلتهای آلومینیمی با قطر بالا است. در این روش آلومینیم مذاب در یک قالب ریخته می‌شود و قالب به صورت آبرگرد خنک می‌شود. با وجود بهبودهای حاصل شده در فرایند ریخته‌گری، همچنان عیوب ناخواسته‌ای در حین تولید محصول پدیدار می‌شود. برای مقابله با این مشکلات، از روش‌های بهبودیافته فرایند تبرید مستقیم از جمله ریخته‌گری تبرید مستقیم با استفاده از بالاپوش و ریخته‌گری در حضور میدان مغناطیسی با فرکانس پایین استفاده می‌شود. با توجه به مزایای ریخته‌گری تبرید مستقیم در حضور میدان مغناطیسی، شبیه‌سازی این فرایند به منظور بررسی هرچه بهتر تأثیر میدان مغناطیسی بر حوضچه مذاب اهمیت پیدا می‌کند، به نحوی که قبل از هرگونه کار تجربی یک تقریب عددی از میزان تأثیرگذاری میدان مغناطیسی حاصل می‌شود. در این گزارش، شبیه‌سازی فرایند ریخته‌گری تبرید مستقیم در حضور میدان مغناطیسی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS Fluent 19.2 صورت گرفته است. خروجی شبیه‌سازی شامل پروفیل‌های توزیع دما، کسر حجمی مایع، سرعت و خطوط جریان در حالت پایدار برای ریخته‌گری تبرید مستقیم و ریخته‌گری در حضور میدان مغناطیسی با فرکانس پایین برای بیلتهای آلومینیم ۷۰۷۵ با قطر ۴۵۷ میلی‌متری و قالب‌های مربوطه است. با اعمال میدان مغناطیسی، دما در استخر مذاب در فواصل مختلف از سطح، به علت ایجاد همرفت اجباری شدید ناشی از نیروی الکترومغناطیسی یکنواخت‌تر شد. مشاهده شد که شدت الکترومغناطیسی تأثیر زیادی بر شکل و عمق مخزن دارد. نتایج نشان داد که براساس قطر قالب‌های استفاده شده، مقدار شدت میدان مغناطیسی بهینه‌ای وجود دارد که برای قالب با قطر ۴۵۷ میلی‌متری ۱۹۲۰۰ آمپر-دور و برای قالب با قطر ۳۵۵ میلی‌متری ۳۰۰۰۰ آمپر-دور بدست آمد.

### واژه‌های کلیدی:

ریخته‌گری تبرید مستقیم  
بیلتهای  
آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵،  
شبیه‌سازی،  
شدت میدان مغناطیسی.

### ارجاع به این مقاله:

حمید دانشمند، مسعود عراقچی، محمد سلیمانی، شبیه‌سازی ریخته‌گری تبرید مستقیم در حضور میدان مغناطیسی با فرکانس پایین به منظور تولید بیلتهای آلومینیم ۷۰۷۵، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، پاییز ۱۴۰۰، جلد ۵، شماره ۳، صفحات ۱۹۳-۲۰۴.

شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2022.333929.1154

### ۱- مقدمه

همانند نورد یا ماشین‌کاری از این شمش‌ها استفاده می‌شود. بیش از نیمی از شمش‌های آلومینیمی جهان به روش ریخته‌گری تبرید مستقیم تهیه می‌شوند. در دهه‌ی ۱۹۳۰، شکل‌دهی به روش تبرید مستقیم توسط دانشمندان آلمانی واو<sup>۲</sup> و آمریکایی

ریخته‌گری تبرید مستقیم<sup>۱</sup> فرایندی است که به منظور ساخت شمش‌های با سطح مقطع دایره‌ای و مستطیلی از فلزهای غیر آهنی، به‌ویژه آلومینیم، مس، منیزیم و آلیاژهای آن بکار برده می‌شود. برای انجام فرایندهای ثانویه روی فلزات و آلیاژهای آن،

[۱۳،۱۴] و تنش حرارتی [۱۵،۱۶] با استفاده از مدل‌سازی عددی، توجه بیشتری را به کاربرد این حوزه و استفاده از آن در فرایند ریخته‌گری محصولات جلب کرده است. تأثیر به‌کارگیری میدان الکترومغناطیس در ریخته‌گری تبرید مستقیم مورد توجه پژوهشگران مختلفی بوده و مطالعاتی به صورت شبیه‌سازی انجام گرفته است. برای مثال، دوباتکین<sup>۸</sup> و همکاران [۱۷] به این نتیجه رسیدند که با حضور همرفت اجباری (به هم زدن مکانیکی یا الکترومغناطیسی) انتقال از جدایش منفی<sup>۹</sup> (معکوس) به جدایش مثبت<sup>۱۰</sup> (نرمال) در ریخته‌گری تبرید مستقیم امکان‌پذیر است. ژانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران [۱۸] تأثیر اعمال میدان مغناطیسی با فرکانس پایین بر دانه‌بندی بیلت آلومینیومی مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی این است که اعمال میدان مغناطیسی باعث ریزتر شدن دانه‌بندی و بهبود مشخصات کششی بیلت آلومینیومی می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که در فرایند LFEC می‌توان جریان و دما را با استفاده از میدان مغناطیسی کنترل نمود [۱۹]. تحقیقات اخیر نشان‌دهنده‌ی این است که با روش LFEC می‌توان محصولاتی با ترک کمتر و کیفیت سطحی بهتر به دست آورد. ژانگ و همکاران [۲۰] با استفاده از نرم‌افزار Fluent فرایند ریخته‌گری تبرید مستقیم LFEC را شبیه‌سازی کرده‌اند. نتایج این پژوهش تطابق خوبی با نتایج تجربی دارند و نشان‌دهنده این است که توزیع دما، سرعت و کسر حجمی مایع به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر اعمال میدان الکترومغناطیسی قرار دارند. اگرچه مطالعات شبیه‌سازی و تجربی بر روی بیلت‌های تا قطر ۲۰۰ میلی‌متر آلومینیوم صورت گرفته است، اما تاکنون تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر روی بیلت‌های بزرگ‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر مورد بررسی قرار نگرفته است.

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار ANSYS Fluent بدون نیاز به کوپل کردن بین نرم‌افزارهای مختلف، فرایند LFEC برای دو بیلت با قطرهای ۴۵۷ و ۳۵۵ میلی‌متری اینچی شبیه‌سازی شده است. خروجی شبیه‌سازی شامل پروفیل‌های توزیع دما، کسر حجمی مایع، سرعت و خطوط جریان در حالت پایدار برای ریخته‌گری مستقیم (DC) و LFEC برای بیلت آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ بر اساس شدت‌های مختلف مغناطیسی است.

آلکو<sup>۱</sup> ابداع شد. پیش از ابداع این روش، برای تأمین مصرف کارخانه‌ها از قالب‌های کتابی استفاده می‌شد، به این صورت که آلومینیوم مذاب در قالب فولادی دوتکه‌ای ریخته شد و قالب از بیرون با پاشش آب خنک شد. تبرید مستقیم، تشکیل ساختار دانه‌بندی ریزتر را فراهم می‌کند، زیرا تماس مستقیم مذاب با آب به یکنواخت‌تر شدن انتقال حرارت کمک کرده و نتیجه‌ی این امر کاهش تنوع<sup>۲</sup> و جدایش<sup>۳</sup> ریزساختاری است [۱-۵]. اولین بار، یک روش جدید به نام ریخته‌گری الکترومغناطیسی (EMC) توسط محقق روسی، جستلو<sup>۴</sup> ایجاد شد. در این روش ریخته‌گری، یک میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بالا در طی فرایند EMC به‌منظور تولید فشار الکترومغناطیسی برای ایجاد تعادل فشار استاتیکی بکار برده می‌شود. بنابراین، هیچ تماسی بین مذاب و قالب وجود ندارد که همین امر منجر به کیفیت فوق‌العاده در سطح می‌شود، اما جنبه‌های دیگر مانند ساختار داخلی بیلت‌ها به‌آسانی قابل اصلاح نیست. علاوه بر این، روش جدید دیگری برای ریخته‌گری به نام فرایند ریخته‌گری-به‌سازی-الکترومغناطیسی (CREM) توسط محقق فرانسوی ویوس<sup>۵</sup> در اواخر دهه ۱۹۸۰ توسعه داده شد. این فناوری به این صورت است که وجود یک نیروی همرفت اجباری شدید با منشأ الکترومغناطیسی منجر به کاهش قابل‌توجه اندازه دانه می‌شود. به‌عبارتی دیگر در روش CREM کوپل در حول قالب شمش قرار می‌گیرد به‌طوری‌که هم‌شکل قالب است. جریان متناوب القاگر، باعث ایجاد جریان القایی درون مذاب می‌شود. بنابراین مذاب در معرض نیروهای جرمی الکترومغناطیسی ناشی از جریان‌های ادی<sup>۶</sup> و میدان مغناطیسی قرار گیرد. در روش CREM شدت به هم زدن مذاب و سطح تماس را به‌طور دلخواه می‌توان کنترل کرد بدون آنکه همزن، تماس مستقیم با مذاب داشته باشد و مشکلات آلودگی مذاب را ایجاد نماید. بر اساس فرایند CREM، روش جدید دیگری بنام ریخته‌گری الکترومغناطیسی با فرکانس پایین (LFEC) توسط کوی<sup>۷</sup> توسعه داده شد. با استفاده از این روش نه‌تنها اندازه دانه کاهش یافت بلکه توزیع دانه نیز در مقاطع عرضی بیلت‌ها یکنواخت‌تر شد. علاوه بر این، این روش می‌تواند تولید ترک ریخته‌گری را به طرز چشم‌گیری کاهش دهد [۶-۱۲].

با توسعه روش‌های عددی قدرتمند و رایانه‌ها، به‌طور فزاینده‌ای از مدل‌سازی عددی به‌منظور فهم روند ریخته‌گری تبرید مستقیم استفاده شده است. در سال‌های اخیر پیش‌بینی جدایش ماکرو

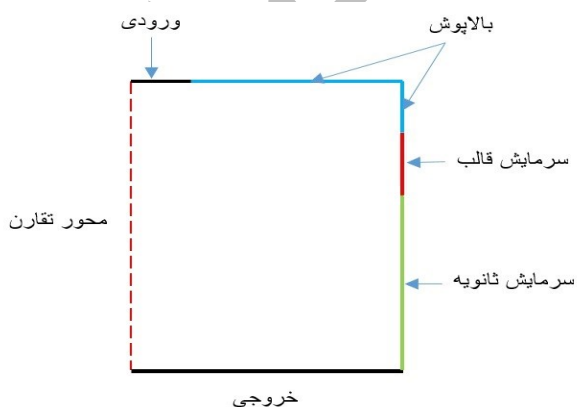
7 Cui  
8 Dobatkin  
9 Negative Segregation  
10 Positive Segregation  
11 Zhang

1 Alcoa  
2 Variation  
3 Segregation  
4 Getselev  
5 Vives  
6 Eddy current

تماس است. شرایط مرزی مومنتوم و حرارتی اعمال شده در مرزهای ناحیه‌ی محاسباتی در جدول ۲ ارائه شده‌اند. برای تولید شبکه‌ی محاسباتی از نرم‌افزار ANSYS Meshing استفاده شده است. تعداد المان‌های مش ایجاد شده برای بیلت‌های ۴۵۷ و ۳۵۵ میلی‌متری به ترتیب ۲۱۷۵۳ و ۲۱۲۴۱ می‌باشند.

جدول ۱- پارامترهای هندسی، مغناطیسی و حرارتی فرایند ریخته‌گری بیلت‌های آلومینیومی.

معیار	بیلت ۴۵۷ میلی‌متری	بیلت ۳۵۵ میلی‌متری
نوع قالب	بدون بالاپوش	بالاپوش
نوع رینگ	رینگ آلومینیومی (بوش آلومینیومی)	رینگ گرافیتی
ارتفاع قالب	۴۰ میلی‌متر	۱۵ میلی‌متر
فرکانس میدان مغناطیسی	۲۵ هرتز	۳۵ هرتز
شدت میدان مغناطیسی	۰/۰۲ تسلا	۰/۰۲ تسلا
ضخامت قالب	۷/۵ میلی‌متر	۷/۵ میلی‌متر
روان کار سطح	روغن (مذاب با قالب هیچ تماسی ندارد)	مخلوط هوا و روغن (قالب متخلخل)
سرد شدن نهایی	آب	آب
سرعت خروج بیلت از قالب	۳/۱ سانتی‌متر بر ثانیه	۳/۵۵ سانتی‌متر بر ثانیه



شکل ۱- نواحی و مرزهای مختلف مورد بررسی بیلت.

## ۲- روش تحقیق

نرم‌افزار ANSYS Fluent مهم‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزار تجاری در زمینه شبیه‌سازی جریان سیالات و به‌طور کلی دینامیک سیالات محاسباتی است. از قبیل توانایی‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر، جریان پایا و گذرا، جریان‌های آرام، آشفته یا متلاطم و لزج، مبدل‌های حرارتی، جریان‌های چند فازی، احتراق و... است. این نرم‌افزار در صنایع هوافضا، خودرو، تهویه مطبوع و تبرید، توربوماشین‌ها دارای کاربرد است. همچنین در این نرم‌افزار قسمتی با عنوان مگنتوهیدرودینامیک<sup>۱</sup> (MHD) تعریف شده است که برای شبیه‌سازی جریان‌هایی که تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق از روش پتانسیل بردار مغناطیسی برای محاسبه پایه میدان الکترومغناطیسی و شدت آمپر-دور استفاده شده است. با توجه به پیچیدگی معادلات، به‌منظور ساده‌سازی مسئله فرض‌های صورت گرفته است. جریان الکتریکی ناشی از جابه‌جایی مذاب به سبب رسانایی الکتریکی بالای مذاب آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ صرف‌نظر شده است. با توجه به میدان مغناطیسی اعمالی برای مذاب آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵، تغییرات غلظت عناصر لحاظ نگشته و سیال به‌صورت نیوتنی و تراکم ناپذیر فرض گشته است.

## ۲-۱- مشخصات هندسی قالب و بیلت

در این پژوهش دو نوع قالب با قطرهای مختلف ۴۵۷ و ۳۵۵ میلی‌متری برای شبیه‌سازی استفاده شده‌اند. در جدول ۲ مشخصات جنس و ابعاد هندسی قالب‌ها، نحوه‌ی روان کاری، نحوه‌ی خنک کاری، سرعت خروج بیلت از قالب، فرکانس و شدت میدان مغناطیسی اعمالی در حالت LFEC ارائه شده است. تمامی پارامترهای انتخاب شده بر اساس شرایط صنعتی ریخته‌گری LFEC انتخاب شده‌اند.

## ۲-۲- شرایط مرزی و ناحیه‌ی محاسباتی

برای ساده‌سازی و با توجه به متقارن بودن قالب، از فرض تقارن محوری جریان که فرض مناسبی به شمار می‌رود استفاده شده است. بر این اساس شبیه‌سازی به‌صورت دوبعدی و بر روی نیمی از بیلت صورت گرفته است. در شکل ۱ نواحی و مرزهای مختلف مربوط به شبیه‌سازی در هر کدام از بیلت‌های ۴۵۷ و ۳۵۵ میلی‌متری ارائه شده‌اند. البته لازم به ذکر است در حالت بدون بالاپوش دیگر قسمت بالاپوش وجود ندارد و مذاب با هوا در

<sup>۱</sup> Magnetohydrodynamics

جدول ۲- شرایط مرزی در قسمت‌های مختلف.

ورودی	بالاپوش	بدون بالاپوش	سرمایش قالب	سرمایش ثانویه	محور تقارن	خروجی
شرط مرزی سرعت بالاپوش: 0.02886169 m/s بدون بالاپوش: 0.0252032 m/s	دیواره(شرط عدم لغزش) (سرعت صفر روی دیواره)	دیواره (شرط عدم لغزش) (سرعت صفر روی دیواره)	دیواره همراه با لغزش با سرعت ریخته‌گری بالاپوش: 0.00059167 m/s بدون بالاپوش: 0.00051667 m/s	دیواره همراه با لغزش با سرعت ریخته‌گری بالاپوش: 0.00059167 m/s بدون بالاپوش: 0.00051667 m/s	شرط تقارن	فشار اتمسفر با سرعت خروجی ریخته‌گری بالاپوش: 0.00059167 m/s بدون بالاپوش: 0.00051667 m/s
دمای مذاب ورودی 1003 K	عایق	انتقال حرارت جابجایی به هوا h=100 w/m <sup>2</sup> K دمای محیط T=293 K	انتقال حرارت جابجایی به روغن بالاپوش: h=1115 w/m <sup>2</sup> K, T <sub>Oil</sub> =323 K بدون بالاپوش: h=100 w/m <sup>2</sup> K, T <sub>s</sub> =293 K	انتقال حرارت جابجایی به آب h <sub>jet</sub> =22000 T <sub>water</sub> =293 K h <sub>stream</sub> =10000 T <sub>water</sub> =293 K	شرط تقارن	دما ثابت 500 K

## ۳- نتایج بحث

## ۳-۱- توزیع میدان دمایی در فرایندهای DC و LFEC

شکل‌های (۲) و (۳) پروفیل دمایی مربوط به ریخته‌گری DC و LFEC برای قالب با بالاپوش و بدون بالاپوش را نشان می‌دهد. در طول ریخته‌گری متداول DC قالب با بالاپوش، همان‌طور که در شکل (۲-الف) دیده می‌شود، مذاب از مجرای ورودی به داخل استخر مایع ریخته شده و در امتداد محور تقارن به سمت پایین جریان می‌یابد و سپس در امتداد سطح آزاد مذاب به سمت دیواره قالب حرکت می‌کند و در برخورد با گردابه‌های تشکیل شده به سمت مرکز قالب حرکت می‌کند. این گردابه‌ها به دلیل شناوری حرارتی مذاب را در امتداد جبهه انجماد و سطح قالب به سمت بالا هدایت می‌کنند. مشاهده شده است که درجه حرارت در استخر مذاب بین ۹۰۰ کلوین (دمای خط مایع) تا ۹۵۰ کلوین است. مشاهده می‌شود که در طول ریخته‌گری متداول DC، دمای مذاب به دلیل هدایت به سمت ناحیه تبرید کاهش می‌یابد؛ اما گرادیان دما در مذاب در تمام موقعیت‌های اندازه‌گیری شده بیشتر می‌شود. علاوه بر این، دما به دلیل نرخ بیشتر انتقال حرارت در نزدیکی سطح بیلت و انتهای قالب در مقایسه با سایر موقعیت‌ها سریع‌تر کاهش می‌یابد.

شکل (۲-الف) تأثیر اعمال میدان مغناطیسی در شدت‌های مختلف بر توزیع دما در حوضچه مذاب برای قالب با بالاپوش را نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصاویر مشخص می‌گردد، با اعمال میدان مغناطیسی، دما در استخر مذاب در فواصل مختلف از سطح، به علت ایجاد همرفت اجباری شدید ناشی از نیروی الکترومغناطیسی یکنواخت‌تر شده است. توزیع دما در حوضچه

در طول فرآیند LFEC با آنچه در فرآیند ریخته‌گری متداول DC اتفاق می‌افتد، متفاوت است. در فرآیند LFEC دما در منطقه ورودی بسیار سریع‌تر کاهش می‌یابد و با بهینه کردن فرآیند، دمای داخل حوضچه مذاب به دمایی می‌رسد که در مناطق دیگر قالب نیز تحت همان دما است. همان‌طور که از پروفیل‌های دما در شکل (۲-الف ۳، ۵، ۸ و ۹) مشاهده می‌شود، توزیع میدان دمایی در داخل حوضچه مذاب در حضور میدان مغناطیسی تا حدی اصلاح شده است. مشاهده می‌شود که خطوط دمایی در حضور میدان مغناطیسی نسبت به عدم حضور میدان مغناطیسی به سمت بالا جابجا شده‌اند که این امر منجر می‌شود که شکل حوضچه و عمق مخزن به‌طور قابل توجهی تغییر کند. علاوه بر این، در حضور میدان الکترومغناطیسی، وسعت ناحیه خمیری بیشتر از زمانی است که میدان مغناطیسی وجود ندارد. دلیل تغییر زیاد میدان دما در حضور میدان مغناطیسی، همرفت اجباری شدید ناشی از هم زدن الکترومغناطیسی و همچنین افزایش شار گرمایی به دلیل همرفت اجباری شدید در جلوی جبهه انجماد است. همان‌طور که پیش‌تر به آن پرداخته شد، در طی ریخته‌گری جریان مذاب به منطقه تماس بین مذاب و قالب به دلیل شناوری حرارتی می‌رسد؛ بنابراین عمق مخزن افزایش می‌یابد. علاوه بر این، از آنجاکه سرعت جریان در استخر مخزن بسیار کم است، انتقال حرارت مذاب درون مخزن عمدتاً به انتقال گرمای از طریق رسانش بستگی دارد که منجر به توزیع ناهمگن دما در استخر مذاب می‌شود.

شکل (۳-الف ۲-۶) تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر حوضچه مذاب برای قالب بدون بالاپوش را نشان می‌دهد. همان‌طور که از

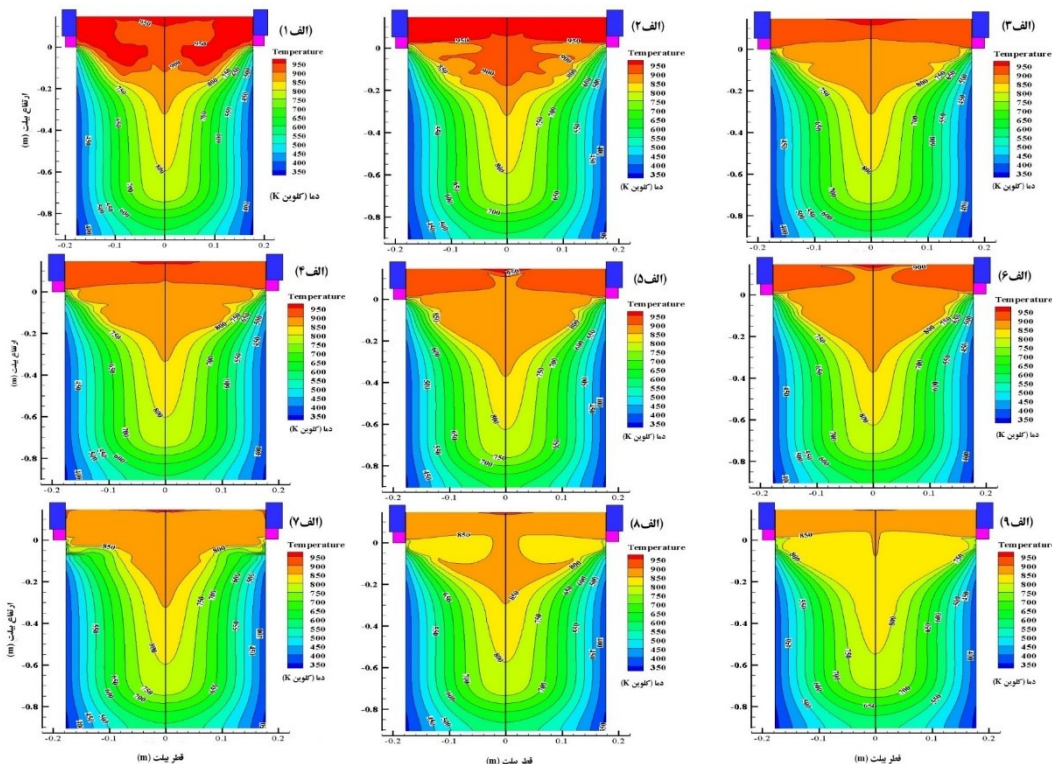
به داخل استخر مایع ریخته شده و در امتداد محور تقارن به سمت پایین جریان می‌یابد و سپس در امتداد سطح آزاد مذاب به سمت دیواره قالب حرکت می‌کند و در برخورد با گردابه‌های تشکیل شده به سمت مرکز قالب حرکت می‌کند. این گردابه‌ها به دلیل شناوری حرارتی مذاب را در امتداد جبهه انجماد و سطح قالب به سمت بالا هدایت می‌کنند.

شکل (۴-الف) تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر الگوی جریان را بر قالب بالاپوش نشان می‌دهد. در طی فرآیند LFEC، جریان مذاب به محض ریختن در استخر مذاب تغییر می‌یابد، یعنی مذاب در امتداد سطح آزاد از منطقه ورودی جریان می‌یابد و سپس در امتداد سطح قالب و جلوی جبهه انجماد پایین می‌آید. هنگامی که مذاب به فاصله معینی (تقریباً نصف شعاع) از خط مرکزی شمش می‌رسد، به دو گردش تقسیم می‌شود و جریان‌های گردشی ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد در داخل حوضچه مذاب تشکیل می‌شود. یکی از انتهای خط مرکزی و به موازات آن به ناحیه ورودی مذاب برمی‌گردد. باین‌حال، دیگری یک گردش بسته در نزدیکی جبهه انجماد را تشکیل می‌دهد. جریان‌های نسبتاً کوچکی نیز در نقاط دیگر بیلت تشکیل می‌شوند. همان‌طور که از تصاویر مشخص می‌گردد، با اعمال میدان مغناطیسی،

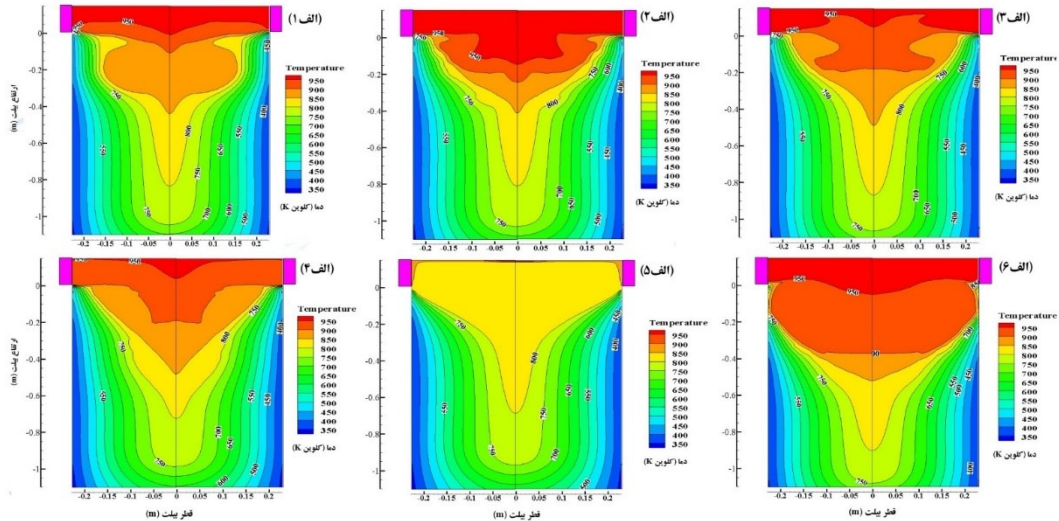
تصاویر مشخص می‌گردد، با اعمال میدان مغناطیسی، دما در استخر مذاب در فواصل مختلف از سطح، به علت ایجاد همرفت اجباری شدید ناشی از نیروی الکترومغناطیسی یکنواخت‌تر شده است. در حالت کلی مشاهده شده است که شدت الکترومغناطیسی تأثیر زیادی بر شکل و عمق مخزن دارد. شدت مغناطیسی وقتی در محدوده ۹۶۰۰ تا ۱۴۴۰۰ آمپر دور است، تأثیر کمی بر یکنواختی پروفیل‌های دمایی در داخل مخزن دارد. ولی هنگامی که شدت الکترومغناطیس در حدود ۱۹۲۰۰ آمپر دور است، تأثیر شگرفی بر وسعت ناحیه مذاب در ورودی قالب و همچنین جابجایی خطوط دما به سمت بالا ایفا می‌کند. تفاوت رؤیت شده در میدان دمایی حاصله در دو بیلت، علاوه بر متفاوت بودن ابعاد و جنس قالب‌ها، به عدم استفاده از بالاپوش و دفع سریع حرارت از قسمت فوقانی قالب مربوط است.

۳-۲- توزیع الگوی جریان در فرایندهای DC و LFEC

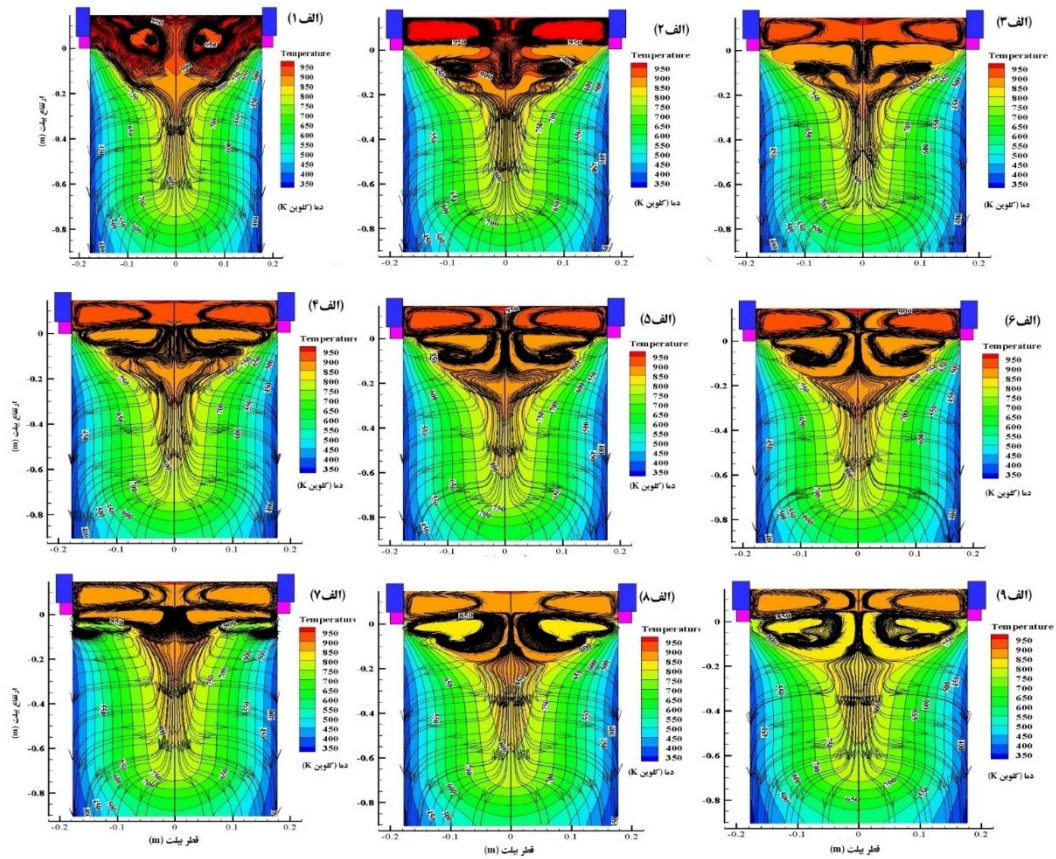
شکل‌های (۴) و (۵) الگوهای جریان مربوط به ریخته‌گری DC و LFEC برای قالب با بالاپوش و بدون بالاپوش را نشان می‌دهد. در طول ریخته‌گری متداول DC قالب با بالاپوش (شکل ۴-الف)، همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره گردید، مذاب از مجرای ورودی



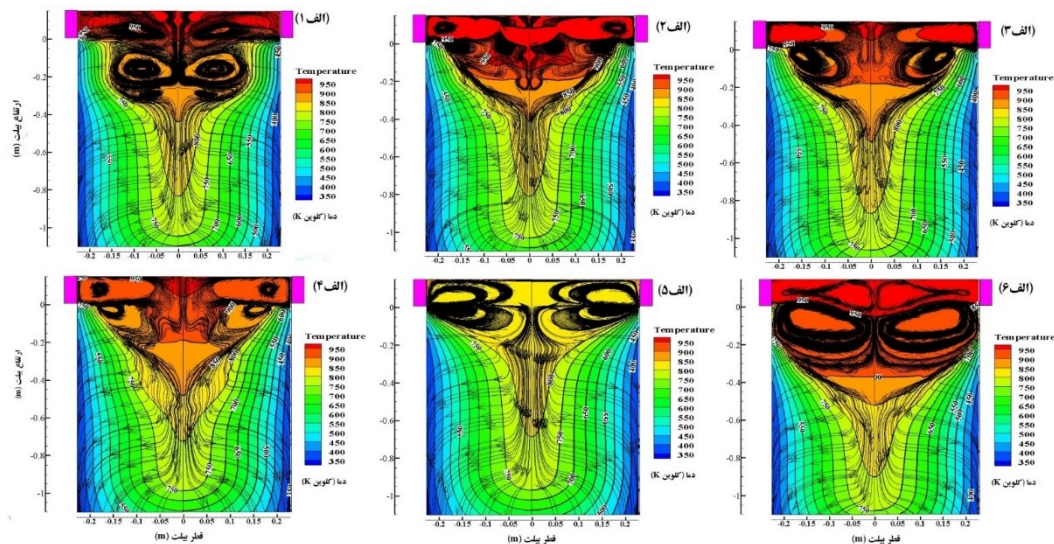
شکل ۲- پروفیل‌های دما (کلوین) برحسب آمپر-دور بالاپوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور، (و) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور، (ز) ۳۰۰۰۰ آمپر-دور، (ح) ۳۶۰۰۰ آمپر-دور و (ط) ۴۸۰۰۰ آمپر-دور.



شکل ۳- پروفیل‌های دما (کلون) برحسب آمپر-دور در قالب بدون بالابوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور و (ف) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور.



شکل ۴- پروفیل‌های جریان برحسب آمپر-دور در قالب بالابوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور، (و) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور، (ز) ۳۰۰۰۰ آمپر-دور، (ح) ۳۶۰۰۰ آمپر-دور و (ی) ۴۸۰۰۰ آمپر-دور.



شکل ۵- پروفیل‌های جریان برحسب آمپر-دور در قالب بدون بالاپوش: (الف ۱) DC، (الف ۲) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (الف ۳) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (الف ۴) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (الف ۵) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور و (الف ۶) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور.

با شدت مناسب و یکنواختی قابل قبول، از جمله عوامل اصلی کسب ریزساختار هم‌محور و ریز ساختار در بیلت است. به طور کلی برای قالب با بالاپوش و بدون بالاپوش حضور میدان مغناطیسی سبب شده است که علاوه بر گردابه بزرگی که در کل حوضچه مذاب وجود دارد، گردابه کوچکی نیز در نزدیکی قالب به وجود آید که با افزایش شدت الکترومغناطیسی، سرعت چرخش و اندازه این گردابه افزایش می‌یابد. به علت عدم دسترسی مذاب گرم به این منطقه، دمای این منطقه نسبت به سایر حالت‌ها کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند منجر به تشکیل پوسته جامد ضخیم‌تر و در نتیجه شکل‌گیری فاصله هوایی بزرگ‌تر بین قالب و سطح بیلت گردد و سرعت سرمایش قالب را بسیار آرام کند. حضور میدان مغناطیسی در ریخته‌گری LFEC سبب نازک شدن پوسته جامد در منطقه قالب می‌گردد که با توجه با آن می‌توان کیفیت سطحی بهتری برای محصول انتظار داشت. از طرف دیگر توزیع حرارتی یکنواخت‌تر می‌تواند باعث کاهش تنش‌های حرارتی درون بیلت در حال انجماد گردد.

### ۳-۳- توزیع میدان سرعت در فرایند DC و LFEC

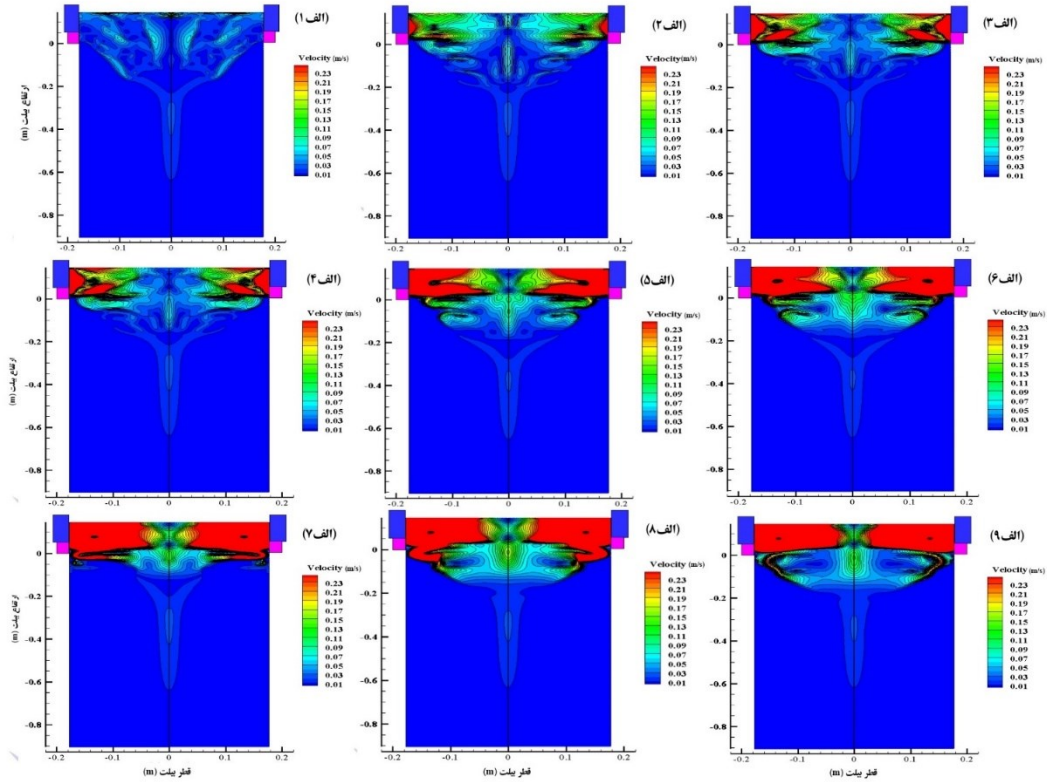
شکل‌های (۶) و (۷) پروفیل‌های سرعت مربوط به ریخته‌گری DC و LFEC برای قالب با بالاپوش و بدون بالاپوش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۶-الف ۱) دیده می‌شود، سرعت حرکت مذاب در قالب با بالاپوش بدون اعمال میدان مغناطیسی در نواحی مختلف قالب متفاوت بوده و یکنواخت نیست. در طی فرایند LFEC، به سبب وجود میدان الکترومغناطیسی با فرکانس پایین، همان‌طور که از بردارهای سرعت در شکل (۷-الف ۹) دیده می‌شود، همرفت اجباری شدید

الگوی جریان در استخر مذاب در فواصل مختلف از سطح، به علت ایجاد همرفت اجباری شدید ناشی از نیروی الکترومغناطیسی یکنواخت‌تر شده است. توزیع مذاب در حوضچه در طول فرایند LFEC با آنچه در فرایند ریخته‌گری متداول DC اتفاق می‌افتد، متفاوت است. در محل خروجی بیلت از قالب کمترین اغتشاش در ناحیه خمیری وجود دارد که این منجر به افزایش کیفیت و یکنواختی بیلت تولیدی می‌شود. مشاهده شده است که جهت جریان مذاب با افزایش شدت الکترومغناطیسی تغییر نمی‌کند، ولی هنگامی که شدت الکترومغناطیسی در حدود ۳۰۰۰۰ آمپر-دور باشد، جریان گردشی کوچک ایجاد شده در جلوی انجماد تضعیف شده و یکنواختی جریان‌های مذاب در داخل قالب و بالآخر در مرکز بیلت بهبود یافته است.

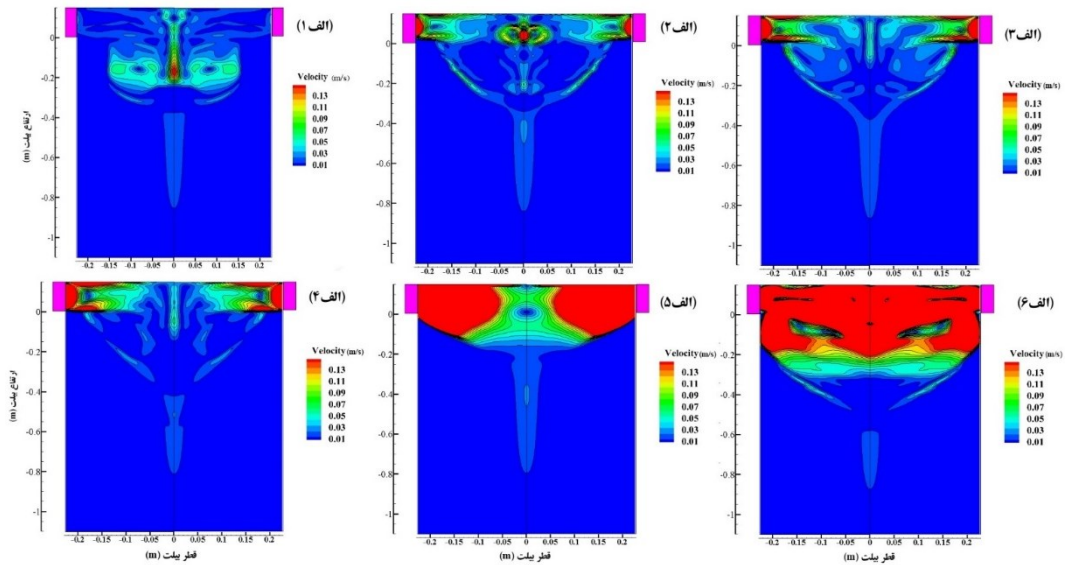
شکل (۵-الف ۶) تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر الگوی جریان در قالب بدون بالاپوش را نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصاویر مشخص می‌گردد، با اعمال میدان مغناطیسی، الگوی جریان در استخر مذاب در فواصل مختلف از سطح، به علت ایجاد همرفت اجباری شدید ناشی از نیروی الکترومغناطیسی یکنواخت‌تر شده است. به دلیل قطر بزرگ‌تر و سرعت سرمایش بیشتر در بیلت، جهت کسب یکنواختی در مذاب، به شدت میدان بالاتر نیاز است. سرعت کم و جریان غیریکنواخت مذاب در مرکز بیلت منجر به تولید درشت دانه در مرکز شمش‌ها و توزیع ناهمگن اندازه دانه در سطح مقطع شمش‌ها می‌شود. علاوه بر این، توزیع غیریکنواخت کسر جامد و جریان غیریکنواخت مذاب کاملاً به شدت و یکنواختی شدت همزن الکترومغناطیسی بستگی دارند، یعنی اولی به دلیل شدت هم‌زدن الکترومغناطیسی بسیار ضعیف و دومی به دلیل هم‌زدن الکترومغناطیسی بسیار قوی و غیریکنواخت حاصل می‌شوند. بنابراین اعمال میدان مغناطیسی

مذاب در فرایند ریخته‌گری بدون اعمال میدان است. این سرعت بالای مذاب مربوط به حداکثر نیروی الکترومغناطیسی ایجاد شده ناشی از اثر پوستی میدان الکترومغناطیسی متناوب است که تأثیر بسزایی در ایجاد جریان‌های همرفتی در داخل مذاب ایفا می‌کند.

در استخر مذاب تولید می‌شود. موقعیت بیشینه سرعت مذاب به منطقه تماس بین مذاب و قالب منتقل می‌شود. دلیل این انتقال همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره گردید، نیروی بالارونده ناشی از جریان همرفتی در داخل مذاب است که به‌عنوان مانعی در برابر ریختن مذاب در ورودی عمل می‌کند. حداکثر سرعت مذاب در داخل مذاب در حدود  $0.23$  متر بر ثانیه است که  $10$  برابر سرعت



شکل ۶- پروفیل‌های سرعت برحسب آمپر-دور در قالب بالاپوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور، (و) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور، (ز) ۳۰۰۰۰ آمپر-دور، (ح) ۳۶۰۰۰ آمپر-دور و (ی) ۴۸۰۰۰ آمپر-دور.



شکل ۷- پروفیل‌های سرعت برحسب آمپر-دور در قالب بدون بالاپوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور و (و) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور.



تعداد تکه‌های جدا شده و باقیمانده (آن‌هایی که ذوب مجدد نشده اند) در حوضچه مذاب به دلیل مادون انجماد بالا و گرادیان دمایی کم است. بنابراین سرعت کم مذاب درون حوضچه احتمال باقی ماندن بازوهای دندریتی تکه شده را کاهش می‌دهد و منجر به درشت‌دانه شدن ساختار می‌گردد.

مشخص شده است که درجه توزیع یکنواخت کسر جامد در مذاب توسط شدت هم زدن الکترومغناطیسی تعیین می‌شود که آن‌هم از طریق شدت الکترومغناطیسی تعیین می‌شود. توزیع کم و غیریکنواخت کسر جامد منجر به ایجاد جوانه با تعداد کم و غیریکنواخت می‌شود و سرعت کم مذاب منجر به کاهش تعداد قطعات دندریت می‌شود که این عوامل منجر به کاهش ریزتر شدن ساختار دانه‌بندی در بیلت نهایی می‌شود. علاوه بر این، سرعت کم و جریان غیریکنواخت مذاب در مرکز بیلت منجر به تولید دانه‌درشت در مرکز بیلت‌ها و توزیع ناهمگن اندازه دانه در سطح مقطع شمش‌ها می‌شود. علاوه بر این، توزیع غیریکنواخت کسر جامد و جریان غیریکنواخت مذاب کاملاً به شدت و یکنواختی شدت همزن الکترومغناطیسی بستگی دارند؛ غیریکنواختی کسر جامد به دلیل شدت هم زدن الکترومغناطیسی بسیار ضعیف و جریان غیریکنواخت مذاب به دلیل هم زدن الکترومغناطیسی بسیار قوی و غیریکنواخت حاصل می‌شوند. بنابراین اعمال میدان مغناطیسی با شدت مناسب و یکنواختی قابل قبول، از جمله عوامل اصلی کسب ریزساختار هم‌محور و دانه‌ریز در ساختار بیلت است.

شکل (۹-الف) مربوط به پروفیل کسر جامد در طول ریخته‌گری قالب بدون بالاپوش در حضور میدان است. وسعت ناحیه خمیری در این حالت کمتر از وسعت ناحیه خمیری در قالب با بالاپوش به دلیل افزایش قطر بیلت و انتقال حرارت بیشتر از سطح و دیواره قالب است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دما در حضور میدان در استخر مذاب بسیار یکنواخت و در حدود ۸۵۰ کلوین است که در نتیجه همرفت اجباری شدید مذاب ناشی از نیروی الکترومغناطیسی بوده و این دما کمتر از دمای مایع (۹۰۳ کلوین) است. همان‌طور که در شکل ۹-الف دیده می‌شود، یک منطقه بسیار گسترده خمیری در داخل قالب شکل می‌گیرد. برخلاف حالت ریخته‌گری در غیاب میدان مغناطیسی، به دلیل میدان دمایی یکنواخت و همرفت اجباری شدید ناشی از هم زدن الکترومغناطیسی، تعداد زیادی هسته بلوری متحرک در کل استخر مذاب ایجاد می‌شوند. بنابراین کسر جامد در کل مذاب به مقدار زیاد و یکنواخت موجود خواهد بود.

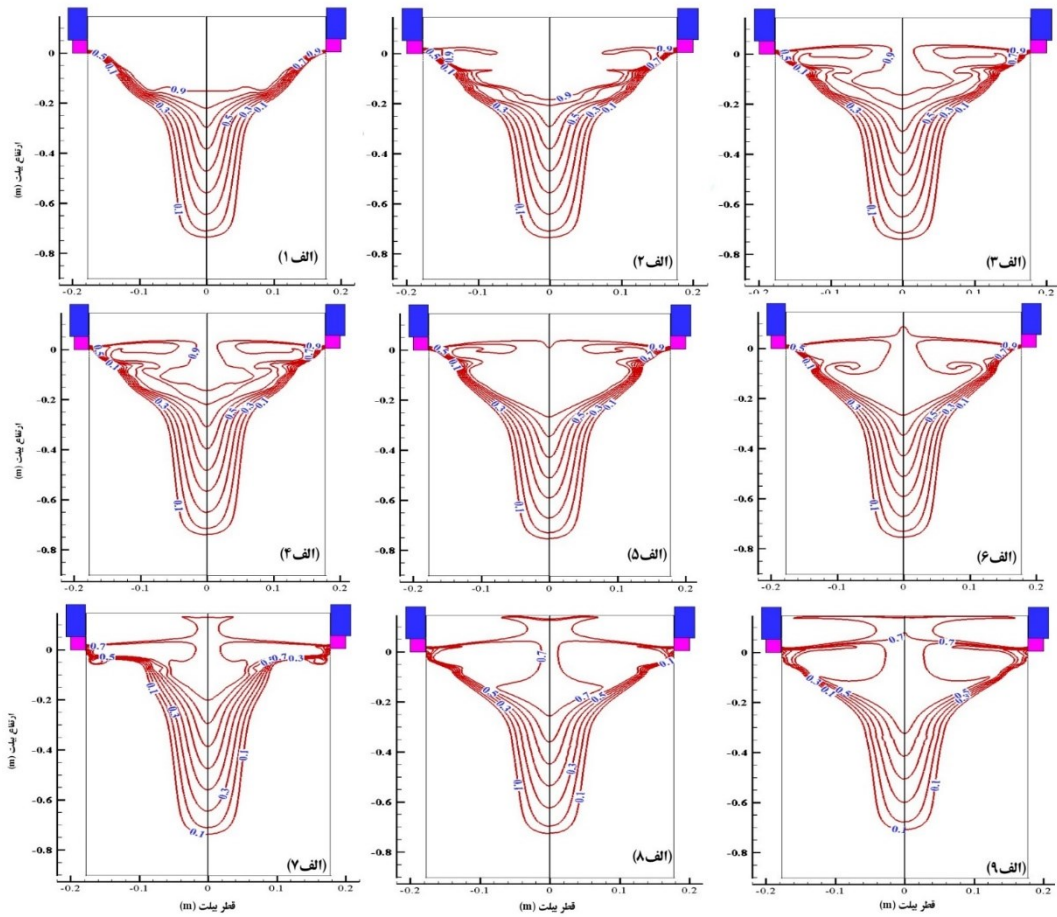
در مورد قالب بدون بالاپوش، همان‌طور که در شکل (۷-الف) مشاهده می‌گردد، موقعیت بیشینه سرعت مذاب از منطقه مرکزی قالب و محل ریختن مذاب به منطقه تماس بین مذاب و قالب منتقل می‌شود. دلیل این انتقال همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره گردید، نیروی بالارونده ناشی از جریان همرفتی در داخل مذاب است که به‌عنوان مانعی در برابر ریختن مذاب در ورودی عمل می‌کند و اثر اعمال میدان مغناطیسی را تضعیف می‌شود. حداکثر سرعت مذاب در حدود ۰/۱۳ متر بر ثانیه است که سرعت مذاب در فرایند ریخته‌گری بدون اعمال میدان است. از پروفیل‌های سرعت در شکل (۷) مشاهده می‌شود که حداکثر سرعت در مذاب با افزایش شدت الکترومغناطیسی افزایش می‌یابد ولی سرعت در مرکز مخزن مذاب کم می‌شود که این امر منجر به این می‌شود که نحوه توزیع سرعت در مرکز بیلت، غیریکنواخت شود.

### ۳-۴- توزیع کسر جامد در فرایند DC و LFEC

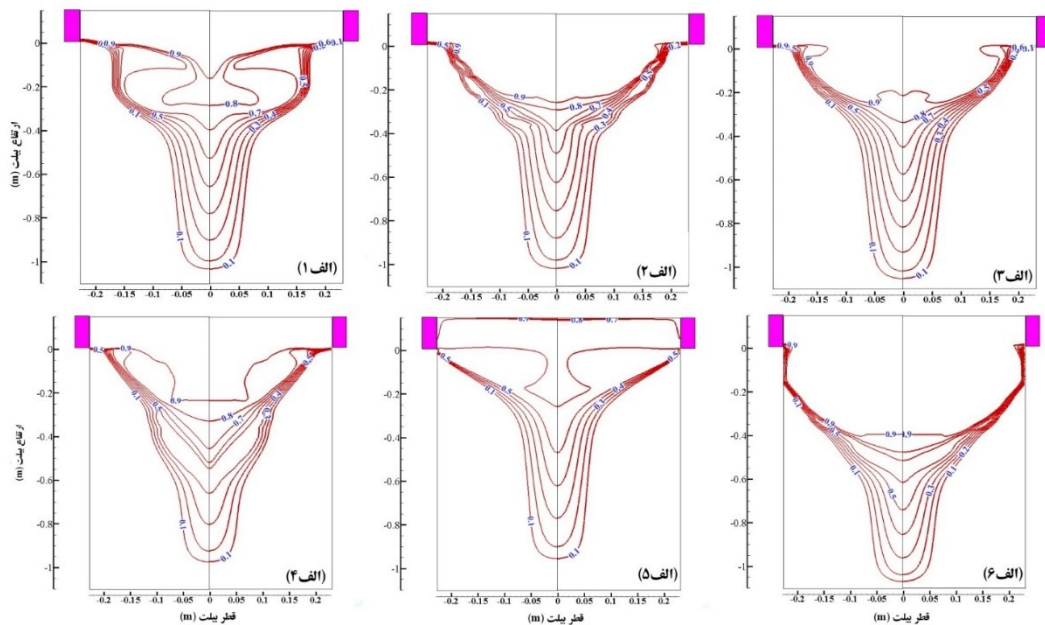
شکل‌های (۸) و (۹) پروفیل‌های کسر جامد مربوط به ریخته‌گری DC و LFEC برای قالب با بالاپوش و بدون بالاپوش را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۸-الف) مشخص می‌گردد، به دلیل وسعت زیاد ناحیه مذاب و کم بودن وسعت ناحیه خمیری (دمای زیر ۹۰۳ کلوین)، تعداد جوانه‌های جامد تشکیل شده در دمای بالا در حوضچه مذاب در مقایسه با روش LFEC کاهش می‌یابند. دلیل این مهم، عدم وجود جریان‌های همرفتی در داخل مذاب و به‌تبع آن عدم کاهش وسعت ناحیه مذاب در داخل قالب با فاصله گرفتن از سطح بیلت است. امکان جوانه‌زنی در داخل مذاب، به دلیل عدم وجود ذرات جامد، مادامی که سطح بیلت به قسمت‌های تحتانی قالب نزدیک شود، وجود ندارد.

همان‌طور که در شکل (۹-الف) دیده می‌شود، یک منطقه بسیار گسترده خمیری در داخل قالب شکل می‌گیرد. برخلاف حالت ریخته‌گری در غیاب میدان مغناطیسی، به دلیل میدان دمایی یکنواخت و همرفت اجباری شدید ناشی از هم زدن الکترومغناطیسی، تعداد زیادی هسته بلوری متحرک در کل استخر مذاب ایجاد می‌شوند که به‌عنوان مکان‌های مناسب جهت جوانه‌زنی فاز جامد عمل می‌کنند و امکان تشکیل پوسته جامد در دیواره قالب به دلیل وجود جریان همرفتی نیروی همزن مغناطیسی وجود ندارد.

مکانیسم تشکیل ساختار هم‌محور دانه‌ریز در بیلت‌ها در حضور میدان الکترومغناطیسی افزایش نرخ جوانه‌زنی در اثر تکه‌تکه شدن بازوهای دندریتی (به‌عنوان مکان‌های مستعد جهت هسته گذاری عمل می‌کنند) به دلیل جریان شدید سیال و افزایش



شکل ۸- پروفیل‌های کسر جامدبر حسب آمپر- دور در قالب بالاپوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور، (و) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور، (ز) ۳۰۰۰۰ آمپر-دور، (ح) ۳۶۰۰۰ آمپر-دور و (ی) ۴۸۰۰۰ آمپر-دور.



شکل ۹- پروفیل‌های کسر جامدبر حسب آمپر- دور در قالب بدون بالاپوش: (الف) DC، (ب) ۹۶۰۰ آمپر-دور، (ج) ۱۲۰۰۰ آمپر-دور، (د) ۱۴۴۰۰ آمپر-دور، (ه) ۱۹۲۰۰ آمپر-دور و (و) ۲۴۰۰۰ آمپر-دور.

حوضچه مذاب وجود دارد چنانچه تقریباً کل حوضچه مذاب از نظر دمایی در محدوده خمیری ۰/۷-۰/۹ است. می توان انتظار داشت که ذرات جامد معلق در حوضچه مذاب، در مناطق

برای جمع بندی می‌توان بیان نمود که در هر دو فرایند DC و LFEC، سطح بیلت قبل از خروج از قالب منجمد می‌گردد. در فرایند LFEC توزیع دمایی یکنواخت‌تری در

- their solutions, *Metallurgical Transactions B*, 1989, 20(5), 631-643.
- [۵] پیروی ع.، بابایی سودانی ر.، اصفهانی ت.، هادی م.، بیات ا.، بررسی تاثیر شرایط حاصل از انجماد جهت‌دار بر ساختار و نورد پذیری آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴، پژوهشنامه ریخته‌گری، ۱۴۰۰، ۵، (۱)، ۹-۱۸.
- [6] Dong J., Cui J., Zeng X., Ding W., Effect of low-frequency electromagnetic field on microstructures and macrosegregation of  $\phi$  270 mm DC ingots of an Al-Zn-Mg-Cu-Zr Alloy, *Materials Letters*, 2005, 59(12), 1502-1506.
- [7] Yubo Z., Jianzhong C., Zhihao Z., Haitao Z., Ke Q., Effect of low frequency electromagnetic field on casting crack during DC casting superhigh strength aluminum alloy ingots, *Materials Science and Engineering: A*, 2005, 406 (1-2), 286-292.
- [8] مومنی ح.، شبیه‌سازی ریخته‌گری تبرید مستقیم در حضور میدان مغناطیسی با فرکانس پایین برای تولید بیلتهای آلومینیمی با قطر بالا، مجله‌ی مواد نوین، ۱۳۹۳، ۵، (۲)، ۳۳-۴۸.
- [9] ANSYS FLUENT 12.0 Magnetohydrodynamics (MHD) Module Manual.
- [10] Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N., *Transport Phenomena*, 2007, New York, Wiley.
- [11] Ni J., Beckermann C., A volume-averaged two-phase model for transport phenomena during solidification, *Metallurgical Transactions B*, 1991, 22(3), 349-361.
- [12] Alexis J., Ramirez M., Trapaga G., Jonsson P., Modeling of a DC electric arc furnace – heat transfer from the arc, *ISIJ Int.*, 2000, 40, 11, 1089-1097.
- [13] Ramirez M., Alexis J., Trapaga G., Jonsson P., Mckelliget J., Modeling of a DC electric arc furnace – mixing in the bath, *ISIJ International*, 2001, 41, 10, 1146-1155.
- [14] Henning B., Shapir M., Le Grange L.A., DC Furnace containment vessel design using computational fluid dynamics, *Proceeding of Tenth International Ferroalloys Congress*, 2004.
- [15] Wang F., Jin Z., Zhu Z., Numerical study of DC arc plasma and molten bath in DC electric arc furnace, *Ironmaking and Steelmaking*, 2006, 33, 1, 39-43.
- [16] Ramirez M., Trapaga G., Garduno J., Mathematical modeling of a direct current electric arc: part II. dimensionless representation of a direct current arc, *Metallurgical and Materials Transactions B.*, 2004, 35B, 373380.
- [17] Dobatkin V.I., Anoshkin N.F., Comparison of macrosegregation in titanium and aluminium alloy ingots, *Materials Science and Engineering: A*, 1999, 263(2), 224-229.
- [18] Zhang H., Nagaumi H., Zuo Y., Cui J., Coupled modeling of electromagnetic field, fluid flow, heat transfer and solidification during low frequency electromagnetic casting of 7xxx aluminum alloys: part I: development of a mathematical model and comparison with experimental results. *Materials Science and Engineering: A*, 2007, 448 (1-2) 189-203.
- [19] Wang X., Haitao Z., Yubo Z., Zhihao Z., Qingfeng Z., Jianzhong C., Experimental investigation of heat transport and solidification during low frequency electromagnetic hot-top casting of 6063 aluminum alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 2008, 497 (1-2) 416-420.
- [20] Zhang, H., Hiromi N., JianZhong C., Effects of low frequency electromagnetic field of multi-physical fields during DC casting of 7xxx aluminum alloys, *Advanced Science Letters*, 2012, 13 (1) 306-311.

مرکزی بیلته در نقش جوانه زا عمل کرده و ساختار همگن تری برای بیلته منجمد شده ایجاد کنند. در حضور میدان مغناطیسی، نیروی الکترومغناطیسی مذاب را به سمت داخل بیلته می‌راند. با وجود گردابه نزدیک به سطح قالب می‌توان انتظار داشت که در این قسمت جدایش کمتری از عناصر آلیاژی رخ دهد. به عبارت دیگر، می‌تواند از وقوع جدایش معکوس جلوگیری کند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار ANSYS Fluent بدون نیاز به کوپل کردن بین نرم‌افزارهای مختلف، فرایند LFEC برای دو بیلته با قطرهای ۴۵۷ و ۳۵۵ میلی‌متری اینچی شبیه‌سازی شده است. نتایج به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- اعمال میدان مغناطیسی با شدت مناسب و یکنواختی قابل قبول، از جمله عوامل اصلی کسب ریزساختار هم‌محور و ریز در ساختار بیلته است. با افزایش شدت الکترومغناطیسی که منجر به توزیع یکنواخت‌تر نیروی مغناطیسی می‌شود، گردابه تشکیل شده در قسمت جلوی جبهه انجماد حذف می‌شود ولی با افزایش بیش‌ازحد شدت الکترومغناطیسی، وسعت جریان ایجادشده بزرگ‌تر می‌شود؛ به این منظور کسب حالت بهینه در نظر گرفته شد.
- ۲- با اعمال میدان مغناطیسی، دما در استخر مذاب در فواصل مختلف از سطح، به علت ایجاد همرفت اجباری شدید ناشی از نیروی الکترومغناطیسی یکنواخت‌تر شد. مشاهده شد که شدت الکترومغناطیسی تأثیر زیادی بر شکل و عمق مخزن دارد.
- ۳- با در نظر گرفتن تمامی موارد ذکرشده و پروفیل‌های رسم شده، در مورد قالب با بالاپوش، بهینه‌ترین شرایط ریخته‌گری در شدت الکترومغناطیسی ۳۰۰۰۰ آمپر-دور و برای ریخته‌گری قالب بدون بالاپوش در شدت الکترومغناطیسی ۱۹۲۰۰ آمپر-دور حاصل می‌شود.

#### مراجع

- [۱] حجازی ج.، انجماد و اصول متالورژیکی ریخته‌گری، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۴.
- [2] Baker P.W., McGlade P.T., Magnesium direct chill casting: a comparison with aluminium, In *Essential Readings in Light Metals*, 2016, 542-549.
- [3] Wang F., Wang X., Cui J., Effect of low frequency electromagnetic casting on micro-structure and macro-segregation of 5A90 alloy ingots, *Materials*, 2020, 13(12), 2720.
- [4] Vives C., Electromagnetic refining of aluminum alloys by the CREM process: part II. specific practical problems and



IRANIAN FOUNDRYMEN'S  
SOCIETY

## Founding Research Journal

### Research Paper:

### Simulation of Direct Chill Casting in the Presence of Low Frequency Magnetic Field to Produce 7075 Aluminum Alloy Billets

Hamid Daneshmand<sup>1</sup>, Masoud Araghchi<sup>2\*</sup>, Mohammad Soleimany<sup>3</sup>

1. PhD Student, 2. Associate Professor, 3. M.Sc., Researcher,

Leading Material Organization, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), P.O. Box 11365-8486, Tehran, Iran

\* Corresponding author, maraghchi@aeoi.org.ir

#### Paper history:

Received: 13 March 2022

Accepted: 18 May 2022

#### Abstract:

Direct Chill casting is a suitable method for the production of high diameter aluminum sheets. In this method, molten aluminum is poured into a mold and the mold is cooled by hydrogen. Despite the improvements made in the casting process, unwanted defects still appear during the production of the product. To deal with these problems, improved methods of direct refrigeration (DC) process are used, including direct refrigeration casting using hot top and casting in the presence of low frequency magnetic field (LFEC). Due to the advantages of direct refrigeration casting in the presence of a magnetic field, simulation of this process is important in order to better investigate the effect of the magnetic field on the molten pool, so that before any experimental work a numerical approximation of the magnetic field effect is obtained. In this report, the direct refrigeration casting process is simulated in the presence of a magnetic field using ANSYS Fluent 19.2 software. The simulation output includes temperature distribution profiles, liquid volume fraction, velocity and steady-state flow lines for DC and LFEC casting for 70- and 14-inch diameter aluminum alloy billets and associated molds.

#### Keywords:

Direct chill (DC) casting,  
Billet,  
7075 aluminum alloy,  
Simulation,  
Magnetic field strength.

#### Please cite this article using:

Hamid Daneshmand, Masoud Araghchi, Mohammad Soleimany, Simulation of Direct Chill Casting in the Presence of Low Frequency Magnetic Field to Produce 7075 Aluminum Alloy Billets, in Persian, Founding Research Journal, 2021, 5(3) 193-204.

DOI: 10.22034/FRJ.2022.333929.1154

Journal homepage: [www.foundingjournal.ir](http://www.foundingjournal.ir)