

به نام خدا

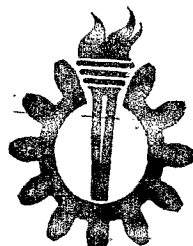


# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



۱۳۷۷ / ۵ / ۱۴



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی



# تأثیر طراحی سیستم راهگاهی بر مدل حرکت مذاب در قالب

محسن معصومی

۱۸۳۰۳

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مواد - شناسایی و انتخاب و روش ساخت مواد فلزی

تابستان ۷۶

استاد راهنما: دکتر جلال حجازی - استاد دانشکده مواد

استاد مشاور: دکتر محمد علی بوتربی - دانشیار دانشکده مواد

5152

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

مرجع دانشجویان و مهندسين مواد

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سلام بر آستان پر مهر تو ای موعود مهربان  
که حضورت را تشنه ایم

تقديم به پدر و مادر عزيزم  
که تمام زندگانيم را مديون زحمات بي شائبه  
آنها ميدانم



## چکیده:

در این پژوهش، اثرات طراحی سیستم راهگاہی بر مدل حرکت مذاب آلیاژ آلومینیم A413 در قالب مطالعه گردید. برای مطالعه پر شدن قالب، صفحه‌ای به ابعاد  $180 \times 180 \times 20$  mm ساخته شده بود و مجموعاً، دوازده طرح مختلف سیستم راهگاہی بر روی این صفحه تست شده است. برای هر دوازده طرح، ابعاد حوضچه بارریز، راهگاہ، حوضچه پای راهگاہ و راهبار ثابت بودند. (به استثناء یک طرح که اندازه راهبار در آن تغییر داده شد) برای یازده طرح، فقط شکل هندسی و اندازه راهبار تغییر داده شد و برای یک طرح اندازه راهبار تغییر داده شد. بدین ترتیب چهار پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله اول هفت راهبار با ضخامت ثابت و با عرض متغیر مورد بررسی قرار گرفت، در مرحله دوم، تأثیر نسبت سیستم راهگاہی مورد تحقیق قرار گرفت و در مرحله سوم، در یک سطح مقطع ثابت (برای راهبار) تأثیر نسبت عرض به ضخامت راهبار بر مدل حرکت مذاب بررسی گردید، و در مرحله نهائی تأثیر ضخامت راهبار در یک عرض ثابت مورد بررسی قرار گرفت.

الگوی جریان، طرحهای مختلف سیستم راهگاہی، بوسیله یک دوربین ضبط شده بودند و بوسیله کامپیوتر (توسط برد SVW) آنالیز شده و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که شکل هندسی و ابعاد راهبار و نسبت سیستم راهگاہی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مدل حرکت مذاب داخل قالب دارد. همچنین نشان می‌دهد، که شکل هندسی و ابعاد راهبار (با وجود ثابت نگاه داشتن سطح مقطع تنگه) بر مقدار دبی مذاب ورودی به قالب تأثیر دارد و به عبارت دیگر مقدار ضریب تخلیه را تغییر می‌دهد.

## تقدیر و تشکر:

بدینوسیله از زحمات و راهنمائیهای ارزشمند اساتید ارجمند ، جناب استاد ، آقای دکتر حجازی و آقای دکتر بوتربی که مرا در انجام پژوهش حاضر و ارائه آن ، مدد نمودند ، سپاسگزاری می نمایم .

ضمن قدردانی از پرسنل کارگاه ریخته گری دانشگاه علم و صنعت ایران ، متصدیان آزمایشگاه جریان مذاب و کلیه دوستانی که بنده را مورد لطف و حمایت خود قرار دادند از همکاریهای دوستان گرامی آقایان مهندس ایوب یزدانی بروجنی و مهندس مهرداد سپهرنژاد قدردانی می نمایم .

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول : مقدمه
۵	فصل دوم : مروری بر منابع و یافته های علمی
۶	۲-۱- اصول طراحی سیستم راهگاهی
۶	۲-۱-۱- مقدمه
۶	۲-۱-۲- قوانین حاکم بر حرکت سیال
۷	۲-۱-۲-۱- قانون بقای جرم
۷	۲-۱-۲-۲- قانون پیوستگی
۷	۲-۱-۲-۳- معادله برنولی
۸	۲-۱-۲-۴- معادله تریچلی
۸	۲-۱-۲-۵- اعداد بدون بعد
۸	۲-۱-۲-۵-۱- عدد رینولدز
۹	۲-۱-۲-۵-۲- عدد وبر
۱۰	۲-۱-۲-۵-۳- عدد فروید
۱۰	۲-۱-۲-۵-۴- تنش سطحی
۱۲	۲-۱-۳- طراحی اجزاء مختلف سیستم راهگاهی
۱۳	۲-۱-۳-۱- طراحی حوضچه بارریز
۱۵	۲-۱-۳-۲- طراحی راهگاه بارریز
۱۹	۲-۱-۳-۳- طراحی پای راهگاه
۲۱	۲-۱-۳-۴- طراحی راهبار
۲۴	۲-۱-۳-۵- طراحی راهباره
۲۷	۲-۱-۳-۶- کنترل آخالها
۲۷	۲-۱-۳-۶-۱- تله راهباره ای
۲۹	۲-۱-۳-۶-۲- تله گردابی
۳۳	۲-۱-۳-۶-۳- صافی ها
۳۴	۲-۱-۳-۷- نمودگرام برای محاسبه سطوح مقاطع اجزای سیستم راهگاهی
۳۸	۲-۲- روشهای بررسی حرکت مذاب
۳۸	۲-۲-۱- مقدمه
۳۹	۲-۲-۲- روشهای فیزیکی
۳۹	۲-۲-۲-۱- مشاهده مستقیم جریان مذاب

صفحه	عنوان
۴۱	۲-۲-۲-۲ کاربرد اشعه X در بررسی جریان مذاب
۴۲	۲-۲-۲-۳ مدلسازی بوسیله آب
۴۴	۲-۲-۲-۴ روش الکتریکی
۴۹	۲-۲-۳ شبیه سازی ریاضی
۵۲	۲-۲-۳-۱ مراحل شبیه سازی جریان سیال
۵۳	۲-۲-۳-۲ روش حل عددی
۵۳	۲-۲-۳-۳ فرمولهای ریاضی
۵۴	۲-۲-۳-۴ تعیین سطح آزاد
۵۵	۲-۲-۳-۵ شرایط مرزی
۵۵	۲-۲-۳-۶ روش حل معادلات
۵۸	۲-۳ عوامل موثر در مدل حرکت سیال در قالب
۵۸	۲-۳-۱ اندازه و ابعاد سیستم راهگاهی
۶۲	۲-۳-۲ طرح سیستم راهگاهی
۶۹	۲-۳-۳ هندسه و ابعاد قالب
۷۴	فصل سوم: روش آزمایش
۷۵	۳-۱ مقدمه
۷۵	۳-۲ تجهیزات و مواد مصرفی در ذوب و ریخته گری
۷۶	۳-۳ تجهیزات فیلم برداری از جریان مذاب
۷۷	۳-۴ ابعاد سیستم راهگاهی
۷۹	۳-۵ روند عمومی آزمایشها
۸۰	۳-۶ آزمایشهای انجام یافته در پژوهش
۸۲	فصل چهارم: «نتایج»
۸۳	۴-۱ مقدمه
۸۳	۴-۲ نتایج آزمایشهای مرحله اول پژوهش
۹۸	۴-۳ نتایج آزمایشهای مرحله دوم پژوهش
۱۰۲	۴-۴ نتایج آزمایشهای مرحله سوم پژوهش
۱۰۸	۴-۵ نتایج آزمایشهای مرحله چهارم پژوهش
۱۱۶	۴-۶ نتایج حاصل از آنالیز ریاضی جبهه مذاب
۱۱۶	۴-۶-۱ سرعت مذاب ورودی
۱۲۲	۴-۶-۲ سطح پرشده قالب

صفحه	عنوان
۱۲۸	فصل پنجم «سگالش»
۱۲۹	۵-۱- تاثیر عرض راهبارة بر مدل حرکت مذاب در یک ضخامت ثابت
۱۳۴	۵-۲- تاثیر نسبت سیستم راهگاهی بر مدل حرکت مذاب
۱۳۶	۵-۳- تاثیر هندسه راهبارة بر مدل حرکت مذاب در یک سطح مقطع ثابت
۱۳۹	۵-۴- تاثیر ضخامت راهبارة بر مدل حرکت مذاب در یک عرض ثابت
۱۴۱	۵-۵- تاثیر اندازه عرض راهبارة بر چگونگی سیستم راهگاهی
۱۴۴	۵-۶- تاثیر ضخامت راهبارة بر چگونگی سیستم راهگاهی در یک عرض ثابت
۱۴۴	۵-۷- تاثیر نسبت سیستم راهگاهی بر چگونگی سیستم راهگاهی
۱۴۵	۵-۸- تحلیل مدل سطح پرشده قالب بر حسب زمان
۱۴۷	۵-۹- نتیجه گیری کلی و پیشنهادها
۱۴۷	۵-۹-۱- نتیجه گیری نهائی
۱۴۹	۵-۹-۲- پیشنهادهائی برای پژوهش آینده
۱۵۱	xxxxxx- منابع و مراجع

## فهرست شکلها و جداول

### الف - فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۹	شکل (۲-۱): ارتباط بین عدد رینولدز و نوع جریان
۱۱	شکل (۲-۲): قسمتی از جبهه پیشرونده مذاب در یک قطعه نازک
۱۳	شکل (۲-۳): نمایی از حوضچه قیفی و حوضچه مکعب مستطیلی
۱۳	شکل (۲-۴): الف) حوضچه قیفی شکل - گوشه های اتصال تیز
۱۳	ب) حوضچه مکعب مستطیل - حوضچه پای راهگاه و گوشه های گرد
	شکل (۲-۵): انبساط جریان سیال بعد از انقباض در اثر
۱۴	تیز بودن ورودی راهگاه بارریز
۱۵	شکل (۲-۶): نمونه ای از یک حوضچه بارریز به همراه سرریز
۱۶	شکل (۲-۷): تصاویر تعدادی حوضچه بارریز به همراه ابعاد آن
۱۸	شکل (۲-۸): ماسه شوئی یک راهگاه بارریز با اندازه بزرگتر از حد معمول
۲۰	شکل (۲-۹): تصاویری از تعدادی حوضچه پای راهگاه
	شکل (۲-۱۰): نمونه پر شدن نامناسب سیستم راهگاهی برای
۲۲	راهبار با نسبت ضخامت به عرض زیاد
۲۳	شکل (۲-۱۱): نحوه پر شدن محفظه قالب از چند راهباره
۲۴	شکل (۲-۱۲): تغییرات در طرح راهباره و راهبار برای توزیع یکنواخت مذاب
۲۶	شکل (۲-۱۳): نمودار ترتیب انجماد در اتصالات
۲۶	شکل (۲-۱۴): حداکثر ضخامت راهباره در اتصالات مختلف به
۲۸	قطعه برای جلوگیری از عیب نقطه گرم
۲۸	شکل (۲-۱۵): انواع تله سرباره و خطوط جریان در آنها
۳۰	شکل (۲-۱۶): موقعیتهای مختلف دهانه ورودی و خروجی تله راهباره
۳۰	شکل (۲-۱۷):
۳۲	شکل (۲-۱۸): نحوه جدا سازی آخال توسط تله چرخشی
	شکل (۲-۱۹): محدوده خواص مکانیکی آلیاژ $AL-4/5Cu-1/5mg$ در حالت تصفیه
۳۴	شده و تصفیه نشده
	شکل (۲-۲۰): نمودار برای مجاسبه سطوح مقاطع سیستم راهگاهی آلیاژهای
۳۶	آلومینیم
	شکل (۲-۲۱): نمودار برای مجاسبه سطوح مقاطع سیستم راهگاهی آلیاژهای چدن و
۳۷	فولاد

صفحه	عنوان
۴۰	شکل (۲-۲۲): نمایش مراحل پر شدن چرخ سه بازو توسط روش فتوگراف
	شکل (۲-۲۳): نمایش مراحل پر شدن چرخ سه بازو توسط روش فتوگراف
۴۱	راهبار در بالا
۴۵	شکل (۲-۲۴): الگو جریان پر شدن قالب توسط آب
	شکل (۲-۲۵): تصویر شماتیک از مدار الکتریکی استفاده شده در دستگاه اندازه گیری مدل جریان
۴۶	شکل (۲-۲۶): تصویر شماتیک از محفظه قالب سیستم راهگاهی و ترتیب قرار گیری سیمها در قالب مکعب مستطیلی روبسته
۴۷	شکل (۲-۲۷): تصویر شماتیک از محفظه قالب سیستم راهگاهی و ترتیب قرار گیری سیمها برای یک صفحه ریختگی با لوله بار ریز و حوضچه بار ریز در کنار راهگاه
۴۷	شکل (۲-۲۸): مدل پر شدن سه بعدی با استفاده از زمانهای اتصال ۲۳۷ عدد سیم
۴۸	شکل (۲-۲۹): نتایج اندازه گیری مدل جریان مربوط به قالب شکل (۲-۲۷)
۵۱	شکل (۲-۳۰): نمودار مراحل شبیه سازی
۵۲	شکل (۲-۳۱): شبکه بندی منظم یک چرخ سه بازوی ریختگی
۵۷	شکل (۲-۳۲): شبیه سای الگوی جریان پر شدن $20 \times 20 \times 5$ cm
	شکل (۲-۳۳): لحظات مختلف فوران آزاد مذاب از راهبار با سرعت اولیه $0.25 \text{ m.s}^{-1}$
۵۹	شکل (۲-۳۴): لحظات مختلف فوران آزاد مذاب از راهبار با سرعت اولیه $0.5 \text{ m.s}^{-1}$
۵۹	شکل (۲-۳۵): لحظات مختلف فوران آزاد مذاب از راهبار با سرعت اولیه $0.6 \text{ m.s}^{-1}$
۶۰	شکل (۲-۳۶): تاثیر صافی بر نحوه پر شدن قالب
۶۰	شکل (۲-۳۷): ارتفاع متوسط موج در سیستمهای مختلف مساحت راهبار به راهبار
۶۱	شکل (۲-۳۸): ارتفاع متوسط موج بر حسب زمان بار ریزی
۶۱	شکل (۲-۳۹): الگوی پر شدن صفحه $20 \times 20$ cm
۶۳	شکل (۲-۴۰): الگوی پر شدن صفحه $20 \times 20$ cm با دبی مذاب ورودی ده برابر
۶۴	شکل (۲-۴۱): طراحی نادرست سیستم راهگاهی کف ریز
۶۴	شکل (۲-۴۲): طراحی صحیح سیستم راهگاهی کف ریز
	شکل (۲-۴۳): الگوی پر شدن قالب بوسیله سیستم راهگاهی

- ۶۵ کف ریز (طرح ناصحیح)
- ۶۶ شکل (۲-۴۴): نحوه پر شدن قالب در سیستم راهگاهی پله ای
- ۶۷ شکل (۲-۴۵): الف) نمائی از سیستم راهگاهی کاردی
- ۶۷ ب) نحوه پر شدن قالب در سیستم راهگاهی کاردی
- ۶۸ شکل (۲-۴۶): نمائی از قالب
- ۶۸ شکل (۲-۴۷): نمائی از قالب
- ۶۸ شکل (۲-۴۸): نمائی از قالب
- ۶۸ شکل (۲-۴۹): نمائی از قالب
- ۶۹ شکل (۲-۵۰): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۶)
- ۶۹ شکل (۲-۵۱): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۷)
- ۷۰ شکل (۲-۵۲): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۸)
- ۷۰ شکل (۲-۵۳): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۹)
- ۷۱ شکل (۲-۵۴): الگوی پر شدن قالب به ابعاد  $610 \times 610 \text{ mm}$
- ۷۱ شکل (۲-۵۵): الگوی پر شدن قالب به ابعاد  $61 \times 61 \text{ mm}$
- ۷۲ شکل (۲-۵۶): الف) نحوه پر شدن دیسک صفحه ای ساده
- ۷۳ شکل (۲-۵۶): ب) نحوه پر شدن دیسک صفحه ای ماهیچه دار
- ۷۸ شکل (۳-۱): نمای جانبی قالب در برش
- ۷۸ شکل (۳-۲): نمای سه بعدی سیستم راهگاهی و صفحه ریخته گری
- ۸۴ شکل (۴-۱): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $3 \times 1$  از  $1/1$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه
- ۸۵ شکل (۴-۱): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $3 \times 1$  از  $7/7$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه
- ۸۶ شکل (۴-۱): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $3 \times 1$  از  $1/3$  ثانیه تا  $1/6$  ثانیه
- ۸۷ شکل (۴-۲): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $5 \times 1$  از  $1/1$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه
- ۸۸ شکل (۴-۲): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $5 \times 1$  از  $7/7$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه
- ۸۹ شکل (۴-۲): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $5 \times 1$  از  $1/3$  ثانیه تا  $1/5$  ثانیه
- ۹۰ شکل (۴-۳): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 1$  از  $1/1$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه
- ۹۱ شکل (۴-۳): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 1$  از  $7/7$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه
- ۹۲ شکل (۴-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $9 \times 1$  از  $1/1$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه
- ۹۳ شکل (۴-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $9 \times 1$  از  $7/7$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه
- ۹۴ شکل (۴-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $9 \times 1$  از  $1/3$  ثانیه تا  $1/6$  ثانیه
- شکل (۴-۵): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $11 \times 1$  (۱۸:۳/۶:۲:۱) از  $1/1$  ثانیه



صفحه	عنوان
۹۵	۶/ثانیه
۹۶	شکل (۴-۵): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۱۱×۱ (۱:۲/۶:۳/۱۸) از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه
۹۷	شکل (۴-۵): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۱۱×۱ (۱:۲/۶:۳/۱۸) از ۱/۳ ثانیه تا ۱/۶ ثانیه
۹۹	شکل (۴-۶): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۱۱×۱ (۱:۳/۱۸:۳/۱۸) از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه
۱۰۰	شکل (۴-۶): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۱۱×۱ (۱:۳/۱۸:۳/۱۸) از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه
۱۰۱	شکل (۴-۶): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۱۱×۱ (۱:۳/۱۸:۳/۱۸) از ۱/۲ ثانیه تا ۱/۵ ثانیه
۱۰۳	شکل (۴-۷): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۴/۵×۲ از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه
۱۰۴	شکل (۴-۷): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۴/۵×۲ از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه
۱۰۵	شکل (۴-۸): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۶×۱/۵ از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه
۱۰۶	شکل (۴-۸): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۶×۱/۵ از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه
۱۰۷	شکل (۴-۸): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۶×۱/۵ از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۵ ثانیه
۱۰۹	شکل (۴-۹): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۷×۱/۵۷ از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه
۱۱۰	شکل (۴-۹): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۷×۱/۵۷ از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه
۱۱۱	شکل (۴-۹): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۷×۱/۵۷ از ۱/۳ ثانیه تا ۱/۶ ثانیه
۱۱۲	شکل (۴-۱۰): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۷×۲ از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه
	شکل (۴-۱۰): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۷×۲ از ۰/۷ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه

- ۱۱۳ تا ۱/۲ ثانیه  
شکل (۴-۱۰): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 2$  از ۱/۳ ثانیه
- ۱۱۴ تا ۱/۵ ثانیه
- ۱۱۵ شکل (۴-۱۱): نحوه جریان مذاب در دهانه خروجی راهباره  $7 \times 2$
- ۱۱۸ شکل (۴-۱۲): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $3 \times 1$
- ۱۱۸ شکل (۴-۱۳): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $5 \times 1$
- ۱۱۹ شکل (۴-۱۴): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $7 \times 1$
- ۱۱۹ شکل (۴-۱۵): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $9 \times 1$
- ۱۲۰ شکل (۴-۱۶): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۲/۶:۳/۱۸)
- ۱۲۰ شکل (۴-۱۷): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۳/۱۸:۳/۱۸)
- ۱۲۱ شکل (۴-۱۸): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $7 \times 1/57$
- ۱۲۱ شکل (۴-۱۹): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $7 \times 2$
- ۱۲۳ شکل (۴-۲۰): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $3 \times 1$
- ۱۲۳ شکل (۴-۲۱): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $5 \times 1$
- ۱۲۴ شکل (۴-۲۲): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $7 \times 1$
- ۱۲۴ شکل (۴-۲۳): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $9 \times 1$
- شکل (۴-۲۴): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $11 \times 1$
- ۱۲۵ (۱:۲/۶:۳/۱۸)
- شکل (۴-۲۵): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $11 \times 1$
- ۱۲۵ (۱:۳/۱۸:۳/۱۸)
- ۱۲۶ شکل (۴-۲۶): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $4/5 \times 2$
- ۱۲۶ شکل (۴-۲۷): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $6 \times 1/5$
- ۱۲۷ شکل (۴-۲۸): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $7 \times 1/57$
- ۱۲۷ شکل (۴-۲۹): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $7 \times 2$
- ۱۴۲ شکل (۵-۱): نمودار اثر اندازه سطح مقطع راهباره بر مدول راهباره
- ۱۴۲ شکل (۵-۲): نمودار اثر اندازه سطح مقطع راهباره بر ضریب تخلیه

## فهرست جداول

عنوان

- ۴۳ جدول (۲-۱): تعدادی از اعداد بدون بعد و کاربرد آنها
- ۴۳ جدول (۲-۲): محاسبه مقادیر اعداد بدون بعد برای فولاد و آب
- ۸۱ جدول (۳-۱): ابعاد و نسبت سیستم های راهگاهی بکار برده شده در پژوهش

# فصل اول:

## «مقدمه»

پدیده جریان مذاب در طی پر کردن قالب و پدیده انجماد بعدی، دو پدیده‌ای هستند که بطور وابسته کیفیت نهائی قطعه ریخته گری را تعیین میکنند. [۹-۱۱]. پدیده انجماد، مستقیماً، طراحی تغذیه ها را تعیین میکند که بطور گسترده‌ای مطالعه گردیده است. [۱]

اگر چه مدت زمان بارریزی نسبت به کل فرایند ریخته گری بسیار ناچیز است اما بعنوان مرحله‌ای حساس و بحرانی سر منشاء بسیاری از عیوب ریختگی شناخته شده است. برای مثال، جریان شدید باعث خوردگی مواد قالب می‌شود، جریان متلاطم می‌تواند باعث گیر افتادن هوا و آخالها در قطعه شود و همچنین سرعت پر شدن کم باعث نیامد و سرد جوشی می‌گردد.

این شناخت با توجه به مشکلات موجود بر سر راه پژوهش در این زمینه (زمان کوتاه، دمای بالا، کدر بودن قالب و.....) و همچنین نیاز صنعت ریخته گری به بهبود کیفیت قطعات و افزایش حد استاندارد ها و کار آئی فرآیندها از اوایل دهه ۳۰ میلادی، در زمینه ریخته گری تحت فشار، آغاز و تا به امروز ادامه یافته است. [۹-۱۱]

بررسی حرکت مذاب در قالب نه تنها فی نفسه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است بلکه اثر آن بر انتقال حرارت در حین پر شدن قالب و چه پس از آن نیز مهم است و مسئله انجماد را شدیداً تحت تاثیر قرار می‌دهد.

محل قرار گرفتن تغذیه ها و هواکشها، مکان راهباره‌ها، دستیابی به جریان یکنواخت بادبی یکسان از راهباره های مختلف، سرعت مناسب ورود مذاب به قالب، جلوگیری از گیرافتادن هوا، گاز و سرباره در قطعه، جلوگیری از سرد جوشی، نیامد و خوردگی قالب از نتایج چنین تحقیقاتی می‌باشد. [۲، ۳، ۵، ۷ و ۸]

در میان عوامل موثر بر چگونگی پر شدن قالب و کنترل کیفیت قطعات نقش طراحی سیستم راهگاهی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. بر همین اساس کوششهای گسترده‌ای برای مطالعه تاثیر طراحی سیستم راهگاهی روی رفتار جریان مذاب انجام گرفته است. [۹۸،۶،۵،۴،۳،۲]

هدف طراحی یک سیستم راهگاهی است که بتواند اهداف زیر را تامین نماید: [۹۸،۶،۵،۴،۳،۲]

(۱) محفظه قالب سریع وبدون تلاطم پر گردد.

(۲) از خوردگی مواد قالب وماهیچه جلوگیری شود.

(۳) مدل جریانی به دست آید که انجماد جهت دار رابه همراه داشته باشد.

(۴) از گیر افتادن هوا وسرباره در قطعه جلوگیری نماید.

(۵) راندمان قطعه باید با کاهش اندازه سیستم راهگاهی افزایش یابد.

در میان اجزاء سیستم راهگاهی راهباره یکی از مهمترین اجزاء آن محسوب می گردد زیرا ابعاد و طرح راهباره، سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب ونسبت سیستم راهگاهی را تعیین می نماید که هر دو مورد، تاثیر به سزائی بر مدل حرکت مذاب وکیفیت قطعات ریختگی ایفا می کنند. [۹۸،۲]

پژوهش حاضر بر آن است که تاثیر اندازه، ابعاد وهندسه راهباره را بر مدل حرکت مذاب درون قالبهای افقی به نمایاند.

مروری بر طراحی سیستم راهگاهی، روشهای بررسی حرکت مذاب در قالب وعوامل مؤثر برآن در بخش دوم گردآوری گردیده است، در بخش سوم به تجهیزات مورد استفاده و روندانجام آزمایشات اشاره شده است؛ ودر بخش چهارم نتایج حاصل از آزمایشات

و محاسبات ریاضی ارائه گشته است و در بخش پنجم به بحث و نتیجه گیری از نتایج  
آزمایشهای مختلف پرداخته شده است .

## فصل دوم:

### «مرور بر منابع»

## ۲-۱) اصول طراحی سیستم راهگاهی :

### ۲-۱-۱ مقدمه :

یکی از مهمترین مباحث ریخته گری ، توضیح علمی جریان مذاب از محفظه بار ریزی (بوته، پاتیل، ملاقه و...) به داخل قالب است که توسط مجموعه ای از راهبارها کانالهای عمودی و افقی به نام سیستم راهگاهی انجام می گیرد. جریان مذاب در مسیرهای فوق تابعی از اصول و قوانین مکانیک سیالات است که با توجه به تغییرات خواص فیزیکی به دلیل افت و کاهش درجه حرارت ، مشمول تصحیح و اصلاحاتی ، بنابر شرایط تخصصی نیز می شود [۱۰] کنترل جریان مذاب و عوامل موثر بر طراحی سیستم راهگاهی، دامنه وسیعی از خواص و مشخصات آلیاژ، قطعه، قالب و روش تولید را در بر می گیرد. از طرف دیگر، مذاب در مسیر حرکتی خود، با پدیده‌هایی نظیر اصطکاک با دیواره و فرسایش آن، ورود گازها و عوامل محیطی، واکنشهای شیمیایی با قالب و هوای محیطی روبرو است که شدت آنها به دلیل درجه حرارت مذاب، چگالی آلیاژ و شرایط انجماد از مایعهای طبیعی بیشتر است از این رو سیستم راهگاهی باید مجموع پدیده ها و یا واکنشهای مضر را به حداقل رساند تا پر شدن و سلامت کامل قطعه را تضمین نماید. اهمیت سیستمهای راهگاهی و محاسبات مربوط به آن در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است واکثر پژوهشگران بر این نظریه متفق هستند که بدون کنترل صحیح جریان مذاب در سیستم راهگائی تولید قطعات با کیفیت متالورژیکی خوب و در حدود تolerانسهای مجاز، عملاً غیر ممکن است. [۱۲، ۱۰]

### ۲-۱-۲ قوانین حاکم بر حرکت سیال :

سیال در حال حرکت از یکسری قوانین پیروی می کند که چگونگی رفتار آنرا مشخص می



نماید. این قوانین بطور کلی برای یک سیال ایده آل تعریف شده اند و بدیهی است که برای بررسی حرکت فلزات در حالت مایع نیز مفید هستند. آگاهی از این اصول برای طراحی صحیح اجزای سیستم راهگامی ضروری می باشد. [۱۱۰ و ۱۱۱]

۲-۱-۲-۱ قانون بقای جرم: (Conservation of MASS)

این قانون بیانگر ثابت بودن جرم سیال در حال حرکت در یک کانال است. براین اساس، در یک سیستم که سیال در آن جریان دارد، رابطه زیر را می توان نوشت:

$$Q_i = Q_j - Q_o \quad (2-1)$$

که در آن  $Q_i$ : آهنگ ذخیره شدن جرم  $[m^3.s^{-1}]$

$Q_i$ : دبی ورودی جرم  $[m^3.s^{-1}]$

$Q_o$ : دبی خروجی جرم  $[m^3.s^{-1}]$

۲-۱-۲-۲ قانون پیوستگی:

حجم مذاب جریان یافته در واحد زمان (دبی حجمی) در مقاطع مختلف همواره ثابت است

$$Q = A_i V_i \quad (2-2)$$

که در آن  $Q$ : دبی حجمی  $[m^3.s^{-1}]$

$V_i$ : سرعت میانگین سیال در مقطع  $i$   $[ms^{-1}]$

$A_i$ : سطح مقطع سیال در مقطع  $i$   $[m^2]$

۲-۱-۲-۳ معادله برنولی:

این معادله بیان می کند که مجموع انرژی های جنبشی، انرژی پتانسیل و فشار برای واحد

وزن سیال در یک سیستم مقدار ثابتی است:

$$\frac{\rho V^2}{2} + \rho gh + P = \text{مقدار ثابت} \quad (2-3)$$

که در آن  $V$ : سرعت سیال  $[m.s^{-1}]$

$h$ : ارتفاع سیال  $[m]$

$p$ : فشار  $[N.m^{-2}]$

۲-۱-۲-۴ معادله تریچلی:

رابطه (۲-۴) به معادله تریچلی معروف است.

$$V = \sqrt{2gH} \quad (2-4)$$

که سرعت سیال ناشی از ارتفاع ایستائی آن را محاسبه می کند.

۲-۱-۲-۵ اعداد بدون بعد:

اعداد بدون بعد در طراحی های مهندسی می توانند ابزار بسیار مفیدی برای فهم رفتار حرکتی جریان سیال باشند. توضیح مختصر سه عدد بدون بعد به شرح زیر است.

۲-۱-۲-۵-۱ عدد رینولدز:

این عدد بیانگر نسبت نیروی اینرسی سیال به نیروی گرانش در سیستم است و معادله آنرا

$$R_N = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{می توان بصورت زیر نوشت: } [10 \text{ و } 11] (2-5)$$

که در آن  $D$ : قطر معادل کانال مورد نظر  $[m]$

$v$ : سرعت سیال  $[m.s^{-1}]$

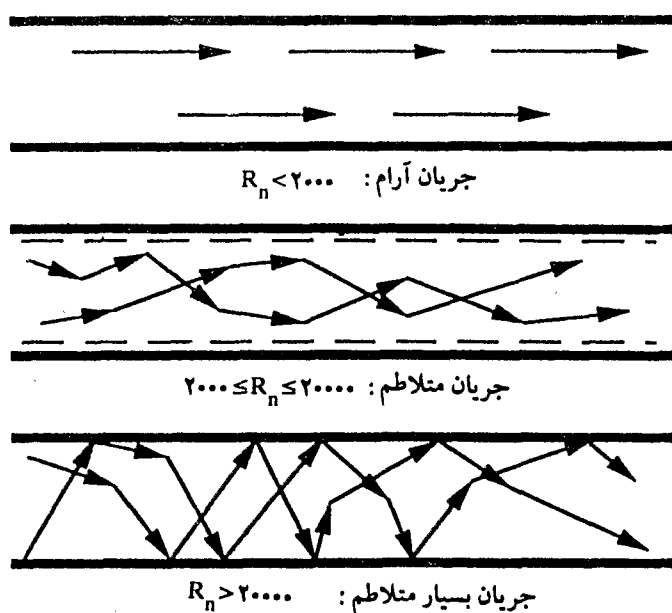
$\rho$ : چگالی سیال  $[kg.m^{-3}]$

$\mu$ : گرانشی  $[N.m^{-2}.s]$

هرگاه عدد رینولدز کمتر از ۲۰۰۰ باشد نیروی گرانش غالب می شود و منجر به ایجاد

حرکت آرام سیال و موازی با دیواره ها خواهد شد. در صورتیکه عدد رینولدز بالاتر از

۲۰۰۰ باشد، جریان تمایل به ایجاد تلاطم دارد و هرگاه این عدد بین ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ باشد یک لایه نسبتاً غیر آشفته در سطح مذاب وجود خواهد داشت که در این حالت آشفتگی به مرکز کانال محدود می شود. این نوع آشفتگی زیان کمی به همراه دارد، چرا که امکان پاره شدن لایه سطحی و دخول گاز و هوا به درون جریان مذاب کم است. [۱۱ و ۱۰] در صورتیکه عدد رینولدز بیشتر از ۲۰۰۰۰ باشد لایه سطحی پاره شده و پاشش مذاب اتفاق می افتد.



شکل (۲-۱): ارتباط بین عدد رینولدز و نوع جریان

## ۲-۵-۲-۱-۲- عدد وبر:

عدد وبر، عدد بدون بعد دیگری است که شرایط تلاطم سطحی را تعریف می کند این عدد از تقسیم نیروی اینرسی تنش سطحی بدست می آید. [۱۱ و ۸]

که در آن  $V$ : سرعت سیال  $[m.s^{-1}]$

$$W_e = \frac{V^2 \rho r}{\gamma} \quad (2-6)$$

$\rho$ : چگالی  $[kg.m^{-3}]$

$r$ : شعاع جریان  $[m]$

$\gamma$ : تنش سطحی  $[N.m]$

۳-۵-۲-۱-۲ عدد فروید:

عدد فروید نیز مانند عدد رینولدز فقط قادر به توضیح تلاطم توده مذاب است که از نسبت

نیروی اینرسی به نیروی جاذبه بدست می آید و بصورت رابطه زیر بیان می شود:  $[2-11]$

که در آن  $V$ : سرعت سیال  $[m.s^{-1}]$

$g$ : شتاب ثقل  $[m.s^{-2}]$

$$Fr = \frac{V^2}{gD} \quad (2-7)$$

$D$ : قطر جریان  $[m]$

۶-۲-۱-۲ تنش سطحی:

تنش سطحی نیروی لازم برای جدا کردن واحد طول سطح (انرژی اضافی در واحد سطح)

تماس دو فاز مختلف، معمولاً هوا، مذاب و ... است. در شکل (۲-۲) اختلاف فشار بین

مذاب و محیط که بوسیله فیلم سطحی از یکدیگر جدا شده اند با استفاده از معادله زیر بیان

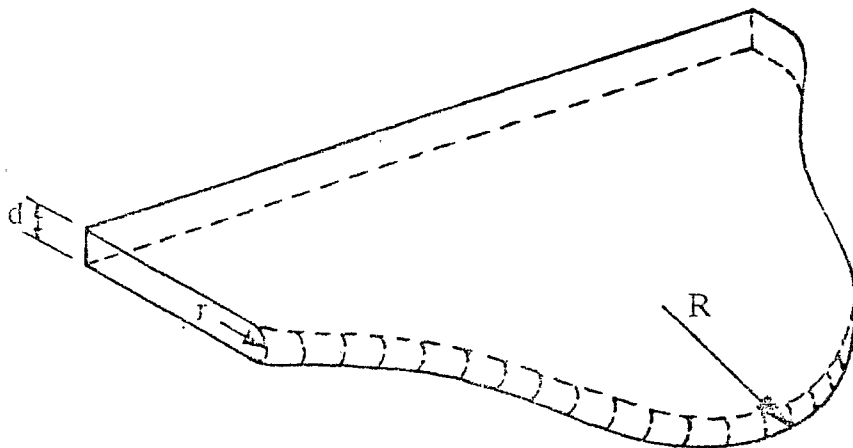
می شود:

$$\Delta p = \gamma \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right) \quad (2-8)$$

که در آن  $\gamma$ : تنش سطحی  $[N.m^{-1}]$

$R$  و  $r$ : شعاعهای متعامد سطح در یک نقطه  $[m]$

$\Delta P$ : اختلاف فشار بین دو فاز  $[N.m^{-2}]$



شکل (۲-۲): قسمتی از جبهه پیشرونده مذاب در یک قطعه نازک

### ۳-۱-۲) طراحی اجزاء مختلف سیستم راهگاهی :

#### ۳-۱-۳-۱) طراحی حوضچه بارریز:

حوضچه بارریز باید بصورتی طراحی گردد که ریخته گری بتواند به سرعت راهگاه بارریز را پر و در تمامی مدت پر شدن قالب ارتفاع مذاب در راهگاه بارریز ثابت باقی بماند. [۱۳]

حوضچه های قیفی شکل تنها از نظر طراحی وساخت بسیار آسان می باشند. با استفاده از این گونه حوضچه ها، مذاب با یک حرکت گردابی وارد راهگاه بارریز می شود و به علت مکش هوا به داخل قالب، بیشترین میزان جذب حبابهای گازی و عیوب ناشی از آن را به

دنبال دارد. [۱۲ و ۱۰] شکل (الف - ۳-۲) و (الف - ۴-۲)

حوضچه بارریز باید بصورت مکعب مستطیل و با گوشه های انحناء دار باشد تا تلاطم بطرف بالا در خلال ریختن مذاب به جدا سازی پوسته های اکسیدی کمک کند

[۱۰-۱۱-۱۲-۱۳] شکل (ب - ۳-۲) و (ب - ۴-۲)

swift [۱۱] و srinivasan [۱۴] گزارش کرده اند که تیز بودن ورودی راهگاه بارریز باعث می

شود تا جریان سیال از دیواره راهگاه عمودی جدا شده و یک حجم هوا درست زیر ورودی

بارریز ایجاد کند که منجر به مکش هوا و کاهش ارتفاع مؤثر سیستم می شود. شکل (۵-۲)

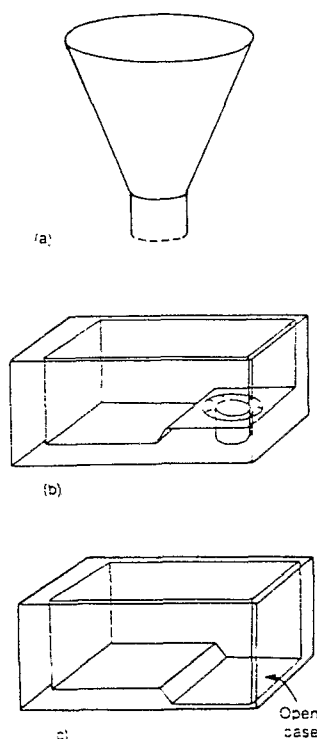
Richins و Wetmore در تحقیقاتی که بر روی مذاب آلومینیم انجام دادند

به این نتیجه رسیدند که انحناء دادن به ورودی راهگاه بارریز باعث می شود تا مقدار

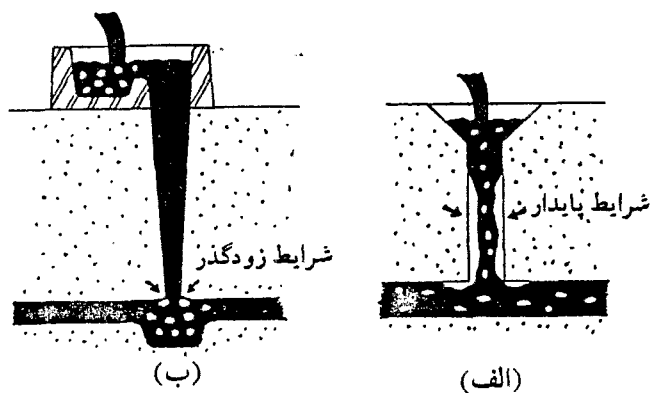
ضریب تخلیه افزایش یابد

که در نتیجه آهنگ بارریزی به شرایط تئوری نزدیک می شود. از طرف دیگر وجود لبه تیز

دارای این مزیت است که از تشکیل گرداب در دهانه ورودی جلوگیری می کند. [۱۵]



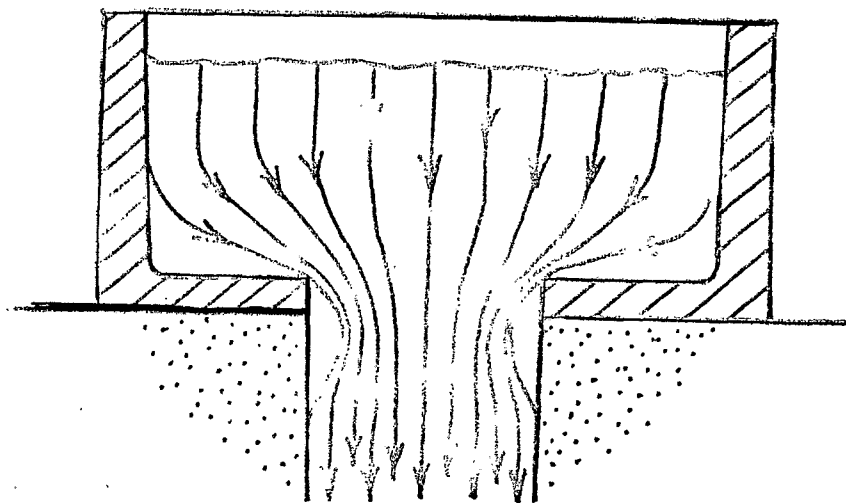
شکل (۲-۳): نمائی از حوضچه قیفی و حوضچه مکعب مستطیلی



شکل (۲-۴) الف) حوضچه قیفی - گوشه های اتصال تیز

ب) حوضچه مکعب مستطیلی - حوضچه پای راهگاه و گوشه های گرد

همچنین swift و همکارانش بوسیله آزمایش بامدل آبی به این نتیجه رسیدند که اگر دهانه ورودی راهگاه بارریز گرد باشد عمق حوضچه بارریز باید دوبرابر مقدار آن در حالت لبه تیز باشد چراکه گرد کردن ورودی راهگاه بارریز تشکیل گرداب را ترغیب می کند. [11]

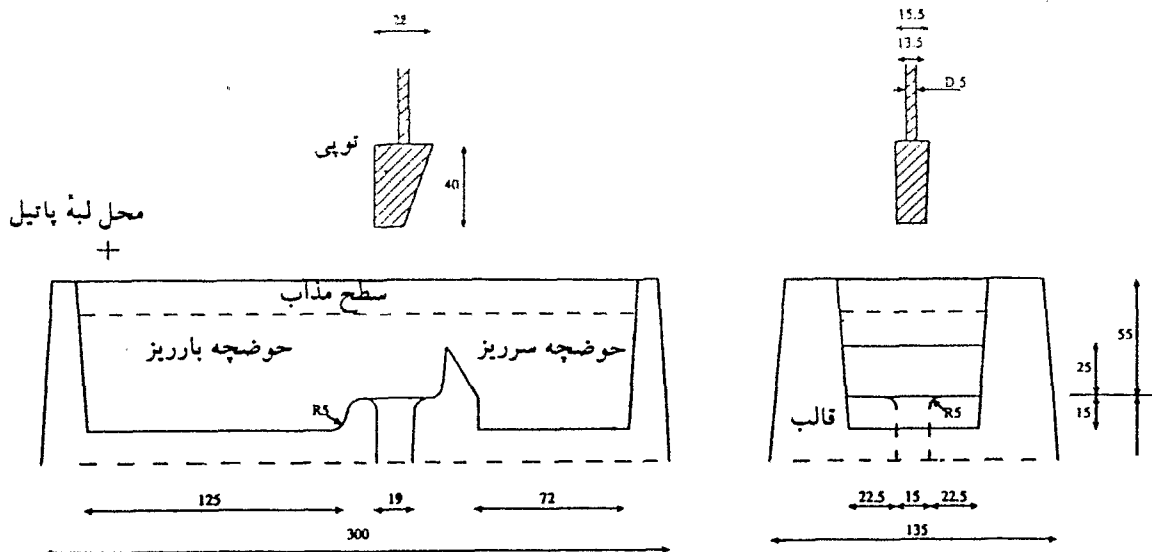


شکل (۵-۲): انبساط جریان سیال بعد از انقباض در اثر تیز بودن ورودی راهگاه بار ریز

بررسی های انجام شده نشان می دهد که انحنای ورودی راهگاه بار ریز بهتر است به اندازه نصف قطر ورودی راهگاه بار ریز باشد. حوضچه باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا تغییرات احتمالی در جریان بار ریزی در سطح ارتفاع آن تغییرات جزئی داشته باشد ، در این رابطه Titor [۱۶] نسبت ارتفاع حوضچه به راهگاه را بین  $2/5$  تا  $1/5$  گزارش کرده است. همچنین شرکت کشتی سازی انگلستان گزارش کرده اند که ارتفاع مذاب در حوضچه بار ریز بهتر است از سه برابر قطر ورودی راهگاه بار ریز کمتر نباشد. [۱۱]

در بسیاری از آزمایشهای تحقیقاتی برای کنترل بهتر ارتفاع مذاب در حوضچه از یک سر ریز در کنار حوضچه استفاده می شود که نمونه ای از آن در شکل (۶-۲) آورده شده است. [۱۱] تعدادی از ابعاد پیشنهادی محققان مختلف در مورد حوضچه بار ریز در شکل ۷-۲ آمده است . برای اینکه از ورود شلاکه و سرباره و هوا در لحظه اول جلوگیری شود باید قبل از ورود مذاب اولیه ، ارتفاع مذاب داخل حوضچه تا حدی بالا بیاید تا سرباره ها روی سطح شناور شود و داخل راهگاه نروند برای این کار دو روش وجود دارد . [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]



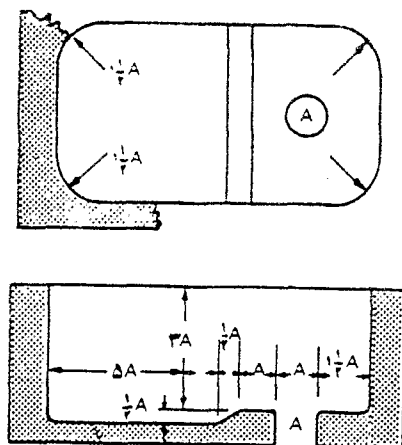


شکل (۶-۲): نمونه ای از یک حوضچه بارریز به همراه سرریز

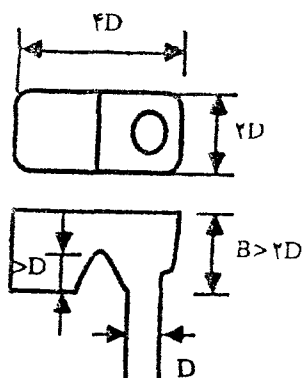
روش اول استفاده از استاپر است که از جنس ماسه نسوز می باشد و در راهگاه بارریز قرار می گیرد. در لحظه لازم و مناسب این استاپر از روی سوراخ راهگاه به بالا کشیده میشود و مذاب وارد راهگاه می شود. روش دوم استفاده از ماهیچه ماسه ای کوچکی است که در سوراخ راهگاه تعبیه می شود. وقتی مذاب داخل حوضچه ریخته می شود این ماهیچه بواسطه وزن مخصوص کمتری که دارد به سطح مذاب می آید و شناور می شود و راه ورودی راهگاه باز می شود و مذاب به راحتی وارد قالب می شود.

## ۲-۳-۱-۲ طراحی راهگاه بارریز:

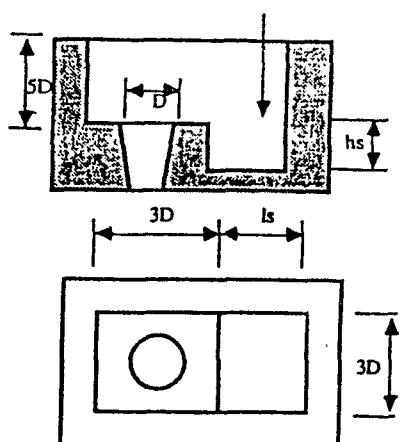
طراحی راهگاه بارریز از آن جهت مهم است که تنگه در پای آن قرار می گیرد. همچنین راهگاه باید بصورتی طراحی شود که به سرعت پر شده و نقش شخص بارریز را کم کند. [۱۳] براساس قانون پیوستگی و معادله تریچلی، جریان در هنگام سقوط باریک می شود لذا طراحی آن باید به گونه ای باشد که موجب مکندگی هوانشود. [۱۲، ۱۱، ۱۰] هنگامی که راهگاه کاملاً از مذاب پر باشد بدلیل عدم احتمال جذب هوا و تلاطم مذاب و تشکیل خلأهای موضعی، سرعت خطی و دبی مذاب در دو سطح  $a_1$  و  $a_2$  را می توان



(ب)

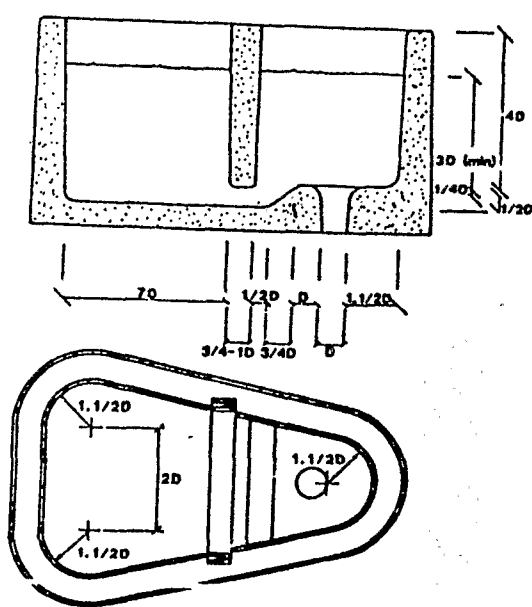


(الف)



(د)

$h_s = 30 \text{ mm}$  و  $L_s = 50 \text{ mm}$ : آهنک بارریزی:  $\leq 2 \text{ kg.s}^{-1}$   
 $h_s = 40$  و  $L_s = 60$ :  $< 2$ : آهنک بارریزی



(ج)

شکل (۷-۲): تصاویر تعدادی حوضچه بارریز به همراه ابعاد آن

الف) آلیاژهای آلومینیم (Runyoro, ۱۹۹۲) (ب) چدن (دوامی، ۱۹۸۴)

ج) چدن میهناپیت (د) ریخته‌گری در قالب فلز (Campbell, ۱۹۹۲)

بصورت زیر معادل قرار داد

$$a_1 v_1 = a_2 v_2 \Rightarrow \frac{a_2}{a_1} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \quad (2-9)$$

با توجه به آنکه همواره  $H_1 > H_2$  می باشد لازم است که  $a_1 > a_2$  باشد تا تلفات انرژی و جذب هوا کاهش یابد. از این رو باید راهگاه بصورت مخروطی و شیبدار ساخته شده و مقطع کنترل کننده سرعت جریان در انتهائی ترین نقطه آن باشد. در عمل می توان از یک شیب ۵ درجه استفاده نمود. هنگامی که ارتفاع راهگاه بارریز ۳۰۰ میلی متر باشد، کافی است که از انتها تا بالای راهگاه بارریز ابعاد ۵۰٪ اضافه شوند. [۱۳]

Johnson در تحقیق بر روی مذاب فولاد به این نتیجه رسید که دبی جریان در راهگاه بارریز با دیواره موازی بدون قرارگیری راهبار، به ارتفاع راهگاه بارریز بستگی ندارد و سرعت مذاب با افزایش راهگاه بارریز افزایش می یابد و Johnson دریافت که این سرعت ۲۲٪ کمتر از سرعت تئوری در سقوط آزاد میباشد [۱۷]

همچنین Wetmore و Richins دریافتند که در راهگاه با شیب صحیح، سطح مقطع پایین راهگاه کنترل کننده جریان است، به عبارت دیگر دبی جریان بوسیله ارتفاع راهگاه بارریز و سطح مقطع پایین راهگاه بارریز کنترل می گردد [۱۵]. سطح مقطع راهگاه می تواند بصورت دایره، مستطیل و مربع باشد راهگاههای دایره ای در مقطع مساوی دارای سطح کمتری نسبت به راهگاههای مستطیلی هستند و از این رو تلفات حرارتی در آنها کمتر است، ولی برخی از محققین به دلیل کاهش حرکت گردابی، راهگاههای با مقطع مستطیل را ترجیح می دهند که این پدیده فقط در مواردی که راهگاه پر نباشد و ارتفاع مذاب در حوضچه کم باشد می تواند مصداق یابد. [۱۰، ۱۱]

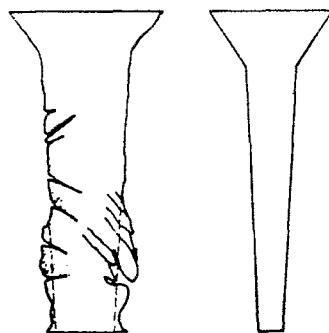
اگر راهگاه بارریز بزرگتر از اندازه لازم طراحی شود باعث پایین آمدن کیفیت قطعه و

راندمان ریختگی می شود. دلایل این امر به قرار زیر است: [۱۲]

الف: در این راهگاهها، زمان بیشتری باید سپری شود تا راهگاه از مذاب پر شود. پس هوای بیشتری به همراه مذاب وارد محفظه می شود و تولید اکسیدهای بیشتری می کند و کیفیت قطعه کاهش می دهد.

ب: سقوط آزاد مذاب در این راهگاهها به همراه هوا صورت می گیرد و موجب اکسید شدن چسب موجود در ماسه می شود که موجبات خرابی قالب را فراهم می آورد.

در شکل (۸-۲) نمونه ای از این تخریب قالب که برای یکی از آلیاژهای آلومینیوم که در قالبی با چسب رزینی urethan بوده نشان داده شده است.



شکل (۸-۲): یک راهگاه بارریز با اندازه بزرگ که بدلیل پر نبودن کامل در حین بارریزی متحمل ضایعه کاسه شوئی شده است

گاهی اوقات در عمل شیب راهگاه را معکوس انتخاب می کنند که دلیل آن این است که راهگاه روی مدل سوار می شود. در این حالت اندازه قسمت بالائی راهگاه طراحی می شود و در طول راهگاه حداکثر (۲-۱) شیب معکوس قرار می گیرد. عمل تنگه که باید طبیعتاً بمسیله سطح مقطع پائینی انجام شود در جای دیگر بوجود می آید که معمولاً به محل ورودی مذاب به راهبار منتقل می گردد. [۱۰-۱۲]

### ۳-۱-۲) طراحی حوضچه پای راهگاه:

از آن جای که سرعت مذاب در انتهای راهگاه بارریزی به حداکثر مقدار خود می رسد، لازم است که از یک چاله، در پای راهگاه بارریز برای کم کردن سرعت جریان و عوض کردن جهت حرکت آن از عمودی به افقی با حداقل حرکت اغتشاشی مذاب استفاده گردد. [۱۳]

نکته ای که در طراحی حوضچه پای راهگاه باید رعایت شود صاف بودن قسمت کف حوضچه می باشد. در صورت نیمه کروی بودن کف، جریان بصورت بسیار آشفته در می آید که مطلوب نمی باشد. [۱۱]

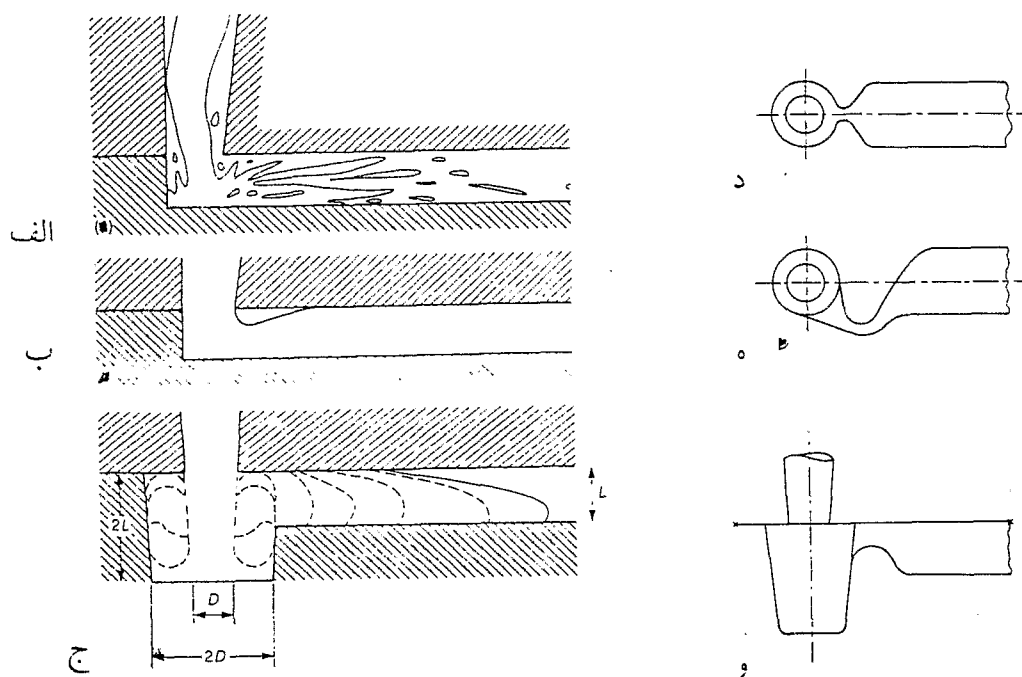
یکی از بهترین طرحهای که برای حوضچه پای راهگاه توصیه شده است شکل (الف-۹-۲) می باشد این طرح بصورتی است که جذب هوا و تلاطم سطحی را در راهبار کاهش می دهد. در این طرح نیروی وارد شده توسط جریان در برخورد با کف به دو جهت قائمه می چرخد که بطور مؤثری جریان مذاب بطرف بالا و عکس جریان مذاب حرکت می کند. این چرخش و مقاومت ذخیره شده به حبس کردن مذاب بصورت فشرده در دیواره کمک می کند سپس این مذاب به طرف راهبار بصورت متراکم حرکت می کند. [۱۲ و ۱۳]

grubokura jakson توصیه کردند که مساحت مقطع حوضچه پای راهگاه، ۵ برابر مساحت سطح مقطع پایین راهگاه بارریز و عمق آن نیز تقریباً مساوی ضخامت راهبار باشد. [۱۳ و ۱۸]

دوامی سطح مقطع حوضچه پای راهگاه را حدوداً دو برابر سطح مقطع پائین راهگاه بارریز و عمق آنرا یک برابر ارتفاع راهبار توصیه کرده است. [۲۰]

feleming قطر حوضچه را  $1/5$  برابر عرض راهبار و عمق آنرا  $1/5$  ضخامت راهبار توصیه

نموده است. [۲۱] تحقیقی توسط ایزاوا [۱۹] در سال ۱۹۹۴ برای بهینه سازی ابعاد حوضچه پای راهگاه بوسیله مدل آبی انجام گرفته است نشان می دهد که در حالتی که قطر حوضچه پای راهگاه  $1/5$  برابر قطر پای راهگاه باشد یک جریان عاری از حباب در یک زمان کوتاه بوجود می آید.



شکل (۹-۲): تصاویر تعدادی حوضچه پای راهگاه

در صورتی که ضخامت حوضچه کمتر یا بیشتر از این مقدار باشد یا یک منطقه را که در حوضچه ایجاد می گردد و یا جریان اصلی در ورودی خود به راهبار دارای نوسان می شود و در داخل حوضچه نیز راکد شدن لحظه ای اتفاق می افتد.

عمق حوضچه بارریز را نیز بین  $0/5$  تا  $1$  برابر عمق راهبار نموده است زیرا در عمق کمتر در ابتدا آشفته گی فایل کنترل نمی باشد و حوضچه های با عمق زیاد باعث ایجاد چرخشهای فراوان جریان می شود که باعث تاخیر در حذف حبابها از سیستم می گردد.

در حالتی که راهگاه شیب معکوس داشته باشد قسمت پائینی راهگاه بطور طبیعی بعنوان تنگه عمل نمی کند پس می توانیم طرح ورودی مذاب به راهبار را بصورت شکل (۹-۲). انتخاب نمود بصورتی که سطح مقطع این جزء به اندازه سطح تنگه باشد. [۱۲] در شکل (د-۹-۲) نقصی که وجود دارد این است که آلودگی اولیه مذاب گرفته نمی شود و اجازه داده می شود تا مذاب کثیف وارد راهبار شود. شکل (و-۹-۲) یکی از مؤثرترین طرحهای پای راهگاه برای عدم جذب هوا و کاهش ورودی مذاب آلوده و کثیف می باشد.

#### ۴-۳-۱-۲: طراحی راهبار:

یک راهبار مؤثر باید بصورتی باشد تا مذاب متلاطی که از راهگاه بارریز وارد شده بتواند در آن آرام شود، سیستم راهگاهی را به ترتیب پر کند و وارد محفظه قالب گردد. از این رو راهبارها باید در درجه پائینی و راهبارها در درجه بالائی قرار گیرند. در این صورت مذاب زمان کافی دارد تا به آرامی در راهبار جریان یابد و آترا پر کند. در همین زمان حبابها و سرباره های مذاب می توانند در سطح آن شناور شوند و به سطح فوقانی راهبار و راهباره بچسبند. [۱۱، ۱۲، ۱۳]

بهترین نوع راهبار نوع مستقیم آن می باشد. ایجاد هرگونه قوس در آن به ایجاد حرکت اغتشاشی مذاب کمک می کند چنانچه بکاربردن قوس در رابار اجتناب ناپذیر باشد بایستی این قوس را با حداکثر زاویه ممکن ایجاد کرد و ضمناً در راهبار انحنادار نباید راهباره را نزدیک قوس راهبار تعبیه کرد. اگر فضای قالب اجازه دهد فاصله نزدیکترین راهباره از قوس راهبار باید حداقل ۱۰ cm در نظر گرفته شود. [۲۰] Henzel نشان داده است که راهبار با سطح مقطع دایره کمترین افت حرارتی را داشته و جریان آرامی را هدایت می کند. [۲۲] ولی به منظور تسهیل در شرایط قالب گیری، شکل راهبارها بصورت

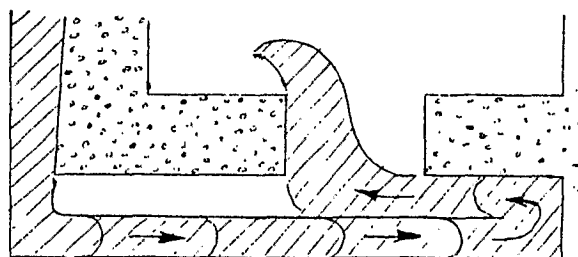
مستطیل پیشنهاد شده است. نسبت عرض به ضخامت راهبارها ۲ به ۱ داده شده است [۲۰]. عریض تر بودن سطح بالائی باعث می شود که احتمال جمع آوری پوسته های اکسیدی بیشتر گردد. [۱۳]

sirrel نشان داده است که اگر نسبت ضخامت به عرض راهبار زیاد باشد، مذاب قبل از پر کردن کامل راهبار وارد

راهباره می شود شکل (۱۰-۲). دوراه برطرف کردن این حالت، استفاده از راهبار نازک یا قراردادن صافی در ابتدای

راهبار است [۲۳]. Webster آزمایشات متعددی را برای اندازه ایده آل راهبار انجام داده است. [۲۴] او نتیجه گرفت، که دبی جریان زیاد با سرعت کم، جریانی مناسب برای ریخته گری است و نسبت بهینه مساحت راهبار به مساحت پای راهگاه بارریز در دامنه ۱/۵ تا ۳ می باشد.

راه دیگر تعیین محیط راهبار بوسیله محیط راهباره است. محیط راهباره بوسیله حداکثر سزعتی که مذاب در هنگام ورود به قالب باید داشته باشد محاسبه می شود. BNF مشخص کرده است که محیط راهبار نصف محیط راهباره باید باشد. [۱۲ و ۱۳]



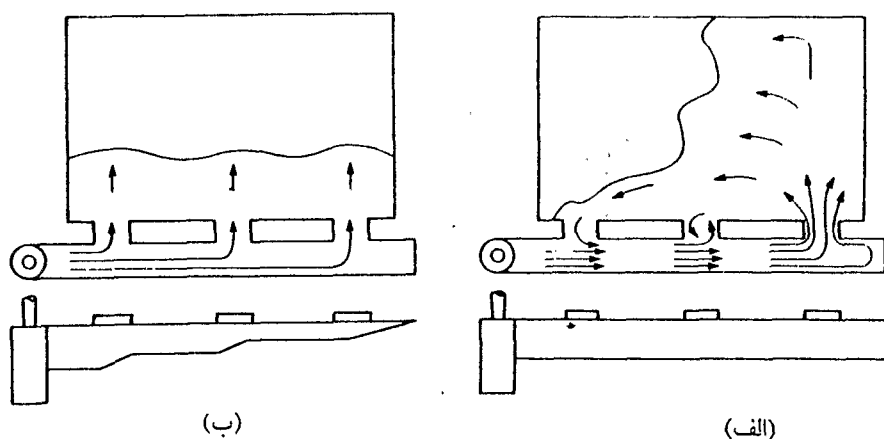
شکل (۱۰-۲): نحوه پر شدن نامناسب سیستم راهگاهی برای راهبار با نسبت ضخامت به عرض زیاد



در صورتی که به یک راهبار، چند راهبار متصل باشد، از دورترین راهبار نسبت به پای راهگاه بارریز مذاب بیشتری وارد قطعه می شود و بدلیل ایجاد یک منطقه کم فشار در مجاور راهبارهای نزدیکتر، جریان از داخل قطعه به درون راهبار برمی گردد. این پدیده به جابجائی مذاب (convection) موسوم است که نحوه پر شدن قالب در این حالت در

شکل (۱۲-۲) نشان داده شده است. [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]

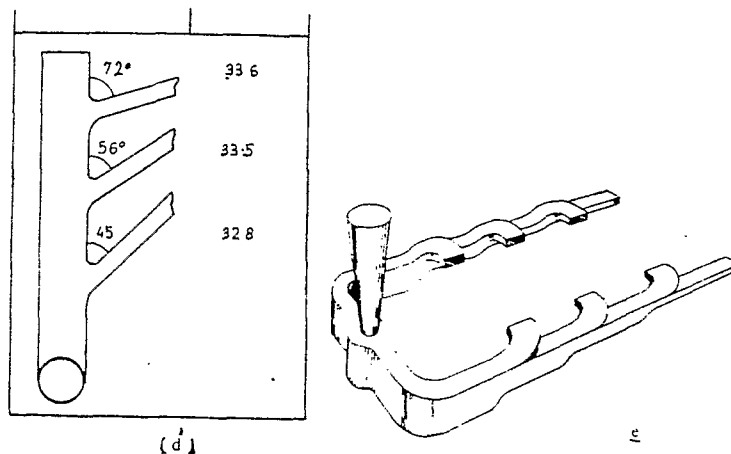
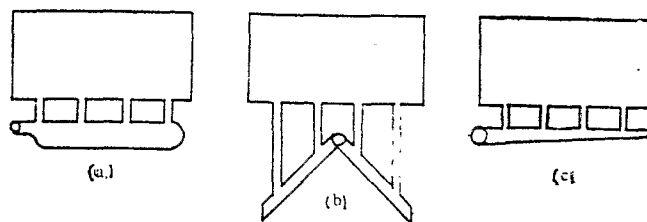
برای جلوگیری از بروز این پدیده باید سطح مقطع راهبار پس از هر راهبار کاهش یابد تا سرعت مذاب در سرتاسر راهبار یکسان شود. بنابراین میزان مذاب خروجی از راهبارها تقریباً برابر خواهد شد. نکته مهم در مورد پله ای کردن راهبار آن است که هر پله باید دقیقاً در امتداد انتهای راهبار قرار گیرد تا هر راهبار بتواند از فشار ایجاد شده در مذاب توسط پله بطور کامل استفاده کند.....میزان کاهش یک سطح راهبار از سطح مقطع راهبار پس از هر راهبار نتایج موفقیت آمیزی داشته است. شکل (۱۲-۲) تغییرات در طرح راهبار و راهبار را برای توزیع یکنواخت مذاب در راهبارها را نشان می دهد. [۲۹]



شکل (۱۱-۲): نحوه پر شدن محفظه قالب از چند راهبار

الف) راهبار ساده و مستقیم: خروج غیر یکنواخت مذاب از راهبارها

ب) راهبار پله ای، خروج متعادل و یکنواخت از راهبارها



شکل (۲-۱۲): تغییرات در طرح راهبازه و راهبار برای یکنواخت مذاب

الف) راهبار کلفت ب) راهبار دورشونده ج) راهبار شیبدار د) زاویه های متفاوت راهبازه ها و) راهبار پله ای

### ۵-۳-۱-۲) طراحی راهبازه : Gate

یکی از مهمترین اجزاء در سیستم راهگاهی، راهبازه است، نکته ای که باید در طراحی راهبازه ها در نظر گرفته شود این است که میزان سرعت حرکت مذاب در داخل آنها باید کنترل شود تا مذاب بطور آرام و بدون هرگونه تلاطمی وارد محفظه قالب شود. اگر شدت ورودی مذاب بالا باشد باعث می شود فلز فوران کند و کثیف شود و در نتیجه کیفیت از بین

می رود. [۱۱ و ۱۲]

در طول سیستم راهگاهی مذاب بالاترین سرعت خود را در پائین راهگاه دارد که بطور قابل ملاحظه ای در راهبازه باید کاهش یابد و این کاهش بوسیله افزایش سطح مقطع راهبازه ها انجام می شود. [۱۳]

با توجه به اصول طراحی سیستم غیر فشاری، راهبازه باید به سطح بالائی راهبار متصل گردد تا اول راهبار و سپس راهبار ۵ پر شود. این پر شدن رو به بالا، پیوستگی هاله مذاب را

تضمین نموده و باعث خروج هوا می گردد [۱۳، ۱۲، ۱۱]

Lehmann (۱۹۴۱) بیان نمود که راهباره ها باید همیشه عمود به راهبار قرار بگیرند تا خطر عبور سرباره از راهبار و سپس ورود آن به راهباره کاهش یابد [۱۱]. حداقل فاصله اولین راهباره تا پای راهگاه

بارریز باید در حدود  $100\text{ mm}$  باشد که با افزایش وزن قطعه بیشتر می شود.

در انتخاب محل اتصال راهباره به قطعه باید به موارد زیر توجه داشت: [۱۱]

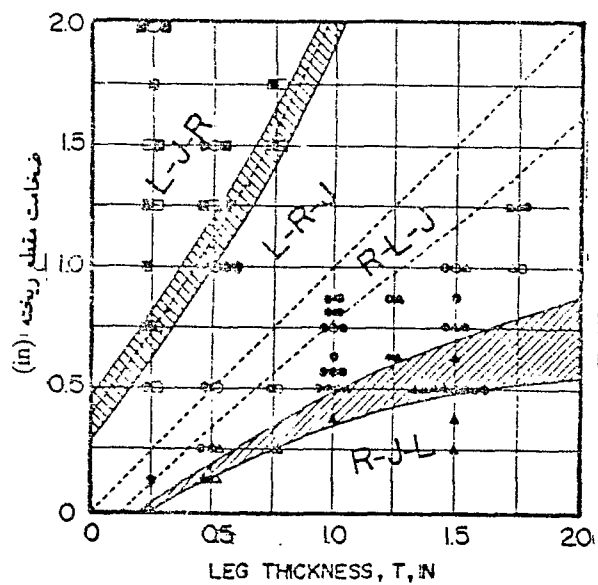
- راهباره ها باید به قسمتی از قطعه وصل شوند که مذاب قبل از برخورد با دیواره عمودی قالب، بیشترین مسافت را در کف قالب طی نماید، این امر موجب می شود که انرژی حرکتی مذاب (Momentum) به تدریج گرفته شده و از ایجاد تلاطم اضافی جلوگیری شود.

- در صورت استفاده از تغذیه گرم، راهباره به قسمت ضخیم قطعه و برای تغذیه سرد به قسمت نازک متصل می شود تا در هر حال انجماد جهتدار از قطعه به تغذیه تضمین شود.

- مذاب عبوری از قسمتهای نازک و مبردها باید کمترین مقدار باشد.

- راهباره ها باید مستقیماً در امتداد ماهیچه قرار گیرند چون احتمال چسبیدن آنها به ماهیچه وجود دارد که مضرتر از آخالهای چسبیده به دیواره قالب هستند این نحوه اتصال مشکلات انجمادی را نیز به همراه دارد.

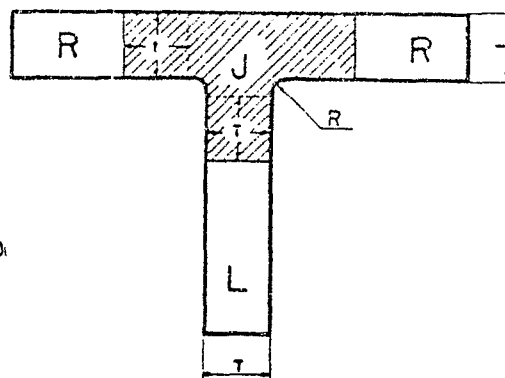
مسئله ای که باید در اتصال راهباره به قطعه در نظر داشت بوجود آمدن اتصال T می باشد یعنی نقطه گرمی که بین راهباره و قطعه بوجود می آید در نتیجه یک عیب انقباضی بوجود می آید. در حقیقت به همین علت است که اکثر ریخته گران سنتی راهباره ها را کوچک و نازک در نظر می گیرند تا از این مسئله جلوگیری کنند ولی در عوض موجب بالا



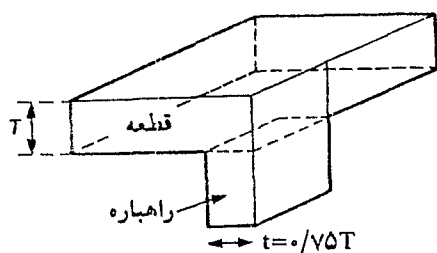
محدوده مرز بین مناطق براساس نتایج تجربی

منحنی محاسبه شده Kotschi و Loper

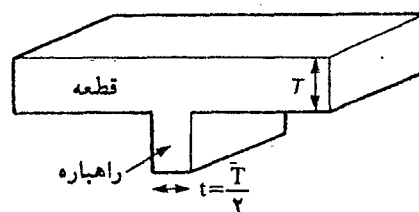
در هر یک از ۴ منطقه ترتیب (توالی) انجماد مشخص شده است.



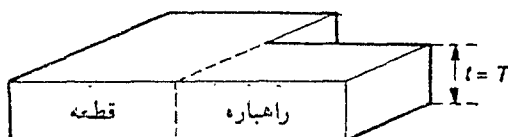
شکل (۱۳-۲): نمودار ترتیب انجماد در اتصالات T شکل



(ب) اتصال L



الف) اتصال T



(ج) امتداد قطعه

شکل (۱۴-۲): حداکثر ضخامت راهباره در اتصالات مختلف به قطعه برای جلوگیری از عیب نقطه گرم

رفتن سرعت مذاب از حد بحرانی می شود. [۱۲]

آزمایشهای دقیقی برای مطالعه مدل‌های انجمادی T شکل انجام شده است. در سال ۱۹۷۴ آقایان Kotschi و Ioper، مطالعات با ارزشی را روی شکل‌های T انجام داده‌اند که

در شکل (۲-۱۳) نشان داده شده است. [۲۵]

و محاسبات آنها بر اساس مدول انجام شده و داده‌های آنها در شکل مشخص شده است. از شکل (۲، ۱۳) نتیجه می‌شود که اگر نسبت ضخامت قطعه به راه‌بار یک باشد نقطه گرم در اتصال بوجود می‌آید ولی اگر این نسبت بیش از ۲ باشد نقطه گرم بوجود نمی‌آید و اگر نسبت کمتر از ۰/۵ باشد نقطه گرم بطور شدید دیده می‌شود. یعنی فقط وقتی که ضخامت راه‌بار به نصف یا کمتر ضخامت یا قطعه کاهش یابد، اول راه‌بار منجمد می‌شود و مشکل نقطه گرم بوجود نمی‌آید. باید توجه کرد که راه‌بار با قطعه اتصال T نمی‌دهد و برای مثال راه‌بار می‌تواند روی تمام یواره ضخیم گسترش یابد بدون اینکه عیب نقطه گرم بوجود آید شکل (ج - ۱۴-۲) [۱۵]. لازم است که ماکزیمم ضخامت راه‌بارها محدود شود و درحالتی که لازم است سطح مقطع آن بزرگ باشد می‌توان راه‌بار را در سراسر قطعه کشید.

راه‌بار هائی که اتصال L با دیواره دارند حالت بینابین را نشان می‌دهد در این حالت ضخامت راه‌بار ماکزیمم ۷۵/ برابر ضخامت قطعه باید باشد تا عیب نقطه گرم نفوذ نکند.

## ۶-۳-۱-۲) کنترل آخالها:

آخالها به موارد غیر فلزی اطلاق می شود که دارای اشکال مختلفی هستند و ایجاد اشکالات فراوانی در ریخته گری می کنند که باید به هر صورتی آنها از مذاب جدا شوند که برای اینکار روشهای مختلفی وجود دارد. برای مثال روش *swiral Trap* که بر اساس نیروی گریز از مرکز طراحی شده و می تواند آخالها را جدا کند یعنی آخالهای بادانسیته کمتر را در مرکز قرار می دهد که در نهایت شناور می شوند. این روش برای آلیاژهای سبک مثل *Mg* و *AL* بکار برده نمی شود زیرا، آخال این آلیاژها دارای دانسیته ای بیشتر نسبت به مذاب هستند.

برای جداسازی فیلمهای اکسیدی بطور کاملاً مؤثر می توان از فیلترهای اکسیدگیر که سرامیکی هستند استفاده کرد و یا فیلترهای شیشه ای استفاده کرد.

تله سرباره های سنتی وقتی بطور صحیح طراحی شده باشند می توانند مواد خارجی را که همراه اولین مذاب بداخل سیستم راهگاهی وارد می شوند را جدا کنند.

پس بر اساس نوع آخال و نوع آلیاژ می توان از طرحهای و وسایل مختلفی استفاده کرد تا از ورود آنها بداخل قالب جلوگیری شود. برای مثال در قطعات فولادی و چدنی *swiral trap* می توان بیشتر ماسه ها و نسوزها و سرباره ها را جدا کند.

### ۱-۶-۳-۱-۲ تله راهیاره ای:

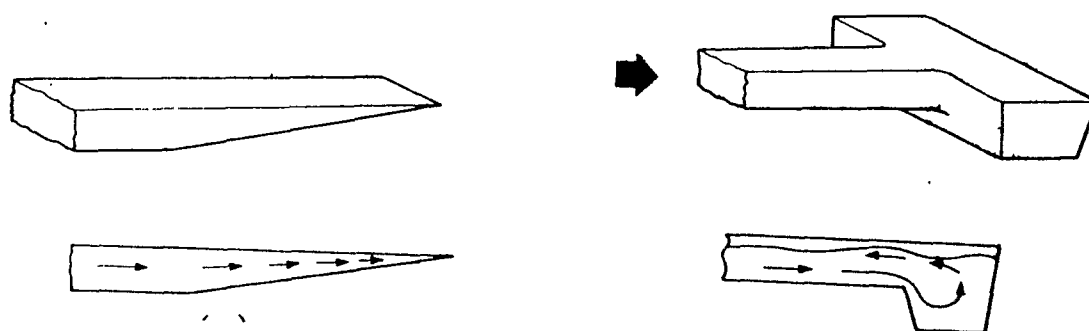
برای آلیاژهای سبک و همین طور پایه مس تله سرباره ای بکار می رود ولی برای قطعات آهنی بنام تله بنام تله شلاکه موسوم است.

در اصل تله سرباره در پایان راهبار قرار می گیرد تا اولین مذاب به آن وارد شود زیرا این مذاب بدلیل سرد بودن سیستم راهگاهی سرد می باشد و از طرف دیگر بدلیل سقوط

آزاد مذاب در راهگاه و ایجاد تلاطم سطحی اولیه زیاد، دارای اکسیدهای سطحی بسیار زیادی می باشد. این مذاب سرد و آلوده می تواند در این محفظه که در گذشته بصورت شکل a (الف-۵-۲) بوده قرار می گیرد و وارد قالب نشود.

ولی تحقیقات و تجربیات مختلف نشان داده که این کار در عمل اتفاق نمی افتد زیرا مذاب به این قسمت که می رسد شروع به چرخش مثل جریان EDDY می کند در نتیجه سرباره و آخال به این قسمت که می رسد دوباره به طور مؤثری به طرف خارج شناور می شود و در نهایت به طرف راهبار ها می رود و وارد قالب می شود. [۱۲]

برای رفع این نقص بزرگ گرفتن راهبار پیشنهاد شد ولی Ashton و Buhr در سال ۱۹۷۴ با آزمایشاتی نشان دادند که وقتی اولین مذاب به انتهای راهبار که بزرگتر از حد معمول است می رسد موجهایی را بوجود می آورد که سطح بالائی مذاب بطرف عقب بر می گردد



(ب)

انواع تله سرباره و خطوط جریان در آنها  
(الف) چاهک (ب) نوع گوه ای

(الف)

شکل (۱۵-۲):

و سرباره و کثافات را بطرف راهبار ها بر می گردانند. چنین مشاهداتی توسط Davis و Magny در سال ۱۹۷۷ بوسیله رادیوگرافی قالب در طی ریخته گری قطعات آهنی تأیید

شده است. [۲۶]

بهترین طرح برای حل این مشکل، شکل (ب-۱۵-۲) می باشد که یک تله گوه ای ساده را نشان می دهد. فلز مذاب آلوده به ظرف قسمت تنگ که تله می باشد جریان می یابد در این حالت نه برگشت موجی وجود دارد و نه چرخش EDDy تشکیل می شود. [۱۲]

اگرچه این طرح نمی تواند حجم زیادی از این مذاب را از وارد شدن به قطعه منصرف کند اما در عمل بطور مؤثری نتایج خوبی نشان داده و شدیداً توصیه می شود. در صورت لزوم می توان حجم تله را با پهن کردن کناره های گوه افزایش داد.

#### ۲-۶-۲-۱-۲ - تله گردابی: "SWirl trap"

می دانیم که مذاب و موارد ناخواسته از جمله آخالها می توانند بر اساس اختلاف دانسیته شان در اثر نیروی گریز از مرکز جدا شوند. چرخش مذاب عمل گریز از مرکز را بوجود می آورند و مذاب سنگین را به طرف خارج پرتاب می کند و خارج می سازد و سپس مذاب بطرف قطعه حرکت می کند و در مقابل مواد ناخواسته بطرف داخل و مرکز کشیده می شود.

در رابطه با استفاده از تله گردای باید موارد زیر را در نظر داشت: [۱۱-۱۲]

۱- در شکل (الف-۱۶-۲) مشاهده می شود که جهت حرکت به سمت راهبار یا راهباره ها خلاف جهت چرخش مذاب در تله است که این اشفتگی را به همراه دارد و نمی توان بطور قابل توجهی آخالها را جدا کند و در نتیجه مقدار زیادی از آخالها به همراه مذاب به داخل قالب می رود. طرح صحیح آن این است که جهت حرکت به طرف قالب با جهت چرخش مذاب در تله هم جهت باشد همانطور که در شکل (ب-۱۶-۲) آورده شده است.

۲- گاهی اوقات مدخل از محل خروجی مذاب بالاتر قرار می گیرد که این موضوع دو مشکل را پیش می آورد:

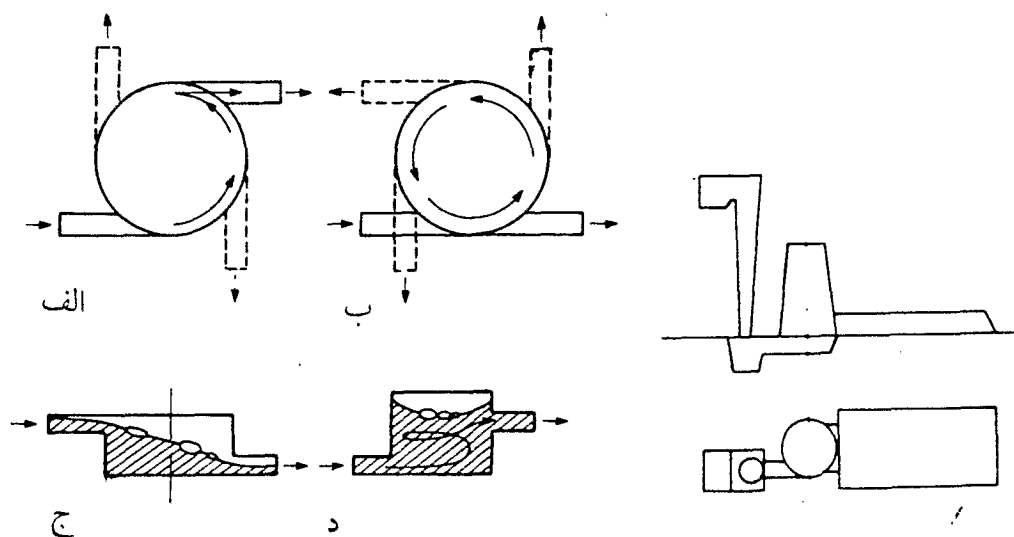


اول اینکه قبل از آنکه تله کاملاً پر شود سرباره و شلاکه روی اولین مذاب شناور می

شود شکل (ج-۱۶-۲)

دومین مسئله این است که بدلیل سرریز شدن نابهنگام فلز، شتاب به آهستگی افزایش می یابد که خیلی رضایت بخش نیست. البته این مسئله با کوچکتر گرفتن محل خروجی از محل ورودی رفع می شود.

۳- در حالتی که محل خروج مذاب درست به سقف چسبیده باشد نیز امکان خروج آخالها وجود دارد برای رفع این حالت باید محل خروجی کمی از سقف پایین تر قرار داد تا سرباره و آخالها که به سطح مذاب شناور هستند همان جا گیر کنند و وارد سیستم راهگامی نشوند شماتیک این طرح در شکل (د-۱۶-۲) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۷ شکل (۲-۱۶): موقعیتهای مختلف دهانه ورودی و خروجی تله راهبار

-طرح دیگری که می توان بکار برد ترکیب تله گردابی و تغذیه می باشد یعنی تغذیه دقیقاً روی تله قرار گیرد. [شکل (۲-۱۷)] در این حالت سرباره و آخال به بالای تغذیه می رود و قطعه نیز از تغذیه، مذاب لازم را می گیرد و تغذیه میشود.

حال این سؤال پیش می آید که اگر بخواهیم تله گردابی را بکار ببریم اندازه وابعاد آن چه میزان باید باشد .

برای این منظور به شکل (الف - ۱۸-۲) توجه کنید. ذره‌ای از نقطه P پس از حرکت چرخشی در تله به اندازه a به مرکز تله منتقل می شود و به نقطه p1 منتقل می شود. حجم فلز وارد شده به تله در هر ثانیه عبارت است از:  $Va^2$

V سرعت فلز در راهبار است و a ضخامت محل ورودی یا خروجی به تله یا از تله است .

حجم تله نیز از رابطه  $\pi r^2 A$

بدست می آید . که r شعاع تله و A ارتفاع تله می باشد .

متوسط زمان ماندن ذرات ، داخل تله با t نشان داده می شود که عبارت است از :

$$t = \frac{\pi r^2 A}{V a^2} \quad (2-10)$$

براساس قانون استوک سرعت ذره ای که در مذاب وجود دارد و می خواهد صعود یا

سقوط کند عبارت است از :

$$V = \frac{g b^2 \Delta \rho}{18 \mu} \quad (2-11)$$

که نشان می دهد این سرعت چطور با b قطر ذرات،  $\Delta \rho$  اختلاف دانسیته مذاب و آخال و

$\mu$  ویسکوزیته مذاب تغییر می کند ولی در این شرایط شتابی وجود دارد که آخالها را به

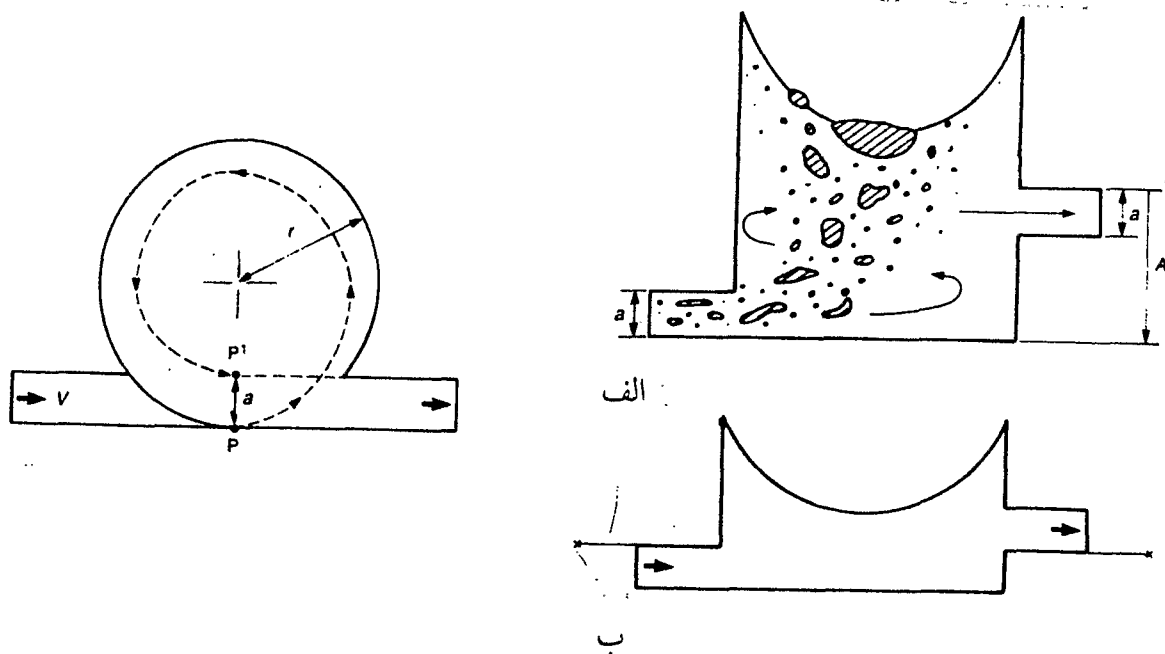
طرف مرکز تله می کشاند و آن  $\frac{V^2}{r}$  می باشد که شتاب گریز از مرکز است که صعود یا سقوط

ذره را به جلو می اندازد:

اگر بجای g در رابطه (۲-۱۱) مقدار  $\frac{V^2}{r}$  را قرار دهیم خواهیم داشت :

$$V = \frac{V^2 b^2 \Delta \rho}{18 r \mu} \quad (2-12)$$

در نهایت زمان لازم برای اینکه ذره به اندازه a به مرکز نزدیک شود عبارت است از :



شکل (۲-۱۸): نحوه جداسازی آخال توسط تله چرخشی

الف) فاصله مناسب بین دهانه ورودی و خروجی تله و جداسازی مؤثر آخال

ب) فاصله کمترین ورودی و خروجی تله

$$t = \frac{18a\mu r}{V^2 b^2 \Delta\rho} \quad (2-13)$$

پس اگر ذره های موجود در مذاب به اندازه زمان  $t$  داخل تله بمانند در اثر حرکت چرخشی به اندازه  $a$  به مرکز تله نزدیک می شوند. این زمان در روابط (۲-۱۰) و (۲-۱۳) معادل هستند، با مساوی قرار دادن این دو رابطه می توان کمترین قطر ذرات که بعد از زمان  $t$  از حرکت چرخشی باز می ایستند و به مرکز تله منتقل می شوند را بدست آورد:

$$b^2 = \frac{18a^2\mu}{\mu AV^2 \Delta\rho} \quad (2-14)$$

و اگر فرض کنیم ارتفاع تله در مینیمم مقدار خودش  $2a$  باشد (همانطور که در شکل (ب) و (۲-۲۰) نشان داده شده) می توان مقدار حداقل قطر ذرات بدام افتاده شده را بدست

آورد :

$$b^2 = \frac{9a^2\mu}{\pi AVr\Delta\rho} \quad (2-15)$$

این رابطه نشان می دهد که تله گردابی وقتی بیشترین اثر را دارد که تله دارای ارتفاع و قطر زیاد و مذاب نیز دارای سرعت زیادی باشد یعنی ارتفاع قطعه و در نتیجه ارتفاع راهگاه زیاد باشد .

### ۳-۶-۳-۱-۲ صافی ها (Filters)

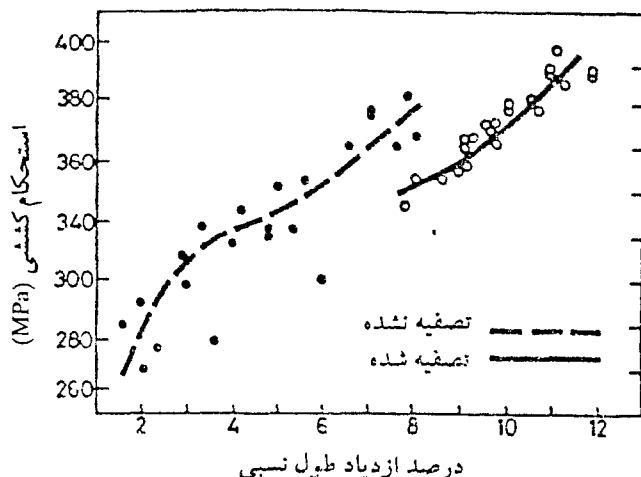
یکی از وظایف اصلی سیستم راهگاهی جدا کردن آخالها از مذاب بوسیله شناور سازی آنها می باشد . اگرچه بخاطر محدودیت اندازه قالب و طراحی سیستم راهگاهی ، طول سیستم معمولاً کوتاه است و ترکیب عوامل کوتاه بودن نسبی طول راهبار ، سرعت نسبتاً زیاد مذاب در راهبار و جریان متلاطم ، جداسازی مؤثر آخالها را مشکل می سازد . بنابراین استفاده از صافی ها در مکان صحیح می تواند بعنوان تله ای برای

آخالها عمل کند و از ورود آنها به محفظه قالب جلوگیری نماید . شکل (۲-۱۹) تاثیر

عملیات تصفیه کردن را بر خواص مکانیکی آلیاژ دور آلومین نشان می دهد . [۲۷]

-مکانیزم تصفیه مذاب و آخال گیری بوسیله صافی ها، به دو صورت است : یکی پدیده غربال کردن که نوعی آخال گیری مکانیکی است و در آن از ورود آخالهای بزرگتر از دهانه تخلخل صافی جلوگیری می شود و دیگری پدیده متالورژیکی جذبی و رسوب آخالها بر روی مواد صافی است که به نوع صافی بستگی دارد .

جداسازی آخالهای جامد مستلزم عدم ترشوندگی صافی و آخال بوسیله مذاب است . در صورتی که آخالهای مایع ، صافی را باید به صورت فیزیکی ترکند تا انرژی فصل مشترک مذاب آخال کاهش یابد .



شکل (۱۹-۲): محدوده خواص مکانیکی آلیاژ  $AL-4/5Cu-1/5mg$

در حالت تصفیه شده و تصفیه نشده

## ۲-۱-۳-۷ - نمودار برای محاسبه سطوح مقاطع اجزای

### سیستم راهگاهی:

سطح مقطع و ابعاد اجزای یک سیستم راهگاهی صحیح را می توان با داشتن اطلاعات اولیه ای از قطعه ریختگی و قالب محاسبه نمود. محققان بسیاری سعی نموده اند تا ارتباط بین این متغیرها را به صورت جداول، نمودارها و یا نمودارهایی نشان دهند.

دو نمونه از این نمودارها که بوسیله تیم تحقیقی مرکز تکنولوژی فلزات انگلیس بدست آمده است در شکل (۲-۲۱) و (۲-۲۰) آورده شده است. [۱۲]

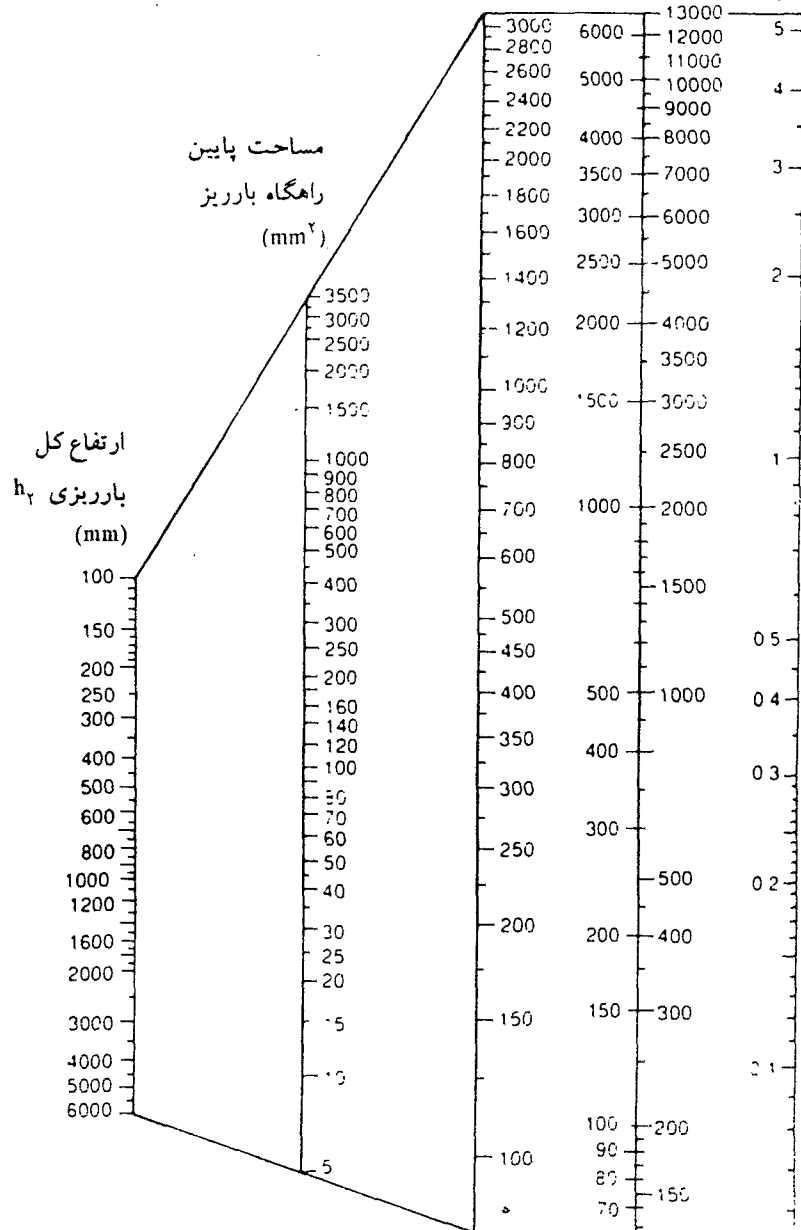
با داشتن آهنگ متوسط بارریزی، قطعه و ارتفاع کل بارریزی، سطوح مقاطع راهبارها، راهبارها، بالا و پائین راهگاه بارریز برای سیستم راهگاهی آلیاژهای چدن خاکستری، فولاد و آلومنیوم از نمودارها، بدست می آید.

با توجه به این حقیقت که در شروع ریختن آهنگ بارریزی بیشتر و ماکزیمم است و

سپس به سمت صفر میل می کند، فرض شده که آهنگ اولیه  $1/5$  برابر آهنگ متوسط است، این نمودارها بر اساس آهنگ بارریزی متوسط رسم شده است فرض بعد در تهیه این نمودارها شامل افزایش  $20\%$  به ابعاد راهگاه می باشد این فرض به دلیل عمل اصطکاک می باشد که جریان مذاب را به حدود  $80\%$  مقدار تئوری و در حالت بدون اصطکاک می رساند پس مقدار ضریب تخلیه حدود  $0/8$  در نظر گرفته شده است. برای مثال اگر بخواهیم قطعه ای از AL را با سرعتی معادل  $1 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$  بریزیم پس سرعت اولیه بارریزی حدود  $1/5 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$  بوده است. طبق این نمودارها سطح مقطع ورودی و خروجی راهگاه به ترتیب  $8\text{cm}^2$  و  $4\text{cm}^2$  بدست می آید.

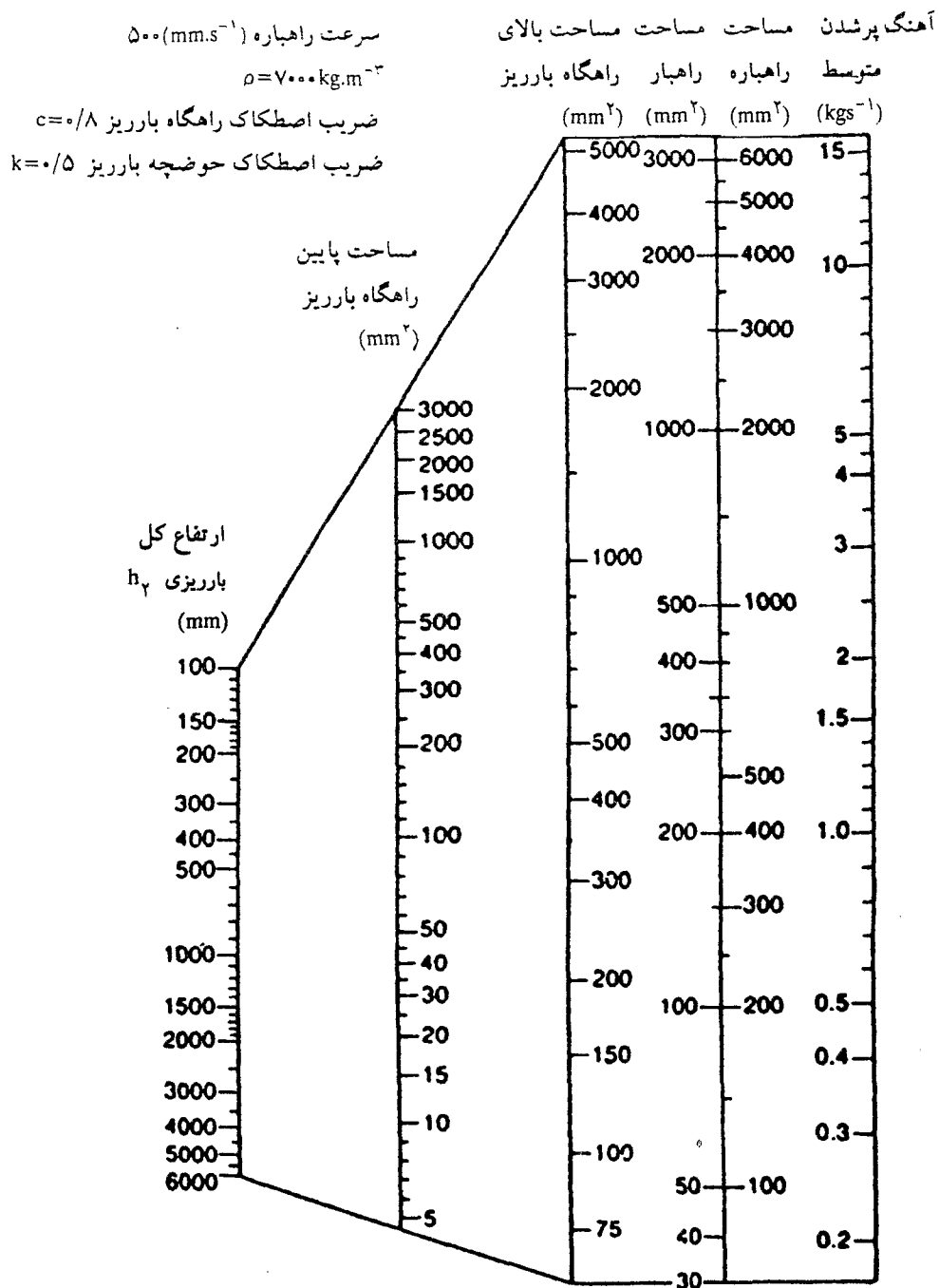
سرعت راهبار  $250 \text{ (mm s}^{-1}\text{)}$   
 $\rho = 2400 \text{ kg.m}^{-3}$

اهنگ پرشدن    مساحت    مساحت    مساحت بالای  
 متوسط    راهبار    راهگاه بارریز  
 $(\text{kg s}^{-1})$      $(\text{mm}^2)$      $(\text{mm}^2)$      $(\text{mm}^2)$



شکل (۲-۲۰): نمونه‌ای از نمودارهای ارائه شده برای محاسبه سطوح مقاطع سیستم راهگاهی

(آلیاژهای آلومینیم (۱۹۹۳, Campbell)



شکل (۲۱-۲) ب) نمونه‌ای از نمودارهای ارائه شده برای محاسبه سطوح مقاطع سیستم راهگاهی آلیاژهای چدن

خاکسری و فولاد



## ۲-۲- روشهای بررسی حرکت مذاب

### ۱-۲-۲- مقدمه :

پدیده جریان مذاب در حین پر شدن قالب در فرآیند ریخته گری وبه دنبال آن پدیده انجماد مذاب از جمله عوامل مهمی هستند که تاثیر به سزائی بر کیفیت ریختگی خواهند گذاشت .

اصولاً طرح یک سیستم راهگاهی بدین صورت انجام می گیرد تا اطمینان داده شود که پر شدن محفظه قالب بطور کامل با جریان آرام ،عدم حبس هوای داخل محفظه قالب ،عدم ورود هوا به داخل سیستم راهگاهی ،حداقل سایش مواد قالبگیری و..... صورت می گیرد .بنابراین پدیده پر شدن قالب می تواند به طور مستقیم بر طرح سیستم راهگاهی و سیستم خارج کردن هوای قالب مؤثر باشد.[۱و۲]

متأسفانه بررسی حرکت مذاب در داخل قالب مشکل می باشد.

اولاً: قالب مات می باشد بنابراین پر شدن قالب را نمی توان مستقیماً مشاهده نمود، ثانیاً: فلز مذاب دارای دمای بالائی می باشد، بنابراین تکنیکهای موسوم اندازه گیری جریان نمی توانند بکار برده شوند.

ثالثاً: شرایط شدیداً متغیر می باشد.

رابعاً: پر شدن قالب خیلی سریع انجام می شود بنابراین زمان برای بررسی حرکت مذاب خیلی کوتاه می باشد. [۱-۵-۷].

بنابراین با توجه به موارد فوق الذکر انتخاب سیستمی که بتواند تحت شرایط فوق به ارزیابی و بررسی الگوی جریان مذاب و پر شدن محفظه قالب بپردازد از اهمیت ویژه ای برخوردار است .

بنابراین ابداع روشهایی که بتواند این موانع را از میان بردارد احساس شده است. کلاً

می‌توان روشهای بررسی مذاب

در قالب را به دو روش عمده تقسیم کرد که عبارتند از شبیه سازی فیزیکی و شبیه

سازی بوسیله مدل‌های ریاضی که هر یک از این دو گروه شامل زیرگروههایی هستند.

## ۲-۲-۲- روشهای فیزیکی:

### ۱-۲-۲-۲- مشاهدات مستقیم جریان مذاب:

در این روش در یک سمت قالب از شیشه پیرکس (شیشه های مقاوم به شوک حرارتی)

استفاده می شود. هنگامی که فلز مذاب وارد محفظه قالب گردید به کمک یک دوربین فیلم

برداری با سرعت بالا که در مقابل صفحه شیشه ای شفاف قرار دارد، روند حرکت مذاب

والگوی پر شدن قالب در مراحل زمانی مختلف ثبت و ضبط می گردد. [۲،۴]

مثالهایی از این روش در زیر و در شکل‌های (۲-۲۳) و (۲-۲۲) نشان داده شده‌اند. [۲۸]

در شکل (۲-۲۲) با استفاده از شیشه پیرکس و فیلمبرداری مستقیم به بررسی حرکت

مذاب چدن در داخل یک چرخ سه پره پرداخته شده است. راهباره در این چرخ در کف

قرار دارد و در مقابل یکی از پره ها واقع شده است. مذاب ابتدا بصورت جت وارد شده

ولی بدلیل وجود نیروهای ثقلی حرکت مذاب در پره کندتر شده و مذاب در قسمت

محیطی چرخ پیشرفت می کند با اینحال ابتدا پره ها پر می شوند و بعبارتی مذاب بصورت

هم سطح صعود نمی کند در نهایت آخرین قسمتی که پر می شود در بالاست، بعبارتی

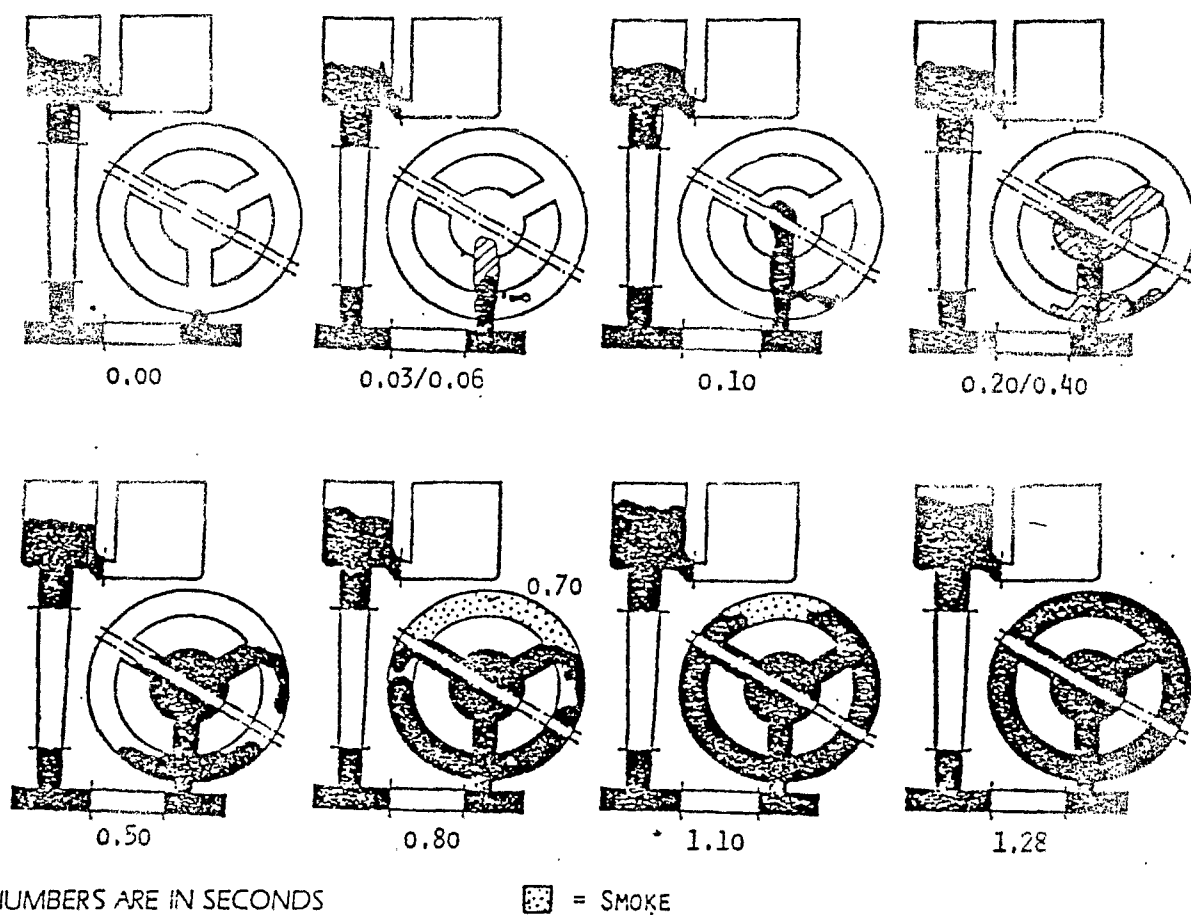
بالا ترین قسمت چرخ می باشد. در همین تحقیقات [۳] عکس حالت فوق نیز مورد بررسی

قرار گرفته است بدین صورت که راهباره در بالا و بین دو پره قرار داده شده است و نحوه

ورود مذاب در تصاویر شکل (۲-۲۳) ملاحظه می شود.

در مواردی که قالب گیری در جهت افقی انجام می گیرد با توجه به گران قیمت بودن صفحه شیشه ای پیرکس، قالب بصورت روباز ساخته می شود و بنابراین عملیات فتوگراف از بالا انجام می گیرد.

اشکال این روش در این است که فقط الگوی جریان دویعدی می تواند مشاهده شود بنابراین در هنگامی که قطعات شکل پیچیده ای دارند کاربردشان محدود می شود. از طرف دیگر بدلیل عدم خروج گاز وانتقال حرارت از قسمتی که بوسیله پیرکس پوشیده



شکل (۲۲-۲): نمایش مراحل پر شدن چرخ سه بازو توسط روش فتوگراف

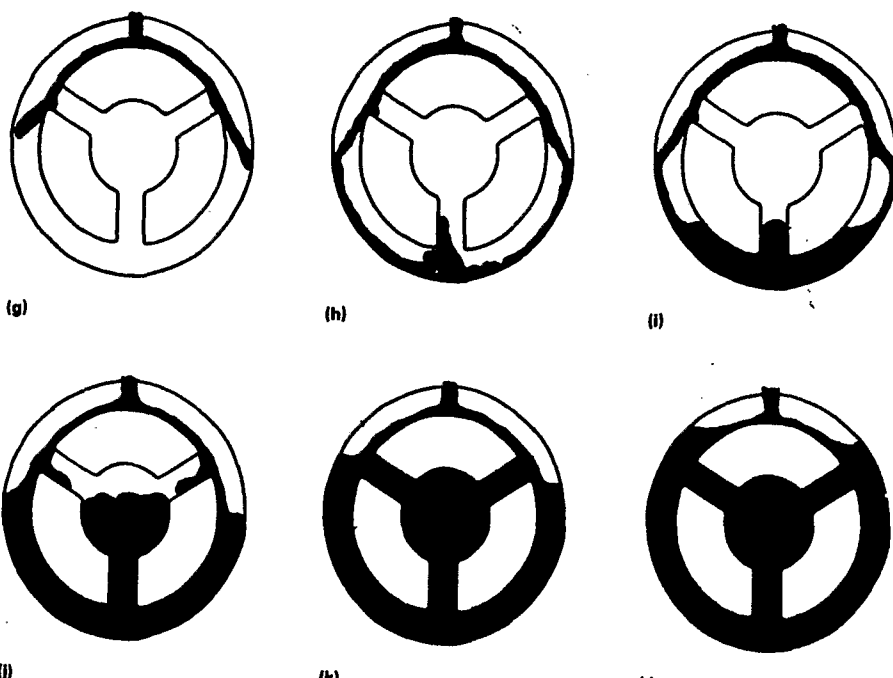
شده است شرایط با واقعیت مطابقت ندارند. [۱] این مسئله در مورد قالبهای توپر که در

آنها مسئله خروج گاز اهمیت فراوان دارد نمود ویژه ای پیدامی کند وکل نتایج را تحت

تاثیر قرار می دهد [۳۰].

بنابراین این روش نسبت به کاربرد اشعه X قابلیت کمتری دارد ولی نسبت به شبیه سازی با

آب مطلوب تر است .



شکل (۲۳-۲) : نمایش مراحل پرشدن چرخ سه بازو توسط روش فتوگراف (راهباز در بالا)

## ۲-۲-۲-۲) کاربرد اشعه X در بررسی جریان سیال :

دو حسن مدل فیزیکی بکارگیری تکنیک X-ray می باشد که مستقیماً الگوی پرشدن را در

قطعات واقعی مشخص می کند. در این روش ابتدا مدل قطعه در داخل درجه قالب گیری و

توسط مواد قالب گیری، قالب گیری می شود. سپس با نصب فیلم رادیوگراف در زیر درجه

قالب گیری و قرار دادن درجه قالب گیری در معرض پرتو اشعه X مراحل مختلف بارریزی

و پر شدن محفظه قالب بر روی فیلم های رادیوگراف ثبت می گردد. [۲۹، ۱۰].

این روش داده های بیشتری را می تواند به ما بدهد اما بدلیل گرانی زیاد و همچنین مشکلات کار کردن با آن کمتر بکار برده می شود.

### ۳-۲-۲-۲ مدل سازی بوسیله آب :

در این روش از طلق برای ساختن مدل قطعه استفاده می شود و آب جایگزین فلز مذاب می شود. این روش نسبتاً ارزان است و بکارگیری آن آسان می باشد. [۲ و ۴]  
برای اینکه مدل سازی بوسیله آب معقول صورت بگیرد یعنی برای اینکه یک مدل فیزیکی با یک مدل واقعی مطابقت کند باید دو شرط زیر برقرار باشد. [۱]

۱: مشابهت هندسی : یعنی مدل و سیستم واقعی دارای شکل یکسان باشد ولی از لحاظ نسبت ابعادی لزومی به برابر بودن نمی باشد .

۲: مشابهت دینامیکی : یعنی نیروهای مؤثر در دو سیستم با هم مطابقت داشته باشد .  
شرط اول عموماً به سادگی قابل دستیابی می باشد ولی شرط دوم هنگامی بر آورده می شود که بعضی از اعداد بدون بعد برای مدل و سیستم واقعی مساوی باشد .

در جدول (۱-۲) [۱] لیست بعضی از اعداد مناسب که برای مدل سازی سیستم های ریخته گری بکار می روند آورد ، شده است .

در جدول (۲-۲) مقدار بعضی از اعداد بدون بعد را برای سیستم فولاد و سیستم مدل سازی شده با آب با مقیاس شکلی ۱:۱ وجود دارد .

از این دو جدول می توان مطالب زیر را استخراج نمود :

یک سیستم تک فازی ساده ، بسادگی می تواند توسط آب مد سازی شود بشرط آنکه ، هم اندازه ، هم شکل ، در نظر گرفته شوند . چون عدد رینولدز و فروید برای دو سیستم آب و فولاد یکی است پس با هم مطابقت دارند .

کاربرد	تعریف	عدد
جریان سیال، تلاطم درونی	$\rho VD/\mu$	Reynolds
موجهای سطحی	$V^2/gD$	Froude
سرعت حبابها در مذاب	$\mu L^2/\rho D\gamma$	Morton
تشکیل حباب، تلاطم سطحی	$V^2\rho L/\gamma$	Weber
انتقال جرم	$\mu/\rho D$	Schmidt
جدا شدن وزنی ذرات از سیال	(D: ضریب انتقال جرم) $L^3 g \rho(\rho_s - \rho)/\mu^2$ $= Re^2.Fr$	Galileo

جدول (۲-۱): تعدادی از اعداد بدون بعد و کاربرد آنها

اعداد	فولاد	آب
Reynolds	۱	۱/۱
Froud	۱	۱/۰
Weber	۱	۳/۱
Norton	۱	۴۴
ModiFiedFroud	۱	۷

جدول (۲-۲): محاسبه تعدادی از اعداد بدون بعد برای فولاد و آب

از این دو جدول می توان مطالب زیر را استخراج نمود:

یک سیستم تک فازی ساده، بسادگی می تواند توسط آب مد سازی شود بشرط آنکه، هم اندازه، هم شکل، در نظر گرفته شوند. چون عدد رینولدز و فروید برای دو سیستم آب و فولاد یکی است پس با هم مطابقت دارند.

بررسی پارامترهای دیگری در سیستم های پیچیده و چند فازی، همانند سیستم های

حاوی حبابهای گازی، جابجائی و حرکت مذاب، بهم پیوستن آخالها و... در صورت امکان پذیر بودن، قابل انجام است [۱].

از آنجائیکه عدد فروید دقیقاً و عدد رینولدز یا اختلاف جزئی برای فولاد و آب یکسان است می توان سرعت بارریزی

وزمان بار ریزی و سرعت جریان را به راحتی توسط آب مدل سازی کرد [۲].

البته این مدل سازی نمی تواند جواب دقیق و مطلوبی بدهد چرا که تاثیرات تنش سطحی و همچنین چسبندگی بین دیواره قالب و سیال و تاثیر انتقال حرارت بر مدل حرکت مذاب و مسائلی از این قبیل در این مدل سازی در نظر گرفته نمی شود

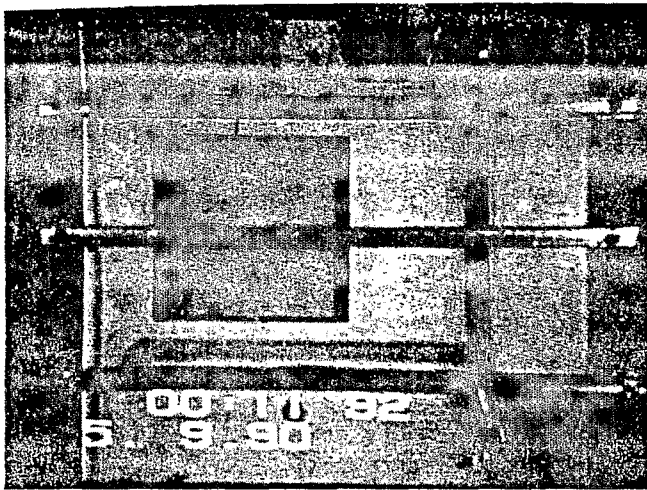
بنابر این در بررسی های دقیق بکار بردن این روش مناسب نمی باشد. یکی از کاربردهای این روش بررسی صحت جوابهای حاصل از مدلهای ریاضی شبیه سازی می باشد.

شبیه سازی با آب را می توان بوسیله همان قالبی که برای مشاهده مستقیم تهیه شده است، انجام داد. نمونه ای از این عمل را در شکل (۲۴-۲) دیده می شود. در این عمل صفحه ای به ابعاد  $200 \times 200 \times 50$  میلی متر در قالبی از جنس کوارتز قالب گیری شده است و برای عدم نفوذ آب ماسه آن با سیلیکون مایع پوشش داده شده است و صفحه ای از پلکس گلاس طرف دیگر قالب را تشکیل داده است.

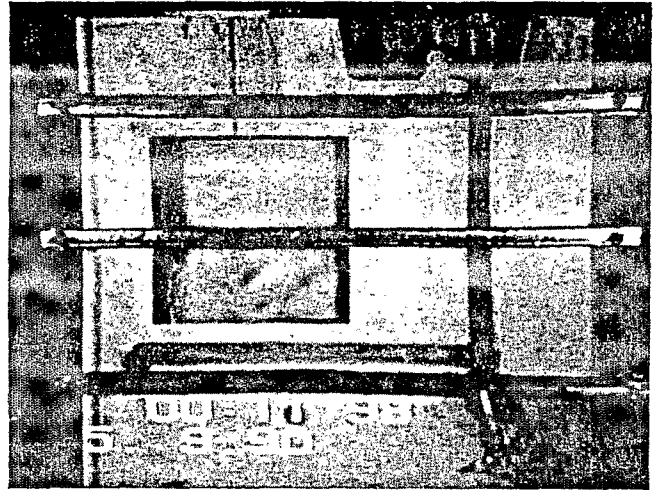
#### ۲-۲-۲-۴ روش الکتریکی (کاربرد LED) Light Emitting Diode

روش کار بدین صورت است که ابتدا قالب به سلولهای تقسیم می گردد و در هر سلول یک سنسور که همان سیمهای مسی می باشد قرار می گیرند که به قطب آند یک باتری وصل می شوند و سیم از کاتد به حوضچه پای راهگاه کشیده می شود. دیاگرام شماتیک

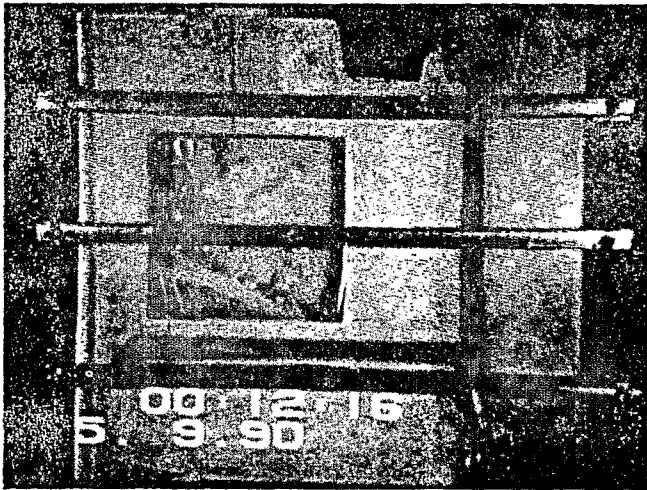




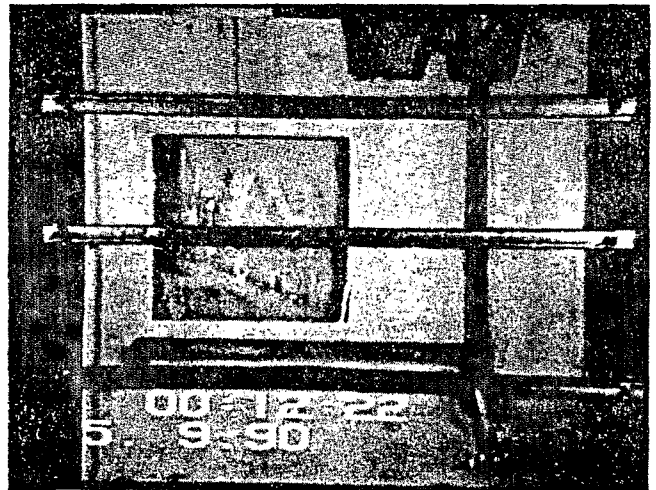
Time = 0.26 sec



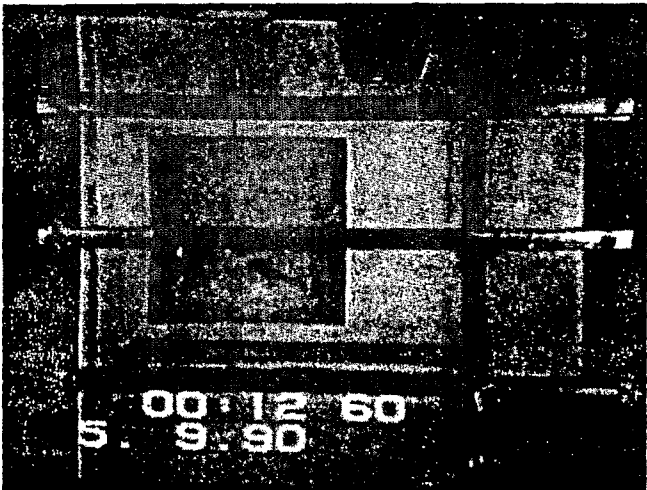
Time = 0.32 sec



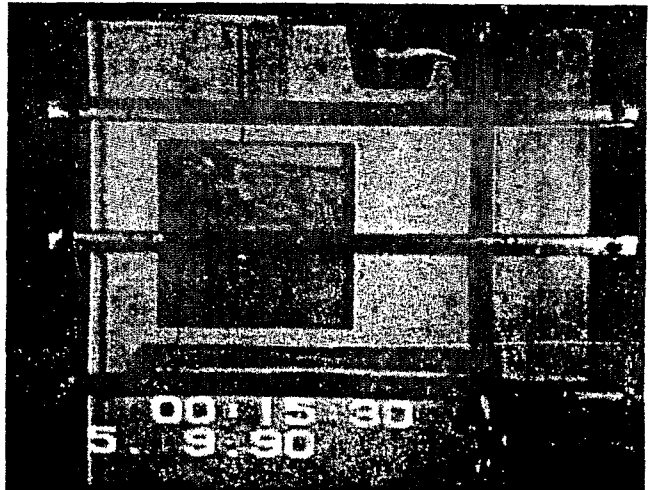
Time = 0.50 sec



Time = 0.56 sec



Time = 0.94 sec



Time = 3.64 sec

شکل (۲-۲۴): الگوی جریان پر شدن قالب توسط آب

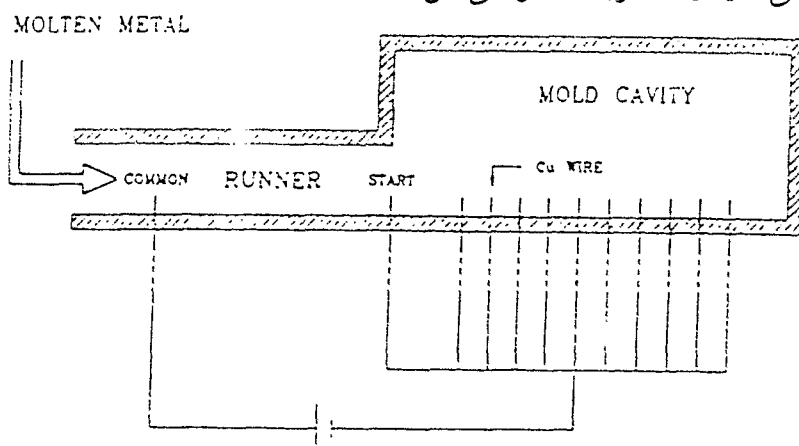
برای مدار بکار برده شده در شکل زیر نشان داده شده است [۷،۳،۱]



هنگامی که فلز مذاب وارد محفظه قالب می گردد ابتدا با سیم آغازگر درمدخل ورودی قالب برخورد می نماید .

همانطور که فلز مذاب در داخل محفظه قالب به حرکت خود ادامه می دهد با سیمهای مختلف در قسمتهای مختلف قالب برخورد می نماید . در هر مرتبه که جریان مذاب با سیم

برخورد می نماید یک جریان الکتریکی بین



شکل (۲۵-۲): تصویری شماتیک از مدار الکتریکی استفاده شده در دستگاه اندازه گیر مدل جریان

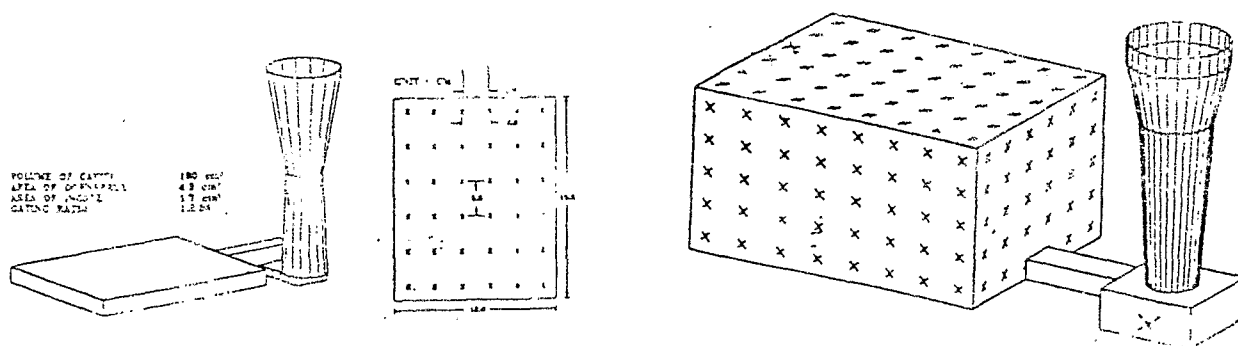
سیم آغازگر (کاتد) و سیم آند برقرار می گردد حال اگر بتوان زمان اتصال و تماس فلز مذاب را با هر یک از سیمهای

ثبت نمود خواهیم دانست که چه موقع فلز مذاب به قسمتهای مختلف محفظه قالب رسیده است و بنابراین می توان الگوی جریان مذاب و پرشدن محفظه قالب را تعیین نمود . نکته قابل توجه این است که چطور زمانهای اتصال و تماس را ثبت نمود . بدیهی است که زمان پر شدن محفظه قالب بهمیار کوتاه بوده و این عمل بسیار سریع اتفاق می افتد . بنابراین تکنیک ثبت اطلاعات می بایست بتواند در فاصله های خیلی کوتاه زمانهای اتصال ، عمل ثبت کردن را بخوبی انجام دهد .

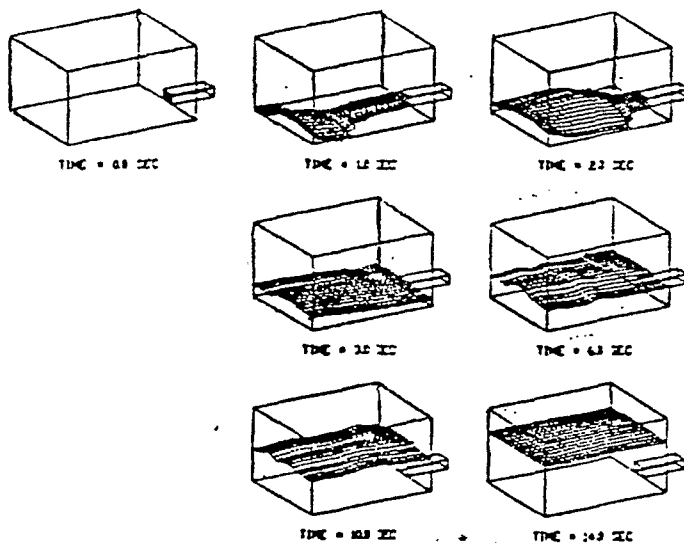
دو تکنیک مختلف برای ثبت زمانهای اتصال بکار رفته است . در یکی از این تکنیک ها

از دیودهای نوری (LED) بعنوان نشانگر برخورد مذاب با سیم استفاده می گردد.

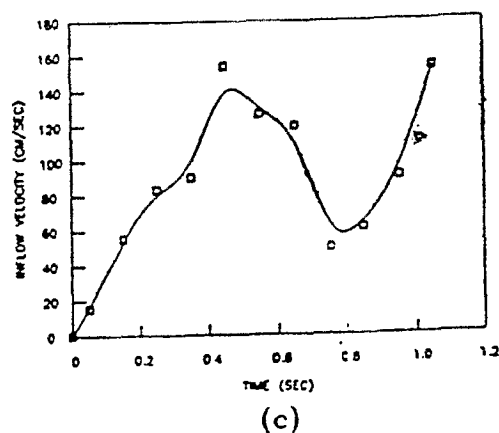
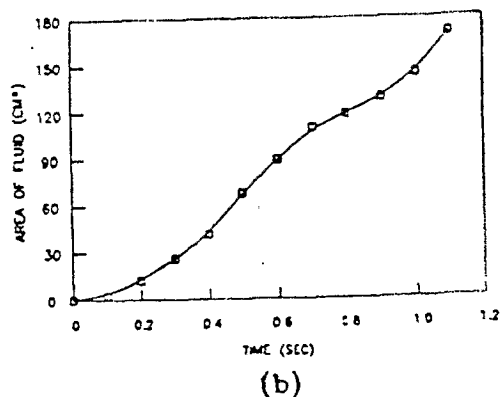
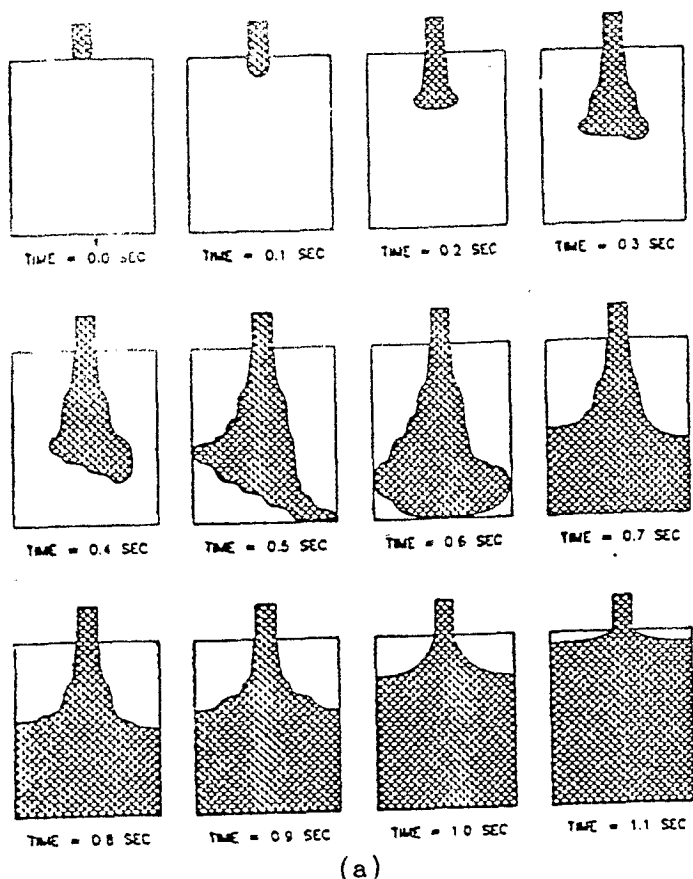
هنگامی که جریان الکتریکی بین سیم آغازگر



شکل (۲-۲۶) تصویری شماتیک از محفظه قالب، شکل (۲-۲۷) تصویری شماتیک از محفظه قالب



شکل (۲-۲۸) مدل پرشدن سه بعدی با استفاده از زمانهای اتصال ۲۳۷ عدد سیم



شکل (۲-۲۹): نتایج اندازه گیری مربوط به قالب شکل (۲-۲۷)

(a) مدل پر شدن قالب

(b) نمودار مساحت اشغال شده بر حسب زمان

(c) ارتباط میان سرعت جریان داخلی و زمان

و سیم آند برقرار می گردد LED متصل به سیم آند روشن می گردد. حال از یک دروین با سرعت بالا که می تواند عمل عکس برداری را تا ۱۰۰۰ فریم در ثانیه انجام دهد استفاده می گردد. شکل (۲-۲۷)

روش دیگر جهت ثبت زمانهای اتصال استفاده از سیستم کسب اطلاعات به کمک کامپیوتر می باشد. بسته به پیچیدگی شکل قطعه ریختگی و همچنین دقت در اندازه گیری - تعداد سیاهای حساس که در داخل محفظه قالب استفاده می گردد متغیر است. شکل (۲-۲۶) و

شکل (۲۷-۲)

این روش کاملاً با شرایط واقعی تطابق دارد زیرا تمام شرایط حقیقی ریخته گری مهیا می باشد از مزایای این روش این است که بوسیله این روش می توان الگوی سه بعدی جریان را بدست آورد [۱]. نمونه ای از بررسی حرکت مذاب در حالت سه بعدی در شکل (۲۸-۲) آورده شده است.

با توجه به شکل ملاحظه می شود که از سیمهای سنسور در هر شش سطح قالب ریخته گری استفاده شده است تعداد سیمهای بکار رفته در این حالت ۲۳۷ عدد می باشد. به کمک سیستم کسب اطلاعات و زمانهای ثبت اتصال سیمهای سنسور، مدل پر شدن قالب که از این اطلاعات کامپیوتری مشتق شده است در شکل (۲۸-۲) نشان داده شده است.

### ۳-۲-۲ - شبیه سازی ریاضی :

امروزه شبیه سازی جریان مذاب در سیستم راهگامی و محفظه قالب یکی از اقتصادی ترین روش ها در کاهش ضایعات و ابزار بسیار دقیق برای طراحان در صنعت ریخته گری می باشد.

بهره گیری از کامپیوتر در زمینه طراحی و تولید به انقلابی نوین در صنایع، و مشابه آنچه که پس از انقلاب صنعتی در اثر کار برد ماشین پدید آمد، منجر گردیده است. افزایش بهره وری سرمایه گذاری ها، کاهش حجم آزمایشات همراه با سعی و خطا در دستیابی به طراحی بهینه و تدوین تکنولوژی، ایجاد روشهای نوین و موثر کنترل فرآیندهای تولید، زمینه سازی بهتر برای ظهور خلاقیت و ابتکار مهندسين، کاهش مدت زمان میان طراحی و تولید و مهمتر از همه صرفه جوئیهای اقتصادی از دست آوردهای تحویلی است که تحت تأثیر کاربرد کامپیوتر در صنعت پدید آمده است.

بطور کلی شبیه سازی عبارت است از پیش بینی چگونگی تغییرات یک سیستم با استفاده از روابط تئوری و محاسبات ریاضی، برنامه هائی که به منظور شبیه سازی یک پدیده تهیه می شوند حاوی سه مرحله عمده در ساختار می باشند: [۳۱]

۱: پیش پردازشگر preprocessor

۲: پردازشگر processor

۳: نمایشگر post processor

پیش پردازشگر عمدتاً شامل تعریف محیط شبیه سازی و شکل مورد نظر به برنامه و همچنین تعریف شرایط لازم جهت شروع محاسبات شبیه سازی می باشد.

پردازشگر شامل انجام محاسبات عددی (متناسب با نوع و روش شبیه سازی و روابط تئوریک حاکم) بر روی اطلاعات اولیه (تعریف شده در مرحله پیش پردازش شگر) و بدست آوردن اطلاعات عددی جدید می باشد. نمایشگر شامل انجام پردازش اطلاعات حاصله از مرحله پردازشگر و نمایش آن به بهترین وضع و نحوه قابل فهم برای استفاده کننده می باشد.

اگر این سه قسمت در داخل یک نمودار گنجانده شوند نمودار صفحه بعد بهترین بیان را در کوتاهترین زمان دارد. شکل (۲-۳۰)

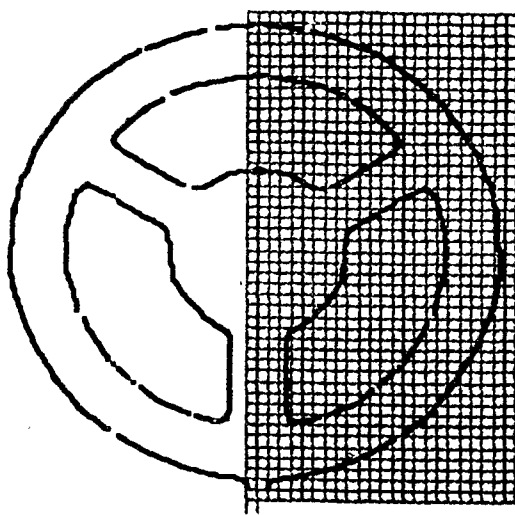
قسمت A.I یک سری بلوکهای اولیه برای ساخت قطعه نهائی بوجود می آید و رسم شکل سه بعدی انجام می پذیرد. در قسمت A.II مش بندی شکل قطعه (یا شبکه بندی) صورت می گیرد و در قسمت A.III پس از وارد شدن اطلاعات ترموفیزیکی قالب و مذاب از منطقه B، حل معادلات مربوط به هر شبیه سازی صورت می گیرد که از آن جمله می توان به حل معاملات خطوط همدمائی و پارامترهای دیگر بر حسب تابعی از زمان



اصولاً برای آنالیز سیال مذاب در یک محفظه قالب ریخته‌گری مراحل زیر انجام می‌شود.

(۱) شبکه بندی:

ابتدا مطابق شکل قطعه ریختگی مورد نظر شبکه بندی می‌گردد. شبکه بندی به دو صورت چند ضلعی های منظم و چند ضلعی های نامنظم می‌تواند انجام گیرد. به هر یک از این چند ضلعیها یک سل گفته می‌شود که دارای ابعاد بسیار کوچک می‌باشند. اگر تعداد تقسیمات در جهت  $X$  و  $Y$  را به ترتیب  $n$  و  $m$  در نظر بگیریم دارای  $N=m.n$  سل خواهیم بود خواص هر سل ثابت فرض شده و به نقطه مرکز سل انتساب داده می‌شود که به هر یک از این نقاط گره گفته می‌شود و معادلات حاکم روی این گره اعمال می‌شوند، لذا تعداد زیادی معادله داریم که با حل همه این معادلات مشخصات میدانهای مورد نظر بدست می‌آید.



شکل (۲-۳۱): شبکه بندی چرخ سه بازو ریختگی

۲-۲-۳-۲ روش حل عددی:

تکنیکهای عددی موفقی برای شبیه سازی پرشدن قالب همانند

(marker and cell)، (solution Algorithm - volumel-of flid)، solA- vof

(simpilfield marker and cell) SMAC, MAC

وجود دارند [۴] که بدلائل زیر عموماً از متد SOLA Vof از روشهای اختلاف محدود

FDM استفاده می شود: [۶]

الف - امکان اجرا روی کامپیوترهای شخصی

ب) راندمان سرعت بالا و حافظه اشغال شده کمتر نسبت به روشهای قدیمی

SMAC, MAC

ج) امکان تعمیم معادلات از فضای دو بعدی به سه بعدی

د) ساده بودن ترکیب روابط انتقال حرارت و انتقال جرم در این روش

۳-۲-۲ فرمولهای ریاضی:

در شبیه سازی پرشدن قالب، قوانین حاکم بر پدیده جریان سیال عبارتند از بقای مومنتم،

بقای جرم و بعضی شرایط مرزی که در ذیل بطور مختصر به آنها می پردازیم: [۶]

بقای مومنتم:

معادله مومنتم در یک سلول واحد بصورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{aligned} V \frac{\partial u}{\partial t} + \left[ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] &= v \left( A_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - A_x \frac{\partial p}{\partial x} + V g_x \\ V \frac{\partial v}{\partial t} + \left[ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] &= v \left( A_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) - A_y \frac{\partial p}{\partial y} + V g_y \\ V \frac{\partial w}{\partial t} + \left[ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= v \left( A_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - A_z \frac{\partial p}{\partial z} + V g_z \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲-۱۶)}$$

که  $w, v, u$  اجزاء سرعت در جهات مختصات  $z, y, x$  می باشند و  $p$  فشار،  $t$  زمان،  $g$  شتاب

ثقل،  $p$  دانسیته سیال،  $V$  ویسکوزیته جنبشی می باشند.



معادلات توصیف شده در بالا فرمول عمومی قانون بقای مومنتم می باشد. و قابل بکارگیری در هر مکانی در داخل سیال می باشد. در این معادلات دیفرانسیلی تغییرات مومنتم در واحد حجم را نشان می دهد.

### قانون بقای جرم:

قانون بقای جرم در اصل همان معادله پیوستگی می باشد. با توجه به اینکه معادله مشخص و قابل بکارگیری برای تعیین میدان فشار وجود ندارد. این قانون بطور غیر مستقیم میدان فشار را مشخص می کند [۴]. معادله پیوستگی تحت این شرایط بصورت زیر نوشته می شود.

$$A_x \frac{\partial u}{\partial x} + A_y \frac{\partial v}{\partial y} + A_z \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2-17)$$

### ۴-۳-۲ تعیین سطح آزاد:

از آنجائیکه برای یک طراح و تکنولوژیست قطعات ریختگی، محل سطح آزاد مذاب (جبهه پیشروی مذاب) در مراحل مختلف بار ریزی دارای اهمیت ویژه ای است. سعی می شود بوسیله یکی از روشهای گوناگون ردیابی سطح آزاد, SOLA-VOF, SMAC, ... MAC [۴] روند حرکت سطح آزاد مذاب مشخص می شود.

در روش SOLA-VOF که یکی از مناسب ترین روشها برای ردیابی سطح آزاد مذاب است، کمیت جدید کسر حجمی سیال F به معادلات قبلی اضافه شده و همراه آنها حل می گردد، مقادیر F بوسیله معادله زیر مشخص می شود [۶]

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V} \left[ A_x u \frac{\partial F}{\partial x} + A_y v \frac{\partial F}{\partial y} + A_z w \frac{\partial F}{\partial z} \right] = 0 \quad (2-18)$$

که در آن F: کسر حجمی سیال، V بردار سرعت و t زمان است.

بدین صورت که مقدار F مربوط به هر سل بیان کننده ماهیت مکانی مذاب می باشد یعنی

اگر برای سلی مقدار  $f$  برابر یک باشد این سل کاملاً پراست و محل آن در داخل مذاب می باشد اگر مقدار  $F$  بین صفر و یک باشد این سل نیمه پراست و قسمتی که دارای مذاب است متعلق به مذاب زیر آن است و قسمت خالی سل متعلق به فضای بالای سطح مذاب است به عبارتی این سل بیان کننده سطح آزاد مذاب می باشد. [۶]

### ۵-۳-۲ شرایط مرزی:

روی مرزهای شبکه بندی اجزاء سرعت نرمال روی مرز دیوار قالب صفر می باشد و اگر مرز یک مدخل ورودی باشد سرعت دارای یک مقدار مشخص می باشد. برای هر نوع مرز آزاد مشتق های نرمال سرعت، به روی مرز صفر می باشد. و برای مرزهای غیر آزاد، مماس جزء سرعت بر روی مرز صفر می باشد. [۴]

روی مرزهای سطوح آزاد، مماس تنش صفر است و نقش نرمال بوسیله فشار سطحی سل ارضا می شود که مقدارش بوسیله تابع فشار پشرفته که بوسیله  $xue$  ساده شده است، بدست می آید [۴]. این تابع احتیاجی به جهت نرمال سطح آزاد ندارد. این بررسی روی سطح آزاد در مسائل سه بعدی را اسانتر می کند، زیرا در حالت سه بعدی سطوح آزاد اغلب همدیگر را قطع می کنند و مرزهای آزاد روی هم تا می شوند. [۴]

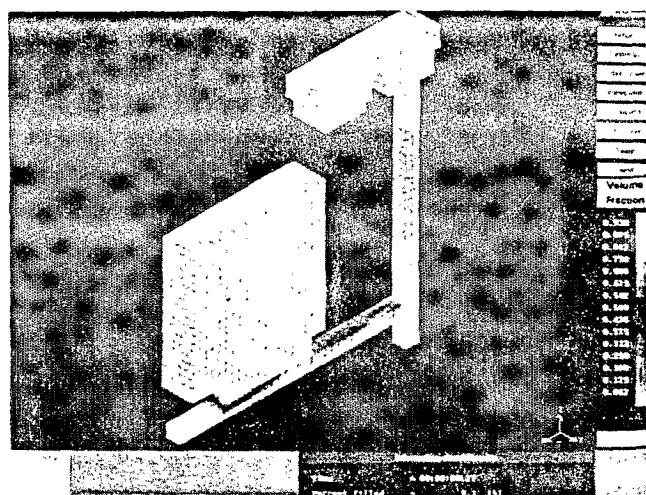
### ۶-۳-۲ روش حل معادلات:

بعد از تبدیل معادلات دیفرانسیل پاره ای به معادلات جبری ساده توسط یکی از روشهای صریح (Explicit) یا ضمنی (Implicit) معادلات قابل حل خواهند بود. [۶]

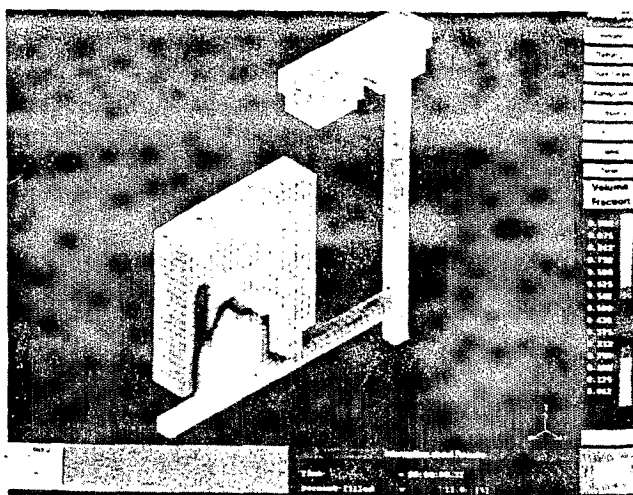
بعد از حل معادلات جبری با رسم گرافیکی داده ها و تجزیه و تحلیل آنها به مدلسازی و شبیه سازی الگو جریان مذاب می پردازیم. مقادیر کسر حجمی  $f$  و داده های مربوط به میدانهای فشار و سرعت می تواند محل سطح آزاد مذاب را پیش بینی کنند.

نمونه‌ای از شبیه سازی در شکل (۲-۳۲) آورده شده است که در آن یک صفحه به ابعاد  $200 \times 200 \times 50$  میلی متر انتخاب شده است در این آزمایش [۴] الگوی جریان آب و شبیه سازی آن در این قطعه مقایسه شده است .

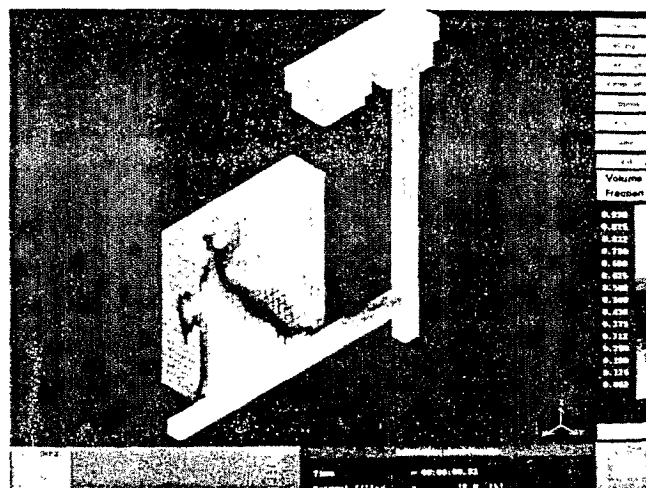
مقایسه بین اندازه گیریهای تجربی و نتایج محاسباتی نشان می دهد که تکنیکهای توسعه یافته در کارهای اخیر دقیق و قابل بکارگیری می باشند.



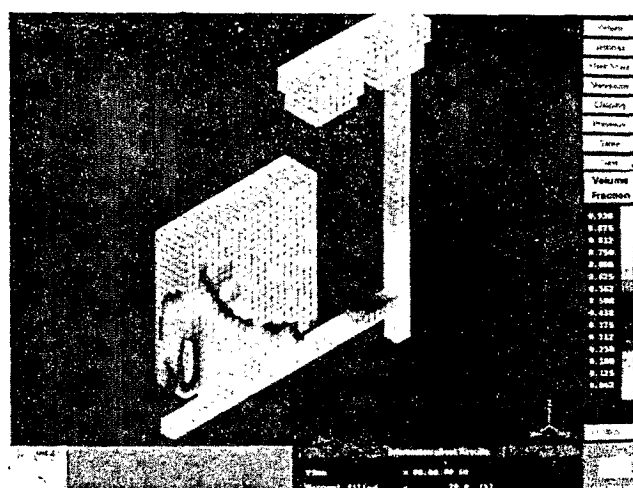
Time = 0.27 sec



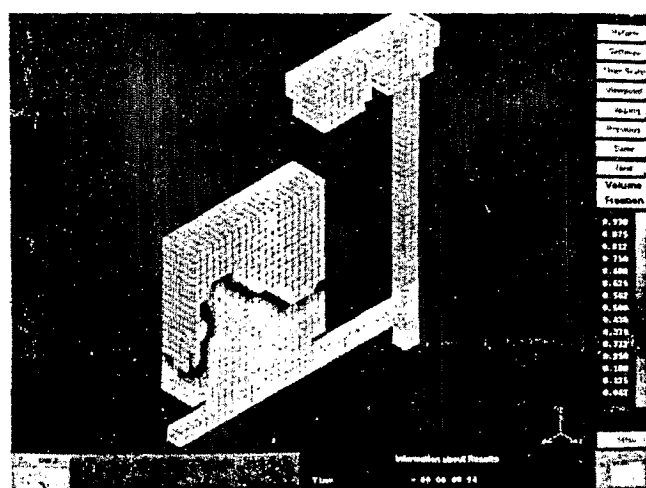
Time = 0.32 sec



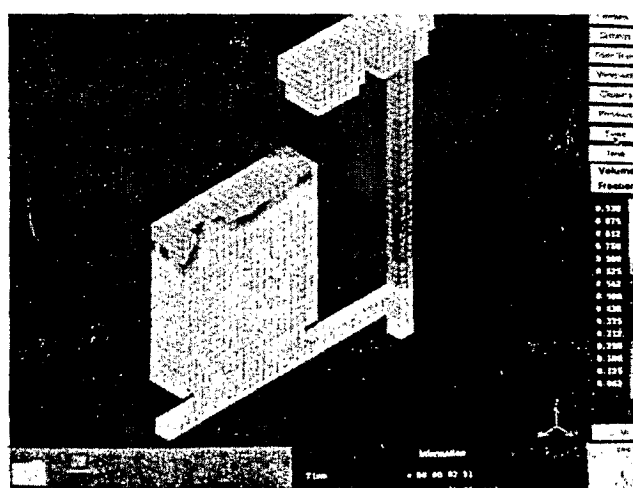
Time = 0.53 sec



Time = 0.60 sec



Time = 0.94 sec



Time = 2.81 sec

شکل (۳۲-۲): شبیه سازی الگوی جریان پر شدن قالب ۲۰×۲۰×۵cm

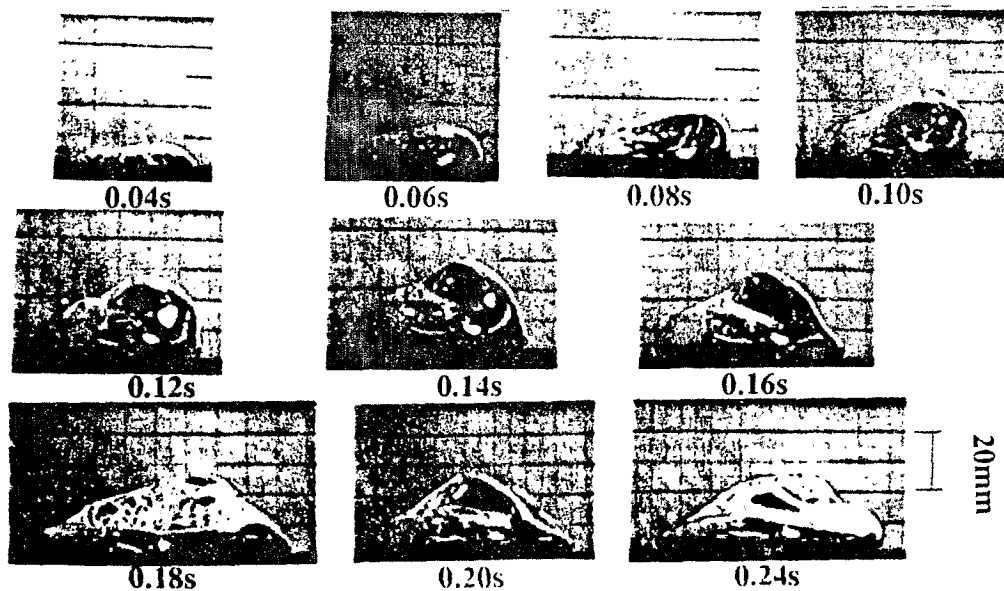
## ۲-۳- عوامل موثر در مدل حرکت سیال در قالب:

### ۲-۳-۱: اندازه و ابعاد سیستم راهگاهی:

عمده‌ترین تأثیر اندازه و ابعاد سیستم راهگاهی، تعیین سرعت ورودی مذاب به محفظه قالب می‌باشد. طی تحقیقی که توسط Runyoro، بوتراپی و Campbell در سال ۱۹۹۲ [۹و۸] جهت مشاهده چگونگی جریان مذاب خروجی از یک راهبار در سرعت‌های مختلف با استفاده از فیلم برداری فوران آزاد مذاب آلومینیم نسبتاً خالص (۹۹۵٪) از راهبار، عمودی انجام گرفت، آنها مشاهده نمودند که (شکل‌های (۲-۳۵)(۲-۳۴)(۲-۳۲) در سرعت‌های کمتر و برابر  $0.5 \text{ m.s}^{-1}$ ، خروج مذاب از راهبار بدون هرگونه اغتشاش و تلاطم سطحی است، در واقع مذاب بدون پاره شدن اکسید سطحی و یا تا خوردن آن، به آرامی روی خود قرار می‌گیرد. در حالی که با افزایش سرعت، ابتدا چروک خوردگی سطحی و سپس رشد قارچی شکل مذاب مشاهده می‌شود که سبب پاره شدن اکسید سطحی و ورود آن به توده مذاب می‌شود. در سرعت‌های بالاتر مذاب به صورت فواره‌ای از راهبار خارج می‌شود. [۹و۸]

سرعت ورودی  $0.5 \text{ m.s}^{-1}$ ، تحت عنوان «سرعت بحرانی» نامیده می‌شود.

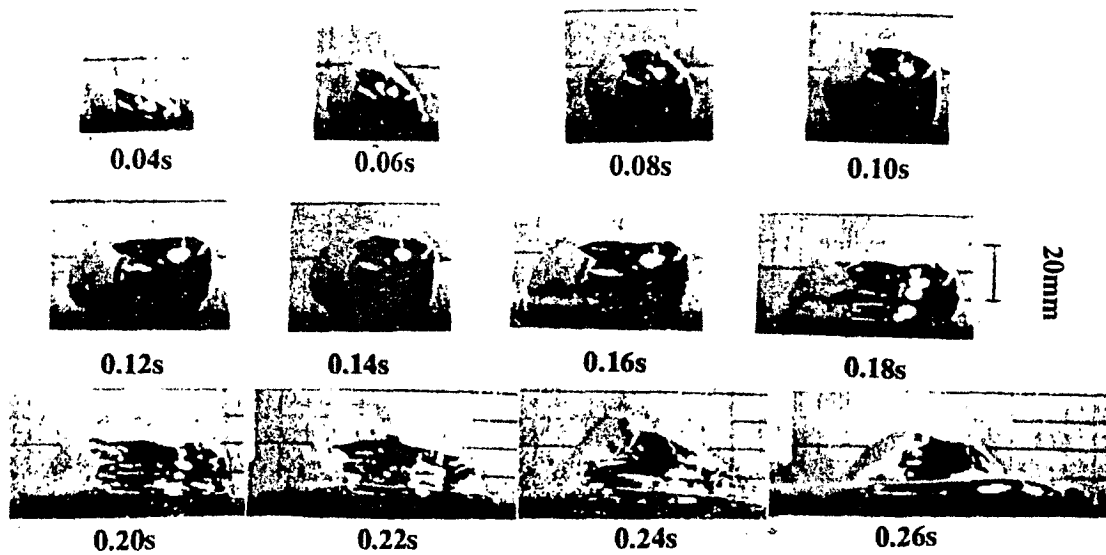
طی تحقیقات مشابهی که توسط حلوائی [۳۲] در سال ۱۹۹۵ انجام گرفت این سرعت بحرانی در حدود  $50 \text{ mm.s}^{-1}$ ، اندازه‌گیری شده، طی همین تحقیق نشان داده شده که با استفاده از صافی، سرعت بحرانی تا  $10 \pm 375 \text{ mm.s}^{-1}$  افزایش می‌یابد. دلیلی این امر با استفاده از آزمایش رادیوگرافی با اشعه ایکس تا حدی مشخص شده است. همانطور که از شکل (۲-۳۶) دیده می‌شود، صافی می‌تواند جریان سریع و متلاطم موجود در راهبار را به یک جریان آرام و یکنواخت تبدیل کند.



دبی بارریزی ۱-۳mm-۶-۱۰x۷۹۲ ارتفاع موثر ۸۰mm

مساحت راهبارة: ۱۹۶۴mm<sup>۲</sup> مساحت تنگه: ۴۰۰mm<sup>۲</sup>

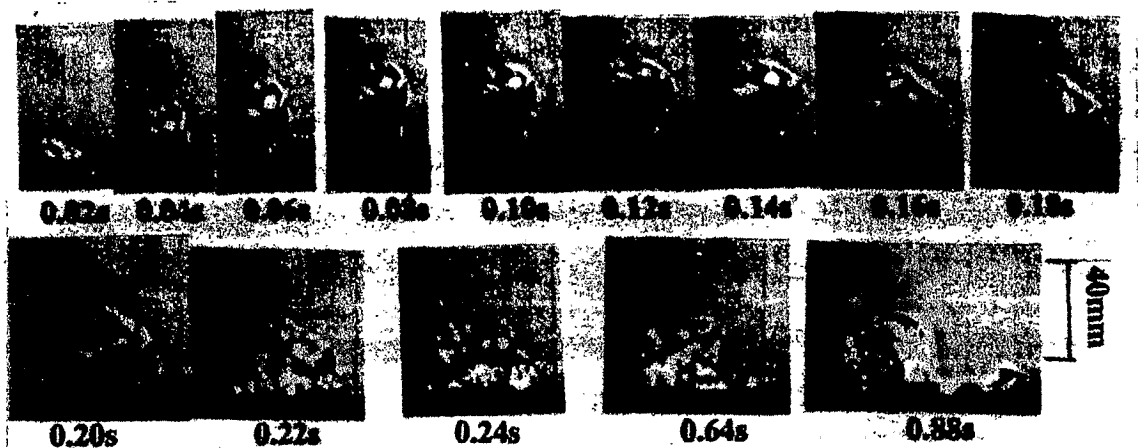
شکل (۲-۳۳) لحظات مختلف فوران آزاد مذاب از راهبارة با سرعت اولیه ۱-۳۵m.s/



دبی بارریزی ۱-۳mm-۶-۱۰x۷۹۲ ارتفاع موثر ۸۰mm

مساحت راهبارة: ۷۰۷mm<sup>۲</sup> مساحت تنگه: ۴۰۰mm<sup>۲</sup>

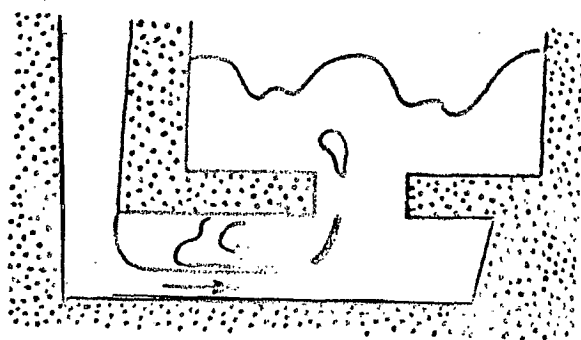
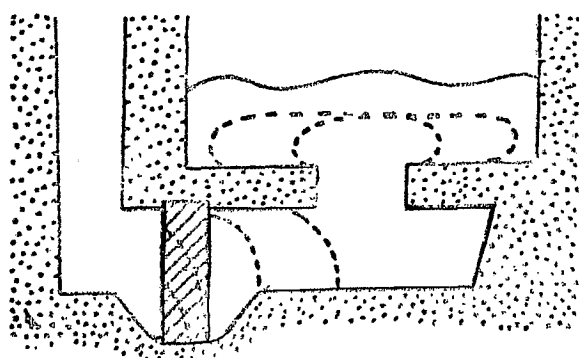
شکل (۲-۳۴) لحظات مختلف فوران آزاد مذاب از راهبارة با سرعت اولیه ۱-۵m.s/



دبی بارریزی ۱-S-۳m-۶-۱۰×۴۴۵ ارتفاع موثر ۸۰mm

مساحت راهبار: ۳۱۵mm<sup>۲</sup> مساحت تنگه: ۴۰۰mm<sup>۲</sup>

شکل (۲-۳۵): لحظات مختلف فوران آزاد مذاب از راهبار با سرعت اولیه ۰/۶m.s



(ب)

(الف)

شکل (۲-۳۶): الف) پرشدن متلاطم محفظه قالب قبل از پرشدن کامل راهبار و روی هم افتادن لایه های اکسیدی

ب) تاثیر صافی در آرام کردن جریان مذاب

xue و HANSEN در سال ۱۹۹۳ [۲] تحقیقات خود را جهت مشاهده چگونگی جریان

آب خروجی از یک راهبار در اندازه های مختلف با استفاده از فیلم برداری از حرکت آب

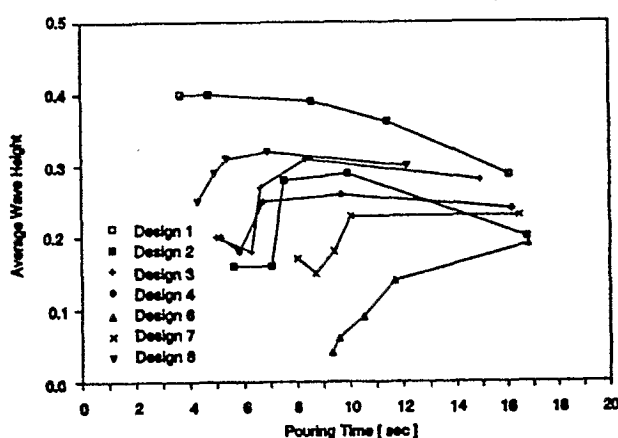
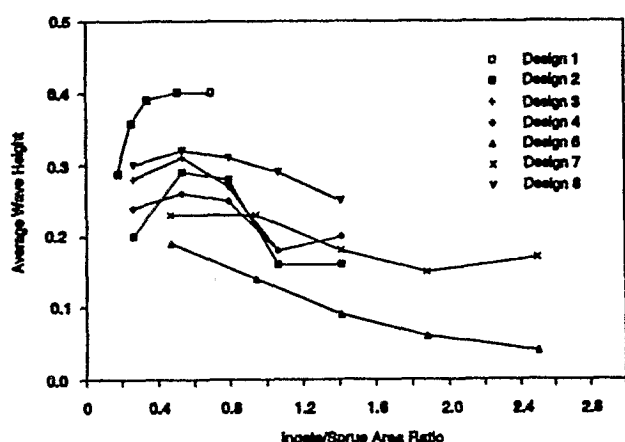
در قالب با راهبار عمودی انجام دادند.

آنها مشاهده نمودند که در همان لحظه ورود آب به قالب، قارچی شدن آب داخل قالب



اتفاق می افتد و سپس به مرور زمان این ارتفاع کاسته می شود.

آنها هشت طرح مختلف سیستم راهگای با اندازه های مختلف استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که تأثیر نسبت  $S:R:G$  روی مقدار ارتفاع آب داخل قالب، مهم تر از اندازه راهبار می باشد. همانطور که از شکل (۲-۳۷) نتیجه گرفته می شود در جایی که نسبت  $G:S$  حدود ۵/۰ می باشد بیشترین مقدار ارتفاع آب را داریم و در جایی که  $G:R$  حدود یک است و  $G:S$  حدود ۲ کمترین ارتفاع فوران آب دیده می شود.



شکل (۲-۳۸): ارتفاع متوسط موج بر حسب زمان بارریزی شکل (۲-۳۷): ارتفاع متوسط موج در نسبت های

مختلف مساحت و راهبار به راهبار

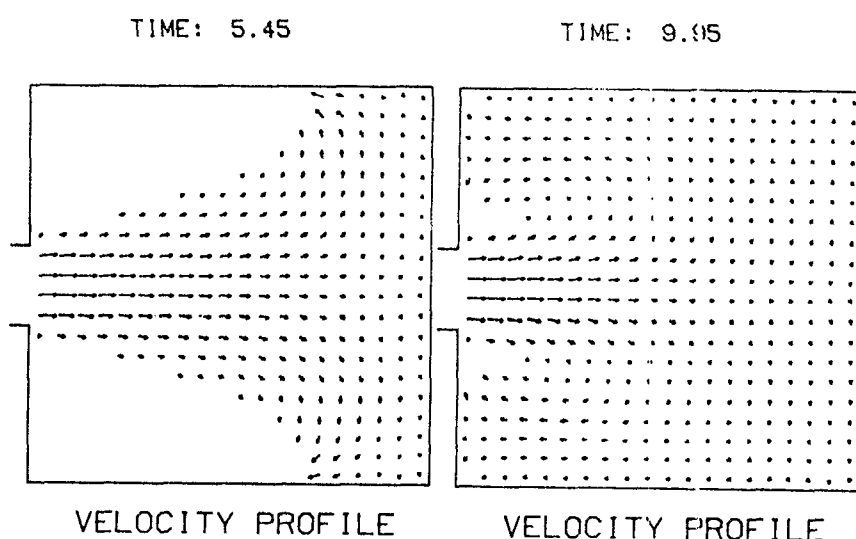
شکل (۲-۳۸) میزان ارتفاع متوسط فوران را بر حسب زمان بارریزی نشان می دهد اولین نکته قابل استخراج کم بودن ارتفاع فوران برای سیستم های غیر فشاری می باشد (در زمانهای مساوی).

در سال ۱۹۸۳ توسط W.S Wang و R.A.Stoehr [۳۳] الگوی پرشدن یک صفحه  $20 \times 20$  cm در دو حالت شبیه سازی شد. در اولین حالت هنگامی که مذاب وارد محفظه قالب می شود قبل از اینکه به دیواره مخالف بر خورد کند کمی گسترش می یابد. وقتی آن



به دیواره روبرو برخورد می کند به دو جریان قرینه در طول این دیواره تقسیم می شود و سپس در طول دو دیواره کناری به طرف عقب حرکت می کند. دو نقطه اطراف راهبار آخرین نقاطی هستند که پر می شوند. شکل (۲-۳۹).

در حالت بعد دبی جریان حدود ده برابر بیشتر از حالت قبل می باشد. مذاب ورودی به محفظه قالب شبیه به فوران می باشد.

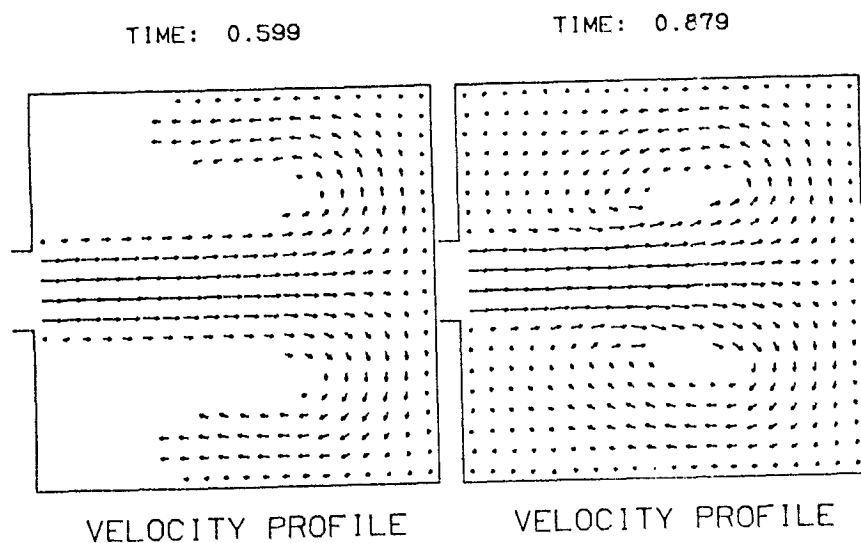


شکل (۲-۳۹): الگوی پرشدن صفحه ۲۰×۲۰cm

آن به دیواره روبروی برخورد می کند و در طول آن دیواره بطور قرینه جریان می یابد و سپس در طول دیواره های کناری جریان می یابد تا به دیواره کنار راهبار برخورد کند. آخرین منطقه ای که پر می شود اطراف خط مرکزی جریان می باشد. شکل (۲-۴۰)

## ۲-۳-۲- طرح سیستم راهگاهی:

هندس و شکل سیستم راهگاهی فاکتور بسیار مهمی است که روی نحوه پرشدن قالب اثر دارد. [۲].

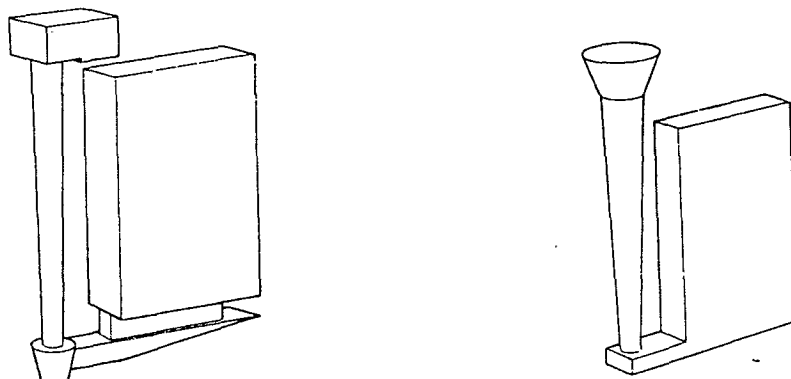


شکل (۲-۴۰): الگوی پرشدن صفحه  $20 \times 20 \text{ cm}$  با دبی مذاب ورودی ده برابر حالت قبلی

شکلهای (۲-۴۱) و (۲-۴۲) دو سیستم راهگاهی کف ریز را نشان می دهند مکانسیم حرکت مذاب در حالت شکل (۲-۴۱) به صورت زیر می باشد. اولین مذابی که در طول راهگاه به طرف پائین سقوط می کند و در اثر سرعتی که فلز در اثر ارتفاع پیدا می کند آلودگی بطور پیوسته بوجود می آید و به داخل محفظه قالب هدایت می شود. از طرف دیگر با توجه به سرعت مذاب ورودی به قالب در برخورد مذاب به دیواره انتهائی قالب موجب بوجود آمدن موج فلزی و اغتشاش شدید می شود که نتیجه آن افزایش گاز و هوا، داخل قالب است. (شکل ۲-۴۳ [۳۳])

در شکل (۲-۴۲) وقتی مذاب به پائین نقطه در سیستم راهگاهی می رسد خودش را در یک سیستم انبساطی پیدا می کند و به آهستگی در آن حرکت می کند و فرصت دارد قبل از

اینکه وارد محفظه قالب شود ساکن شود. [۱۵]

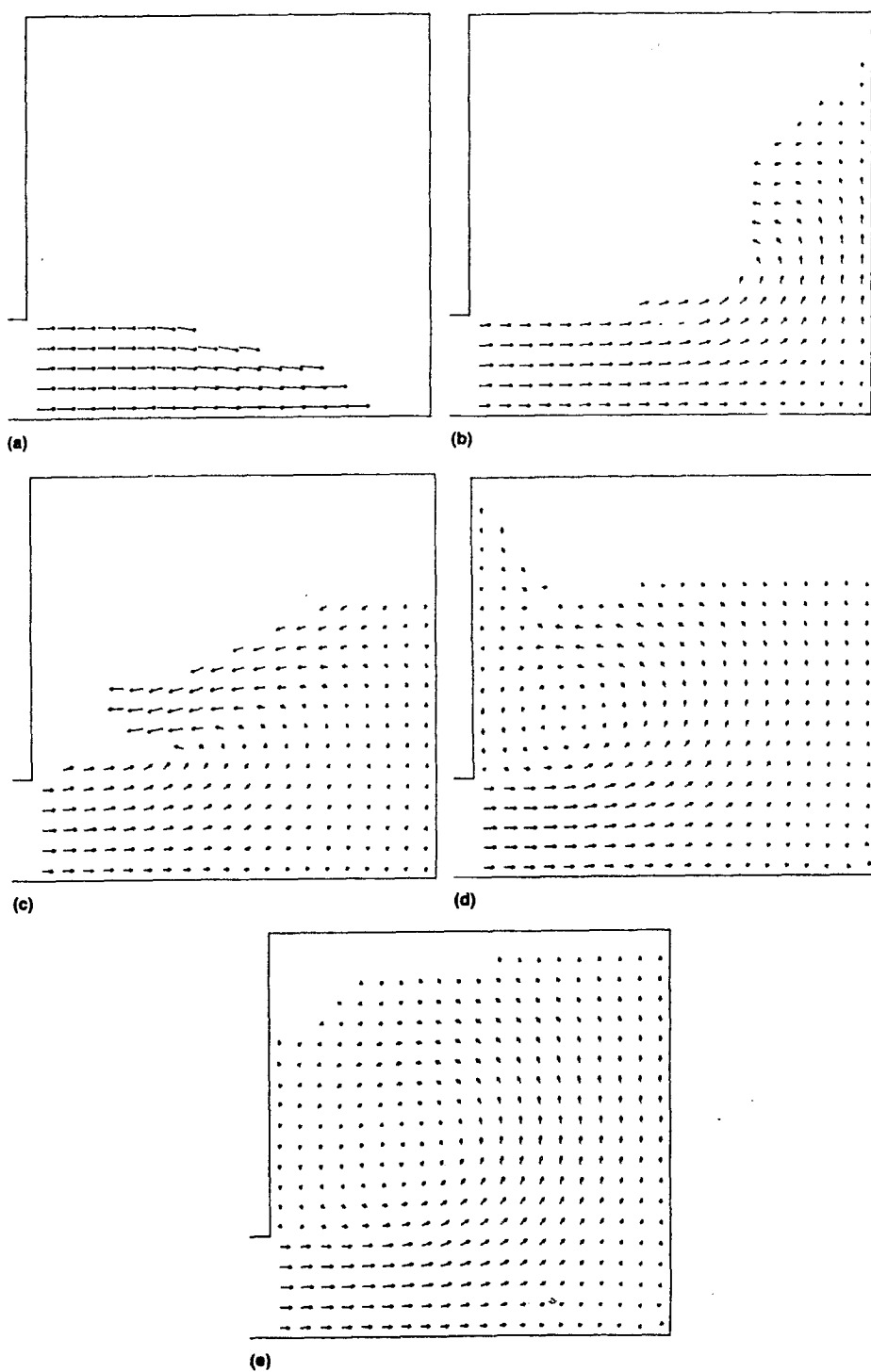


شکل (۲-۴۱): طراحی نادرست سیستم راهگامی کف ریز شکل (۲-۴۲): طراحی صحیح سیستم راهگامی کف ریز شکلهای (۲-۴۴) و (۲-۴۵) دو سیستم راهگامی پله‌ای و کاردی را نشان می‌دهند که نحوه پرشدنشان توسط fulli ۱۹۹۱ [۳۴] و [۳HWANG] نشان داده شده است.

در سیستم پله‌ای، مذاب از پائین‌ترین راهباره، به دلیل ارتفاع موثر زیادتر با سرعت و دبی بیشتری خارج می‌شود و این در حالی است که مذاب خروجی از راهباره‌های بالاتر به تدریج کاهش می‌یابد. از طرف دیگر این حالت، با روی هم ریختن مذاب راهباره‌ها همراه است که تلاطم و مخلوط شدن لایه‌های اکسیدی را به دنبال دارد همانطور که دیده می‌شود مذاب پس از رسیدن تا ارتفاع راهباره دوم دوباره وارد راهگاه بارریزی می‌شود.

شکلهای (۲-۴۴) و (۲-۴۵) دو سیستم راهگامی پله‌ای و کاردی را نشان می‌دهند که نحوه پرشدنشان توسط fulli ۱۹۹۱ [۳۴] و [۳HWANG] نشان داده شده است.

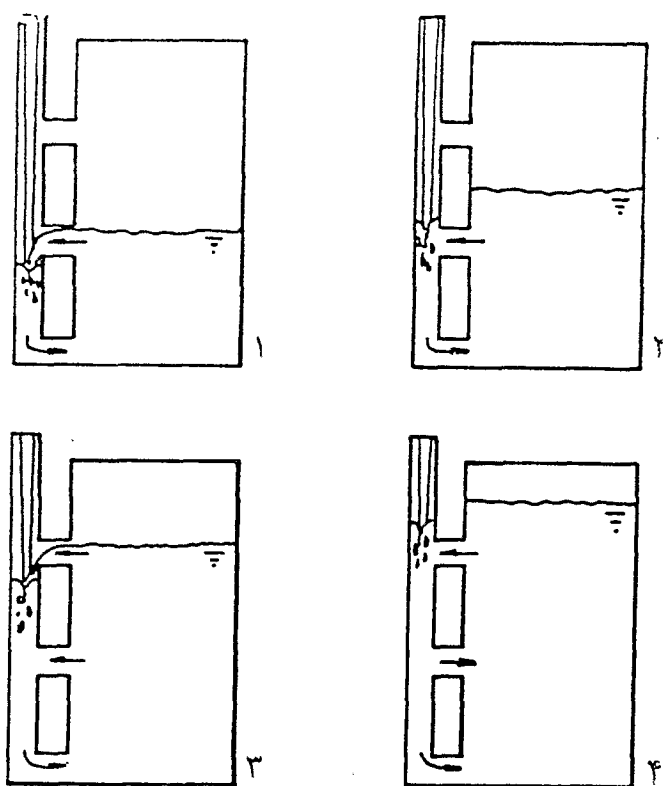
در سیستم پله‌ای، مذاب از پائین‌ترین راهباره، به دلیل ارتفاع موثر زیادتر با سرعت و دبی بیشتری خارج می‌شود و این در حالی است که مذاب خروجی از راهباره‌های بالاتر به شکلهای (۲-۴۴) و (۲-۴۵) دو سیستم راهگامی پله‌ای و کاردی را نشان می‌دهند که



شکل (۲-۴۳): الگوی پر شدن قالب بوسیله سیستم راهگاهی کف ریز (طرح ناصحیح)

نحوه پرشدن نشان توسط fulli ۱۹۹۱ [۳۴] و [۳HWANG] نشان داده شده است.

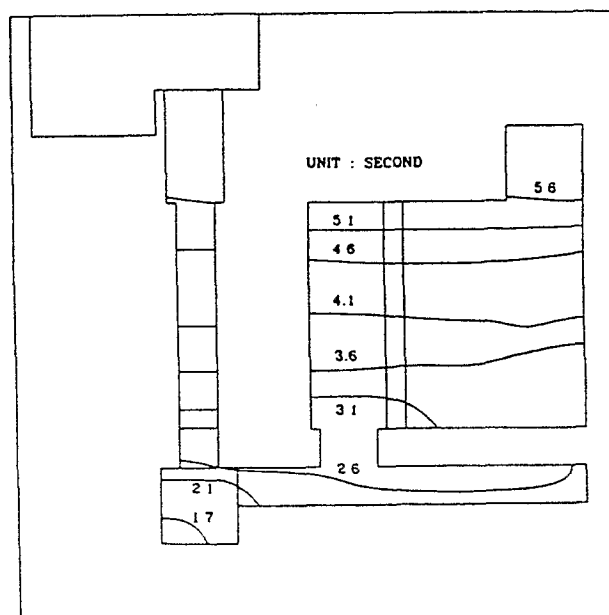
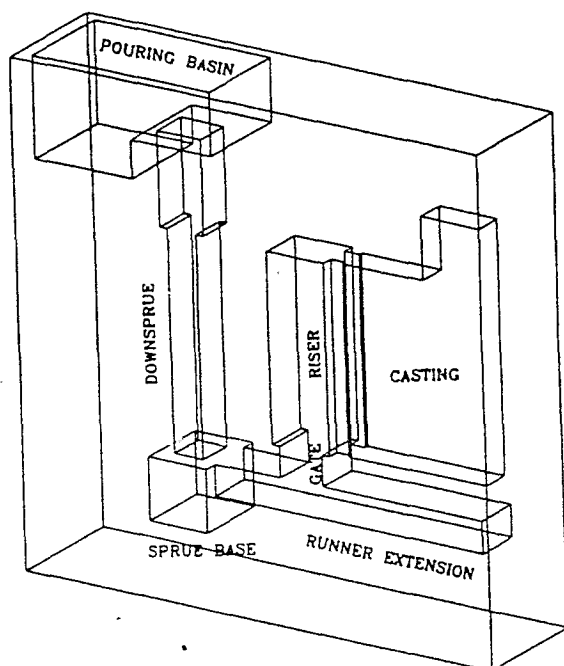
در سیستم پله‌ای، مذاب از پائین‌ترین راهباره، به دلیل ارتفاع موثر زیادتر با سرعت و دبی بیشتری خارج می‌شود و این در حالی است که مذاب خروجی از راهباره‌های بالاتر به تدریج کاهش می‌یابد. از طرف دیگر این حالت، با روی هم ریختن مذاب راهباره‌ها همراه است که تلاطم و مخلوط شدن لایه‌های اکسیدی را به دنبال دارد همانطور که دیده می‌شود. شود مذاب پس از رسیدن تا ارتفاع راهباره دوم دوباره وارد راهگاه بار ریزی می‌شود.



شکل (۲-۴۴): نحوه پرشدن قالب در سیستم راهگاهی پله‌ای

همانطور که از شکل (۲-۴۵) دیده می‌شود بعد از اینکه مذاب به حوضچه پای راهگاه می‌رسد، به صورت موجی دارد راهگاه می‌شود و سپس ابتدا وارد تغذیه شده و پس از پرکردن تغذیه کناری به تدریج از راهباره وارد محفظه قالب می‌شود و ارتفاع فلز در محفظه قالب و در تغذیه هم سطح می‌شود و عموماً ارتفاع مذاب در تغذیه بالاتر از ارتفاع مذاب

در قالب می باشد.



شکل (ب - ۲-۴۵): نحوه پرشدن قالب در سیستم راهگاهی کاردی شکل (الف - ۲-۴۵): نمائی از سیستم

راهگاهی کاردی

hansen, xue نشان دادند که هندسه و شکل سیستم راهگاهی فاکتور بسیار مهمی بر روی

ارتفاع امواج سطحی آب در داخل قالب می باشد. [۲]

در شکلهای (۲-۴۶)، (۲-۴۷)، (۲-۴۸) و (۲-۴۹) حوضچه بار ریز یکسان می باشد و

راهگاه عمودی و راهبار افقی فقط اختلاف آنها در سطح اتصال در انتهای راهگاه است که

تغییر می کند.

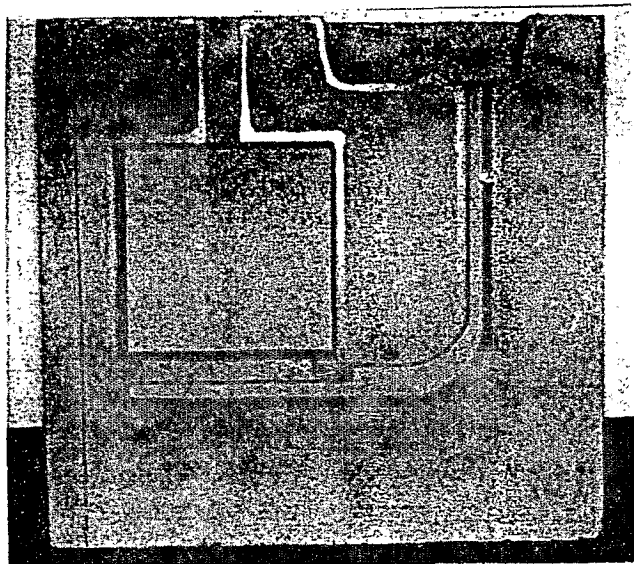
طرح (۲-۴۶) و (۲-۴۷) دارای راهگاه و راهبار هم اندازه هستند فقط محل اتصال به

راهبار در طرح (۲-۴۶) بزرگ انتخاب شده به امید آنکه آخالها در آنجا جمع شوند.

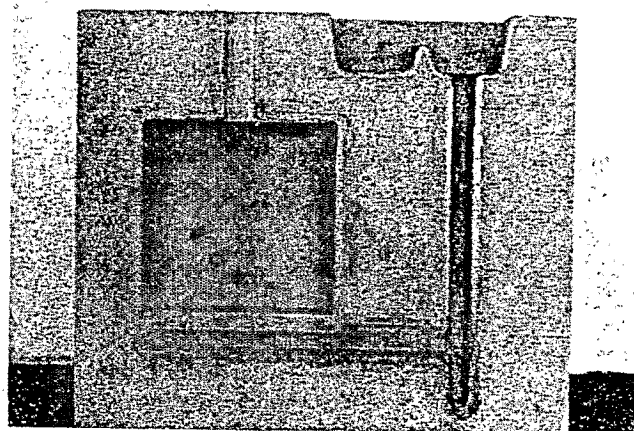
طرح (۲-۴۸) دارای یک اتصال دایره ای شکل بین راهگاه و راهبار است، طرح (۲-۴۹)

همانند طرح (۲-۴۸) می باشد با این تفاوت که شعاع دایره محل اتصال

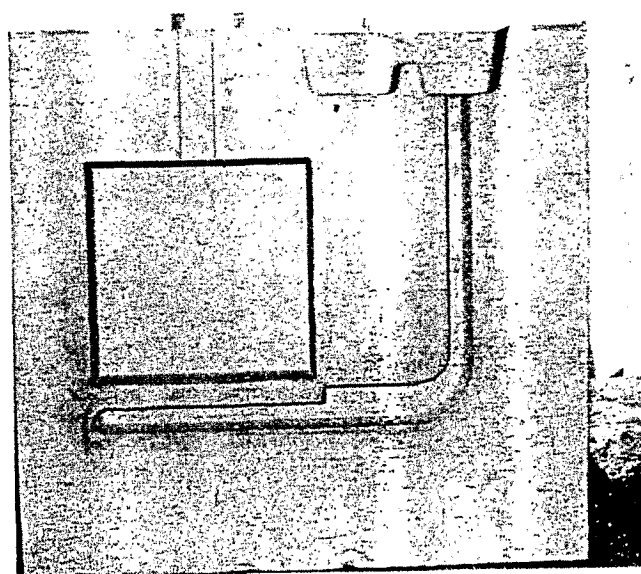
در (۲-۴۸) حدود ۶۰mm است و در (۲-۴۹) حدود ۸۰mm است.



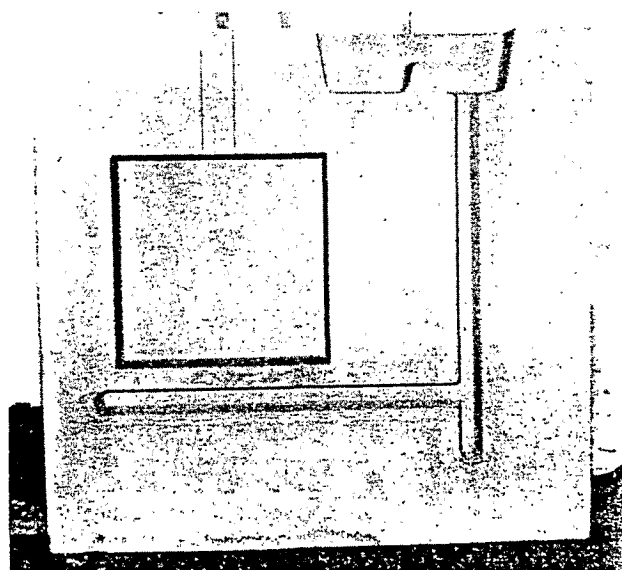
شکل (۲-۴۸)



شکل (۲-۴۶)



شکل (۲-۴۹)



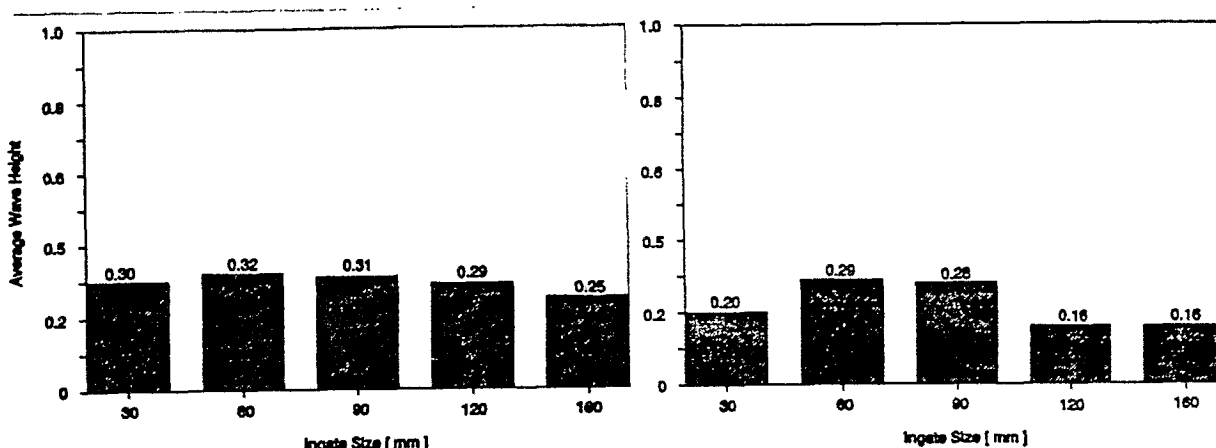
شکل (۲-۴۷)

در شکلهای (۲-۵۰), (۲-۵۱), (۲-۵۲), (۲-۵۳) ارتفاع متوسط امواج سطحی برای

هر آزمایش بر حسب زمان و اندازه راهباره‌های گوناگون بررسی شده است همانطور که از

این شکلها دیده می شود با اینکه طرح (۲-۴۶) و (۲-۴۷) مشابه هم می باشند و فقط اختلاف آنها در محل اتصال به راهبار است ارتفاع موج در طرح (۲-۴۶) بدلیل یک انبساط در محل اتصال به راهبار کمتر می باشد. در اصل این انبساط به آرام شدن سیال در راهبار کمک می نماید.

در طرحهای (۲-۴۸) و (۲-۴۹) بدلیل بیشتر بودن شعاع دایره محل اتصال در (۲-۴۹) ارتفاع موج در آن افزایش می یابد که این بدلیل پدید آمدن نیروی گریز از مرکز بیشتر در این طرح می باشد.

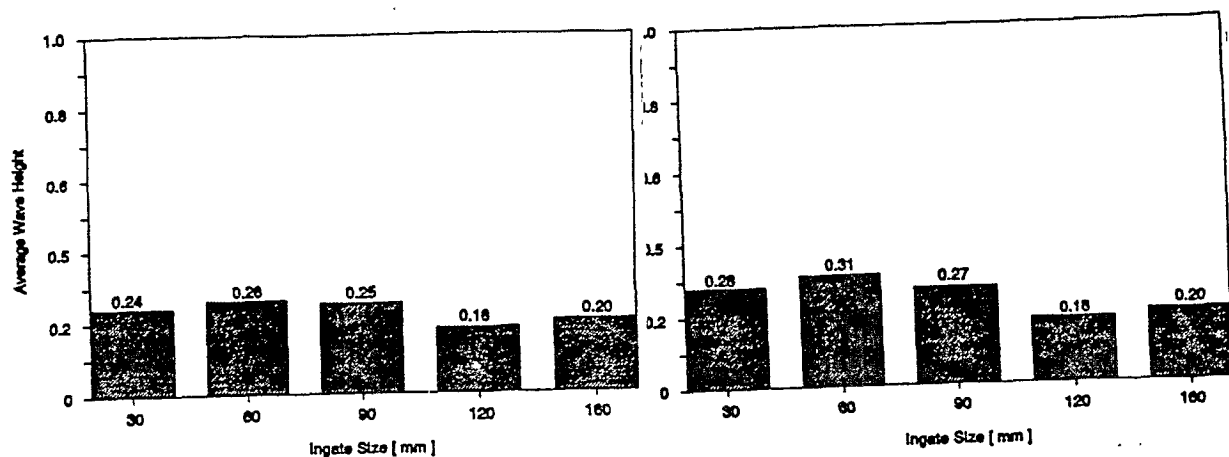


شکل (۲-۵۰): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۶) شکل (۲-۵۱): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۸)

### ۲-۳-۳ هندسه و ابعاد قالب :

هندسه و ابعاد قالب تاثیر مشخصی بر مدل حرکت مذاب در محفظه قالب دارد. طی شبیه سازی که توسط Hwang و stoehr در سال ۱۹۸۳ [۳۳] بر روی دو صفحه افقی به ابعاد ۶۱۰×۶۱۰ mm و ۶۱×۶۱ mm، در یک سرعت ثابت، انجام گرفت، نتایج زیر بدست آمده است (شکلهای (۲-۵۴) و (۲-۵۵))

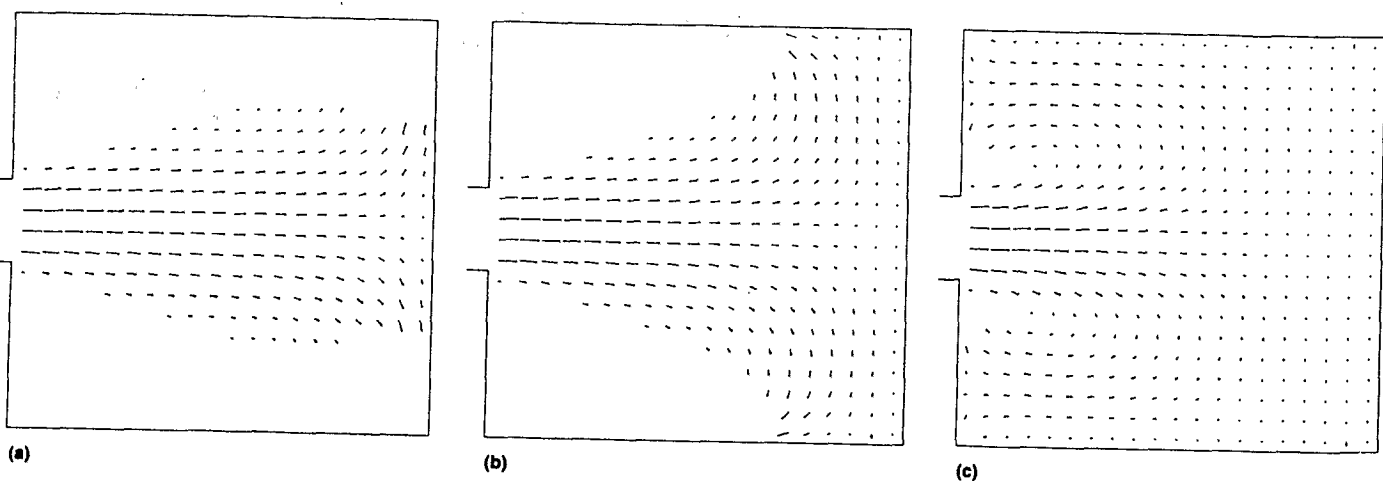




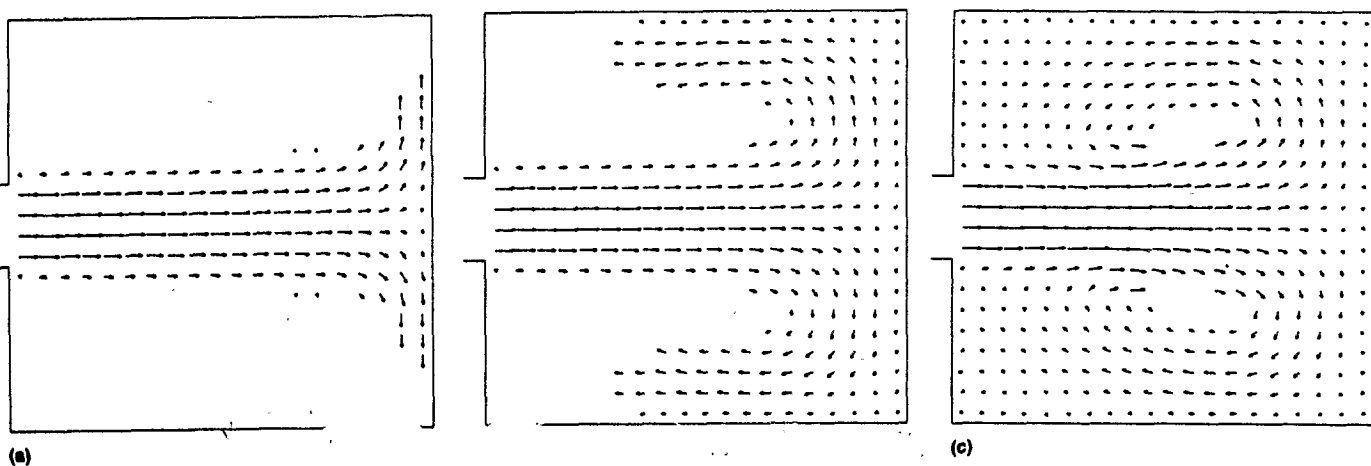
شکل (۲-۵۲): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۷) شکل (۲-۵۳): ارتفاع متوسط موج برای طرح (۲-۴۹)

همانطور که از شکل دیده می شود در صفحه افقی  $610 \times 610 \text{ mm}$ ، فلزی که وارد محفظه قالب می شود قبل از اینکه به دیواره مقابل برسد به آهستگی گسترش می یابد، وقتی آن به دیواره روبرو برخورد می کند به دو جریان قرینه در طول این دیواره تقسیم می شود و سپس در طول دو دیواره کناری به طرف عقب حرکت می کند. در این حالت آخرین منطقه ای که پر می شود کناره های راهباره می باشد و هرگازی که در محفظه قالب باقی بماند در منطقه ای که در آخر پر می شود فشرده می شود. در قطعه  $61 \times 61 \text{ mm}$  مذاب ورودی به محفظه قالب شبیه به فوران می باشد و قبل از آنکه منبسط شود به دیواره مخالف برخورد می کند. وقتی مذاب به

دیواره برخورد می کند آن به دو جریان متقارن تقسیم می شود که به طرف دو انتهای کناری قالب حرکت می کنند، سپس در مجاورت دیواره کناری به طرف راهباره حرکت می کنند. برخلاف حالت قبل آخرین منطقه ای که پر می شود خیلی دورتر از راهباره می باشد و در اطراف خط مرکزی قالب می باشد.



شکل (۲-۵۴): الگوی پرشدن قالب به ابعاد  $610 \times 610 \text{ mm}$



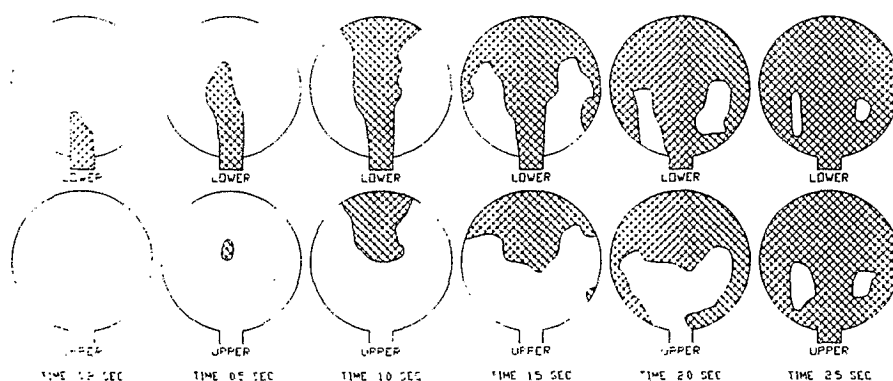
شکل (۲-۵۵): الگوی پرشدن قالب به ابعاد  $61 \times 61 \text{ mm}$

در سال ۱۹۹۱ توسط jong و Hwang [V] مدل حرکت مذاب در دو صفحه دیسکی مدور، که در یکی از آنها هفت ماهیچه مدور موجود است، مورد مطالعه قرار گرفت، شکل قطعه و در شکل داده شده است.

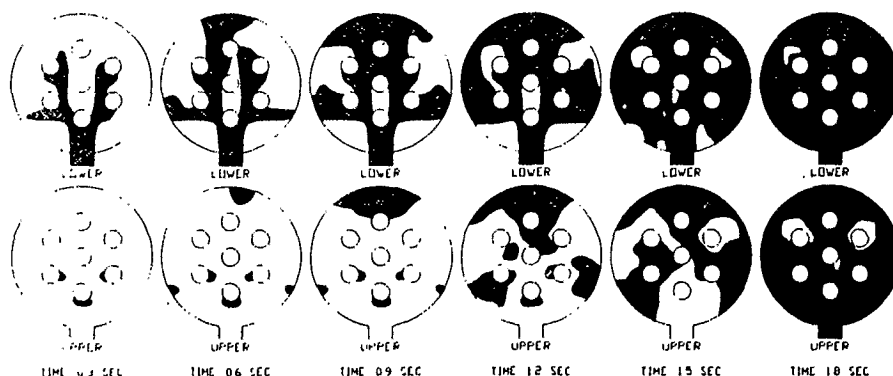
در صفحه دیسکی ساده، مذاب ورودی به محفظه از راهبار به طرف جلو حرکت می کند و به آهستگی گسترش می یابد جبهه مذاب سریعتر و باریکتر حرکت می کند که این ناشی از نیروی اینرسی می باشد سپس مذاب به دیواره روبروی راهبار برخورد می کند و

در اطراف لبه دیسک جریان می یابد. آخرین قسمتی که پر می شود نزدیک راهباره، می باشد شکل (الف - ۵۶-۲). در یسک ماهیچه دار مذاب ورودی پس از برخورد به ماهیچه ها به چند جریان تقسیم می شود هر جریان به طرف جلو حرکت می کند و گسترش می یابد پرشدن محفظه قالب از کناره دیواره روبروی راهباره به طرف راهباره انجام می گیرد. آخرین محیطی که پر می شود نزدیک راهباره و بین لایه های ماهیچه ها می باشد.

شکل (ب - ۵۶-۲)



شکل (الف - ۵۶-۲): نحوه پرشدن دیسک صفحه ای ساده



شکل (ب - ۵۶-۲): نحوه پرشدن دیسک صفحه ای ماهیچه دار

# فصل سوم:

## «روش آزمایش»

### ۱-۳- مقدمه :

نظربه روشهای گوناگون مشاهده وردیابی مذاب در داخل قالب (بخش ۲-۲) وبا توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه جریان مذاب دانشکده و اینکه در حیطه علوم تجربی ، روشی که حتی الامکان بتواند بطور مستقیم اطلاعات را به حواس انسان منتقل کند باید مطلوبتر باشد ، پژوهش را به سوی سیستم فیلم برداری مستقیم جریان مذاب از پشت شیشه کشانید . البته سادگی برپائی روش اتخاذ شده (از نقطه نظر امکانات وهزینه )در مقایسه با سایر روشها ، نیز عامل مهمی در این تصمیم به حساب می آید.

### ۲-۳- تجهیزات و مواد مصرفی در ذوب و ریخته گری :

(۱) کوره ذوب : کوره استفاده شده در این پژوهش از نوع بوت های (بوته گرافیتی ) با سوخت گازوئیل بود ، که مواد شارژ را مدت زمان ۲۵ الی ۳۰ دقیقه ذوب کرده و به فوق ذوب مناسب می رساند.

(۲) مواد شارژ : در تمامی آزمایشهای انجام یافته ، از آلیاژ آلومینیم  $A413$  (  $Mn\% .0/35$  ) و  $cu\% .0/6$  و  $Fe\% .0/1$  و  $Al\% .13-11$  ) ساخت کارخانه ایرالکو به همراه مقدار مناسبی از فلاکس سرباره گیر استفاده گردیده است .

(۳) ترموکوپل عقربه ای با غلاف فولادی که خطای آن  $5^{\circ}C$  بود ، درجه حرارت بارریزی در دمای  $750^{\circ}C$  کنترل می گشت .

(۴) مواد قالبگیری

الف) ماسه : ماسه مورد استفاده برای قالبگیری ، از جنس ، ماسه خشک سیلیسی با عددریزی  $AFS90$  می باشد.

ب) چسب مورد استفاده در قالبگیری ، چسب سیلیکات سدیم بود و به میزان ۵ درصد

مصرف میگردید و برای انجام واکنش خودگیری چسب از دمش گاز CO<sub>2</sub> استفاده می شد .  
(ت) مخلوط کردن مواد قالبگیری ، توسط یک دستگاه مخلوط کن ماسه به ظرفیت ۳۰ کیلوگرم صورت می گرفت پس از اضافه نمودن چسب سیلیکات سدیم به ماسه ، عمل مخلوط کردن ماسه تا هنگامی که ماسه و چسب به طور کامل یکنواخت می شدند ، ادامه می یافت .

(۵) مدل : مدل نمونه های آزمایشی و سیستم راهگاهی مربوط از چوب ساخته شده اند .  
ابعاد مدل صفحات ریختگی ۱۸×۱۸×۲cm انتخاب گردیده ، دلیل انتخاب سطح ۱۸×۱۸ وجود دو محدودیت بود یکی اینکه افزایش این سطح شرایط قالبگیری را مشکل می ساخت ( بدلیل محدود بودن اندازه درجه ها ) دوم آنکه کاهش آن جریان مذاب را به سمت تک بعدی بودن پیش می برد .

(۶) شیشه : شیشه ای به ضخامت سه میلی متر در این پژوهش استفاده گردیده است که بوسیله مازیک و خط کش به سلهائی به ابعاد ۲×۱/۵ cm تقسیم بندی شده است .

### ۳-۳- تجهیزات فیلم برداری از جریان مذاب :

برای فیلم برداری از جریان مذاب از یک دوربین فیلم برداری ویدئویی و تجهیزات مخصوص کامپیوتری به شرح زیر استفاده شده است.

الف) دوربین فیلم برداری به کارگرفته شده در این پژوهش از نوع دوربین ویدئویی ۸ میلی متری با قدرت بزرگ نمائی ۸ برابر (canonuc15) بود. همچنین برای فیلم برداری از یک سه پایه و یک پروژکتور و سیم رابط اتصال دوربین به کامپیوتر استفاده گردیده است.

ب) برای تجزیه تصاویر از برد مخصوص کامپیوتری (سخت افزاری) که بر روی یک کامپیوتر 486DXII نصب گردیده بود، استفاده گردید، برد کامپیوتر به نام super video

Windows، تحت برنامه نرم افزاری سیستم عامل Windows کار می کند. این برد کامپیوتری قادر است که هر ثانیه از فیلم برداری را حداکثر تا ۵۰ تصویر تجزیه نماید (یعنی فاصله زمانی بین هر دو تصویر ۰/۰۲ ثانیه می باشد).

#### ۳-۴- ابعاد سیستم راهگاهی :

همانطور که در شکل‌های (۳-۲) و (۳-۱) مشاهده می گردد، اجزاء سیستم راهگاهی به قرار زیر می باشد.

الف) حوضچه بارریز: با ارتفاع ۸۵ میلی متر و طول و عرض  $180 \times 65 \text{ mm}$  طراحی گردید. یک معبر برای سرریز شدن مذاب به ابعاد  $80 \times 65 \times 50 \text{ mm}$  در نظر گرفته شده است. ب) راهگاه بارریز به شکل مخروط ناقص طراحی و ساخته شده است. ابعاد آن به صورت زیر می باشد.

سطح مقطع پائین راهگاه بارریز:  $3/46 \text{ cm}^2$

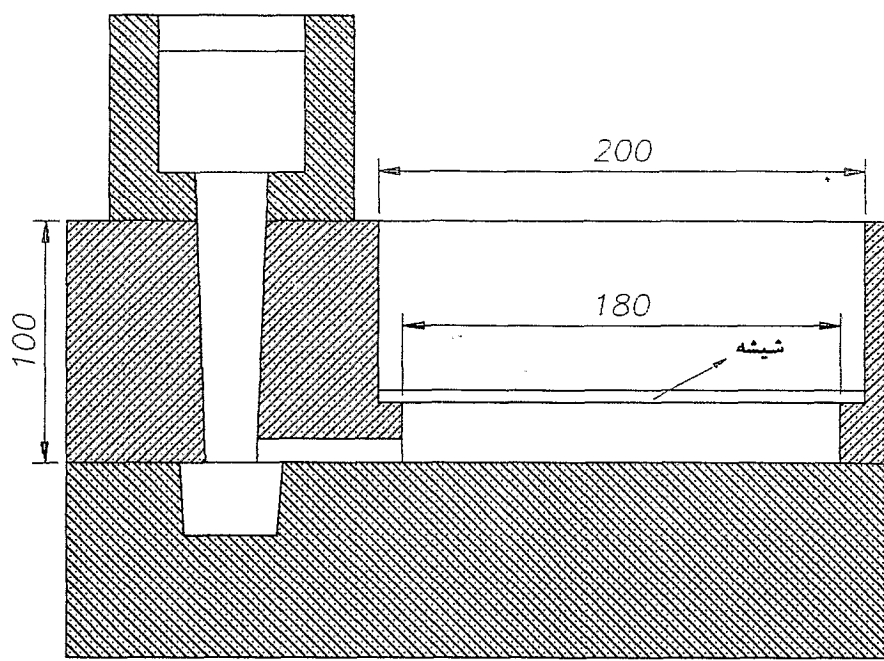
سطح مقطع بالای راهگاه بارریز:  $5/4 \text{ cm}^2$

ارتفاع راهگاه بارریز:  $10 \text{ cm}$

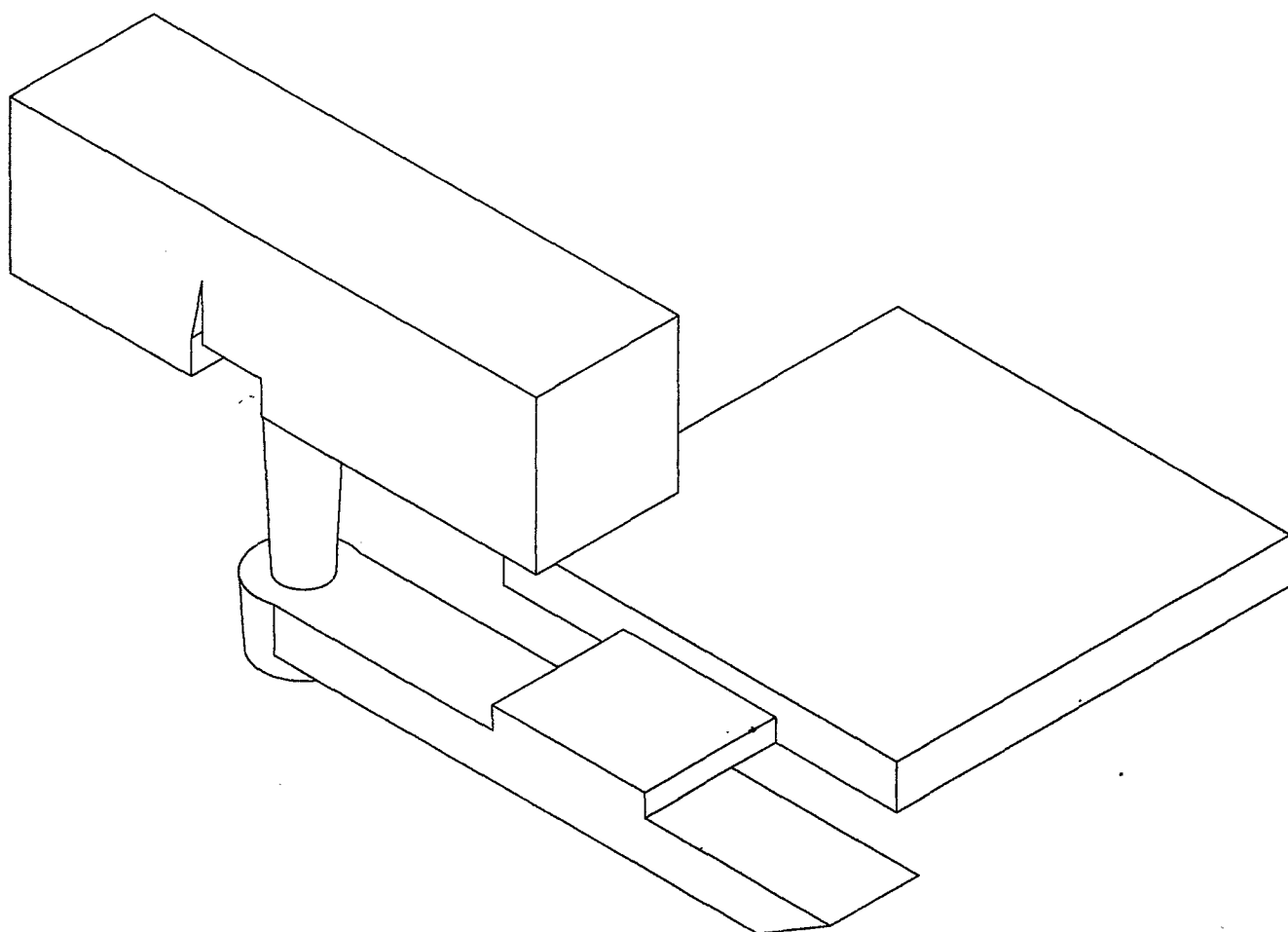
ج) حوضچه پای راهگاه که بصورت استوانه ساخته شده است که قطر آن دو برابر قطر پائینی راهگاه و ارتفاع آن  $1/5$  برابر عرض راهبار انتخاب گردیده است.

د) راهبار با مقطع مستطیل انتخاب گردیده بود که (به جزء یک مورد) سطح مقطع آن  $4/5 \times 2 \text{ cm}$  (انتخاب گردیده بود. طول راهبار برابر  $24 \text{ cm}$  انتخاب گردیده بود.

ه) راهبارها با سطح مقطع مستطیل انتخاب گردیده بود. که طول همه راهبارها  $6 \text{ cm}$  در نظر گرفته شده بود.



شکل (۳-۱): نمای جانبی قالب در برش



شکل (۳-۲): نمای سه بعدی سیستم راهگامی و صفحه ریخته گری



الف) راهبارة به ضخامت 1cm: عرض راهبارة ها عبارتند از: 11, 9, 7, 5, 3

ب) راهبارة به ضخامت 1/5cm: عرض راهبارة عبارتست از 6

ج) راهبارة به ضخامت 1/5vcm: عرض راهبارة عبارتست از vcm

د) راهبارة هایی به ضخامت 2cm: عرض راهبارة ها عبارتند از: 4/5cm و 7

### 5-3- روند عمومی آزمایشها:

هدف از آزمایشات انجام یافته آن است که تاثیر ابعاد، اندازه و هندسه راهبارة را بر روی چگونگی حرکت مذاب در داخل قالب مشاهده گردد.

برای آماده سازی قالب ابتدا در تآی زیری قالب، حوضچه پای راهگاه و راهبارة قالبگیری می شدند پس از دمش گاز  $CO_2$  و خودگیری کامل چسب سیلیکات سدیم، در تآی بالائی قالب، مدل صفحه ریختگی، راهگاه و راهبارة قالبگیری می شدند. برای رساندن سطح مدل صفحه ای به سطح آزاد درجه از یک مدل چوبی مکعبی بر روی مدل صفحه ریختگی استفاده گردیده بود. پس از تکمیل و دمش گاز  $CO_2$ ، مدل چوبی صفحه ریختگی، سیستم راهگاهی و مدل چوبی مکعبی از قالب خارج می شدند. بنابراین در هنگام جفت شدن دوتآی قالب محفظه صفحه ریختگی از بالا قابل مشاهده بود که می توانست نحوه جریان مذاب در قالب را کاملاً نشان دهد. سپس شیشه مش بندی شده که برای تعیین جبهه حرکت مذاب در هر لحظه آماده شده بود، روی قسمت بالای محفظه صفحه ریختگی قرارداده می شد. سپس حوضچه بارریز پیش ساخته شده، روی راهگاه قرارداده می شد. سپس مرحله تراز کردن قالب در جهت افقی انجام می پذیرفت تا تاثیر شیب بر روی حرکت مذاب حذف شود.

دوربین فیلم برداری در قسمت بالائی قالب تنظیم شده بود و از یک نورافکن برای روشن

شدن شیشه مدرج استفاده می گردید.

قبل از ریخته گری استوپر در داخل حوضچه بارریز به شکل مناسب قرار می گرفت. پس از شروع به ضبط کردن با دوربین فیلم برداری مذاب با دمای  $750^{\circ}$  به داخل حوضچه بارریز ریخته می شد و پس از سرریز شدن مذاب، سریعاً استوپر برداشته می شد. تا پایان ریخته گری و فیلم برداری سعی می گردید که مذاب همچنان به صورت سرریز از حوضچه بارریز نگه داشته شود.

### ۶-۳- آزمایشهای انجام یافته در پژوهش :

هدف از اجراء آزمایشات انجام گرفته (به جز یک مورد) آن است که تاثیر اندازه ابعاد و هندسه راهبارة (اندازه و ابعاد راهبار) بر نحوه پرشدن قالب مشاهده گردد.

در گروه اول آزمایشات با ثابت نگه داشتن ضخامت راهبارة (یک سانتی متر) تاثیر عرض راهبارة بر نحوه پرشدن قالب بررسی گردید.

عرض راهبارة های بکار برده شده در این پژوهش ۳، ۴، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ سانتی متر می باشد. در گروه دوم آزمایشات در اندازه و ابعاد راهبارة ثابت ( $11 \times 1 \text{ cm}$ ) از راهبارة با ابعاد ( $5 \times 2/2$ ) استفاده گردید، تا تاثیر نسبت سیستم راهگاهی بر نحوه پرشدن قالب بررسی گردد.

در گروه سوم آزمایشات، با ثابت نگه داشتن سطح مقطع راهبارة (در  $9 \text{ cm}^2$ ) تاثیر هندسه راهبارة بر مدل پرشدن قالب بررسی گردید.

ابعاد راهبارة های بکار برده شده  $2 \times 5/4$  و  $1/5 \times 6$  سانتی متر می باشد.

در گروه چهارم آزمایشات، با ثابت نگه داشتن عرض راهبارة (هفت سانتی متر) تاثیر ضخامت راهبارة بر مدل پرشدن قالب بررسی گردید.

ابعاد راهبارة به كار برده شده در اين پژوهش  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$  cm می باشد.

جدول ۱-۳ ابعاد و نسبت سیستم های راهگاهی بكار برده در اين پژوهش را نشان می

دهد.

شماره آزمایش	سطح مقطع تنگه cm <sup>2</sup>	سطح مقطع راهبار cm <sup>2</sup>	ابعاد مقطع راهبار cm <sup>2</sup>	سطح مقطع راهبار cm <sup>2</sup>	ابعاد مقطع راهبار cm	نسبت سیستم راهگاهی
۱	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۳	۳×۱	۱:۲/۶:۰/۸۶
۲	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۵	۵×۱	۱:۲/۶:۱/۴۵
۳	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۷	۷×۱	۱:۲/۶:۲
۴	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۹	۹×۱	۱:۲/۶:۲/۶
۵	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۱۱	۱۱×۱	۱:۲/۶:۳/۱۸
۶	۳/۴۶	۱۱	۵×۲/۲	۱۱	۱۱×۱	۱:۳/۱۸:۳/۱۸
۷	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۹	۴/۵×۲	۱:۲/۶:۲/۶
۸	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۹	۶×۱/۵	۱:۲/۶:۲/۶
۹	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۱۱	۷×۱/۵۷	۱:۲/۶:۳/۱۸
۱۰	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۱۴	۷×۲	۱:۲/۶:۴/۵۵
۱۱	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۴	۴×۱	۱:۲/۶:۱/۱۵
۱۲	۳/۴۶	۹	۴/۵×۲	۱۳	۱۳×۱	۱:۲/۶:۳/۷۵

فصل چهارم:

«نتایج»

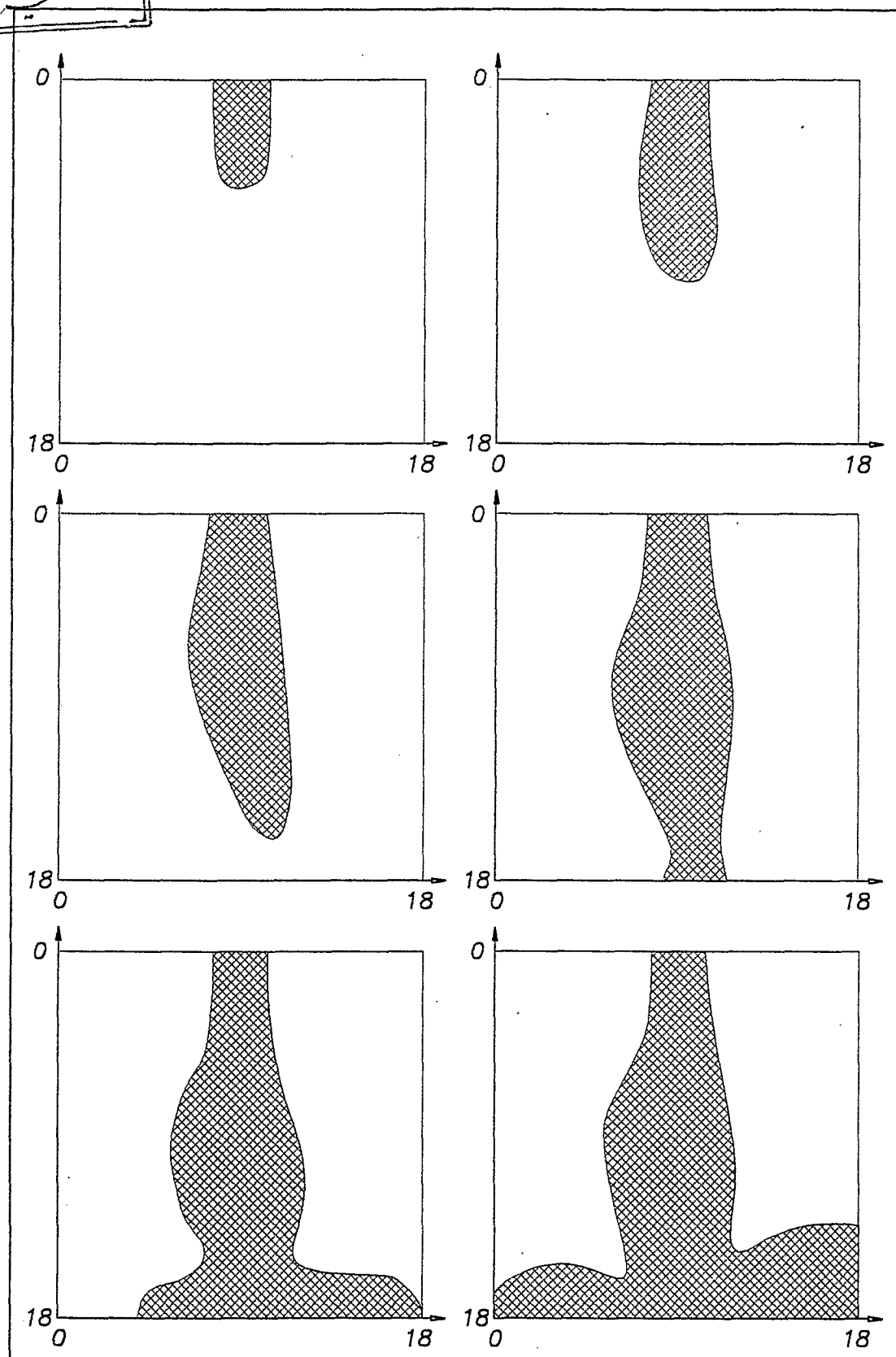
## ۴-۱- مقدمه

در این فصل اطلاعات حاصل شده از تجزیه تصاویر (بوسیله کامپیوتر) و نمودارهای رسم شده ملاحظه می‌گردد. تعدادی از آزمایشات، برای دقت بیشتر تکرار گردیده است و در این قسمت از آوردن نتایج آنها خودداری گردیده است.

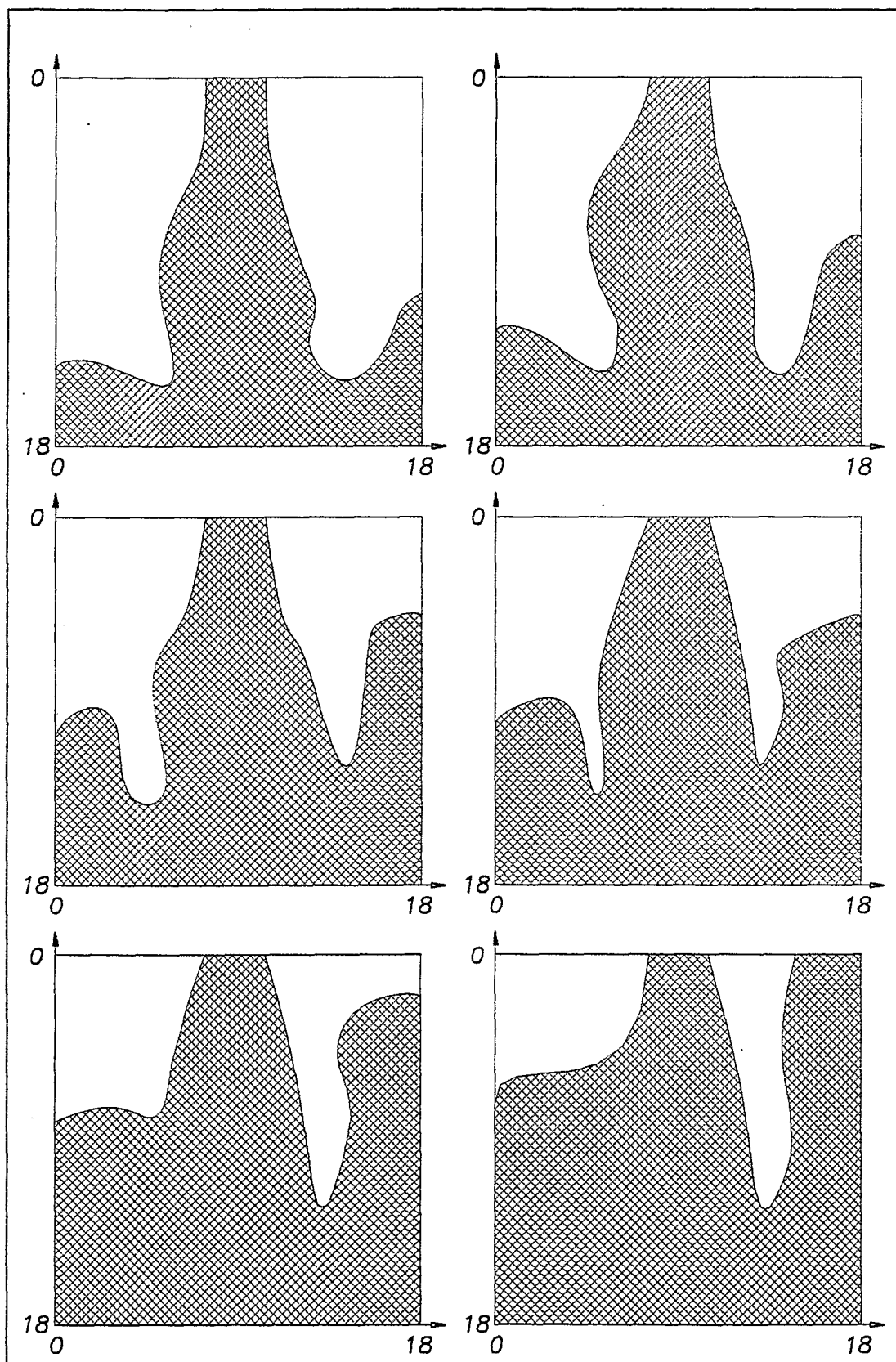
## ۴-۲- نتایج آزمایشهای مرحله اول پژوهش:

برای بررسی اثر اندازه عرض راهباره (در ضخامت یک سانتیمتر) بر مدل حرکت مذاب در قالب از راهباره‌های با عرض ۹،۷،۵،۳ و ۱۱ سانتیمتر استفاده گردید. (نتایج راهباره‌های ۴×۱ و ۱۳×۱ به دلیل عدم وضوح کامل تصاویر و ندادن اطلاعات جدید (بدلیل مشابه بودن حرکت مذاب در راهباره ۴×۱ با ۳×۱ و ۱۳×۱ با ۱۱×۱) ارائه نشده است). پس از ریخته‌گری نمونه‌ها و فیلم برداری از نحوه جریان مذاب (از مقابل شیشه مش بندی شده) توسط برد SVW، از فیلم مربوطه در زمانهای متوالی (۱/۰ ثانیه) تصاویری تهیه شده است.

خطوط جبهه مذاب در هر کدام از راهباره‌های ۹،۷،۵،۳ و ۱۱ cm به ترتیب در شکل‌های (۴-۱)، (۴-۲)، (۴-۳)، (۴-۴) و (۴-۵) آورده شده است.

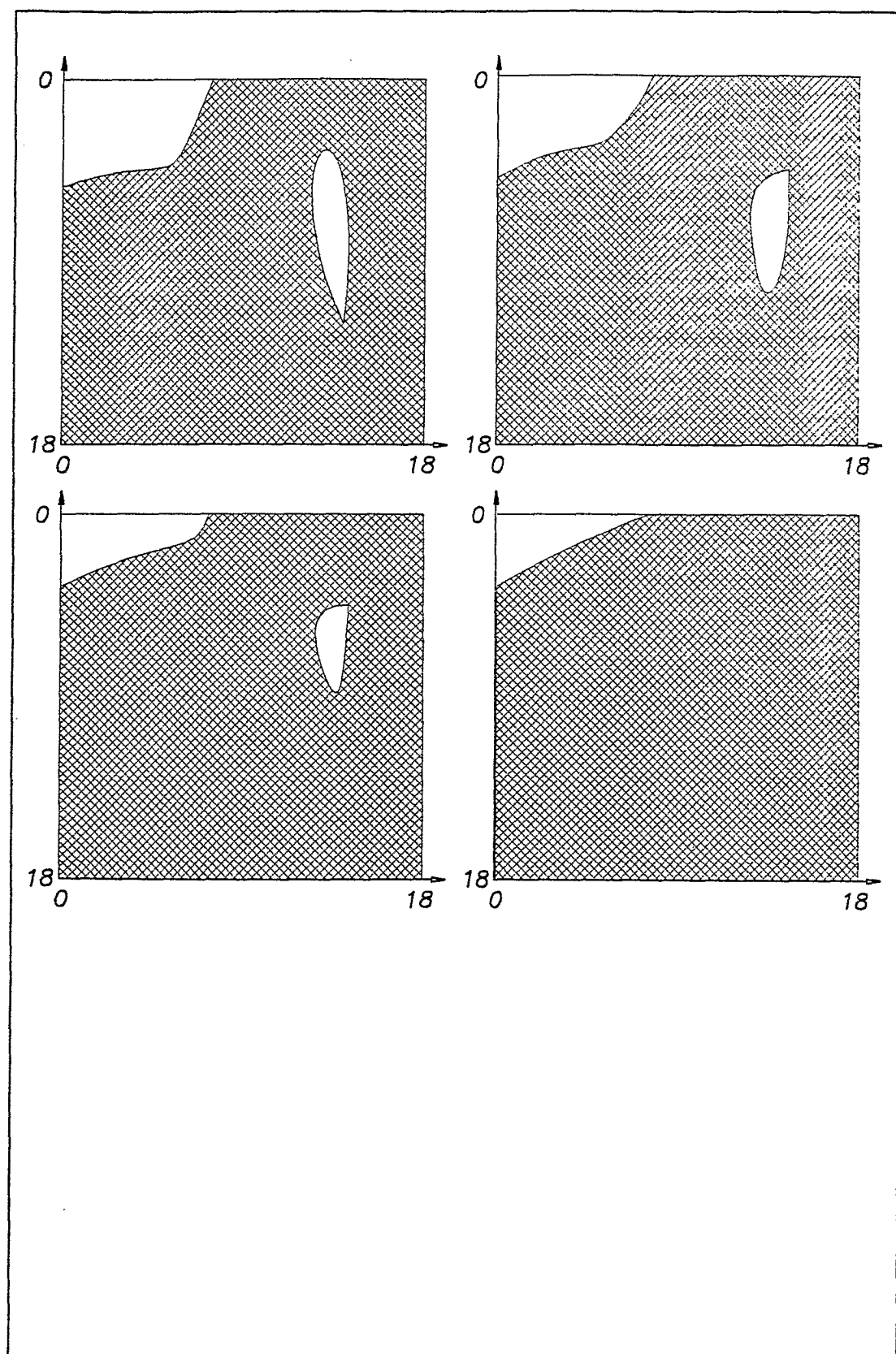


شکل (۱-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $3 \times 1$  از  $1/6$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه



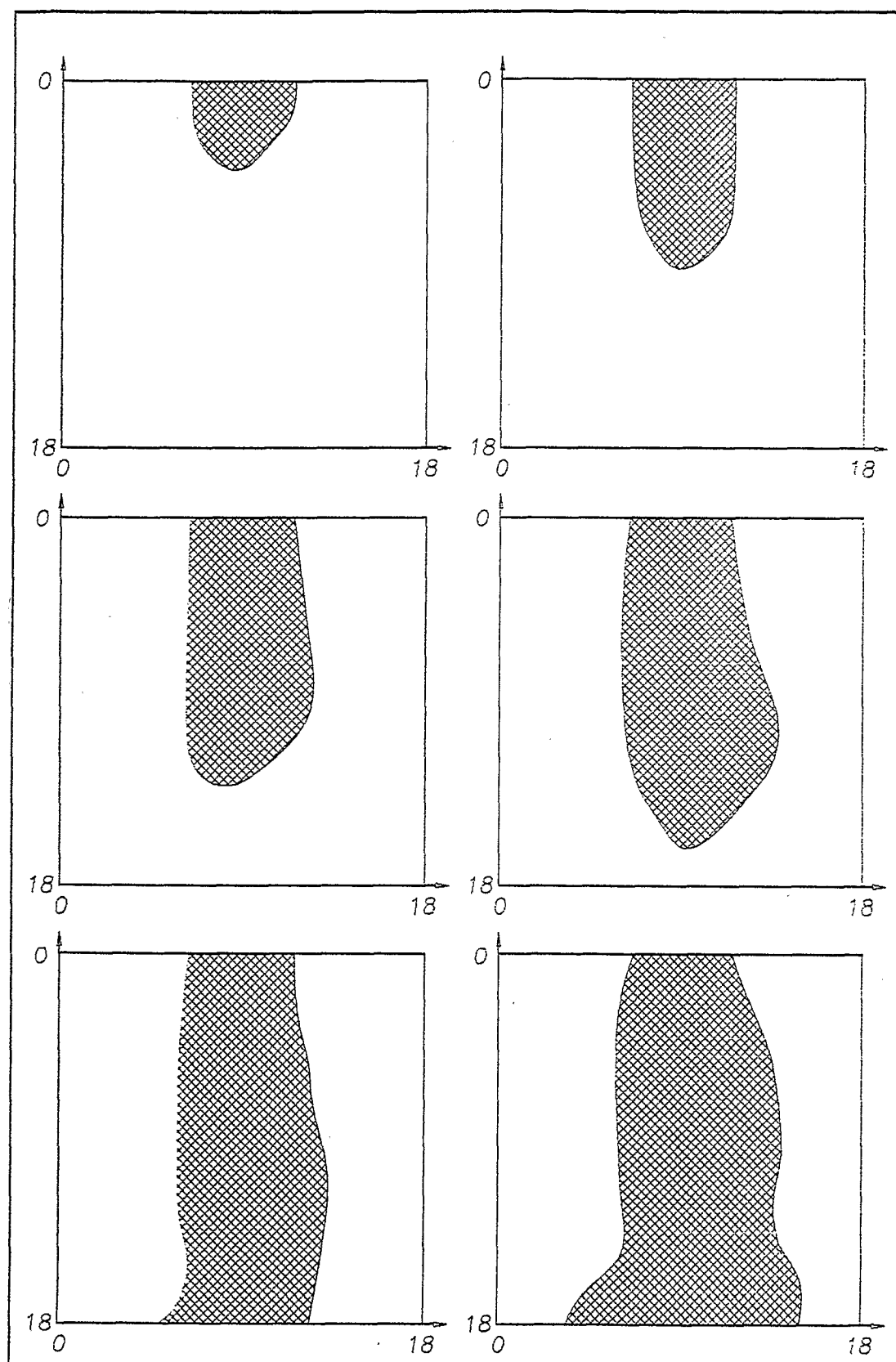
شکل (۴-۱): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $3 \times 1$  از  $0.7$  ثانیه تا  $1.2$  ثانیه



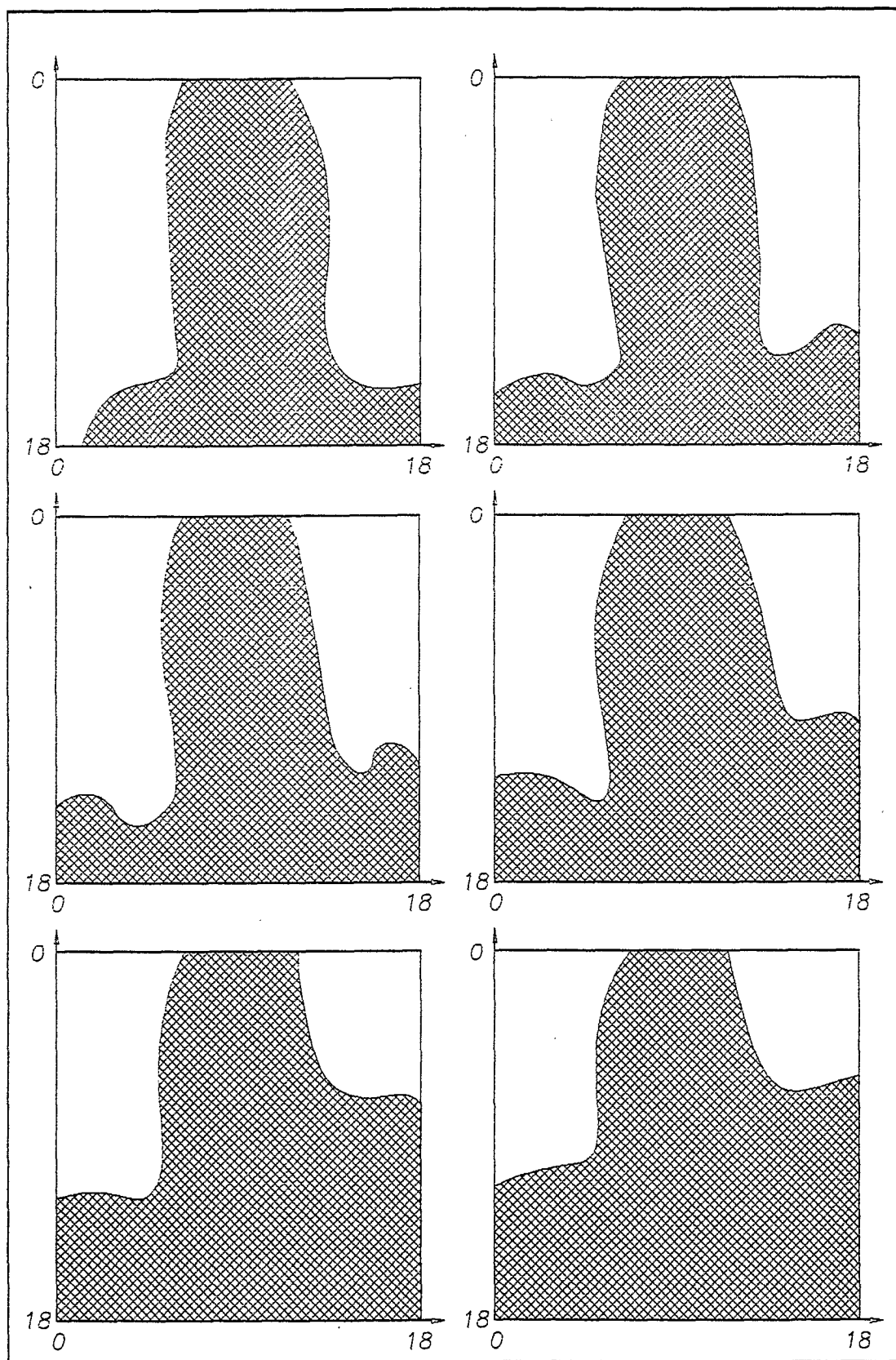


شکل (۴-۱): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۳×۱ از ثانیه ۱/۳ تا ۱/۶ ثانیه

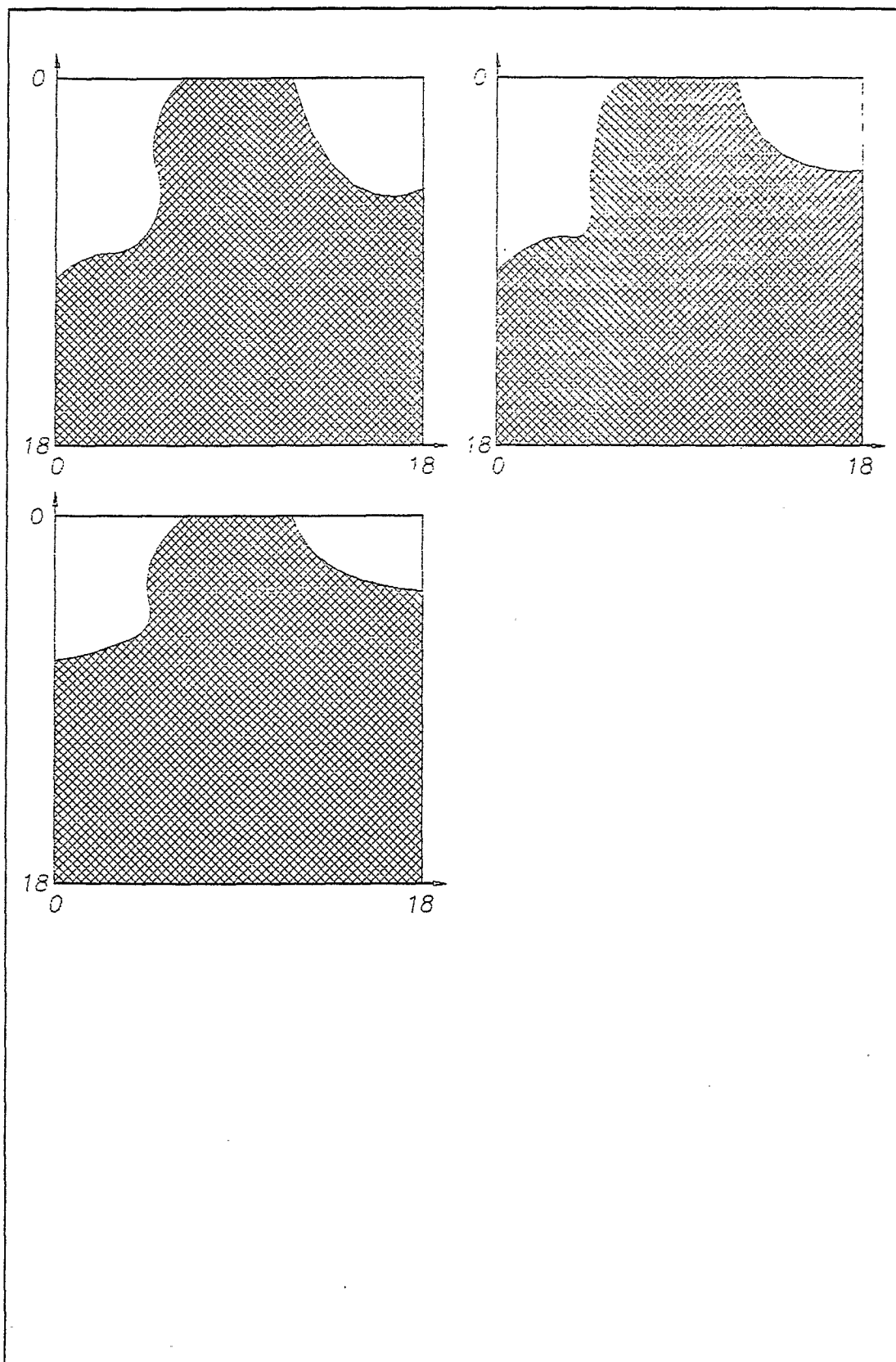




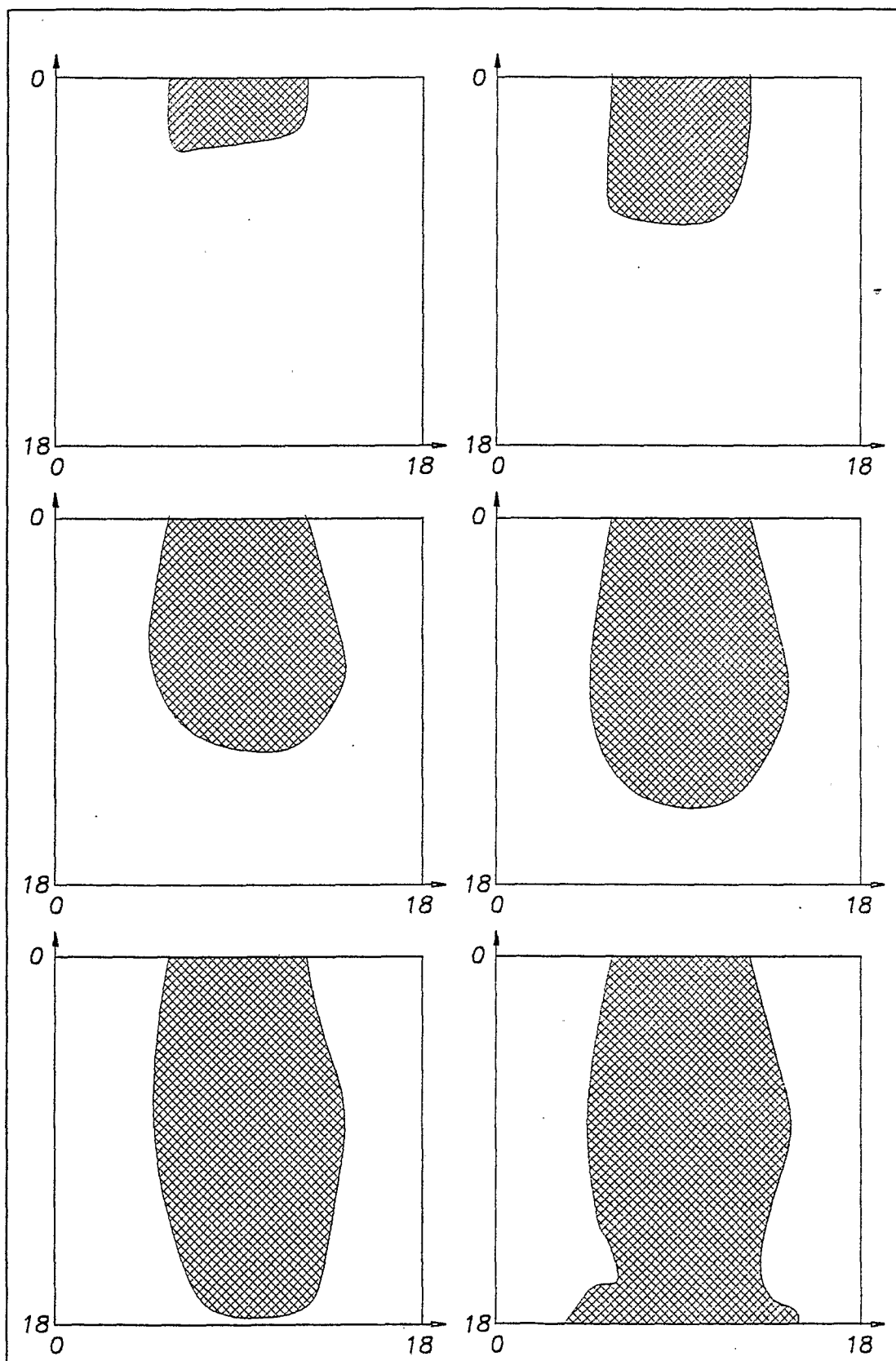
شکل (۲-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهپاره  $1 \times 5$  از  $1/6$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه



- شکل (۲-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $1 \times 5$  از  $0.7$  ثانیه تا  $1.2$  ثانیه

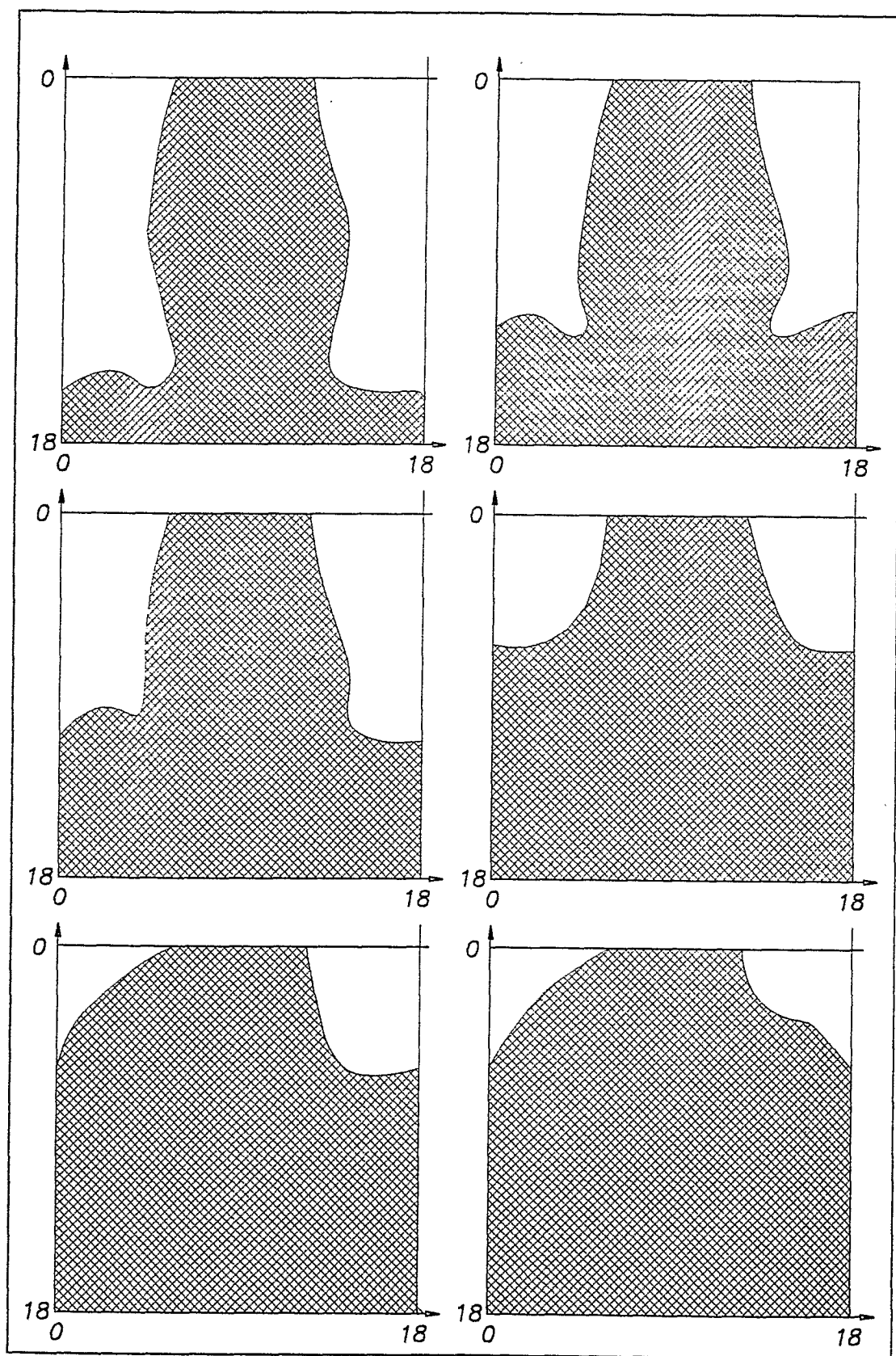


شکل (۲-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره ۵×۱ از ۱/۳ ثانیه تا ۱/۵ ثانیه

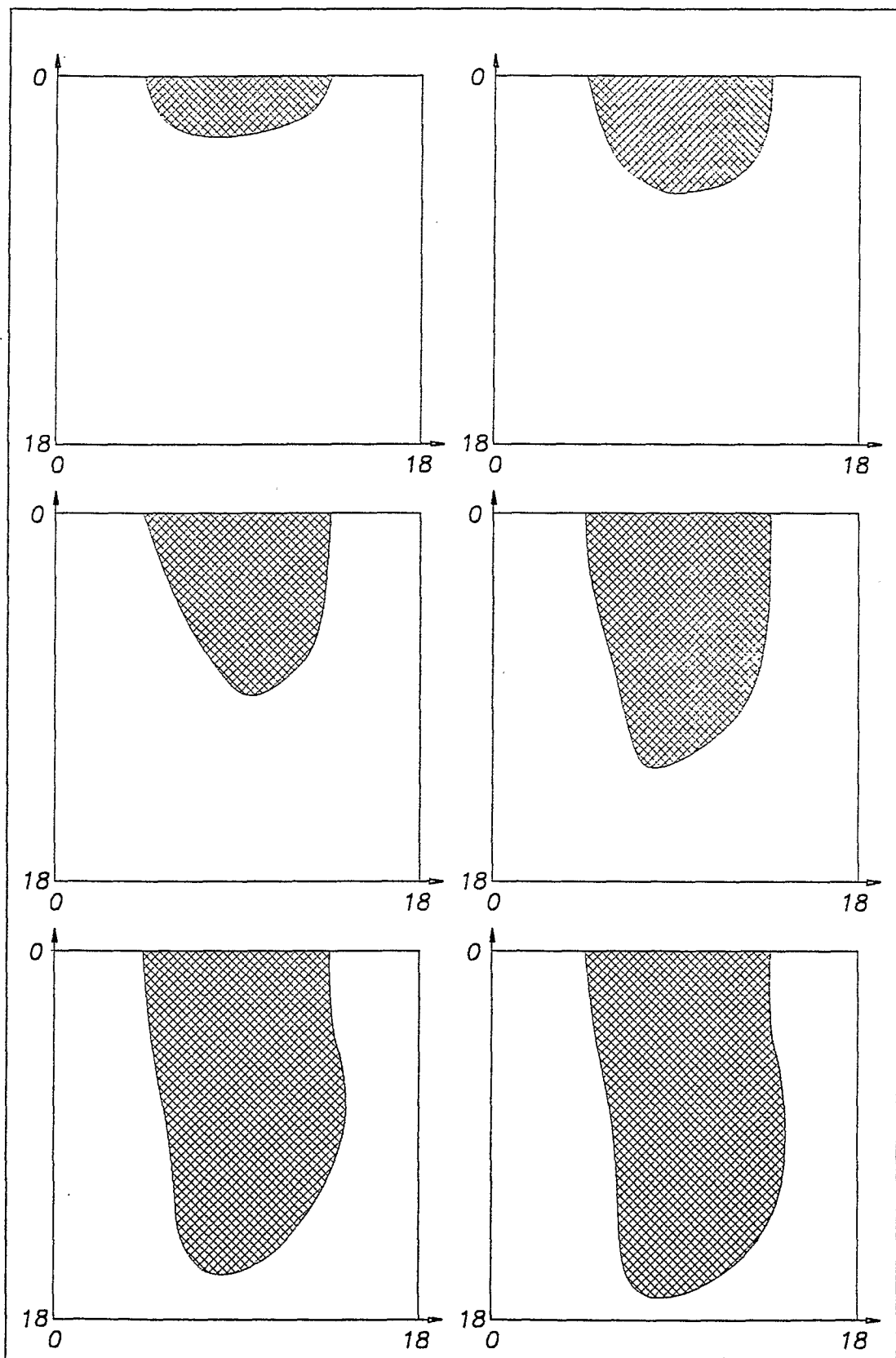


شکل (۳-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره ۷×۱ از ۱/۰ ثانیه تا ۶/۰ ثانیه

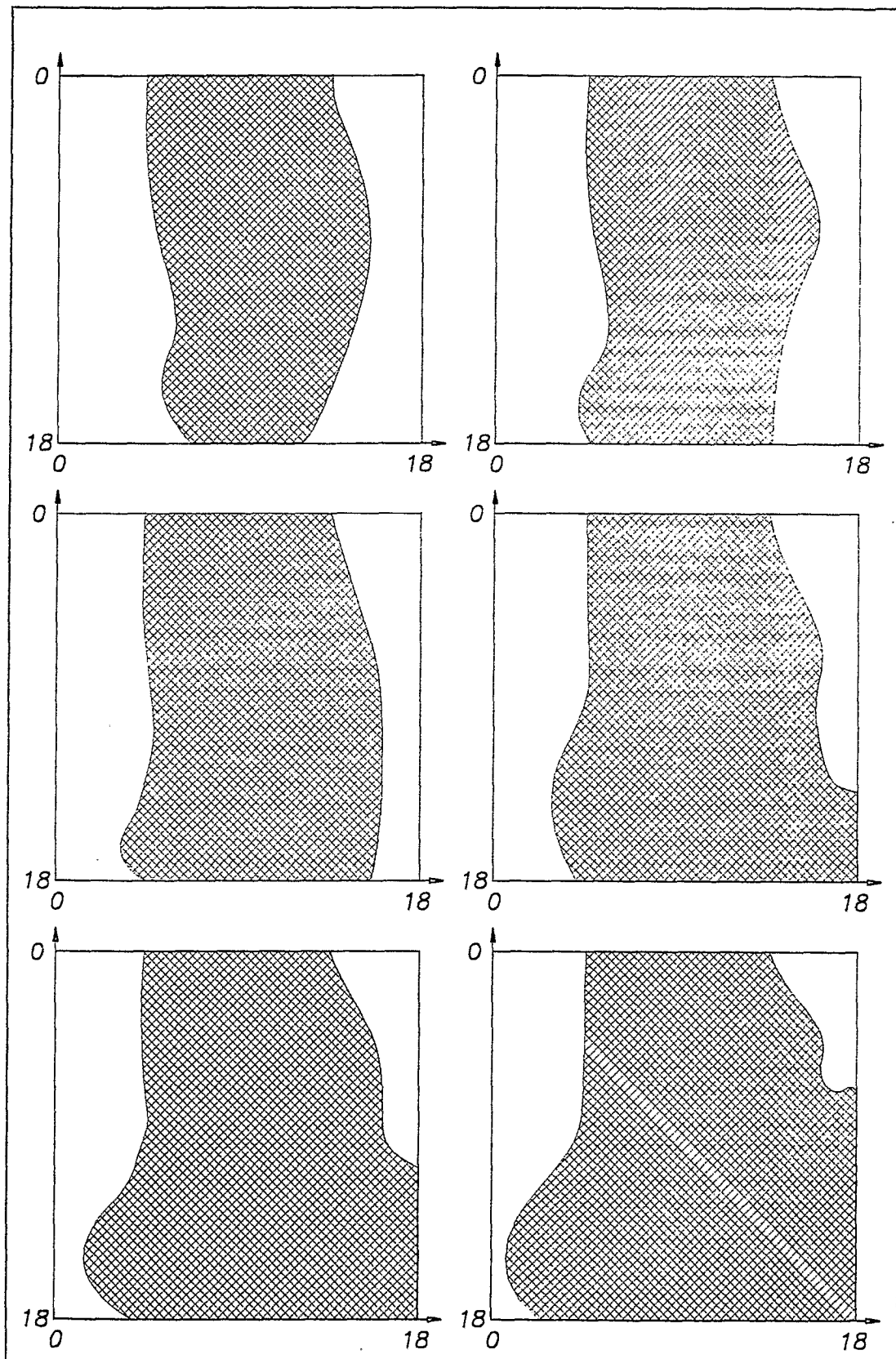




شکل (۳-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 1$  از  $0.7$  ثانیه تا  $1.2$  ثانیه

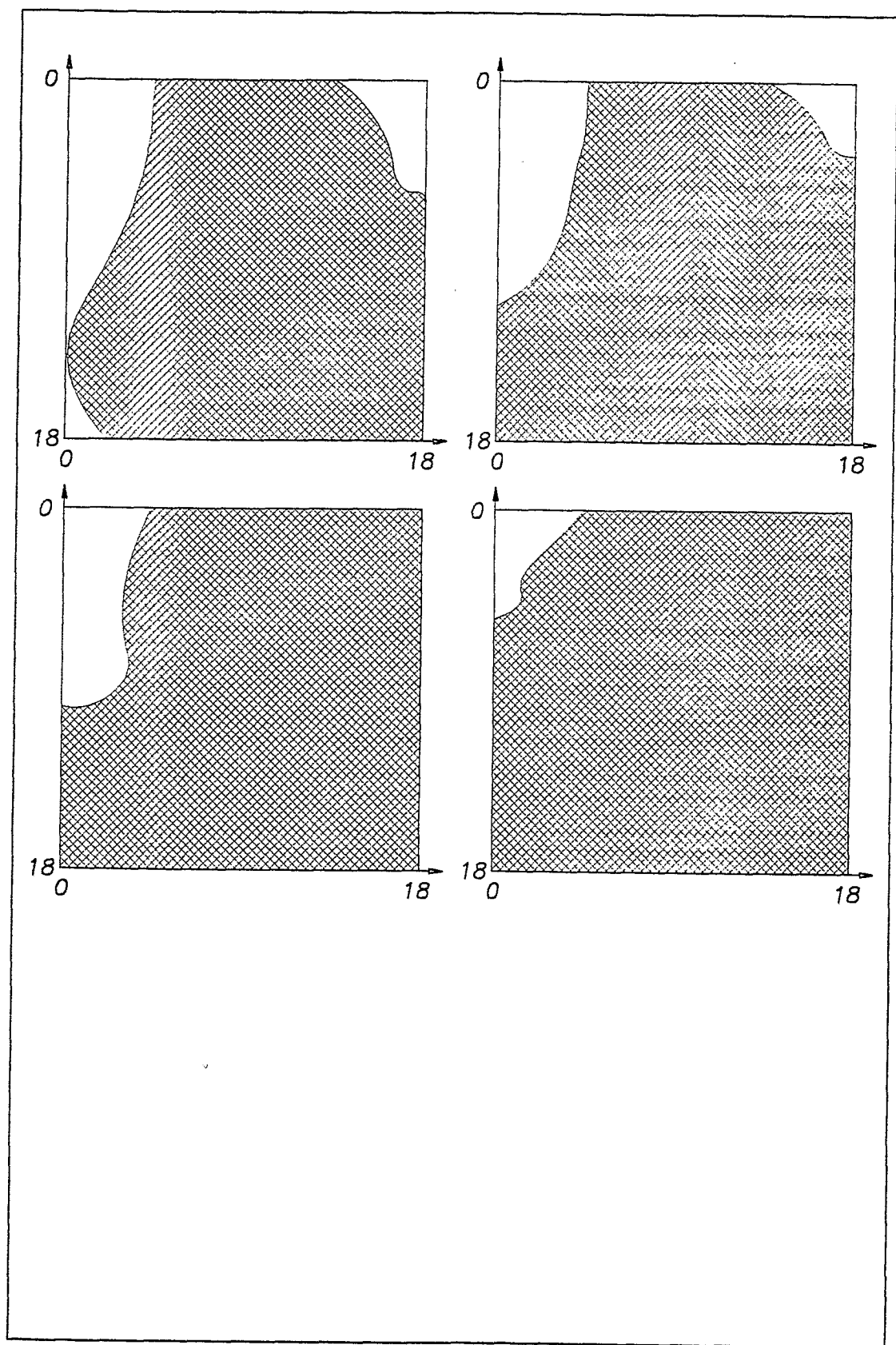


شکل (۴-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة ۹×۱ از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه



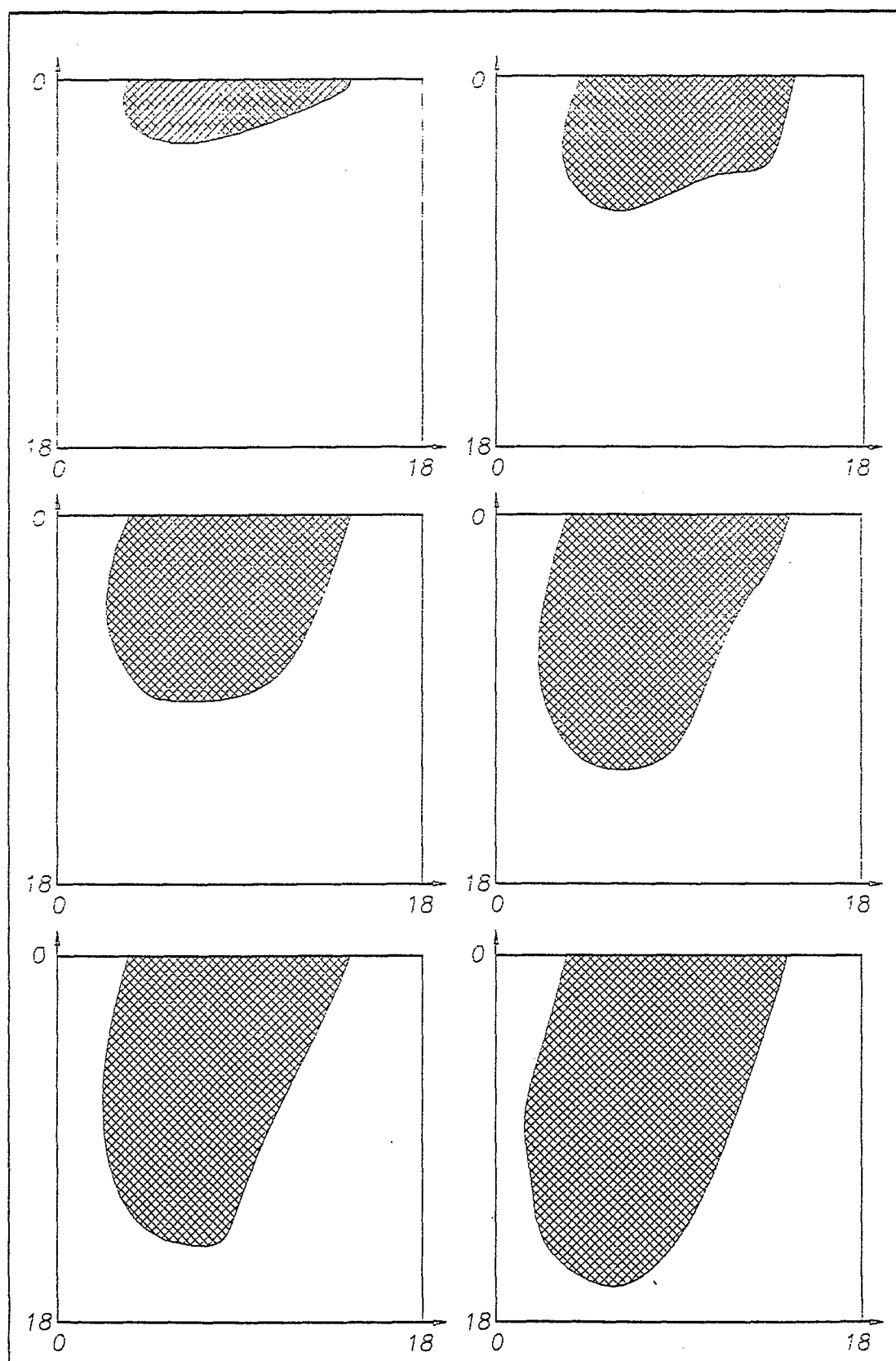
شکل (۴-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهپاره  $9 \times 1$  از  $0.7$  ثانیه تا  $1.2$  ثانیه



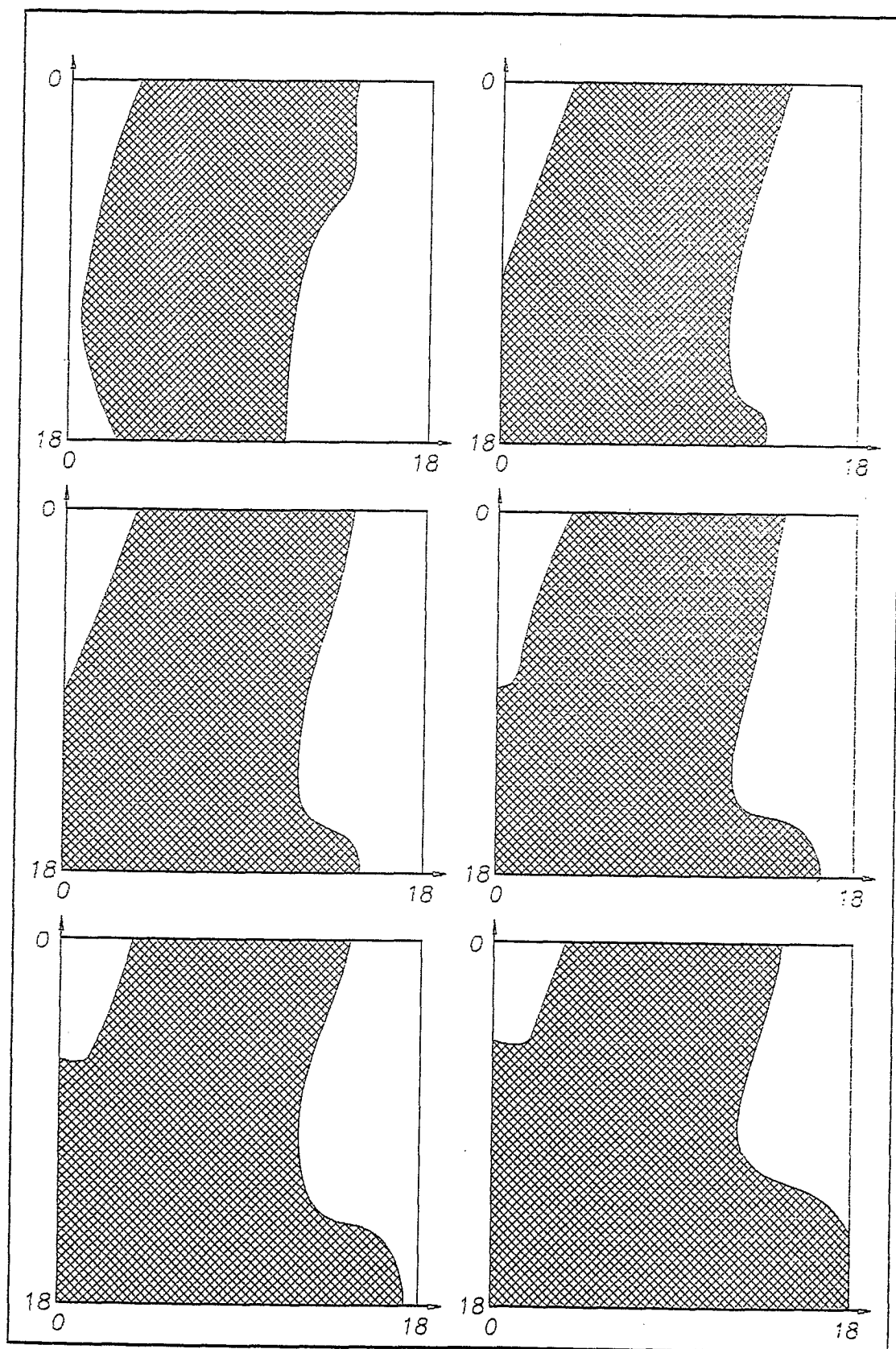


شکل (۴-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $9 \times 1$  از  $1/3$  ثانیه تا  $1/6$  ثانیه

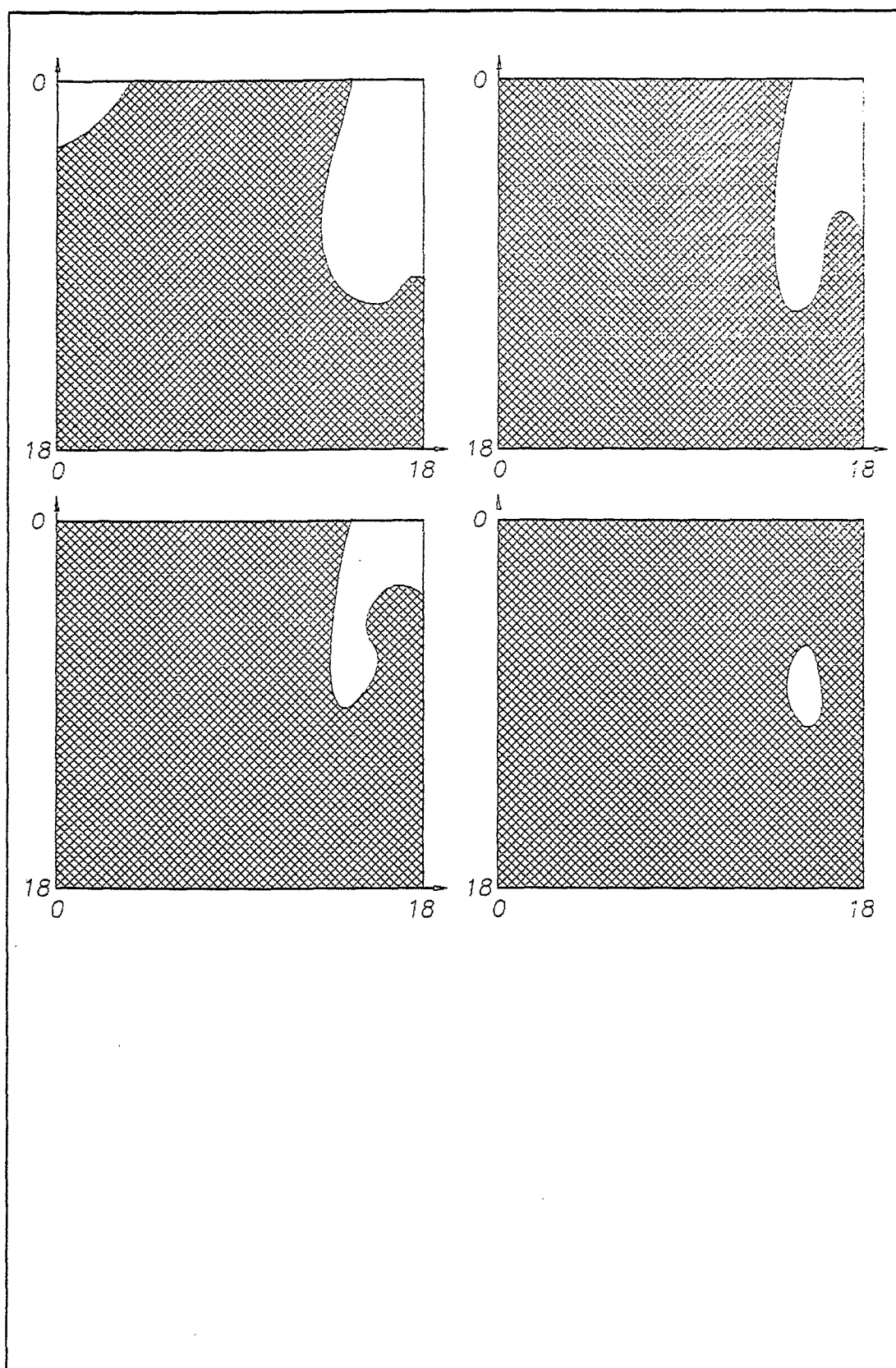




شکل (۴-۵): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $11 \times 1$  از  $1/18$  تا  $5/18$  ثانیه  
 $0/6$  ثانیه



شکل (۴-۵): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۲/۶:۳/۱۸) از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه



شکل (۴-۵): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۲/۶:۳/۱۸) از ۱/۳ ثانیه تا ۱/۶ ثانیه

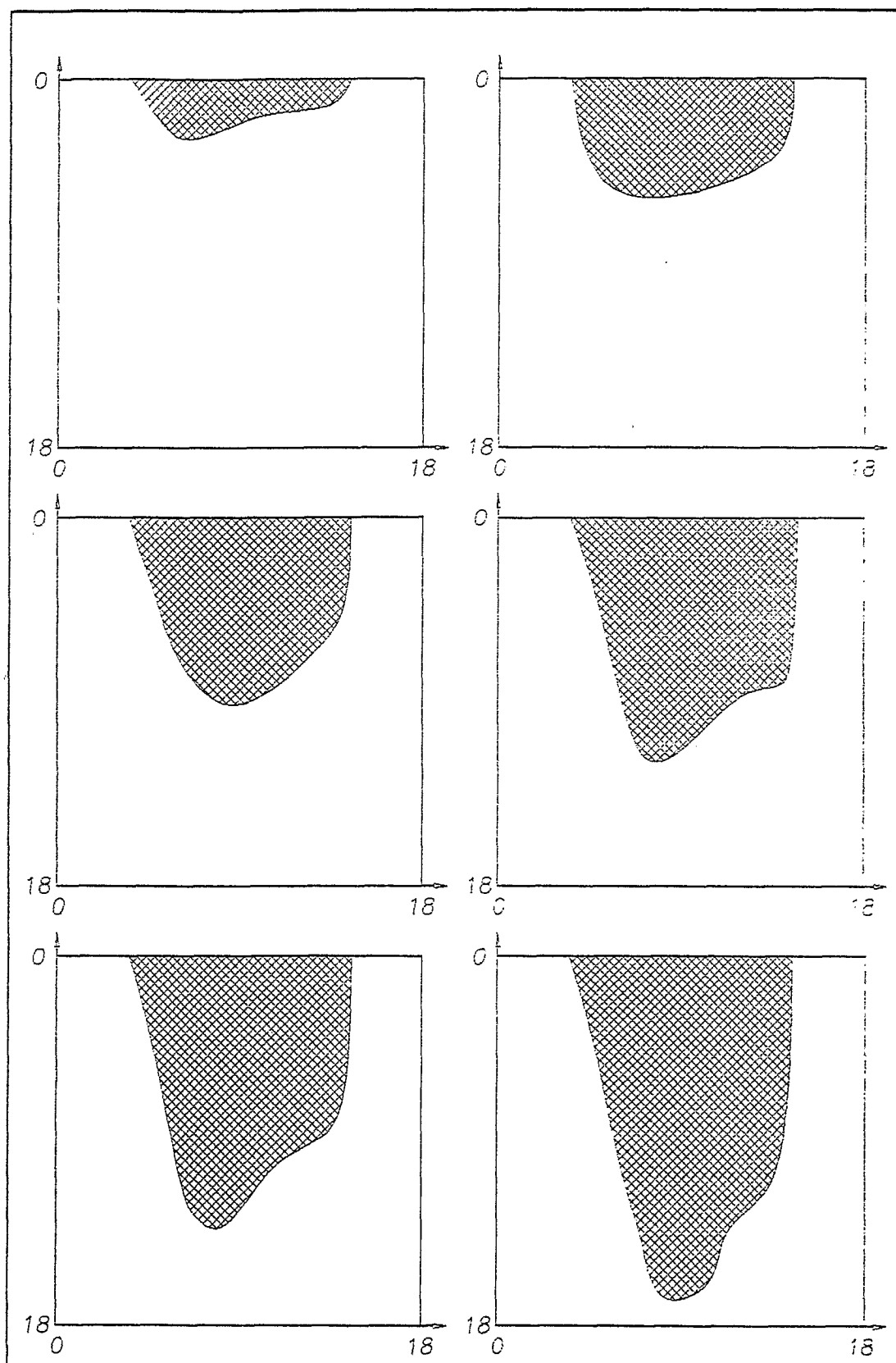
### ۳-۴- نتایج آزمایشهای مرحله دوم پژوهش

برای بررسی تاثیر نسبت سیستم راهگاهی بر مدل حرکت مذاب در قالب، در راهبار ۱۱×۱ به جای استفاده از راهبار به ابعاد ۴/۵×۲ cm از راهبار به ابعاد ۵×۲/۲ cm استفاده گردید.

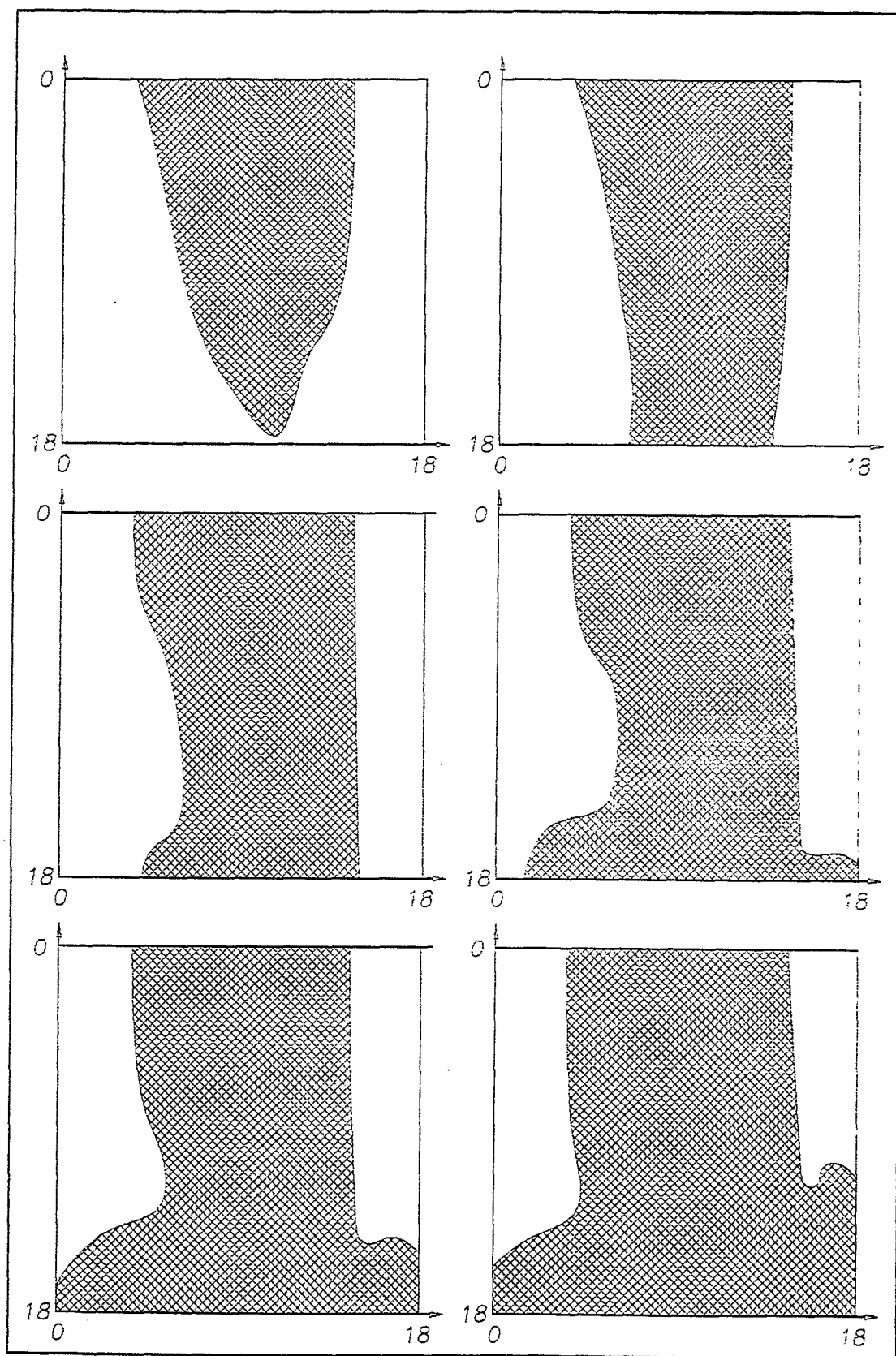
پس از ریخته‌گری نمونه‌های و فیلم برداری از نحوه جریان مذاب (از مقابل شیشه مش بندی شده)، توسط برد SVW، از فیلم مربوطه در زمانهای متوالی (۱/۰ ثانیه) تصاویری تهیه شده است.

خطوط جبهه مذاب در هر کدام از سیستمهای راهگاهی با نسبت ۱:۲/۶:۳/۱۸ و ۱:۳/۱۸:۳/۱۸ به ترتیب در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) آورده شده است.

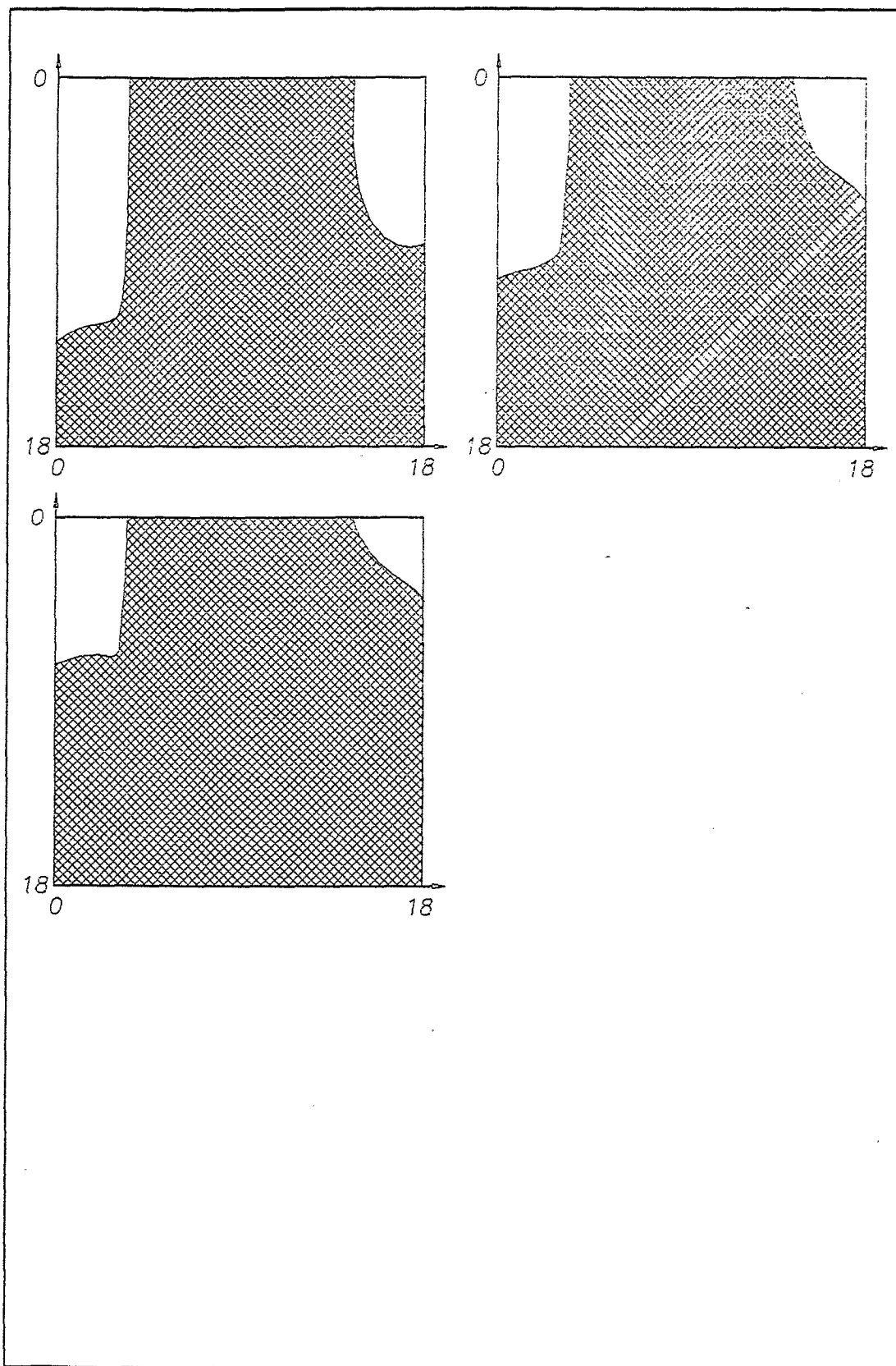




شکل (۴-۶): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۳/۱۸:۳/۱۸) از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه



شکل (۴-۶): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۳/۱۸:۳/۱۸) از ۰/۷ ثانیه تا ۱/۲ ثانیه



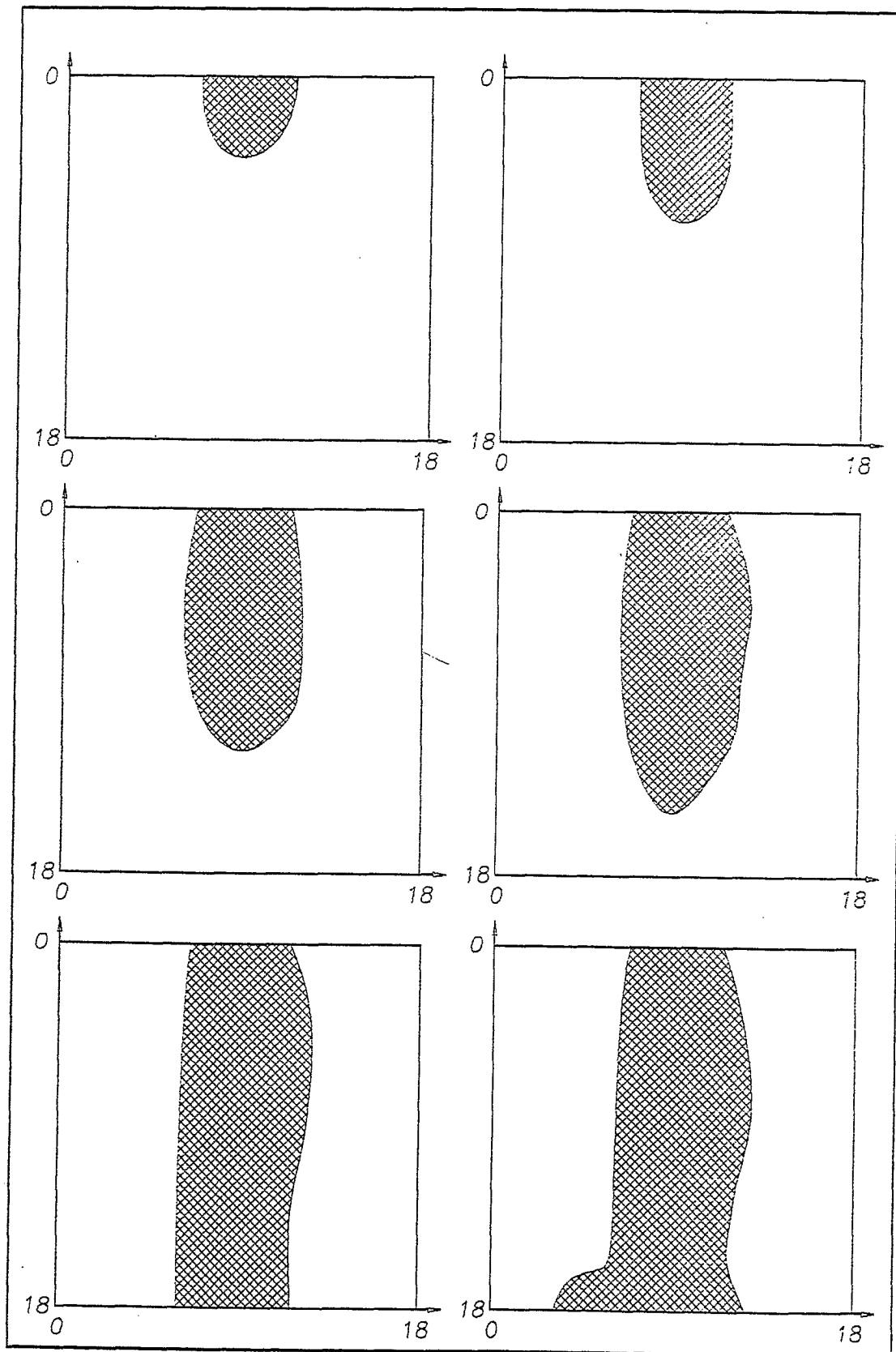
شکل (۴-۶): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره ۱۱×۱ (۱:۳/۱۸:۳/۱۸) از ۱/۲ ثانیه تا ۱/۵ ثانیه

#### ۴-۴- نتایج آزمایشهای مرحله سوم پژوهش:

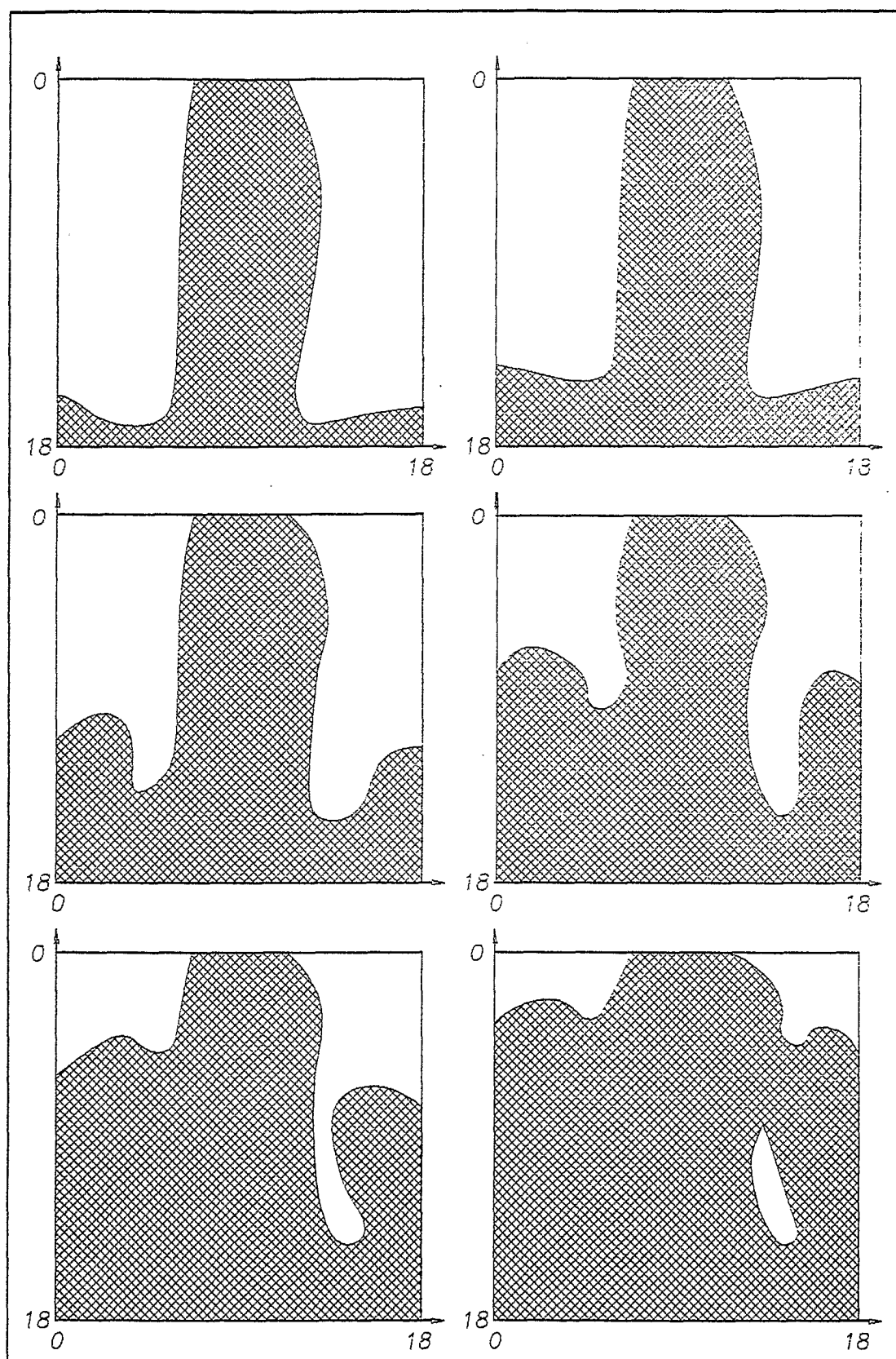
برای بررسی تاثیر هندسه راهباره بر چگونگی حرکت مذاب در قالب، با ثابت نگه داشتن مساحت راهباره در  $9\text{cm}^2$  (بجای راهباره  $9 \times 1\text{cm}$ ) از راهباره‌هایی با ابعاد  $4/5 \times 2\text{cm}$  و  $6 \times 1/5\text{cm}$  استفاده گردید پس از ریخته‌گری نمونه‌ها و فیلم برداری از نحوه جریان مذاب، (از مقابل شیشه مش بندی شده)، توسط برد SVW، از فیلم مربوطه در زمانهای متوالی (۱/۰ ثانیه) تصاویری تهیه شده است.

خطوط جبهه مذاب در هر کدام از راهباره‌های  $4/5 \times 2$ ،  $9 \times 1$  و  $6 \times 1/5\text{cm}$  به ترتیب در شکل‌های (۴-۴)(۴-۷)(۴-۸) آورده شده است.

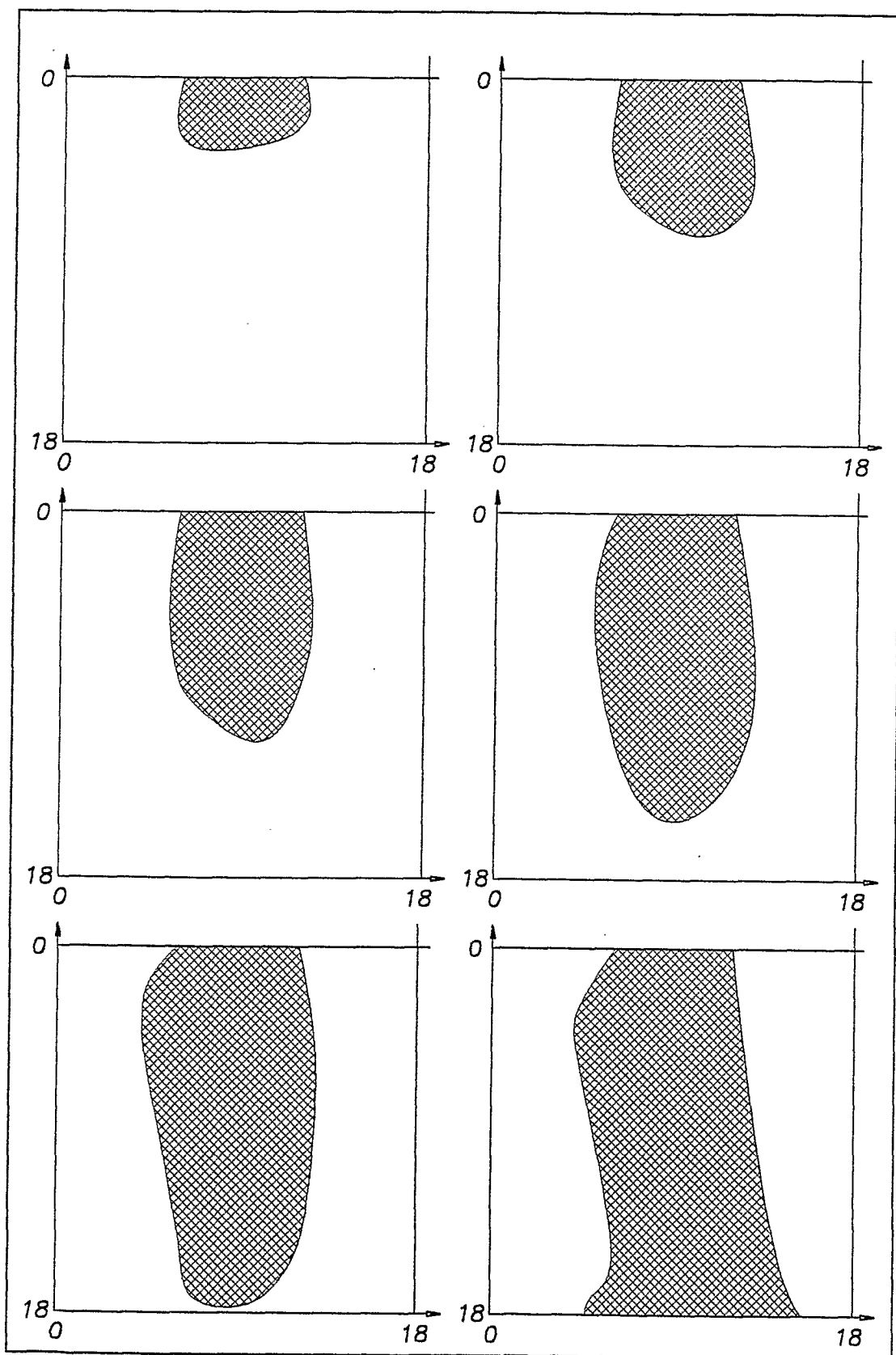




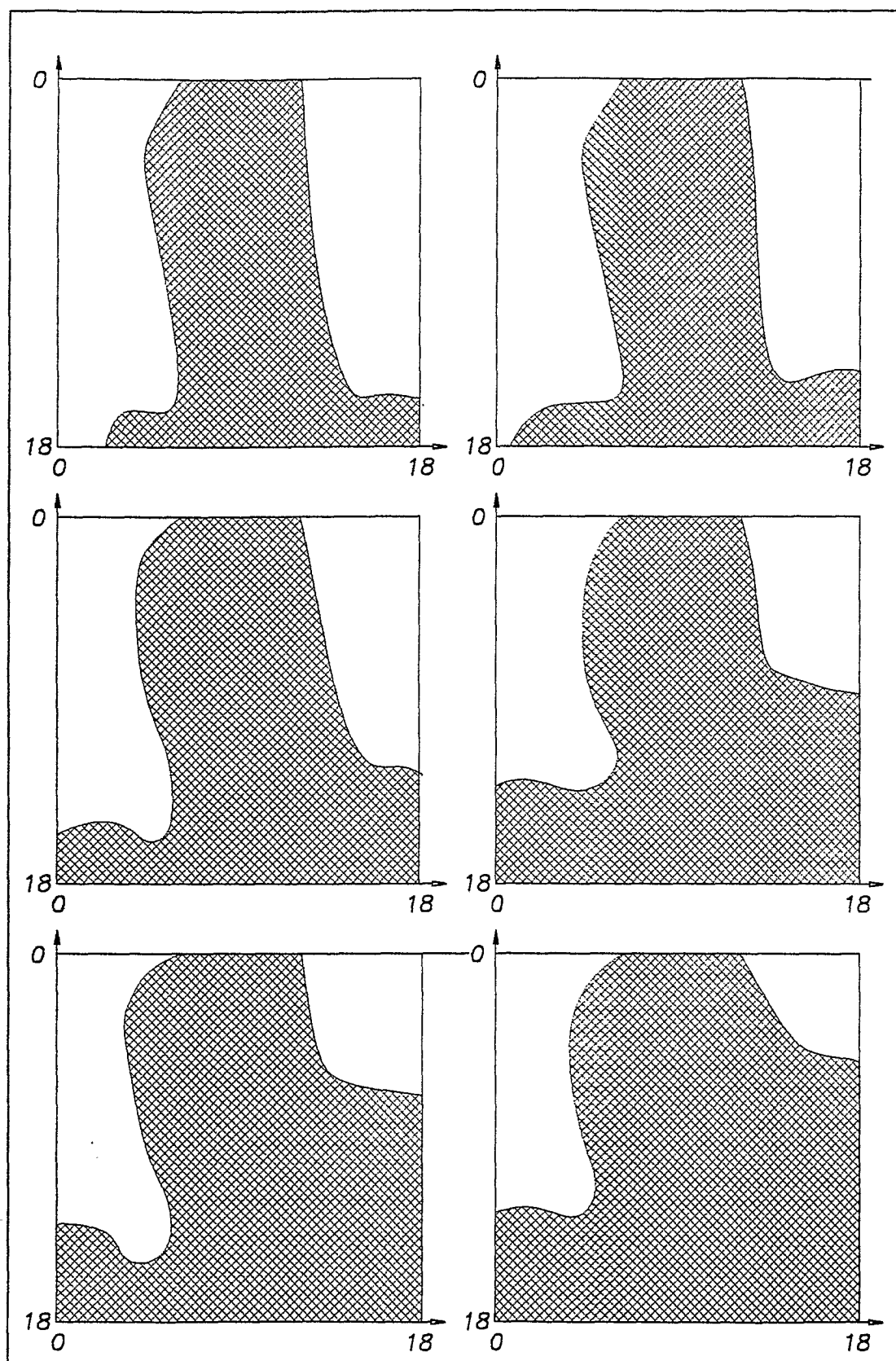
شکل (۴-۷): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره ۴/۵×۲ از ۰/۱ ثانیه تا ۰/۶ ثانیه



شکل (۴-۷): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة  $4/5 \times 2$  از  $0/7$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه

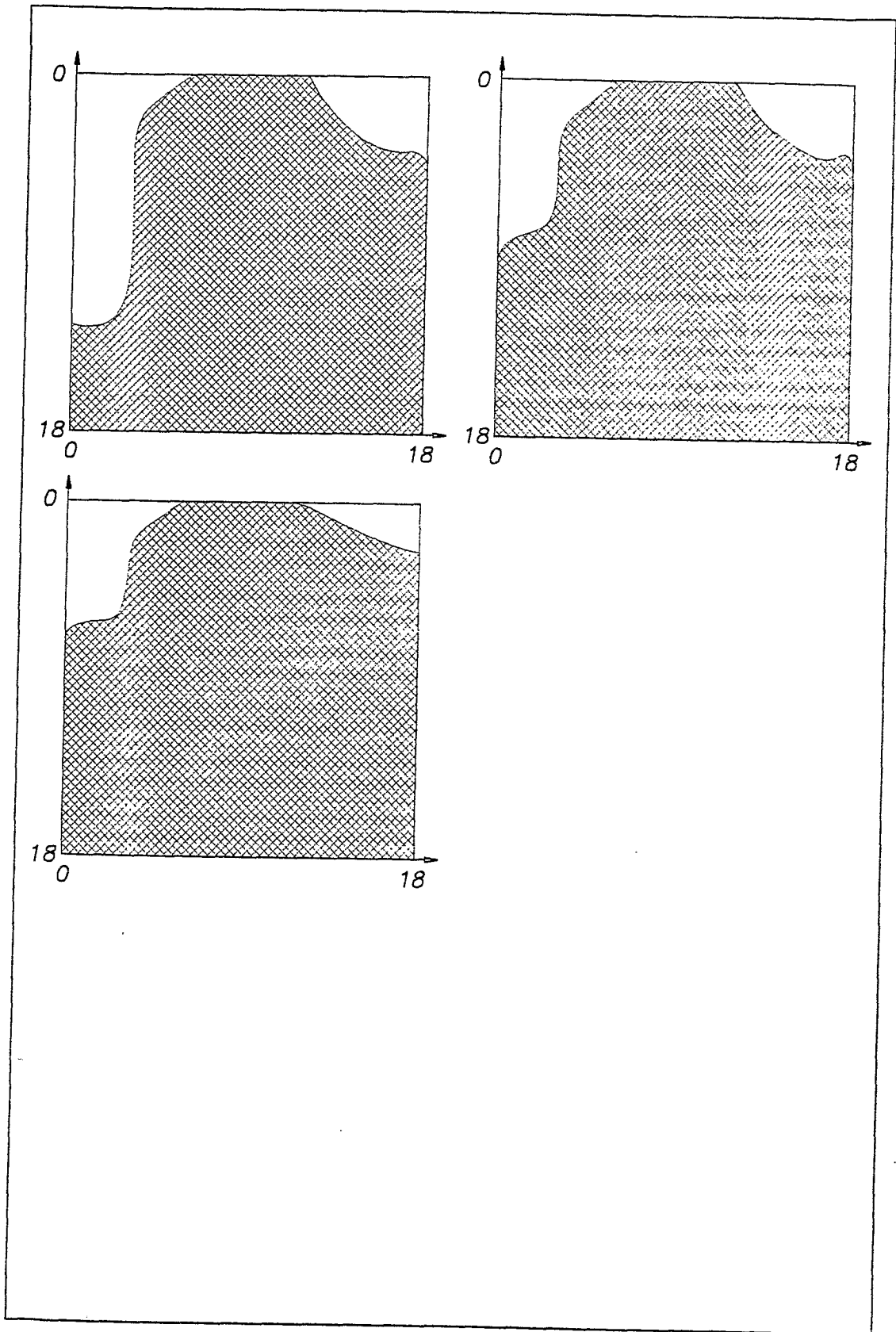


شکل (۸-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $1/5 \times 6$  از  $1/1$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه



شکل (۸-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $1/5 \times 6$  از  $7/0$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه





شکل (۸-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $6 \times 1/5$  از  $0/7$  ثانیه تا  $1/5$  ثانیه.

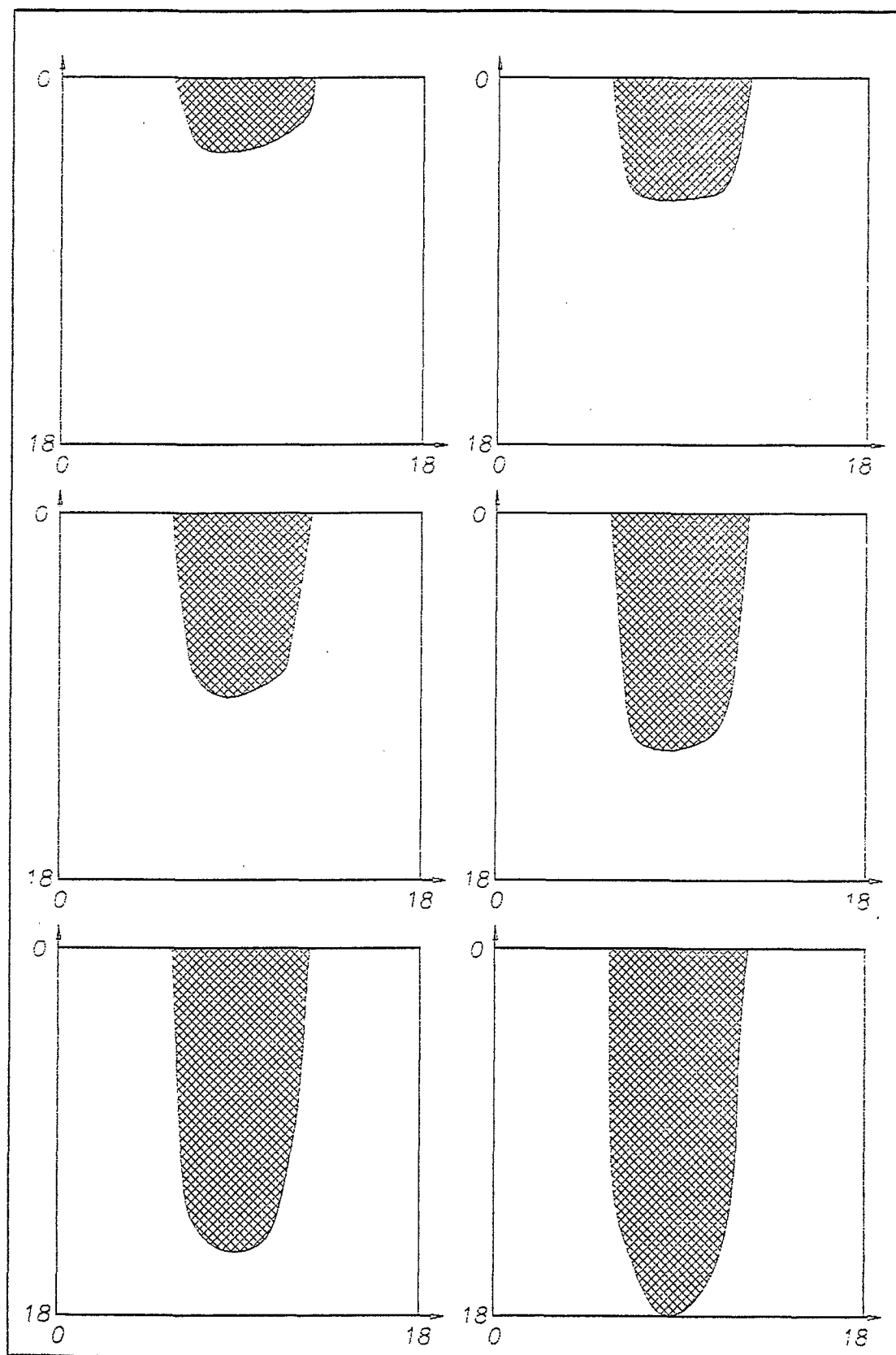
#### ۴-۵- نتایج آزمایشهای مرحله چهارم پژوهش :

برای بررسی تاثیر ضخامت راهبارة در یک عرض ثابت بر مدل حرکت مذاب در قالب، از راهبارةهایی با ابعاد  $7 \times 1$ ،  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$  سانتی متر استفاده گردید. پس از ریخته‌گری نمونه‌ها و فیلم برداری از نحوه جریان مذاب (از مقابل شیشه مش بندی شده)، توسط برد SVW، از فیلم مربوطه در زمانهای متوالی (۱/۰ ثانیه) تصاویری تهیه شده است.

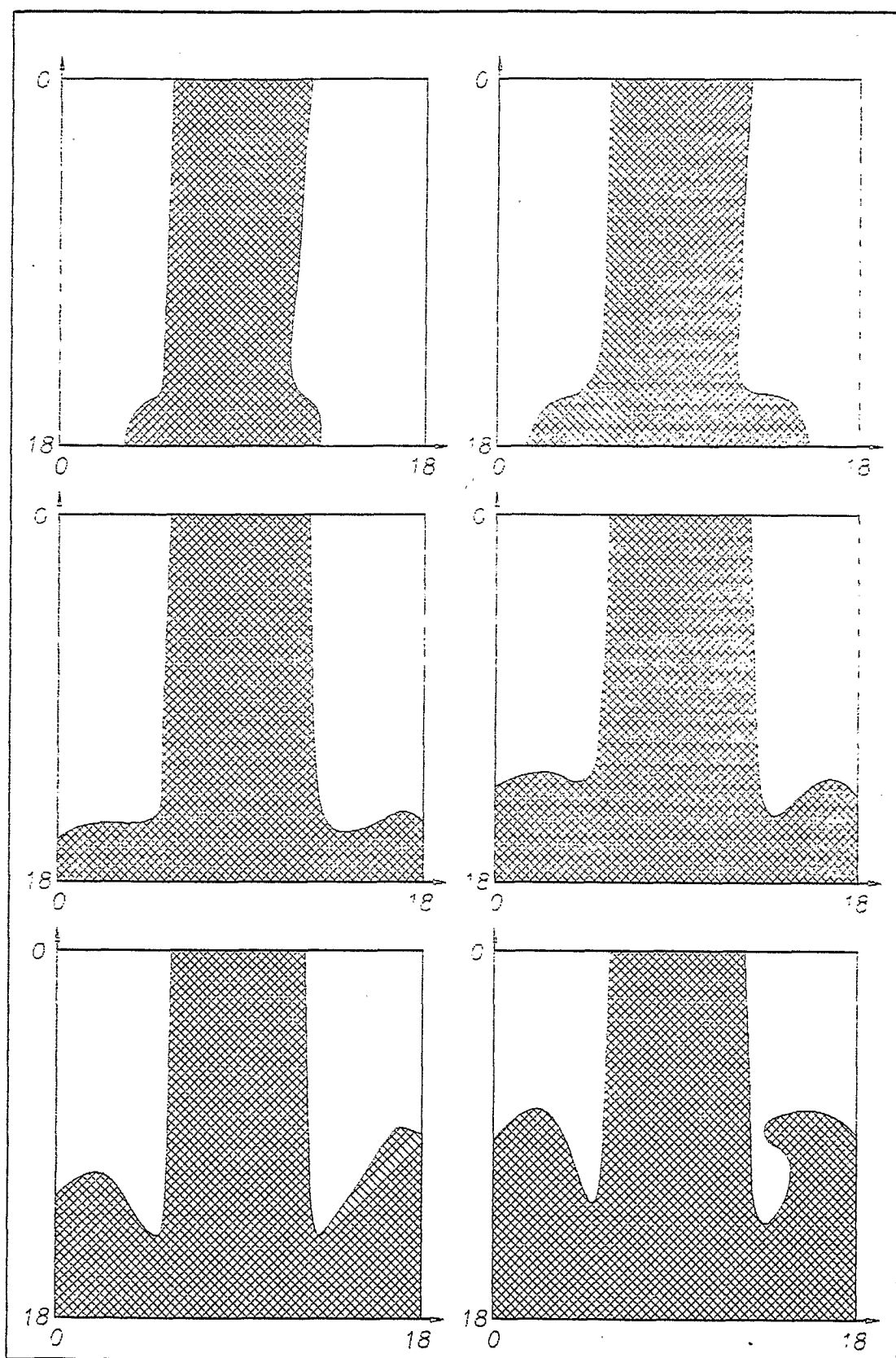
خطوط جبهه مذاب در هر کدام از راهبارةهای  $7 \times 1$ ،  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$  به ترتیب در شکل‌های (۴-۳)، (۴-۹)، (۴-۱۰) آورده شده است.

همچنین در این مرحله برای مشاهده چگونگی رفتار مذاب در راهبارة  $7 \times 2$  cm، قالبی با راهبارة  $7 \times 2$  cm گرفته شد و سپس از محل اتصال راهبارة به صفحه ریخته‌گری قالب بریده شده تا دهانه خروجی مذاب از راهبارة، قابل مشاهده باشد. پس از ریخته‌گری و فیلم برداری از نحوه جریان مذاب، تصویری از دهانه خروجی راهبارة تهیه گردید.

شکل (۴-۱۱)

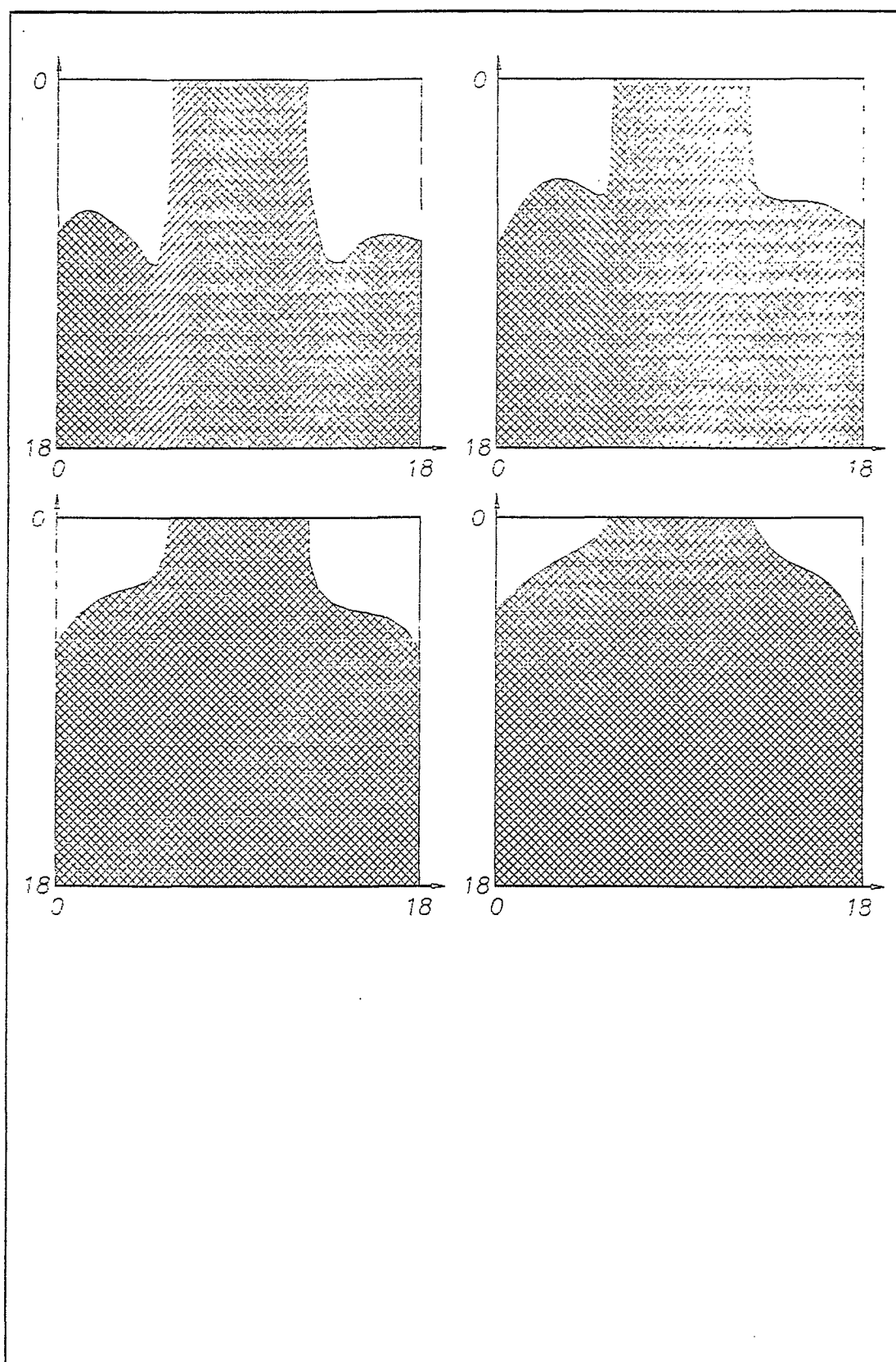


شکل (۹-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهبارة  $7 \times 1/57$  از  $1/6$  ثانیه تا  $6/6$  ثانیه

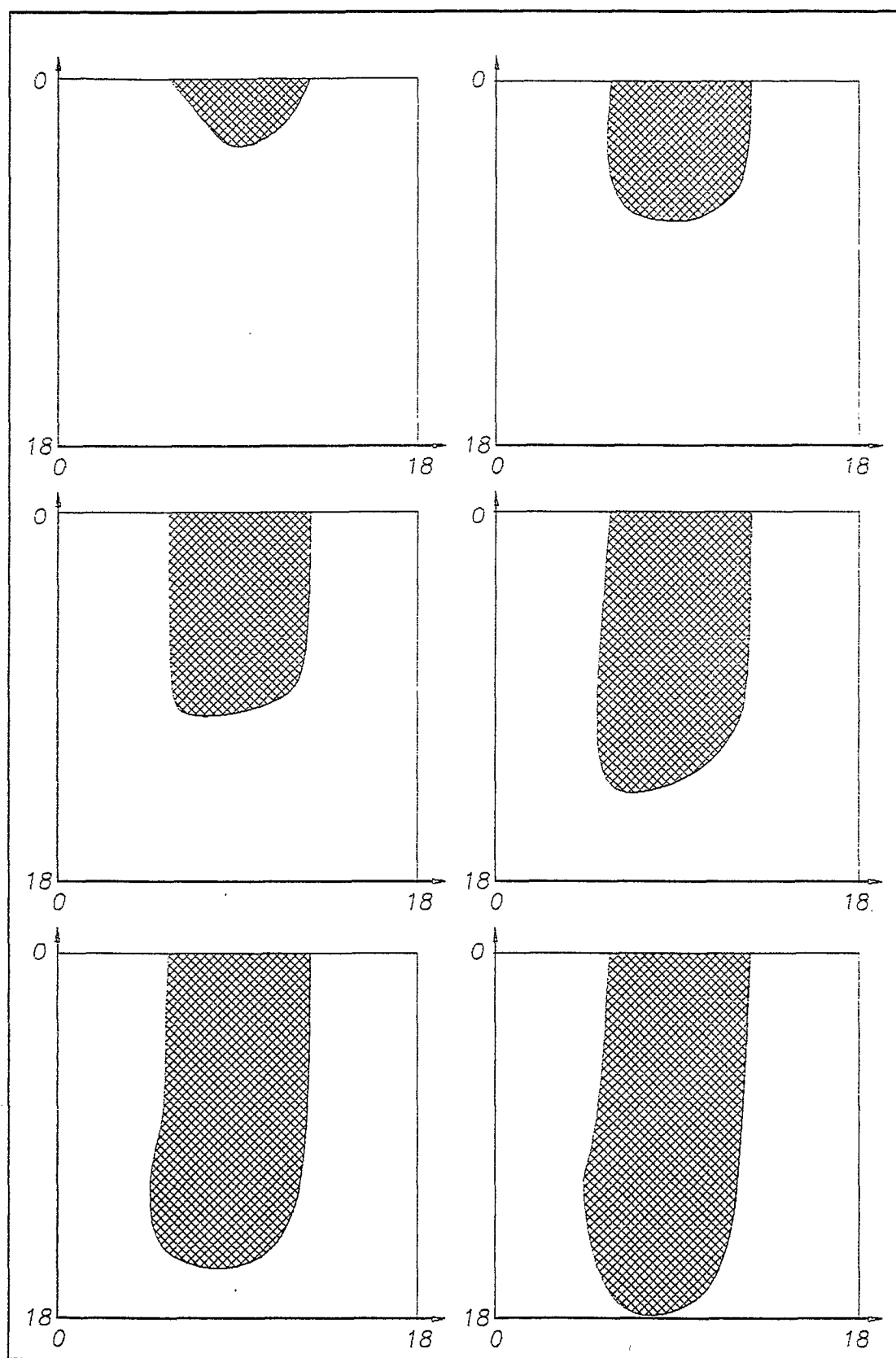


شکل (۹-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 1/57$  از  $0/7$  ثانیه تا  $1/2$  ثانیه

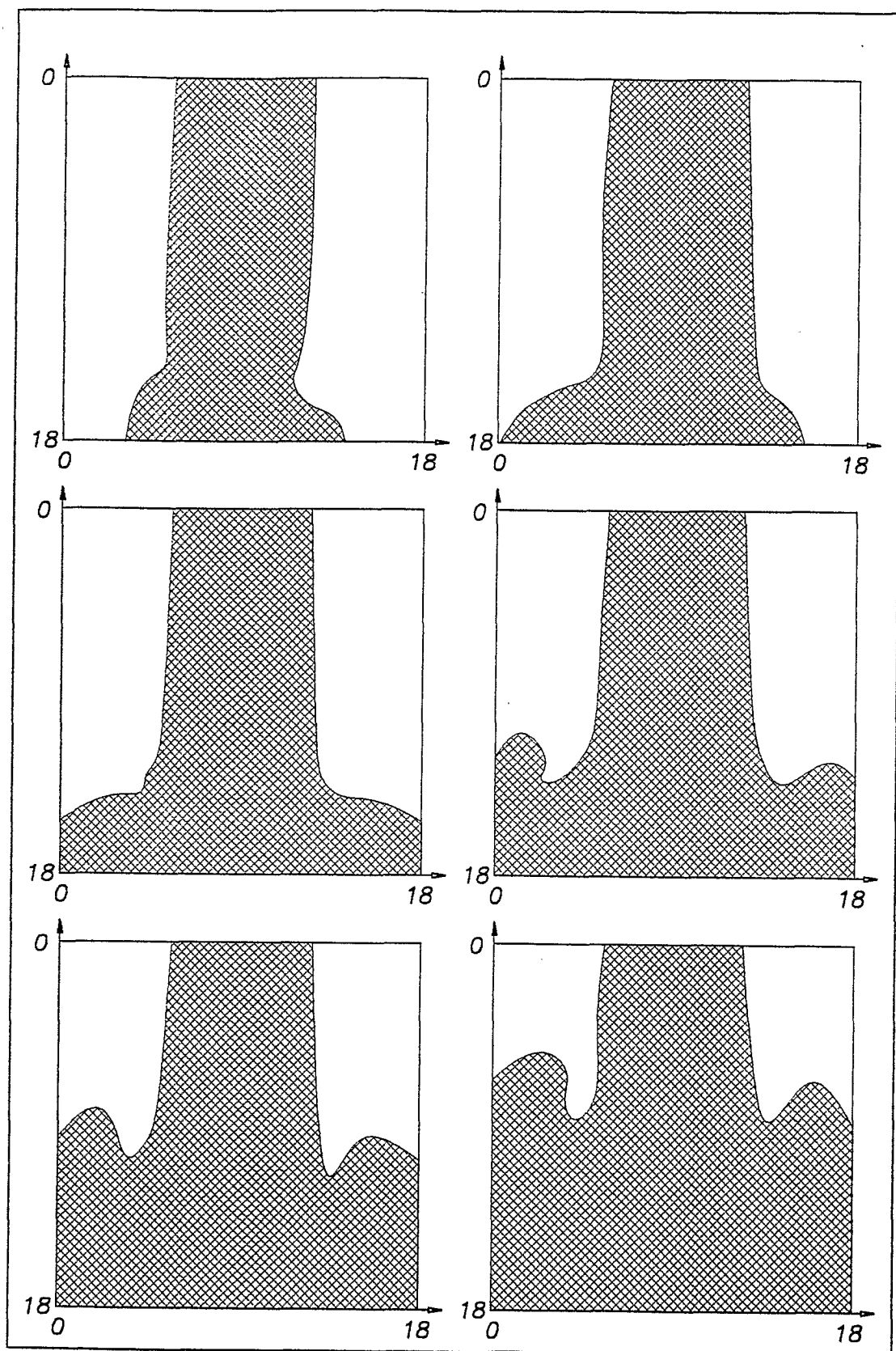




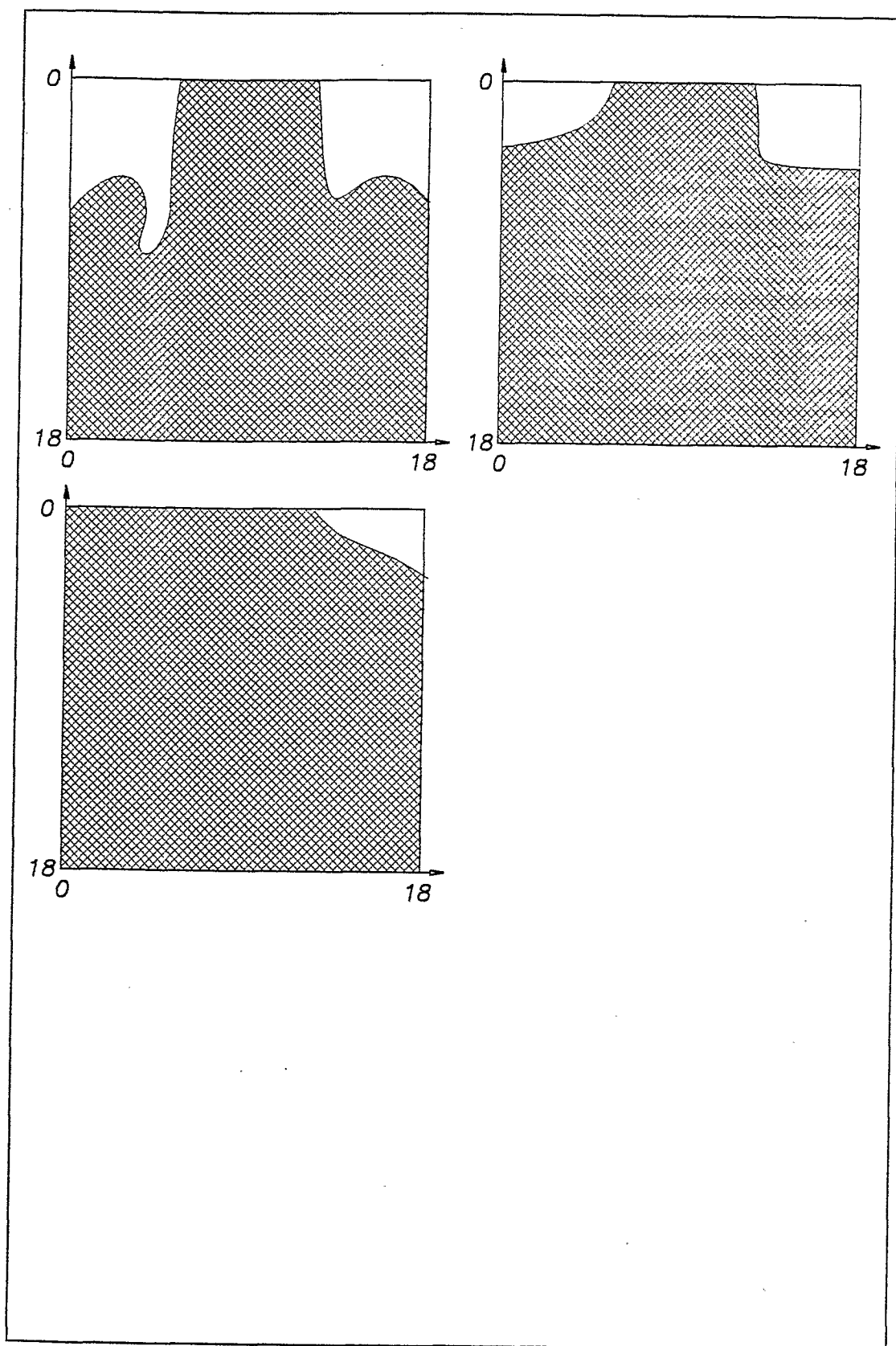
شکل (۹-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 1/57$  از  $1/3$  ثانیه تا  $1/6$  ثانیه



شکل (۱۰-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 2$  از  $0.1$  ثانیه تا  $0.6$  ثانیه

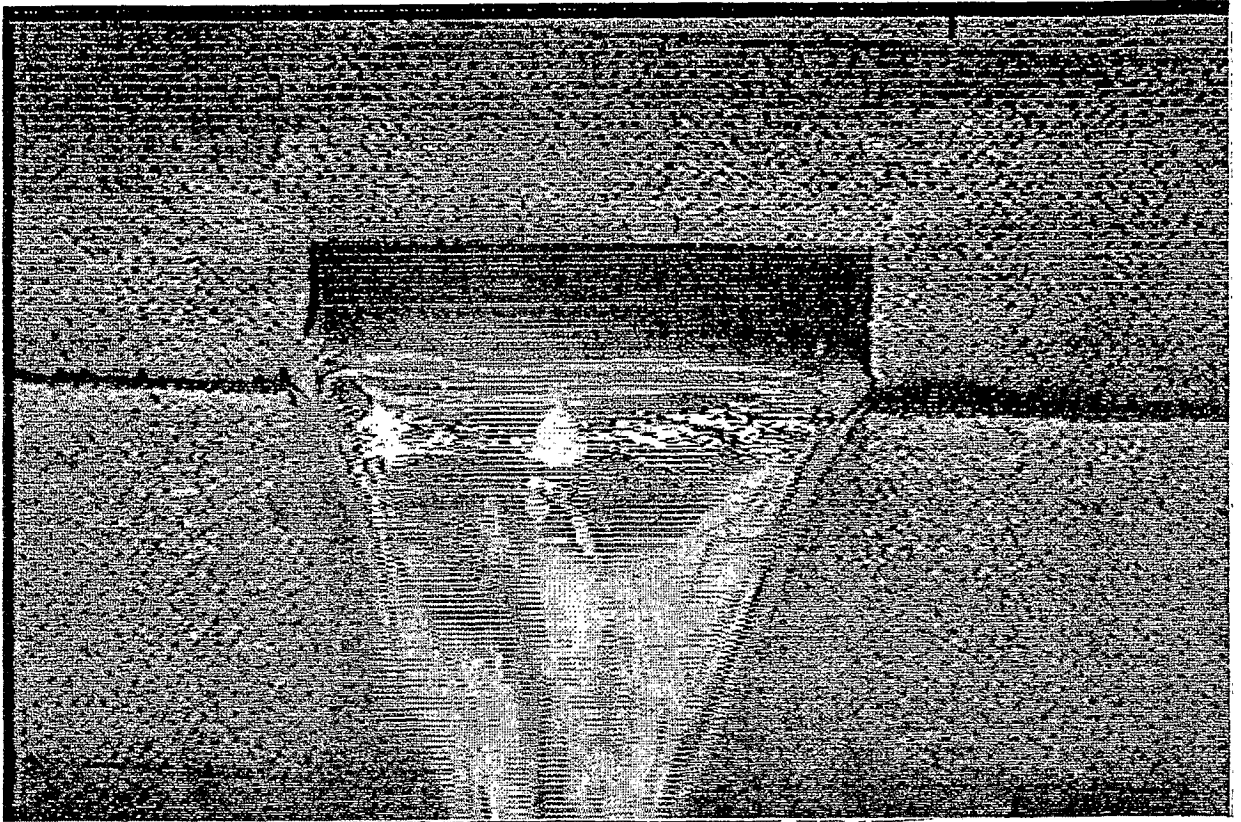


شکل (۱۰-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 2$  از  $0.7$  ثانیه تا  $1.2$  ثانیه



شکل (۱۰-۴): تصاویر حرکت جبهه مذاب در راهباره  $7 \times 2$  از  $1/3$  ثانیه تا  $1/5$  ثانیه.





شکل (۴-۱۱): نحوه جریان مذاب در دهانه خروجی راهبازه ۷×۲

## ۴-۶- نتایج حاصل از آنالیز ریاضی جبهه مذاب :

### ۴-۶-۱- سرعت مذاب ورودی :

محاسبه سرعت جبهه مذاب داخل قالب به دو روش انجام یافته است. در روش اول، سرعت لحظه‌ای مذاب، از تقسیم مسافت طی شده در هر چند صدم ثانیه (بدست آمده از تجزیه کامپیوتری تصاویر حرکت مذاب)، بر زمان طی مسیر، بدست آمده است. نتایج حاصل برای هر یک از نمونه‌ها در شکل‌های (۴-۱۲) الی (۴-۱۹) آورده شده است. در روش دوم، سرعت متوسط حرکت جبهه مذاب، را تقسیم طول قالب بر زمانی که مذاب به دیواره انتهایی قالب برخورد می‌کند، بدست آمده است.

نتایج حاصل از محاسبات انجام یافته در جدول ۴-۱ آورده شده است.

ضریب تخلیه	دبی مذاب ورودی $\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$	سرعت متوسط $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$	سرعت مذاب ورودی به قالب $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$	سرعت تئوری مذاب ورودی به قالب $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$	سطح مقطع راهبار $\text{cm}^2$	سطح مقطع راهبار
۰/۵۷۵	۳۴۵	۵۸	۱۱۵	۲۰۰	۹	۳×۱
۰/۶۱	۳۷۵	۴۴	۷۵	۱۲۲/۶	۹	۵×۱
۰/۶۸	۴۲۰	۳۷	۶۰	۷۸/۵	۹	۷×۱
۰/۷۳	۴۵۰	۲۹	۵۰	۶۸	۹	۹×۱
۰/۷۳	۴۴۰	—	۴۰	۵۵/۷	۹	۱۱×۱
۰/۸	۴۹۵	۲۶	۴۵	۵۵/۷	۱۱	۱۱×۱
—	—	۰۴۲	—	۶۸	۹	۴/۵×۲
—	—	۳۷	—	۶۸	۹	۶×۱/۵
—	—	۳۱	۵۵	۵۵/۷	۹	۷×۱/۵۷
—	—	۳۰	۵۵	۴۳/۸	۹	۷×۲

جدول ۴-۱: اطلاعات حاصل از محاسبات سرعت ورودی مذاب به قالب

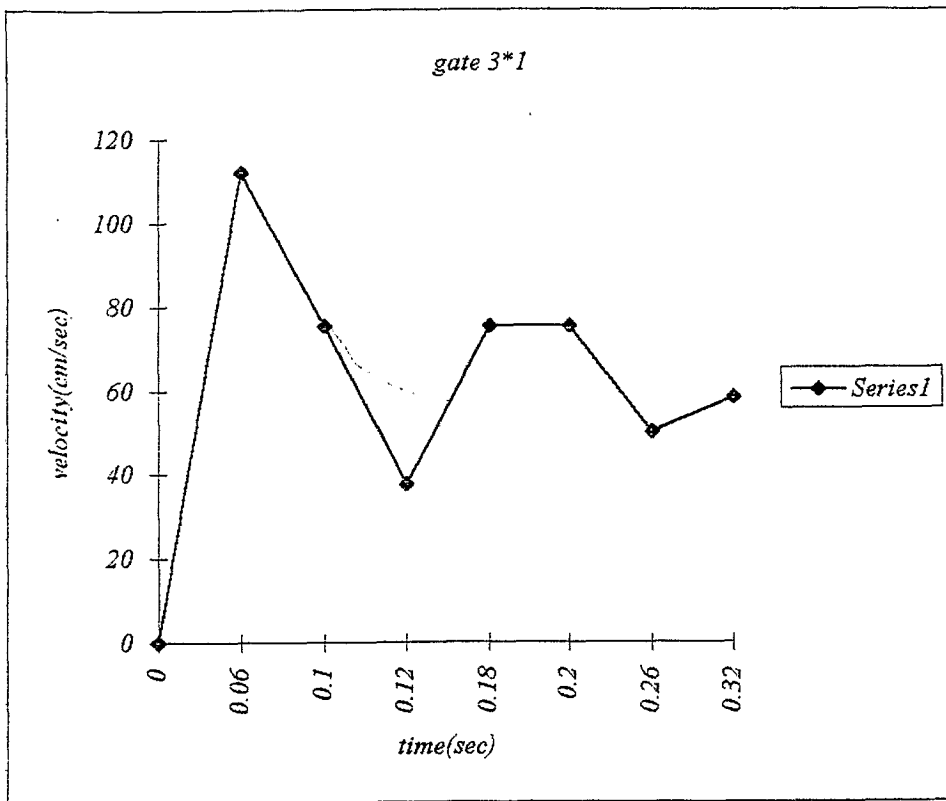
ارتفاع موثر = ۱۶cm

سطح مقطع تنگه = ۳/۴۶ cm<sup>۴</sup>

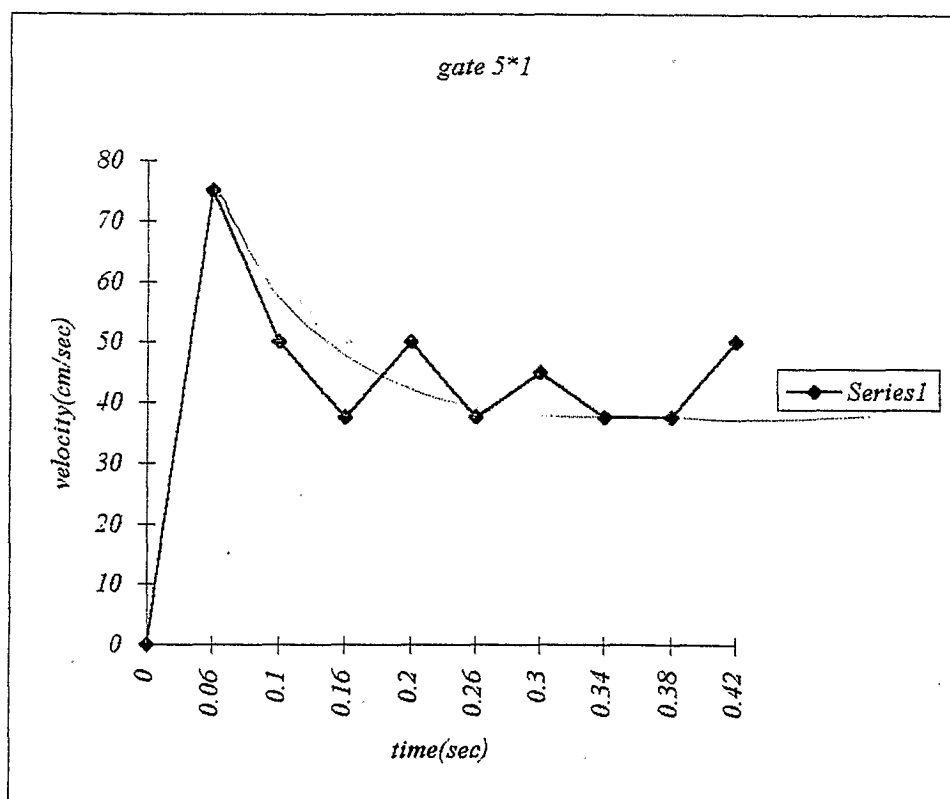
همانطورکه از جدول فوق مشاهده می گردد سرعت مذاب ورودی به قالب برای

راهبره های ۴/۵×۲، ۶×۲/۵ داده نشده است. دلیل این مسئله در فصل بعد توضیح

داده خواهد شد.

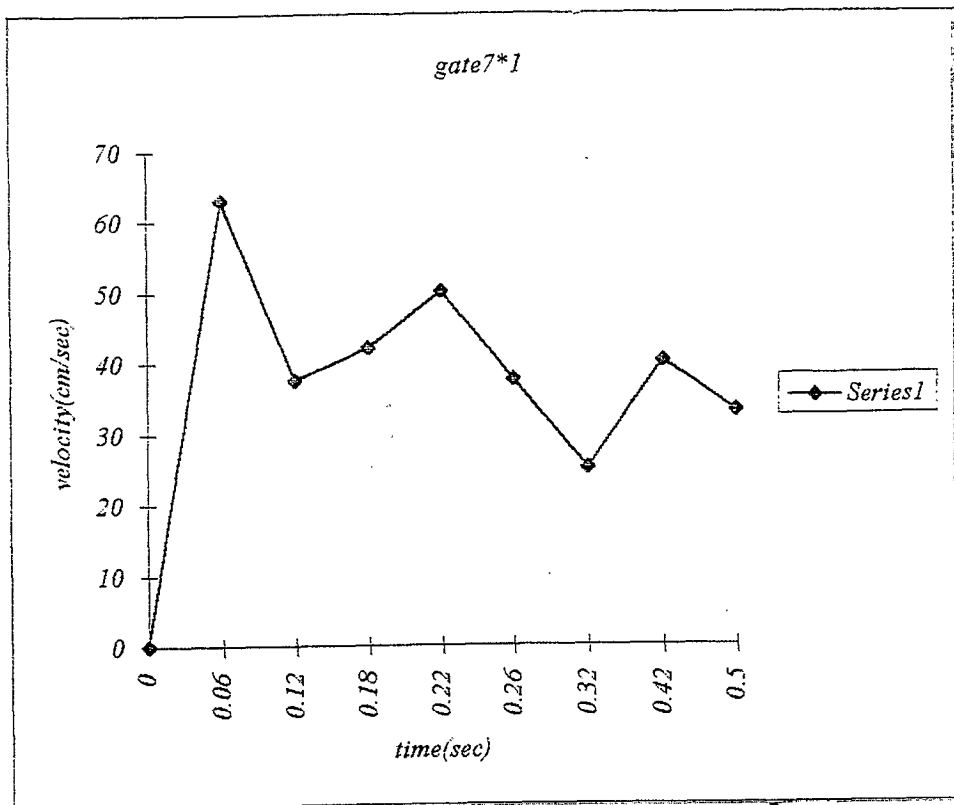


شکل (۴-۱۲): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهبارة ۳×۱

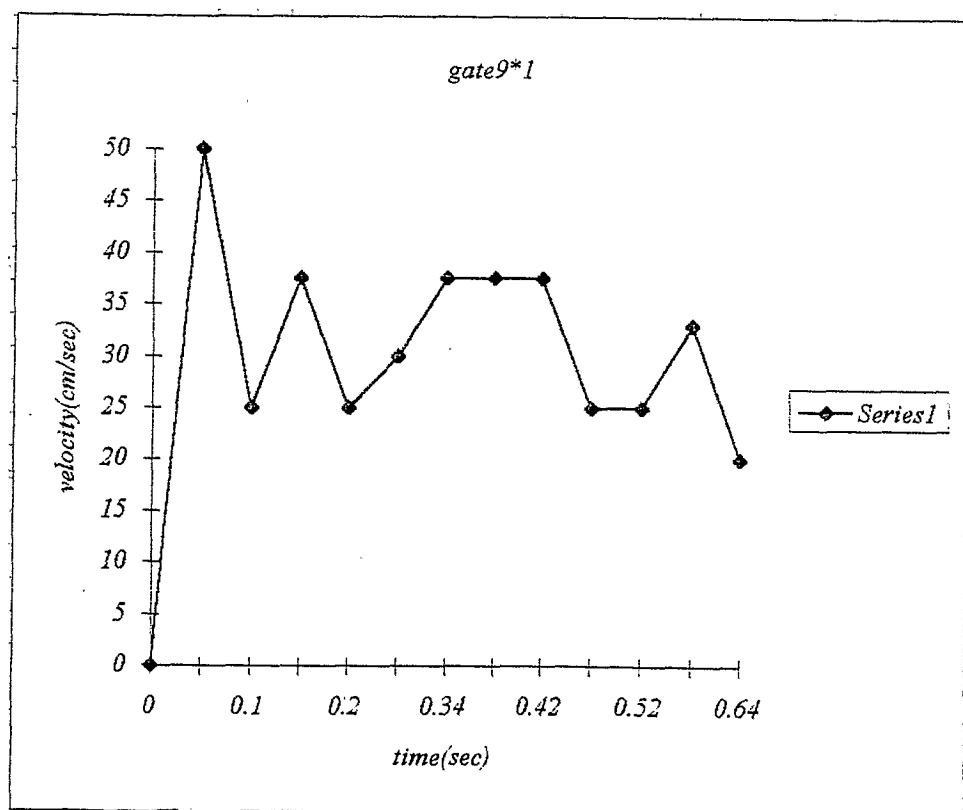


شکل (۴-۱۳): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهبارة ۵×۱

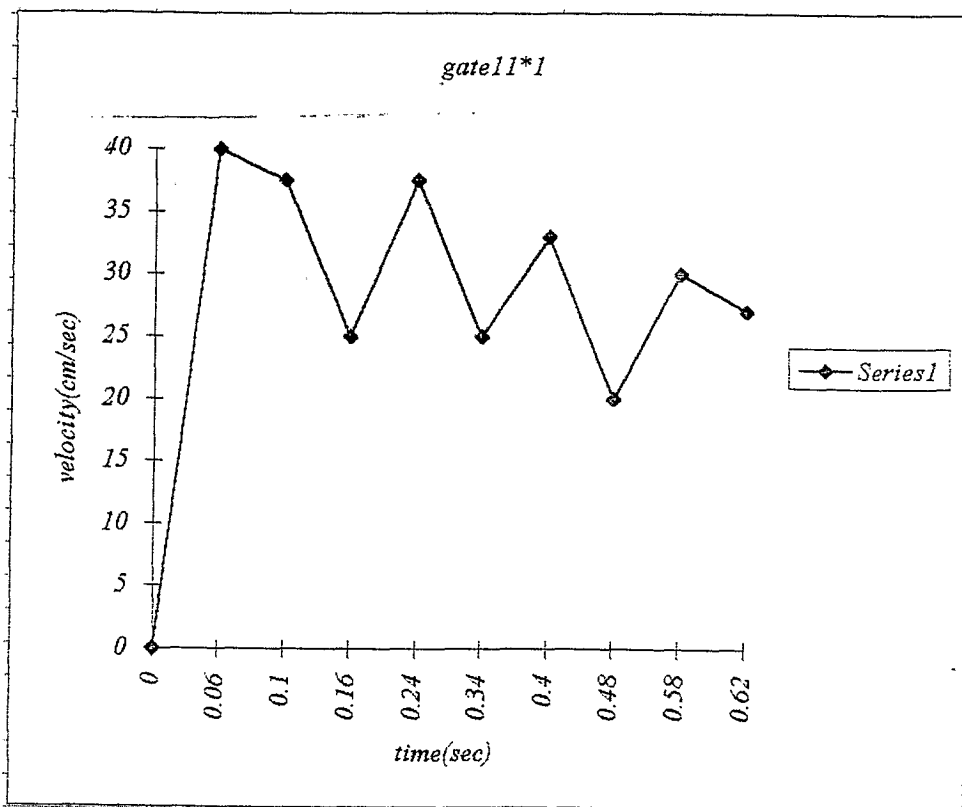




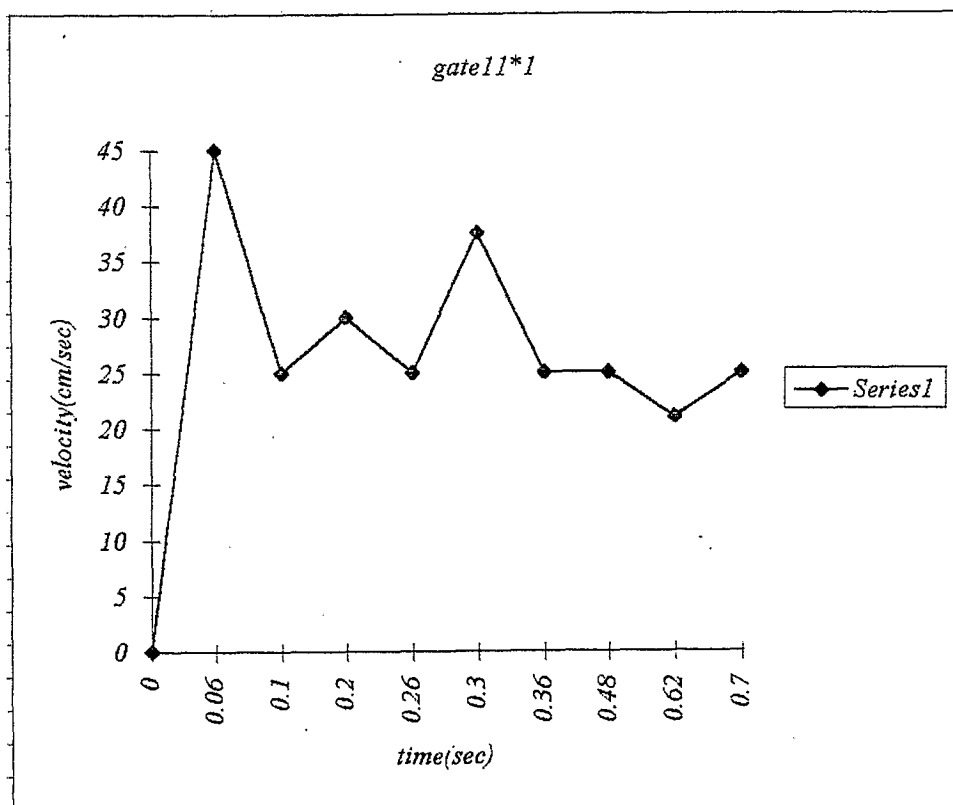
شکل (۴-۱۴): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره ۷×۱



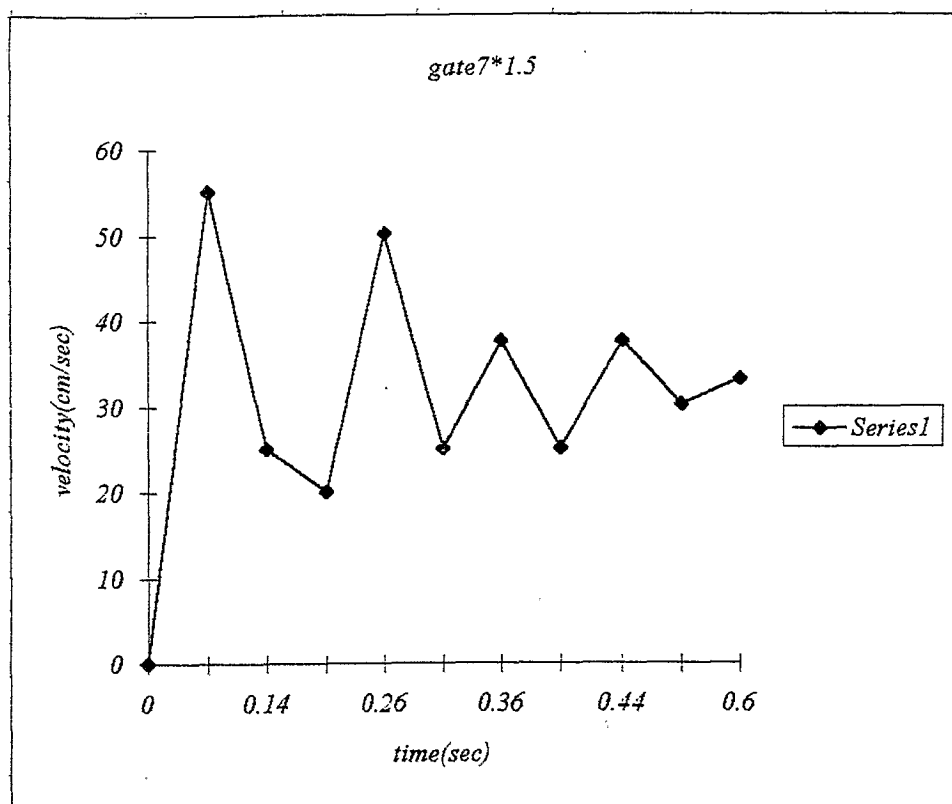
شکل (۴-۱۵): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره ۹×۱



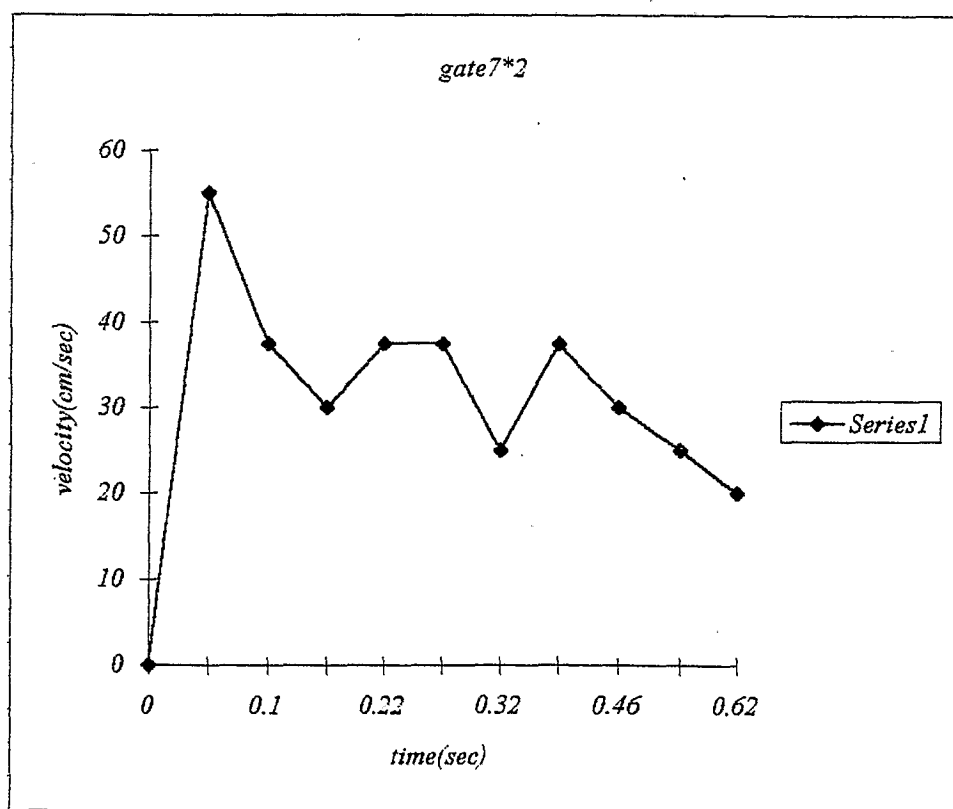
شکل (۱۶-۴): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۲/۶:۳/۱۸)



شکل (۲۷-۴): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $11 \times 1$  (۱:۳/۱۸:۳/۱۸)



شکل (۴-۱۸): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $۷ \times ۱/۵۷$

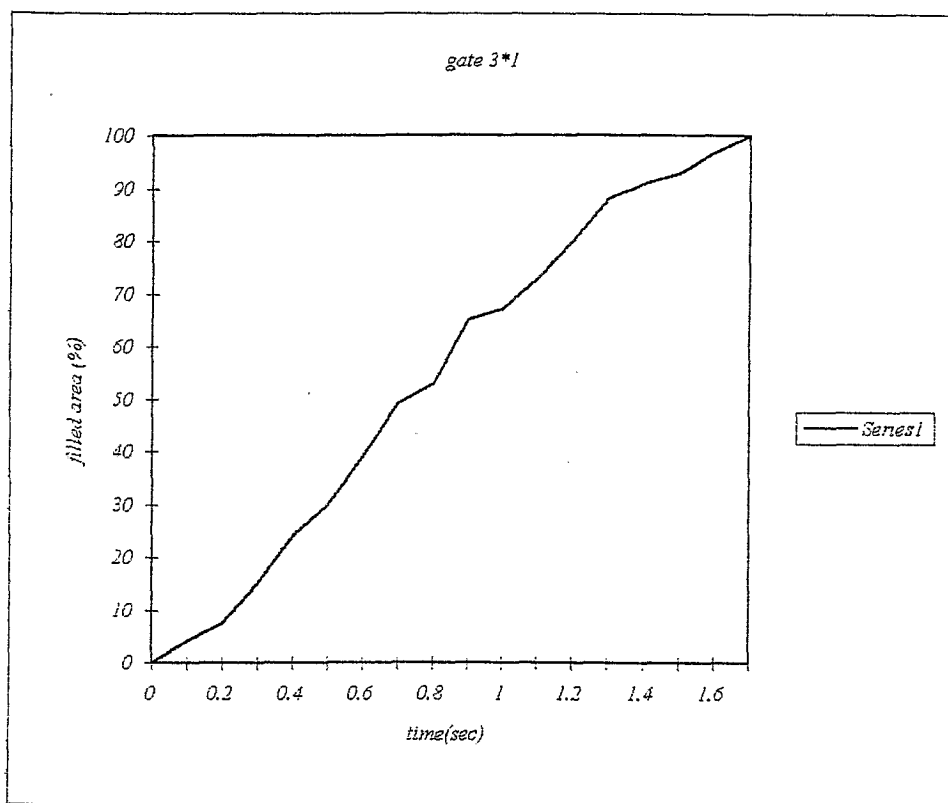


شکل (۴-۱۹): سرعت لحظه‌ای محاسبه شده در راهباره  $۷ \times ۲$

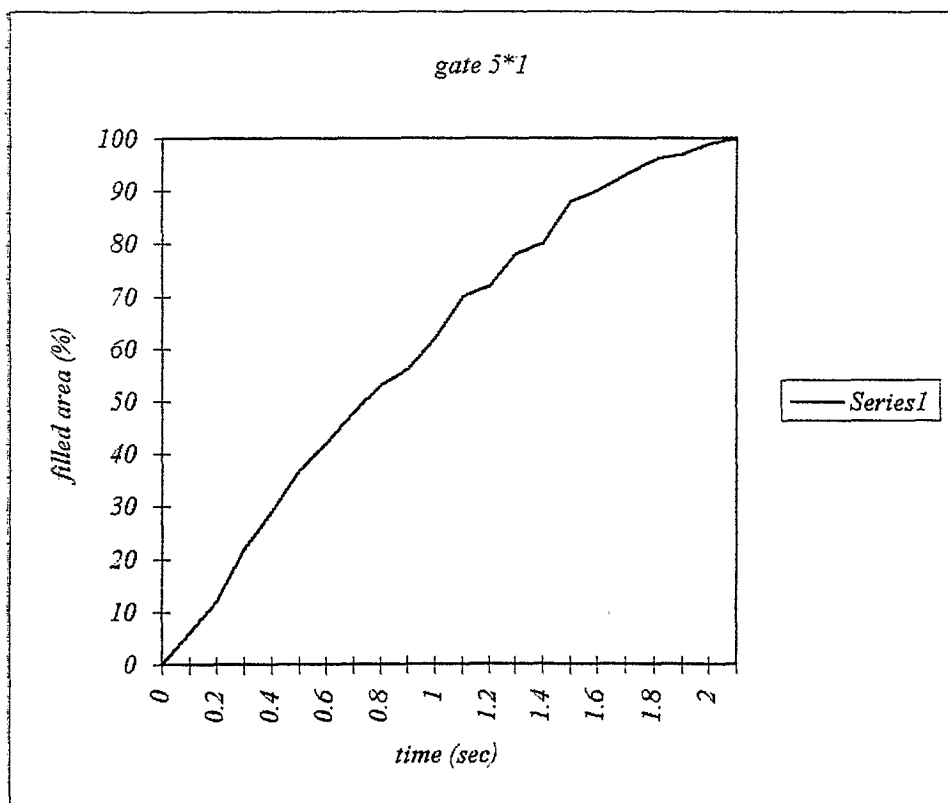
## ۲-۶-۴- سطح پر شده قالب:

جهت محاسبه سطح پر شده قالب در زمانهای مختلف بارریزی، سطح زیر تک تک منحنیهای عبوری از جبهه مذاب توسط انتگرال گیری معین از معادلات آنها بدست آمده است.

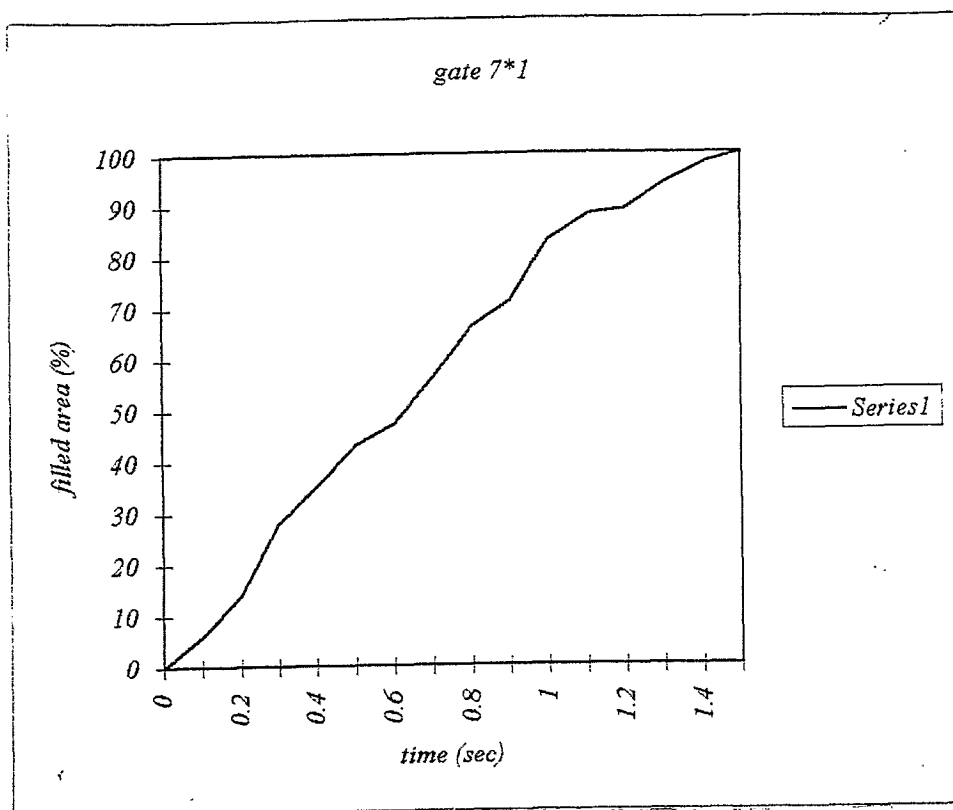
شکلهای (۲۰-۴) الی (۲۹-۴) سطح پر شده قالب، بر حسب زمان برای هر یک از نمونه‌های ریخته‌گری شده را نشان می‌دهند.



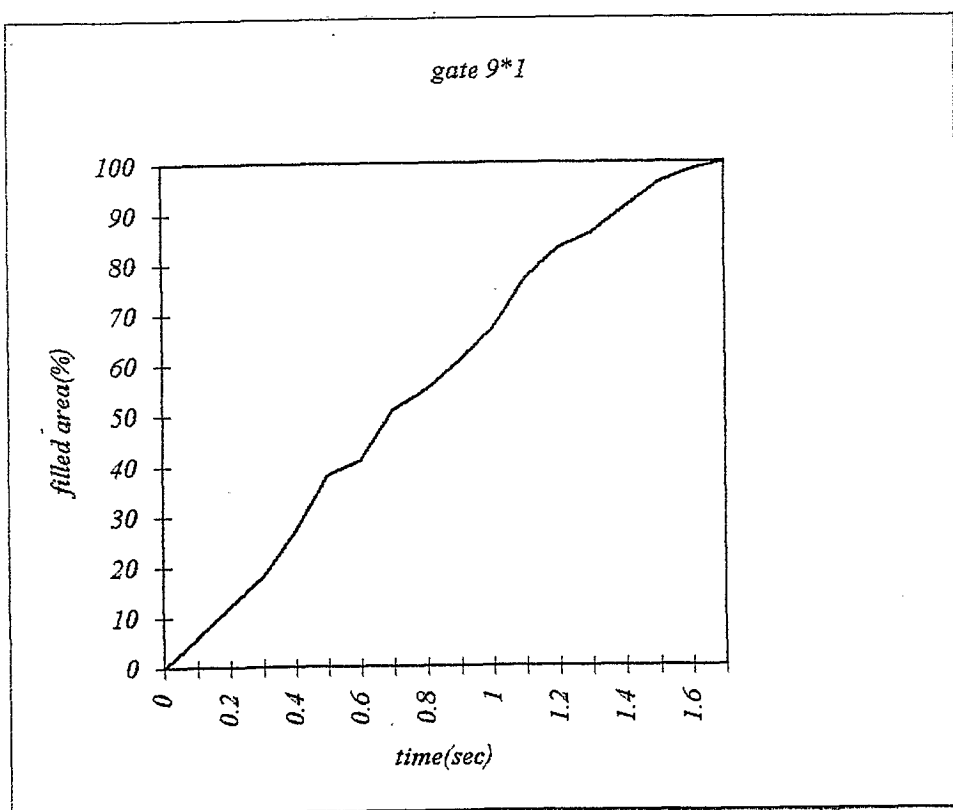
شکل (۴-۲۰): سطح پرشده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۳×۱



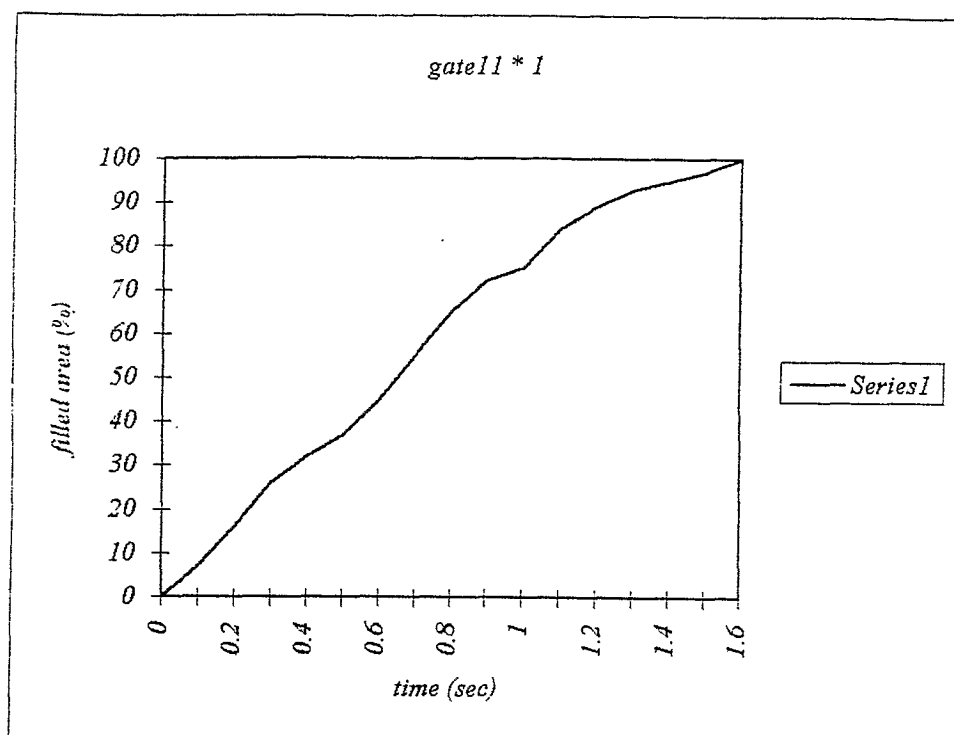
شکل (۴-۲۱): سطح پرشده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۵×۱



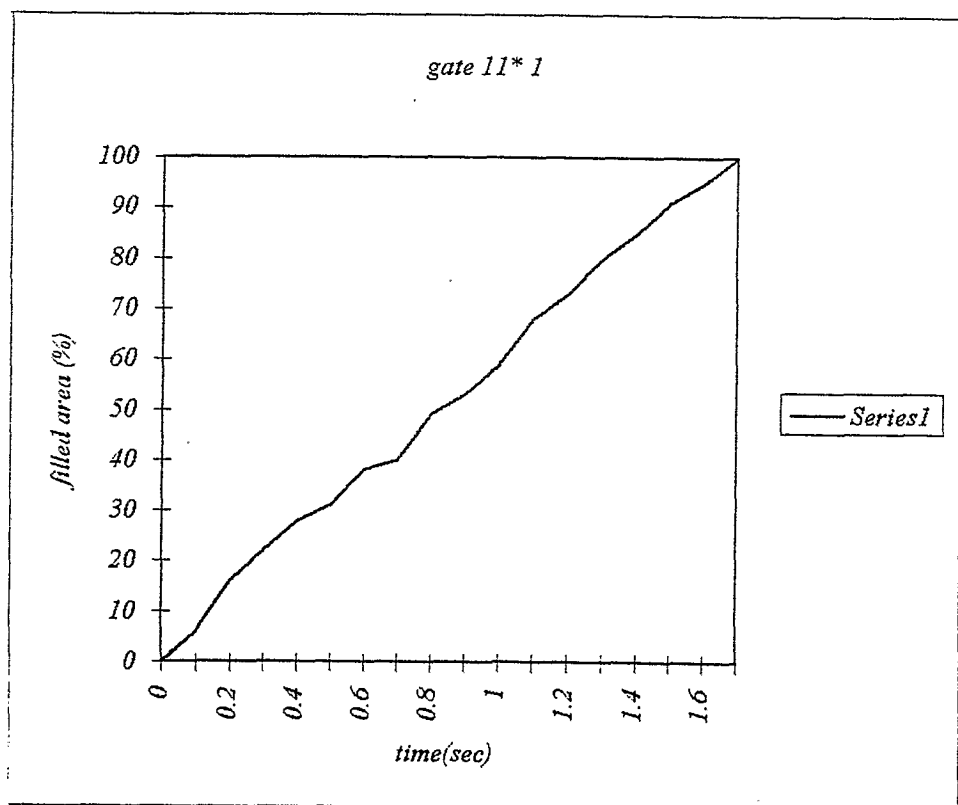
شکل (۴-۲۲): سطح پرشده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۷×۱



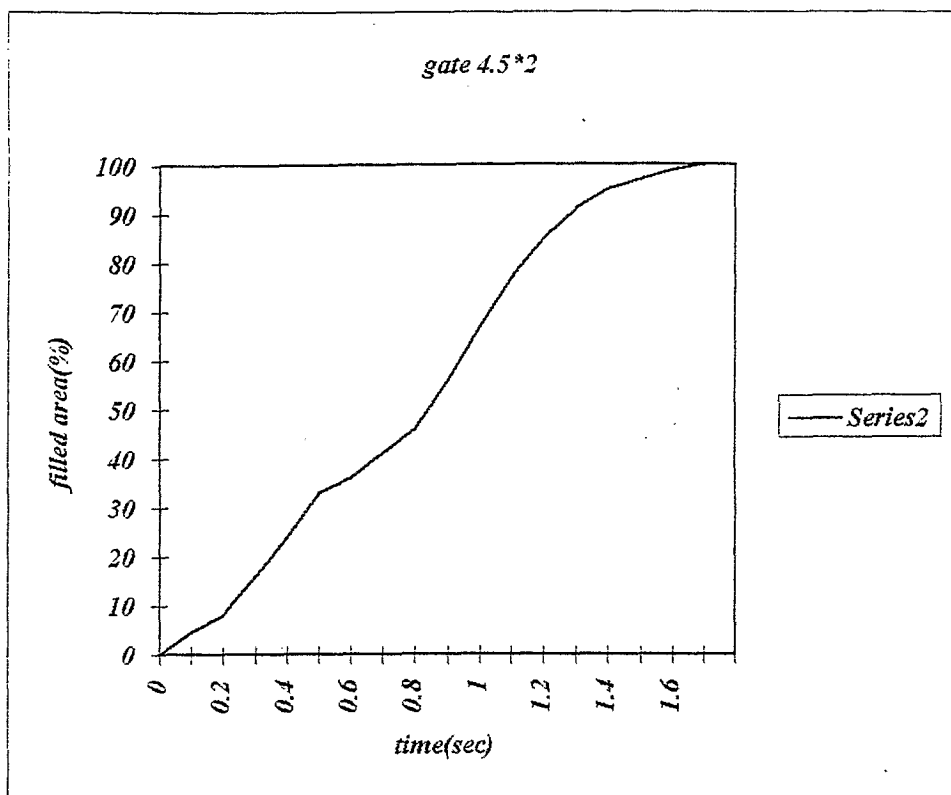
شکل (۴-۲۳): سطح پرشده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۹×۱



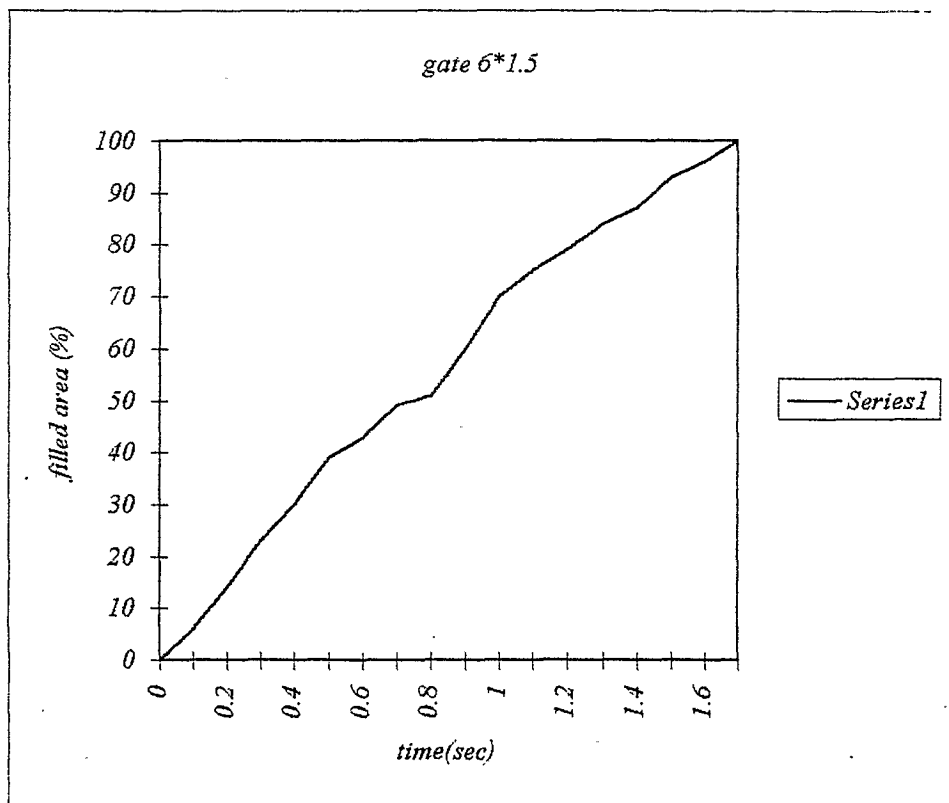
شکل (۴-۲۴): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $11 \times 1$  (۱:۲/۶:۳/۱۸)



شکل (۴-۲۵): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهباره  $11 \times 1$  (۱:۳/۱۸:۳/۱۸)

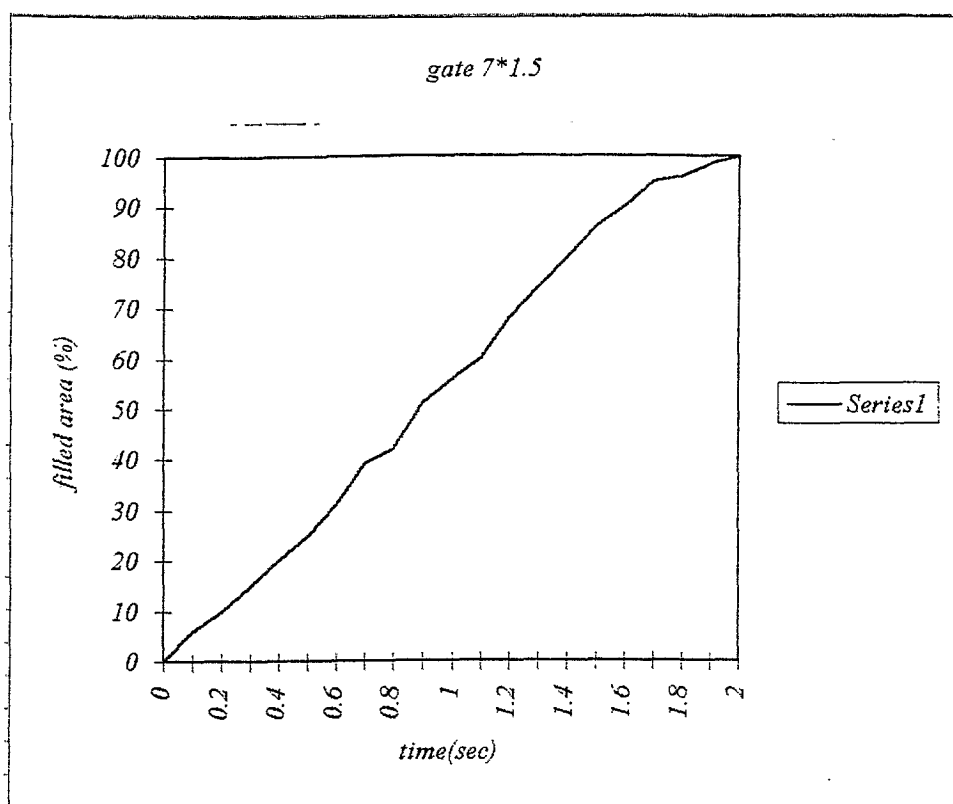


شکل (۴-۲۶): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۴/۵×۲

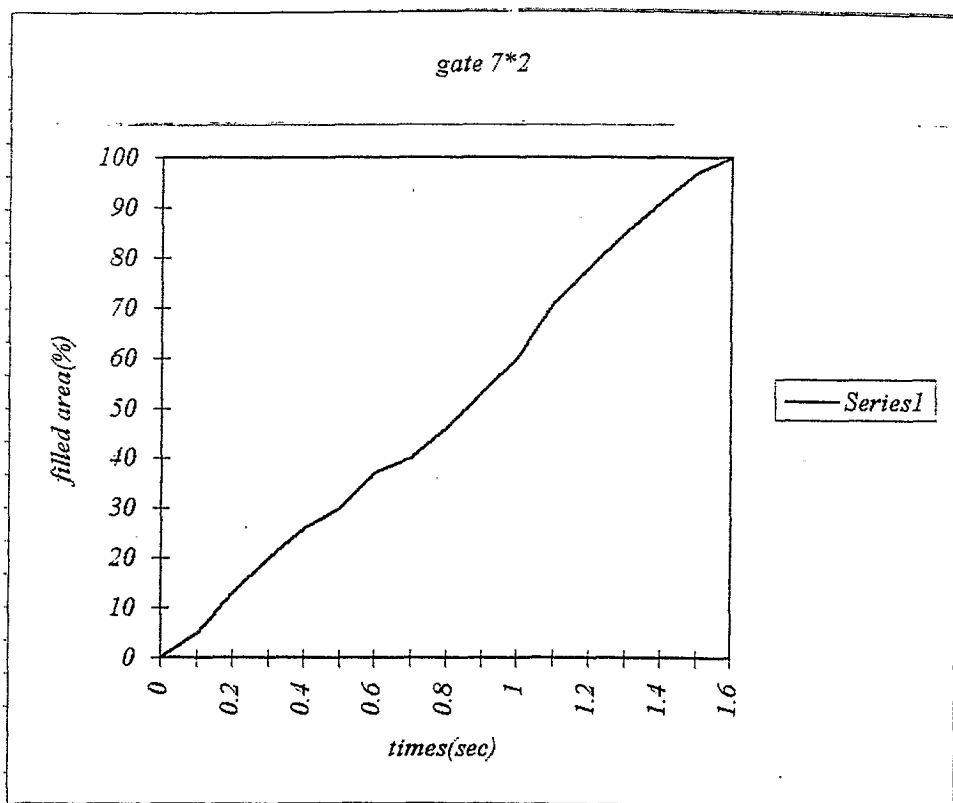


شکل (۴-۲۷): سطح پر شده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۶×۱/۵





شکل (۴-۲۸): سطح پرشده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۷×۱/۵۷



شکل (۴-۲۹): سطح پرشده قالب بر حسب زمان برای راهبارة ۷×۲

فصل پنجم:

«سگالش»

## ۱-۵- تاثیر عرض راهباره بر مدل حرکت مذاب در یک ضخامت ثابت:

همانطور که از شکل‌های (۱-۴)، (۲-۴) و (۳-۴) مشاهده می‌گردد، در راهباره‌های  $3 \times 1$ ،  $5 \times 1$  و  $7 \times 1$  مذاب ابتدا بدلیل سرعت نسبتاً بالایی که دارا می‌باشد حرکت خود را در مسیر مستقیم ادامه می‌دهد چرا که نیروی اینرسی سیال بر تنش سطحی

و فشار گاز موجود در محفظه قالب برتری دارد. با گذشت زمان مذاب تمایل به گسترش اندکی پیدا می‌کند.

گسترش مذاب را بدین گونه می‌توان توجیه نمود که بردارهای تنش سطحی و فشار گاز (نیروهای مقابله کننده در برابر حرکت مذاب) در هر نقطه از جبهه حرکت مذاب عمود بر آن می‌باشد و بردار نیروی اینرسی (نیروی پیش برنده مذاب) در جهت دهانه راهباره می‌باشد، بنابراین در هر نقطه از جبهه حرکت مذاب، می‌توان بردار بر آیندی از نیروهای ذکر شده تعیین نمود که این بردار جدید نشان دهنده نیروی اینرسی مؤثر می‌باشد که حالا دارای مولفه‌های در جهات  $X$  و  $Y$  می‌باشد. این مؤلفه‌های نیرو موجب حرکت مذاب در جهات  $X$  و  $Y$  را فراهم می‌آورد. حال هر چقدر مقدار نیرو در جهت  $Y$  بیشتر باشد، میزان گسترش و پهن شدن مذاب افزایش می‌یابد. عدم گسترش متقارن جبهه مذاب احتمالاً بدین دلیل می‌باشد که تنش سطحی در قسمتهای مختلف جبهه حرکت مذاب یکسان نمی‌باشد (بدلیل متفاوت بودن ضخامت لایه اکسیدی در قسمتهای مختلف جبهه مذاب).

البته لازم به ذکر است که نیروی ثقلی وارد بر مذاب در حال حرکت و همچنین فرورفتگیها و برجستگیهای سطح قالب نیز بر نحوه و مقدار گسترش مذاب مؤثر می

باشند. همانطور که دیده می شود، پس از آنکه مذاب مقداری گسترش یافت مجدداً شروع به باریک شدن می نماید این مسئله را می توان بدین صورت توجیه نمود که با گسترش مذاب مقدار  $R$  (در رابطه ۸-۲) افزایش می یابد و در نتیجه مقدار تنش سطحی کاهش می یابد. این مسئله موجب می شود که مقدار مؤلفه بردار نیروی برآیند در جهت  $Y$  کاهش یابد و در نتیجه این نیرو نمی تواند بر تنش سطحی در جهت  $Y$  غلبه نماید و موجب حرکت مذاب در جهت  $Y$  شود در عوض با توجه به کاهش مقدار  $F_y$ ، مقدار  $F_x$  افزایش یافته و تمایل به حرکت در امتداد راهباره را تشویق می نماید و از طرفی چون بردار و مقدار سرعت در مرکز جریان مذاب بیشتر می باشد مذاب میل به باریک شدن از خود نشان می دهد. همچنین با گسترش مذاب (با توجه به مقدار نیروی اینرسی مذاب) جبهه مذاب به حدی می رسد که نیروی اینرسی دیگر قادر به حرکت یکنواخت آن نمی باشد. با توجه به بالاتر بودن سرعت مذاب در مرکز جریان نسبت به قسمت های کناری، در زمان مساوی قسمت مرکزی مذاب مسافت بیشتری را طی می نماید. در نتیجه مذاب میل به باریک شدن از خود نشان می دهد. در راهباره  $9 \times 1 \text{ cm}$  (شکل ۴-۴) بر خلاف راهباره های قبلی مذاب پس از ورود به قالب نه تنها تمایل به گسترش نشان نمی دهد بلکه پس از مقداری حرکت در قالب شروع به باریک شدن می نماید. عدم گسترش مذاب را می توان بدین صورت توجیه نمود که بدلیل بزرگ بودن دهانه ورودی مذاب مقدار تنش سطحی کاهش می یابد (چرا که  $R$  افزایش می یابد) و در نتیجه مقدار مؤلفه نیروی برآیند بوجود آمده در جهت  $Y$  کاهش می یابد و مذاب بیشتر تمایل به حرکت در جهت  $X$  دارد.

دلیل باریک شدن مذاب هم بدین صورت می توان بیان نمود که، با توجه به بالاتر

بودن سرعت مذاب در مرکز جریان مذاب، قسمت مرکزی جریان مذاب در زمان مساوی مسافت بیشتری را در مقایسه با قسمتهای کناری طی می نماید و با توجه به عقب ماندن قسمتهای کناری، پهنای مذاب کاهش می یابد.

در راهبارة  $11 \times 1$  cm با نسبت سیستم راهگاهی  $1: 2/6: 3/18$  (شکل ۴-۵)، همانطور که مشاهده می شود مذاب از ابتدای ورود به قالب انحراف به سمت راست قالب را نشان می دهد. دلیل انحراف مذاب می تواند به دو دلیل باشد یکی اینکه عرض راهبارة پیش از حد بزرگ شده است و در نتیجه راهبارة همانند سیستم دو راهبارة ای (فصل ۴-۳-۱-۲) عمل می کند و دیگر آنکه تغییر سیستم راهگاهی از غیر فشاری - فشاری به غیر فشاری را سبب این عمل دانست (این مسئله در مرحله دوم پژوهش مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است).

در ادامه حرکت در راهبارة های  $1 \times 3$ ،  $1 \times 5$ ،  $1 \times 7$  با رسیدن جریانهای مذاب به دیواره انتهائی مقداری از انرژی اینرسی سیال به نیروی فشاری در مذاب تبدیل می شود، این نیروی فشاری در جهت عکس حرکت جریان عمل نموده و در مقابل ورود جریانات جدید مقاومت نموده که نتیجه آن انبساط جریان مذاب می باشد.

همچنین پس از برخورد مذاب به دیواره، مقابل، به طرف بالا می جهد و بدلیل تاثیر نیروی وزن این جهش از بین می رود و مذاب به صورت یک موج بر روی مذاب پشت خود فرو می ریزد، در همین حین (ایجاد موج) مذاب در طول دیواره انتهائی به دو جریان تقسیم می شود، این جریانها در امتداد دیواره انتهائی حرکت می کنند تا به دیواره جانبی برخورد نمایند.

در راهبارة  $1 \times 3$  جریانهای مذاب بوجود آمده پس از برخورد به دیواره جانبی، در

امتداد آن شروع به حرکت می نمایند به عبارتی در قالب دو جریان موازی و مختلف‌الجهت مشاهده می شوند، که یکی جریان مذاب از راهباره به طرف دیواره انتهائی و دیگری از طرف دیواره انتهائی به طرف دیواره‌ای که راهباره در آن واقع است جریان دارند، چنین حرکتی خصوصاً در سمت چپ قالب بهتر مشهود است و بین دو جریان فاصله‌ای واقع شده که به آرامی و یا پیشرفت مذاب این فاصله هم بوسیله مذاب پوشیده می شود البته نه با سرعتی که جریان برگشتی قالب را طی می کند (البته در شاخه سمت راست پس از مدتی فاصله مابین دو جریان پر می شود). جریان مذاب (شاخه چپ جریان) پس از رسیدن به دیواره‌ای که راهباره در آن واقع است و برخورد به آن تغییر جهت می دهد و در امتداد آن حرکت می نمایند در نتیجه موجب بوجود آمدن یک محل خالی در اطراف جریان خط مرکزی قالب می شود و با توجه به اینکه جریانات مختلف‌الجهت در اطراف این محل خالی وجود دارند می توان عنوان نمود که تشکیل گرداب در آن اجتناب ناپذیر می باشد.

در راهباره‌های  $5 \times 1$  و  $7 \times 1$  بر خلاف راهباره  $3 \times 1$ ، مذاب از طریق گسترش همه جانبه شروع به پر نمودن قالب از دیواره انتهائی قالب به طرف دیواره راهباره می نماید.

همانطور که در شکل‌های مربوط به راهباره‌های  $3 \times 1$ ،  $5 \times 1$  و  $7 \times 1$  مشاهده می شود، جریانات بوجود آمده، در اثر برخورد مذاب به دیواره انتهائی، متقارن نمی باشد (در راهباره  $7 \times 1$  تا حدودی متقارن می باشد) با توجه به تراز بودن قالبها، نامتقارن بودن جریانات را می توان به متفاوت بودن بردار نیروی تنش سطحی در قسمت‌های مختلف جبهه حرکت مذاب نسبت داد.

یکی از دلایل متفاوت بود تنش سطحی در جبهه حرکت مذاب را می توان به وجود شرایط متغیر ریخته گری نسبت داد که موجب می شود لایه اکسیدی بوجود آمده بر روی سطح مذاب دارای ضخامت یکسان نباشند.

در راهباره  $9 \times 1$  پس از برخورد مذاب به دیواره انتهائی قالب، مذاب شروع به گسترش از پهنا می نماید، دلیل این گسترش را می توان به سرعت ورودی کم مذاب، فشار معکوس بوجود آمده ناشی از برخورد مذاب به دیواره انتهائی قالب و همچنین بدلیل افزایش تنش سطحی ناشی از باریک شدن جریان (کوچک شدن R) نسبت داد. گسترش مذاب تا زمانی ادامه می یابد که پهنای مذاب در طول قالب تقریباً یکسان می گردد. سپس، گسترش بیشتر مذاب از طرف دیواره های انتهائی ادامه یافته و به طرف دیواره راهباره ادامه می یابد. آنچه مشخص است مقدار تنش سطحی در سمت راست قالب بیشتر از سمت چپ آن می باشد.

در راهباره  $11 \times 1$ ، مذاب پس از برخورد به دیواره انتهائی قالب، شروع به گسترش کمی می نماید. در این آزمایش، با توجه به کمتر بودن سرعت در قسمت سمت راست جریان، در این قسمت، قالب از طریق گسترش مذاب از طرف دیواره انتهائی به طرف راهباره پر می شود، در حالی که در سمت چپ قالب، بدلیل بستر بودن سرعت جریان مذاب، مذاب پس از برخورد به دیواره انتهائی، در امتداد آن به حرکت خود ادامه می دهد. تا اینکه دو باره به دیواره جانبی برخورد می نماید و در امتداد آن به حرکت خود ادامه می دهد. به عبارتی در این قسمت از قالب جریانی موازی و مخالف جریان ورودی مشاهده می گردد. با توجه به مدل پرشدن بوجود آمده، یک منطقه بسته مابین خط جریان اصلی و خط جریان سمت چپ قالب پدید می آید که

این منطقه، آخرین منطقه از کف قالب است که پر می شود.

با توجه به اینکه جریانهای مختلف الجبهت در اطراف این محل خالی وجود دارند می توان عنوان نمود که تشکیل گرداب در این منطقه اجتناب ناپذیر می باشد. بنابراین می توان گفت در این قسمت احتمال بروز عیب، دفن آخالها، اکسیدها و حبابهای گازی وجود دارد.

## ۲-۵- تاثیر نسبت سیستم راهگاهی بر مدل حرکت مذاب:

همانطور که در فصل (۱-۵) ملاحظه گردید در راهباره  $11 \times 1$  و با نسبت سیستم راهگاهی  $1/8 : 3/6 : 2/1$  مذاب از ابتدای ورود به قالب انحراف به سمت راست قالب را نشان می دهد.

با تغییر راهباره  $4/5 \times 2$  cm به  $5 \times 2/2$  cm در راهباره  $11 \times 1$  cm مشاهده گردید که مذاب مدل حرکت جدیدی را از خود نشان می دهد شکل (۶-۴). مذاب ورودی به محفظه قالب، پس از ورود به قالب نه تنها گسترش نمی یابد بلکه پس از اندکی حرکت در قالب شروع به باریک شدن می نماید. عدم گسترش مذاب را می توان بدین ترتیب توجیه نمود که بدلیل بزرگ بودن دهانه ورودی مذاب مقدار تنش سطحی کاهش می یابد (بدلیل افزایش مقدار  $R$ ) و در نتیجه مقدار مولفه نیروی برآیند بوجود آمده در جهت  $y$  کاهش می یابد و مذاب بیشتر تمایل به حرکت در جهت  $x$  را از خود نشان می دهد. همچنین دیگر نیروی اینرسی مذاب در حدی نمی باشد که بتواند تمام جبهه مذاب را به حرکت یکنواخت وادارد. با توجه به بالاتر بودن سرعت مذاب در مرکز جریان نسبت به قسمتهای کناری، نیروی اینرسی برای حرکت جبهه مرکزی بیشتری می باشد. بنابراین در یک زمان برابر جبهه مرکزی مذاب مسافت بیشتری را



در مقایسه با قسمتهای کناری جبهه مذاب طی می نماید، با توجه به عقب ماندن قسمتهای کناری، با پیشرفت مذاب، به تدریج از پهنای جبهه مذاب کاسته می شود. پس از برخورد مذاب به دیواره انتهائی، مذاب به دلیل سرعت ورودی کم، افزایش تنش سطحی ناشی از باریک شدن جبهه جریان (کوچک شدن مقدار  $R$ ) و همچنین فشار معکوس بوجود آمده ناشی از برخورد مذاب به دیواره انتهائی قالب، شروع به گسترش از پهنای می نماید.

پس از برخورد مذاب به دیواره انتهائی قالب به دو جریان تقسیم می شود و در طول دیواره انتهائی به طرف دیواره های جانبی حرکت می نماید و سپس این جریانها در امتداد دیواره کناری و از طریق گسترش همه جانبه شروع به پر نمودن قالب از دیواره انتهائی به طرف راهبار می نماید.

همانطور که مشاهده گردید با تغییر اندازه راهبار انحراف مذاب دیگر مشاهده نگردید. با تغییر اندازه راهبار نسبت سیستم راهگاهی از  $۱:۲/۶:۳/۱۸$  به  $۱:۳/۱۸:۳/۱۸$  تغییر می یابد.

انحراف مذاب در سیستم راهگاهی با نسبت  $۱:۲/۶:۳/۱۸$  نشان می دهد که سرعت مذاب در یک ظرف مذاب بیشتر از طرف دیگر آن می باشد و از طرفی با توجه به

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2g} + H = \text{const}$$

قانون برنولی:

و ثابت بودن مقادیر  $H$ ،  $g$  و  $p$  می توان عنوان نمود که فشار مذاب در گوشه های راهبار متفاوت می باشد. این اختلاف فشار (با توجه به قوانین موجود در مکانیک سیالات) موجب بوجود آمدن یک جریان گردابی (vortex) در مرکز جریان مذاب می شود.

در چنین شرایطی نیروهای وارد بر مذاب علاوه بر نیروی اینرسی، نیروی ناشی از جریان گردابی نیز می باشد. که جهت آن عمود بر جهت حرکت مذاب می باشد. بنابراین تلفیق این دو نیرو باعث پدید آمدن یک نیروی برآیند جدید می شود که جهت آن بستگی به جهت چرخش جریان گرداب دارد. و میزان انحراف مذاب به مقدار نیروی اینرسی و مقدار نیروی ناشی از جریان گردابی بستگی دارد.

در راهباره های  $1 \times 1$  و  $1.7 \times 1.5$  و  $3 \times 1$  با توجه به اینکه نوع سیستم راهگاهی غیر فشاری - فشاری می باشد (سیستم راهگاهی با نسبت  $1.3/1.8:3/1.8$  بدلیل وجود اصطکاک و تلفات دمائی در تک تک اجزاء سیستم راهگاهی عملاً بعنوان یک سیستم غیر فشاری - فشاری عمل می نماید)، جریان گردابی در آنها بوجود نمی آید و همین مسئله موجب می گردد که انحراف مذاب (بطور مشهود) در این سیستم وجود نداشته باشد.

### ۳-۵- تاثیر هندسه راهباره بر مدل حرکت مذاب در یک سطح مقطع ثابت:

همانطور که در فصل (۱-۵) بررسی گردید در راهباره  $1 \times 1$  پس از مذاب پس از ورود به قالب شروع به باریک شدن می نماید و پس از برخورد به دیواره انتهائی شروع به گسترش می نماید و در نهایت قالب بوسیله گسترش مذاب از طرف دیواره انتهائی به طرف راهباره پر می شود.

همانطور که در شکل های (۷-۴) و (۸-۴) مشاهده می گردد در راهباره  $1.5 \times 1.6$  مذاب پس از ورود به قالب در اثر نیروهای تنش سطحی و فشار گاز موجود در قالب مقدار کمی گسترش می یابد. پس از گسترش کمی که بوجود می آید مذاب شروع به باریک شدن می نماید همانطور که در فصل (۱-۵) توضیح داده شد این کاهش پهنا را

می توان به کاهش نیروی تنش سطحی ناشی از افزایش  $R$  نسبت داده در نتیجه کاهش نیروی تنش سطحی، مقدار مولفه نیروی برآیند بوجود آمده در جهت  $y$  کاهش می یابد و در نتیجه مذاب تمایل بیشتری به حرکت در جهت  $x$  از خود نشان می دهد و همچنین بدلیل بالا بودن سرعت مذاب در مرکز جریان ورودی، مذاب تمایل به باریک شدن را از خود نشان می دهد.

در راهباره  $4/5 \times 2$ ، بدلیل سرعت بالائی که مذاب دارا می باشد حرکت در یک مسیر نسبتاً مستقیم انجام می گیرد چرا که نیروی اینرسی سیال بر نیروی تنش سطحی و فشار گاز موجود در محفظه قالب برتری دارد. مقدار نیروی اینرسی در این حالت در حدی است که مذاب تا هنگام برخورد به دیواره مقابل تقریباً بدون گسترش به حرکت خود ادامه می دهد.

همانطور که در شکلهای مربوطه مشاهده می گردد سرعت مذاب ورودی در راهباره های  $9 \times 1$ ،  $6 \times 1/5$ ،  $4/5 \times 2$  به ترتیب افزایش می یابد، دلیل افزایش سرعت مذاب (با افزایش ضخامت راهباره) را بدین گونه می توان بیان نمود که، مذاب خارج شده از راهباره بدلیل آزاد شدن از دیواره راهباره و همچنین وجود نیروی ثقل میل به فروریختن و سقوط دارد. با توجه به اینکه نیروی وارده به جریان مذاب در جهت دهانه خروجی راهباره می باشد مذاب بیشتر تمایل به سقوط در جهت حرکت مذاب دارد. این سقوط مذاب باعث اضافه شدن سرعت حرکت مذاب در قالب می گردد. (در واقع سرعت و دبی خروجی مذاب از راهباره در این حالت نباید تفاوت چندانی با راهباره  $9 \times 1$  داشته باشد مگر اختلافی که در اثر تفاوت در ضریب تخلیه ناشی از متفاوت بودن مدول سطحی در راهباره ها بوجود می آید).

در راهبارة ۶×۱/۵، مذاب پس از برخورد به دیواره روبروی راهبارة به دو جریان نامتقارن تقسیم می شود. (ناشی از متفاوت بودن نیروی تنش سطحی در جبهه حرکت مذاب) و در امتداد دیواره انتهائی حرکت می نماید تا به دیواره های جانبی برخورد نماید و در طول دیواره جانبی و از طریق گسترش شروع به پر نمودن قالب از طرف دیواره انتهائی به طرف راهبارة می نماید.

در راهبارة ۴/۵×۲، مذاب پس از برخورد دیواره انتهائی، به طرف بالا می جهد و به صورت یک موج بر روی مذاب زیر خود فرو می ریزد در همین حین (ایجاد موج) مذاب در طول دیواره انتهائی به دو جریان تقسیم می شود و جریانهای بوجود آمده در امتداد دیواره انتهائی حرکت می کنند تا به دیواره های جانبی برخورد نمایند. سپس جریانهای ایجاد شده در امتداد دیواره جانبی شروع به حرکت می نمایند. در اینجا نیز مشابه راهبارة ۳×۱، دو جریان موازی مختلف الجهت مشاهده می شوند. این حرکت خصوصاً در سمت چپ قالب بهتر مشهود است و بین جریانهای مختلف الجهت فاصله ای واقع شده که به آرامی و با پیشرفت مذاب این فاصله هم بوسیله مذاب پوشیده می شود ولی نه با سرعتی که جریان برگشتی قالب را طی می کند. (البته در شاخه سمت راست فاصله ما بین دو جریان پس از چند لحظه پر می شود) جریان مذاب در سمت چپ قالب، قبل از رسیدن به دیواره ای که راهبارة در آن واقع است منحرف شده و با جریان مذاب ورودی از راهبارة برخورد می نماید و در نتیجه موجب بوجود آمدن یک محل خالی در کنار جریان مرکزی می شود. می توان عنوان نمود که تشکیل گرداب در آن اجتناب ناپذیر می باشد.

همانطور که ملاحظه می گردد در یک سطح مقطع ثابت فقط با تغییر هندسه

راهبارة، سه مدل متفاوت حرکت مذاب در قالب مشاهده می گردد. همانطور که ذکر گردید دلیل این مسئله ناشی از افزایش سرعت متوسط مذاب ورودی به محفظه قالب می باشد.

#### ۴-۵- تاثیر ضخامت راهبارة بر مدل حرکت مذاب در یک عرض ثابت

همانطور که در فصل (۱-۵) توضیح داده شد در راهبارة  $7 \times 1$  مذاب پس از ورود به محفظه قالب، مذاب به تدریج گسترش می یابد، پس از مقداری گسترش، باریک شدن مذاب مشاهده می گردد، در نهایت پس از برخورد مذاب به دیواره انتهائی، جریان مذاب به دو جریان تقسیم می شود که این دو جریان در امتداد دیواره های جانبی، از طریق گسترش، قالب را از دیواره انتهائی به طرف راهبارة پر می کنند.

همانطور که در شکل های (۹-۴) و (۱۰-۴) مشاهده می گردد، مذاب در راهبارة های  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$  بدون آنکه گسترش چندانی پیدا کند در مسیر مستقیم حرکت می نماید دلیل این مسئله را می توان افزایش ضخامت لایه مذاب ورودی به محفظه قالب عنوان نمود (مشابه راهبارة های  $4/5 \times 2$  و  $6 \times 1/5$ )

مذاب پس از برخورد به دیواره انتهائی در هر دو مورد (راهبارة های  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$ )، به دو جریان تقسیم می شود و در امتداد دیواره انتهائی به حرکت خود ادامه می دهد تا به دیواره جانبی برخورد نمایند پس از جریانهای مذاب به دیواره جانبی، جریانهای مذاب در امتداد آن شروع به حرکت می نمایند. بعبارتی در قالب دو جریان مختلف الجهت (همانند راهبارة  $3 \times 1$  ولی با شدت کمتر) مشاهده می گردد.

در راهبارة  $7 \times 1/57$  فاصله ایجاد شده بین دو جریان مختلف الجهت تقریباً در سمت راست جریان مرکزی به سرعت بوسیله مذاب پوشیده می شود در حالی که در

سمت چپ جریان مرکزی عدم پوشش مذاب موجب بوجود آمدن یک محل خالی مابین دو جریان مختلف الجهت می گردد که در مراحل بعدی پر می گردد

مدل حرکت مذاب در راهباره  $7 \times 2$  تا حدود زیادی مشابه  $7 \times 1/57$  می باشد با این تفاوت که محل خالی ایجاد شده مابین دو جریان مختلف الجهت در سمت راست جریان مرکزی مشاهده می گردد.

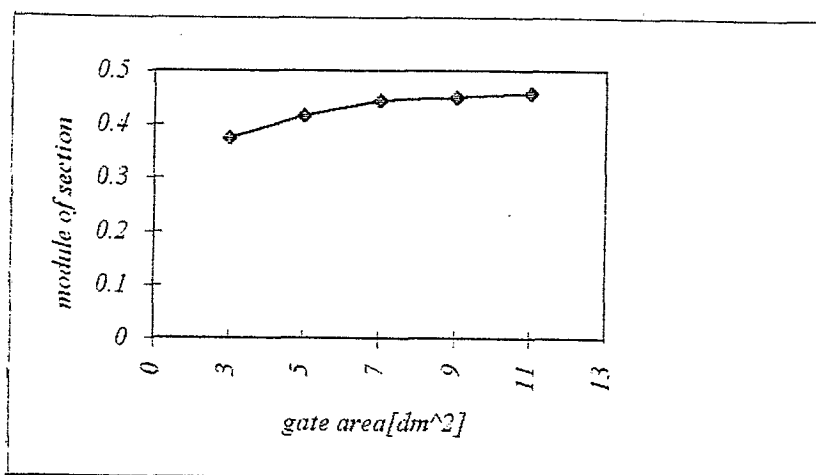
همانطور که در جدول (۱-۴) مشاهده می گردد، سرعت متوسط مذاب ورودی به قالب و سرعت واقعی مذاب ورودی به قالب در راهباره های  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$  تفاوت چندانی با هم نداشته و با وجود بزرگتر بودن سطح مقطع این راهباره ها نسبت به راهباره  $9 \times 1$  مشاهده می شود که سرعت متوسط مذاب در راهباره  $7 \times 1/57$  و  $7 \times 2$  بیشتر از راهباره  $9 \times 1$  می باشد برای اینکه دانسته شود که چرا این اتفاق می افتد، قالبی باراهباره  $7 \times 2$  ساخته شد و سپس از محل اتصال راهباره به صفحه ریختگی بریده شده تا دهانه خروجی مذاب از راهباره قابل مشاهده باشد، پس از ریخته گری، فیلم برداری و تجزیه تصاویر توسط کامپیوتر مشاهده گردید که راهباره به صورت کامل پر نمی باشد (شکل ۱۱-۴) بعبارت دیگر در این حالت یک سطح مقطع مؤثر برای راهباره تعریف می شود و چون این سطح مؤثر کمتر از سطح مقطع راهباره بکاربرده شده می باشد سرعت مذاب ورودی افزایش می یابد. بنابراین می توان عنوان نمود که با افزایش ضخامت راهباره در سیستمهای غیر فشاری، راهباره به بصورت کامل پر نشده و در نتیجه سرعت مذاب ورودی به قالب بیشتر از مقدار محاسباتی می باشد.

## ۵-۵- تاثیر اندازه عرض راهبارة بر چگونگی سیستم راهگاهی در یک

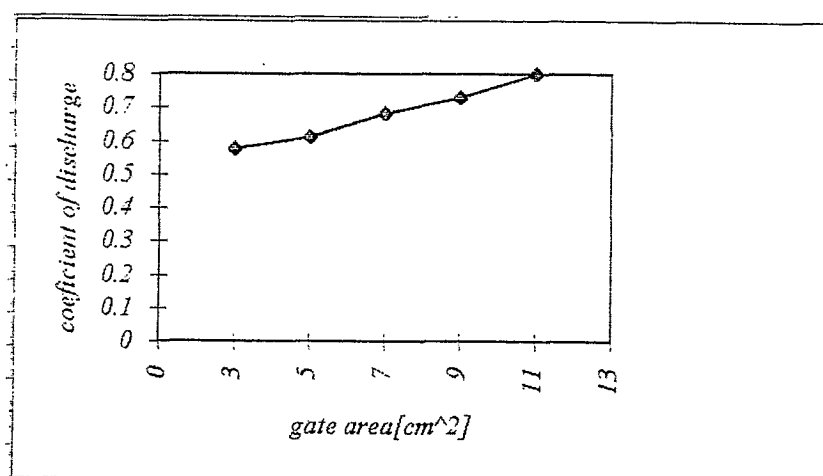
### ضخامت ثابت :

با توجه به نتایج آزمایشهای انجام گرفته (جدول ۱-۴)، مشاهده می گردد که در یک سیستم راهگاهی مشخص با افزایش سطح مقطع راهبارة (با ضخامت ثابت ۱cm) مقدار تلفات اصطحاکای کاهش می یابد و یا به عبارتی ضریب تخلیه ( $K$ ) افزایش می یابد .

در تمامی صفحات ریخته گری شده (به جز یک مورد) ابعاد سیستم راهگاهی همچون اندازه حوضچه بارریز، راهگاه، حوضچه پای راهگاه، راهبار (در یک مورد سطح مقطع راهبار ۱۱cm<sup>۲</sup> در نظر گردیده شده است) ثابت باقی مانده و فقط تغییر در اندازه مقطع راهبارة سبب تغییر در دبی جریان گردیده است. در ریخته گری صفحات، طراحی به گونه ای بوده که اندازه مقطع پای راهگاه کنترل کننده ورود جریان مذاب به درون سیستم راهگاهی می باشد (به جز راهبارة با ابعاد ۱×۳) و مشابه سیستم های غیر فشاری، اندازه، مقطع فوق کوچکترین مقطع بوده و در همه ذوب ریزی ها بدون تغییر بوده است. در سیستم راهگاهی فوق الذکر مشاهده می شود که اگر افزایش دبی خروجی از سیستم راهگاهی بوسیله افزایش در مقطع راهبارة صورت بگیرد، ضریب تخلیه نیز افزایش می یابد و به عبارتی کاهش دبی خروجی (کوچک شدن مقطع راهبارة) سبب کاهش ضریب تخلیه می گردد. (افزایش اصطحاک در راهبارة) بنابراین در این سیستم دراهگاهی افزایش ضریب تخلیه با افزایش دبی جریان (افزایش سطح مقطع راهبارة در یک ضخامت ثابت) متناسب می باشد. دلیل این مسئله وابسته به میزان اصطحاک در راهبارة می باشد، زیرا هر



شکل (۵-۱): نمودار اثر اندازه سطح مقطع راهباره بر مدول راهباره



شکل (۵-۲): نمودار اثر اندازه سطح مقطع راهباره بر ضریب تخلیه



چقدر مقطع راهبارة كوچكتر شود، مدول سطحى راهبارة كوچكتر شده (شكل ۱-۵) و در نتیجه میزان اصطكاك در راهبارة افزایش می یابد و یا آنكه كوچك شدن مقطع راهبارة سبب افزایش سرعت مذاب می شود ولی افزایش اصطكاك در حدی مؤثر می باشد كه در مجموع دبی خروجی از راهبارة را كاهش می دهد. همانطور كه در شكل (۱-۵) مشاهده می شود با افزایش سطح مقطع راهبارة، مدول سطحى كاهش می یابد حداكثر مدول سطحى مربوط به راهبارة های ۱۱×۱ (برابر ۰/۴۵۸) و حداقل مربوط به راهبارة ۳×۱ (برابر ۰/۳۷۵) می باشد.

## ۵-۶- تاثیر ضخامت راهبارة بر چگونگی سیستم راهگاهی

### در یک عرض ثابت

با توجه به نتایج آزمایشهای انجام گرفته (جدول ۱-۴)، مشاهده می گردد كه در یک سیستم راهگاهی مشخص با افزایش سطح مقطع راهبارة (در یک عرض ثابت) ابتدا سرعت مذاب ورودی كاهش می یابد ولی با افزایش بیشتر ضخامت، تغییری در آن مشاهده نمی گردد.

چگونگی این پدیده را می توان با توجه به شكل (۱۱-۴) تحلیل نمود. همانطور كه از شكل مشاهده می گردد، در راهبارة ۷×۲، مذاب فقط قسمتی از سطح راهبارة را پر نموده است. در سیستم راهگاهی با راهبارة ۷×۱، سیستم راهگاهی غیر فشاری، فشاری می باشد. بنابراین می توان عنوان نمود كه راهبارة كاملاً از مذاب پر می باشد هنگامی كه ضخامت راهبارة از یک سانتی متر به ۱/۵۷ سانتی متر افزایش می یابد سرعت مذاب ورودی كاهش می یابد اما باید توجه ارتفاع مذاب در راهبارة (با توجه به قوانین مکانیک سیالات در مورد كانالهای باز) وابسته به سطح مقطع راهبارة و پارامترهای دیگر می باشد بنابراین افزایش بیشتر سطح مقطع راهبارة از ۱/۵۷ سانتی

متر به ۲ سانتی متر تغییری در سرعت مذاب ورودی از راهبار پدید نمی آورد. (البته باید توجه به ارتفاع مذاب در راهبار  $7 \times 2$  می توان عنوان نمود که در راهبار  $7 \times 1/57$  نیز قسمتی از راهبار از مذاب پر نمی باشد) بعبارت دیگر در سیستم های راهگاهی غیر فشاری یک حد ایتیمم برای ارتفاع راهبار قابل تعریف می باشد که در آن ضخامت، راهبار کاملاً از مذاب پر می باشد و بنابراین سرعت مذاب ورودی به قالب به حداقل می رسد.

#### ۷-۵- تاثیر نسبت راهگاهی بر چگونگی سیستم راهگاهی :

باتوجه به نتایج آزمایشهای انجام گرفته (جدول ۱-۴)، در راهبار  $11 \times 1$  و با نسبتهای:  $1:2/6:3/18$  و  $1:3/18:3/18$  مشاهده می گردد که با افزایش ابعاد راهبار (از  $4/5 \times 2$  سانتی متر به  $5 \times 2/2$  سانتی متر) مقدار تلفات اصطکاکی کاهش می یابد و یا به عبارتی ضریب تخلیه افزایش می یابد.

دلیل این مسئله وابسته به میزان اصطکاک در راهبار می باشد، چراکه با افزایش سطح مقطع راهبار، مدول سطحی راهبار افزایش می یابد و در نتیجه میزان اصطکاک در راهبار کاهش می یابد و با آنکه کوچک شدن سطح راهبار سبب افزایش سرعت مذاب در آن می شود ولی افزایش اصطکاک در حدی مؤثر می باشد که در مجموع دبی خروجی از راهبار را کاهش می دهد.

البته دلیل دیگر افزایش دبی مذاب را می توان در کاهش تلاطم و آشفتگی مذاب در راهبار  $5 \times 2/2$  دانست چراکه با کاهش میزان تلاطم و آشفتگی میزان تلفات انرژی کاهش می یابد.

## ۸-۵- تحلیل مدل سطح پر شده قالب بر حسب زمان :

همانطوری که از شکل‌های (۴-۲۰) الی (۴-۲۹) مشاهده می‌شود شیب منحنی مساحت پر شده توسط مذاب بر حسب زمان برای هر یک از منحنی‌های ارائه شده تقریباً ثابت است این نشان دهنده آن است که ارتفاع فلز ایستائی در طول بارریزی تقریباً ثابت بوده است .

همانطور که از منحنی‌های ارائه شده مشخص است ، در منحنی‌ها ، فاصله‌های زمانی وجود دارد که شیب منحنی در آن کمتر از شیب کلی منحنی می‌باشد با کمی دقت مشخص می‌شود که این فاصله مربوط به زمان‌های می‌باشد که مذاب به دیواره انتهائی و یا دیواره‌های جانبی برخورد نموده‌اند . در اثر برخورد ، مذاب با دیواره‌های قالب ۷ مقداری از انرژی جنبشی سیال به نیروهای فشاری در مذاب تبدیل می‌شوند ، مقداری از این فشار در جهت عکس عمل کرده و در مقابل ورود جریان‌ات جدید مقاومت می‌کند .

همچنین از منحنی‌ها مشاهده می‌گردد که در مراحل نهائی پرشدن کف قالب ، سطحی که توسط مذاب و در زمان‌های مساوی پوشیده می‌شود کاهش می‌یابد (بعبارتی شیب منحنی کاهش می‌یابد) . دو دلیل برای این کاهش شیب می‌توان عنوان نمود اول آنکه در مراحل پایانی پرشدن کف قالب ، مذاب موجود در قالب در برابر ورود جریان‌ات جدید مقاومت می‌کند . دوم آنکه با توجه به جهت ورودی مذاب به قالب ، مذاب تمایل به بالا آمدن در قسمت‌های انتهائی قالب دارد (بعبارتی ضخامت لایه مذاب در طرف دیواره انتهائی بیشتر از ضخامت آن در اطراف راه‌بار می‌باشد) .

همانطور که مشاهده می شود زمان پرشدن کف قالب (شیب منحنی) در نمونه های ریخته گری شده متفاوت می باشد اختلاف زمان پرشدن قالب را به دو عامل می توان نسبت داد ، اول آنکه در راهباره های مختلف با وجود ثابت بودن سطح مقطع چک ، دبی ورودی مذاب متفاوت می باشد (فصل ۱-۶-۴) دوم آنکه ضخامت لایه مذاب در کف قالب برای نمونه های ریخته گری شده متفاوت می باشد .

## ۹-۵- نتیجه گیری کلی و پیشنهادها

### ۹-۵-۱- نتیجه گیری نهایی

هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر طراحی سیستم راهگاهی بر نحوه جریان مذاب درون قالبهای افقی بوده است تا بتواند در تحلیل عیوب ریختگی و در طراحی قطعات، راهگشای طراحان باشد، در اینجا حاصل تلاشهای تجربی و تئوری فوق در زیر خلاصه می‌گردد:

(۱) با افزایش عرض راهبارة، در یک ضخامت ثابت، سه الگوی پر شدن متفاوت در قالب مشاهده می‌گردد که بستگی به سرعت مذاب ورودی به قالب از راهبارة دارد.

(۲) نسبت سیستم راهگاهی تاثیر بسیار عمده‌ای بر مدل حرکت مذاب در قالب دارد بهترین نسبت سیستم راهگاهی هنگامی است که  $G:R=1$  باشد.

(۳) هندسه راهبارة در یک سطح مقطع ثابت تاثیر بسیار شدیدی بر مدل حرکت مذاب دارد به صورتی که در یک سطح مقطع ثابت با تغییر نسبت عرض به ضخامت راهبارة، سه نحوه جریان متفاوت در قالب مشاهده می‌گردد.

(۴) در سیستمهای غیر فشاری، در یک عرض ثابت با افزایش ضخامت راهبارة، میزان سرعت مذاب ورودی به قالب تغییر نمی‌یابد چرا که در سیستمهای غیر فشاری فقط قسمتی از ارتفاع راهبارة بوسیله مذاب پر می‌گردد. بنابراین در این سیستم‌ها می‌توان یک ضخامت بحرانی تعریف نمود که بیشتر از آن مقدار مذاب قادر به تر نمودن کامل راهبارة نمی‌باشد.

(۵) در سیستمهای غیر فشاری، در صورتی که مذاب ضخامت راهبارة، را پر نماید، جریان گردابی در مذاب بوجود می‌آید که این حرکت گردابی موجب انحراف مذاب ورودی به قالب می‌شود و در نتیجه پیش بینی حرکت مذاب را دشوار می‌نماید.

۶) در یک سیستم راهگاهی ثابت ، افزایش سطح مقطع راهبازه ( در یک ضخامت ثابت ) و تا هنگامی که سیستم غیر فشاری - فشاری می باشد سبب افزایش ضریب تخلیه می گردد.

۷) با افزایش ضخامت راهبازه ، به دلیل افزایش نیروی اینرسی مذاب ( ناشی از فروریزی مذاب خروجی از راهبازه ) ، مذاب تمایل بیشتری به حرکت در جهت مستقیم دارد و هرچه ضخامت راهبازه افزایش می یابد میزان گسترش مذاب کاهش می یابد .

۸) نسبت سیستم راهگاهی تاثیر عمده ای بر میزان تلفات ( ضریب تخلیه ) دارد:

(۱) به منظور به دست آوردن ، هندسه بهینه (نسبت عرض به ضخامت ) برای راهبارة بهتر است آزمایشاتی بوسیله آب انجام گیرد که در این آزمایش می تواند تاثیر هندسه راهبارة بر سرعت حذف حبابها و میزان کاهش آخالهای ورودی به قالب مورد بررسی قرار گیرد .

(۲) تاثیر اندازه ، ابعاد و هندسه راهبار بر مدل حرکت مذاب ، در یک راهبارة ثابت مورد بررسی قرار گیرد .

(۳) به منظور به دست آوردن هندسه بهینه برای راهبار آزمایشاتی با آب انجام گیرد.

(۴) تاثیر دبی مذاب ورودی به قالب ، در یک سطح مقطع ثابت برای راهبارة و راهبارة ، با تغییر سطح مقطع پایین راهگاه و ارتفاع راهگاه بر مدل حرکت مذاب مورد تحقیق قرار گیرد.

(۵) با محاسبه سرعت واقعی مذاب بوسیله فیلم برداری از راهبارة و مقایسه آن با سرعت تئوری ، میزان تغییر در ضریب تخلیه به ازاء تغییر اندازه و هندسه راهبار بررسی گردد.

(۶) لازم است که برای بررسی دقیق تر چگونگی خروج جریان مذاب از یک سیستم واقعی و همراه با راهبارةهای متعدد ، از راهبارةها فیلم برداری شود و پس از بررسی تصاویر ، سرعت واقعی مذاب در هر راهبارة مشخص گردد، در صورت لزوم طراحی اصلاح گردد (یا آنکه لااقل به جای مذاب از آب (مخلوط با جوهر یا پرمنگنات) استفاده شود و پس از محاسبه سرعت واقعی جریان در راهبارةها و محاسبه ضریب تخلیه ، اطلاعات حاصله برای کاربرد مذاب تعمیم داده شود) .

(۷) با تغییر اندازه و هندسه راهبار و راهبارة شرایط پدید آمدن جریانهای گردابی در سیستم های راهگاهی غیر فشاری مورد بررسی قرار گیرد.

(۸) مدل حرکت مذاب در سرعت های پائین تر از  $40 \text{ cm/sec}$  مورد بررسی قرار گیرد.

[1]- "measurement of flow pattern for the mold filling of castings"

s.H.jong w.s Hwang AFS Transaction 1989

[2]- "water Analog study of effect of Gating Designs on

Inclusion separation and Mold filling control"

xue , Hansen AFs Transaction 1993

[3]- "Improved 3-D mold filling Model for complex castings

and Experimental Verification"

j.l.yeh s.h.jong w.s.Hwang AFs Transactions 1991

[4]- "Fluid flow pattern in the Mould"

j.Hedjazi and R.Vesali

International journal of engineering 1991

[5]- "Measurement and Visualization of the Filling pattern

of Molten Metal in Actual Industrial castings".

s.H.jong w.s Hwang AFs Transactions 1992



[6]- "Numerical simulation and Experimental Verifiatio of mold filling processcs through Depressurized and less-Depressurized Gating systems". x.xue,s.f Hansen AFs Transactions 1993

[7]- "Three-Dimensional Mold filling simulation For casting and its experimental Verification"  
s.h.jong W.s Hwang AFs Transactions 1991

[8]- "critical Gate Velocities for film-forming casting Alloys  
ABasis for process specification "  
j.runyoro , S.M.A boutorabi and j.campbell AFs Transactions  
1992

[9]- "The Runing and Gating of light Alloys"  
j.Runyoro and j.Campbell foundryman 1992

(۱۰) "انجماد و اصول متالورژیکی ریخته‌گری"

دکتر جلال حجازی ۱۳۶۸

(۱۱) "نگرشی نوین بر طراحی سیستمهای راهگاهی"

دکتر محمد علی بواترابی ، غلامرضا کزازی ، بهرم مصلح ، شهروز نفیسی ۱۳۷۵

[12]- "casting" j.campell oxford :Butterwoth Heinemann 1991

[13]- "Gating of non-ferrous alloys"

casting and surface Finishing 1995

[14]- "progress in the hydraulics of gating"

M.N srinivasan and V:kondic the British fountryman 1963

[15]- Richins,d.s,wetmore w.d, AFs symposium on principales  
of Gating 1951

[۱۶]- "آنالیز گرمائی مذاب و قالب بر طراحی سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری

آلیاژهای آلومینیوم"

مجله جامعه ریخته گری ۱۳۶۴ دکتر جلال حجازی

[17]- "Velocities and volume Rates of Metal flow in Gating systems"

W.H. johnsons ,J.A Bishop AFs Transactions 1953

[18]- "A study of the principles of Gating "

Jackson , Grub , Eastwood      AFs Transactions 1950

[19]- "Initial Filling Transient of the Running system"

Isawa, j. campbell      Transactions JAPANESE 1994

[۲۰]- "چدن‌ها، سیستم‌های راهگامی و تغذیه گذاری"

پرویز دوامی      جامعه ریخته‌گران ایران      ۱۳۶۱

[21]- M.C. Fleming and H.F Taylor      Foundry Apr 1960

[22]- j.G Henzel      AFs Transactions 1966

[23]- The 7th conference on the Modeling of casting, welding  
and Advanced solidification processes

B. Sirrell, M. Holliday and j. campbell 1995

[24]- "A study of the Ideal Gating Ratio for Runners"

p.d. webster      the British foundry man 1964

[25]- "Design of T and X section for castings"

kotschi and C.R.loper AFs Transactions 1974

[26]-K.G.Davis, j.G Magny AFs Transactions 1977

[27]-Hedjazi,Bennet,kondic British Foundryman 1975

[28]- "modeling of fluid flow"

w.s.Hwang , R.A stoehr Metals handbook vol 15

[29]- "Numerical simulation of fluid flow as Applied to castig design"

s.Hao,K.Anzai, E.Niyama AFs Transactions 199

[۲۰]- "مدل جریان مذاب در قالبهای ریخته گری تو پر"

رضا غلامی پور پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مواد و متالورژی

علم و صنعت ایران. بهار ۱۳۷۵

[31]- "Numerical simulation and Modelling of casting and

solidification processes for Foundryand cast-House"

peter.sahm and preben N.Hansen 1984

[32]-"Investigation of the critical Mould Entry velocity in Aluminium bronze".

Halvae

PH.D.thesis, the university of Birmingham 1995

[33]-Modelning the flow of molten metal having a free surface during entry into molds"

R.A stoher and w.sHwang Modeling of casting and welding processesII conference proceeding 1983

[34]-"Hydraulic simulation study on tree step gating system"

Z.Fuli,Entoo and zhaohao AFs Transaction 1991

[35]-"Flow Analysis of Mold Filling using High speed motion pictures of the metal , water modeling and numerical calculations"

preben ingersiev 54 international foundry congress

newdehli 1987

[36]- "simulation of surface turbulence fluid phenomena during mold filling"

M.Barkhudarov , N.Williams      AFS Transactions 1995

منابعی که مطالعه شدند :

[۳۷]- سید محمد علی بوترابی ، مروری بر مسائل فیزیک و متالورژیکی جریان مذاب در محفظه قالب، سمینار جامعه ریخته گران ، ۱۳۷۳

[38]- "filling of Gates During casting",

DaVis, K.G AFS International cast metals journal 1977

[۳۹]- فرهاد بحرینیان سید محمد علی بوترابی بررسی تئوری سرعت بحرانی در آلیاژهای منیزیمی (ZK51A)

پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران،

۱۳۷۵

[۴۰] - سیامک فتحی، جلال حجازی «بررسی حرکت مذاب در قالب»

پایان نامه کارشناسی، دانشکده متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۴

[41]- "Good Gating leads to Good castings"

scott,s Modern casting, 1992

[42]- "Numerical simulation of fluid flow as Applied to casting  
Design"

s. Hao, k. ANzai, E. Niyama      AFs transaction 1995

[43]- "Gating to control pouring Rate and its effect on the casting"

F.J. Mc Donald      AFs Transaction 1953

[44]- "A Hydraulics - Based model of fluid flow in Horizontal  
Gating systems"

F.J. Bradley, J.A Hoops      AFs Transactions 1992

Abstract :

In order to study the effect of gating design on mold filling control.

Model was built up for Modeling the model filling process of a plate casting 180\*180\*20 mm.

Totally , Twelve different gating designs were tested on the same casting. Each twelve design, are Mainly of the same size in pouring cup, sprue , sprue base and runner (except , one of designs ).

for eleven design , geometry shape , and size ingate were change , and for one design, size Runner were changed.

The flow patterns of Various gating designs, recorded by a Video Camera, and analyzed by computer and compared with each other.

The experimental results show that the geometry shape and size ingate and ratio gating system effects on Model Mold Filling. In addition, results show that geometry and size ingate affect the ingate Velocity.



IRAN

University of science and technology

I.U.S.T

College of metallurgical Engineering

# **effects of gating designs on mold filling**

by:

M. Massomi

A thesis submitted in partial fulfilment of the Requirement

for the Degree of master of science

in metallurgical Engineering

Adviser: pro .j. Hedjazi

Consulted: Dr.S.M.A Boutorabi

sep 1997