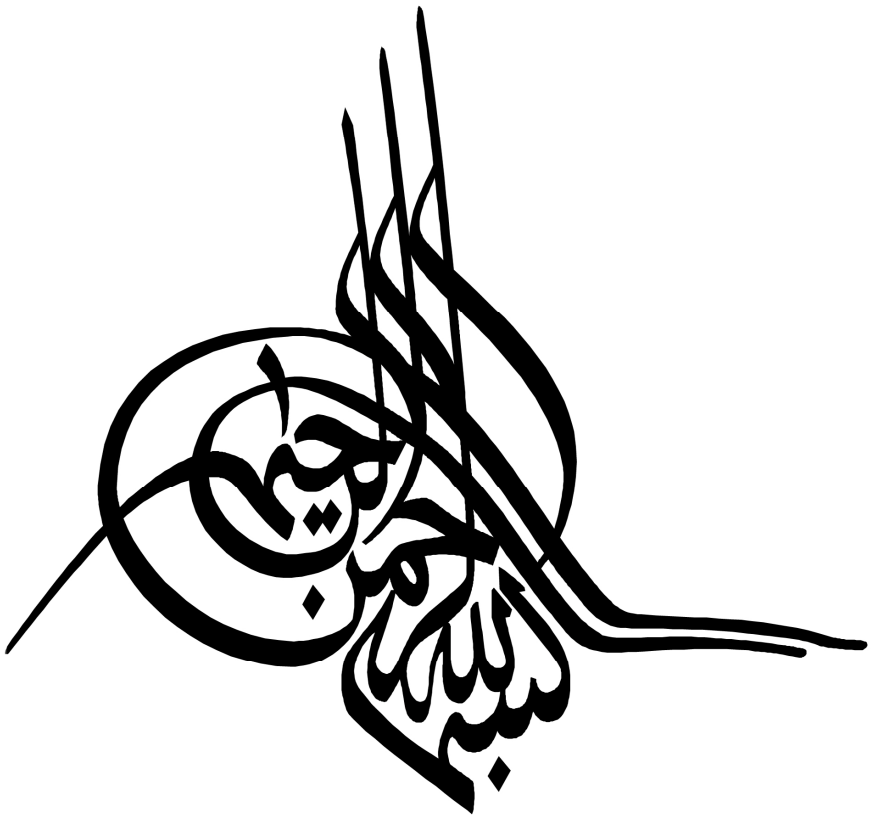
بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل**

دانشکده مکانیک

**پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد در مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی**

**موضوع**:

# شبیه سازی عددی برخورد عمودی یک قطره غیر نیوتنی به یک فیبر افقی با مقطع دایروی بصورت دو بعدی با روش عددی حجم سیال (VOF)

**استاد راهنما:**

دکتر مفید گرجی

دکتر داود دومیری گنجی

**استاد مشاور:**

حسن برارنیا

**نگارش:**

حسین یحیی زاده

زمستان 1391

**تقدیم به**

# پدر و مادر عزیزم

که آرامش روحی و آسایش فکری را برای اینجانب  فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب ، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم

# تقدیر و تشکر

از اساتید فرهیخته و فرزانه، جناب آقای دکتر مفید گرجی و آقای دکتر داود دومیری گنجی که با راهنمائی‌ها و حمایت‌های ارزندهٔ خویش اینجانب را در اتمام این پایان نامه یاری نمودند و همچنین در طول این مدت همواره مشوق بنده بوده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم و برای آنها سلامتی و موفقیت را آرزومندم. از سایر اساتید ارزنده دانشکده مهندسی مکانیک، خصوصاً آقایان دکتر علی اکبر رنجبر و دکتر عباس رامیار که در طی این دوره از وجودشان بهره‌مند شدم تقدیر و تشکر می‌نمایم. همچنین از جناب آقای حسن برارنیا نیز بدلیل کمک‌ها و راهنمائی‌های ارزشمندشان سپاسگزارم و برای ایشان نیز سلامتی و موفقیت روزافزون را آرزومندم.

## چکیده

در این پژوهش برخورد یک قطرهٔ غیر نیوتنی به یک فیبر نازک با مقطع دایروی با استفاده از روش حجم سیال شبیه سازی شده است. برای این منظور از نرم افزار منبع باز OpenFoam استفاده گردید. پیش از انجام این شبیه سازی، جهت حصول اطمینان از کد، ابتدا، جریان سیال غیرنیوتنی با مدل توانی در یک حفرهٔ مربعی که دیواره‌های بالایی و پایینی آن دارای سرعتی برابر و همجهت می‌باشند، شبیه سازی گشت و با نتایج عددی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از این شبیه سازی کاملاً منطبق بر نتایج پژوهش‌های انجام شدهٔ پیشین بوده است. در ادامه، برخورد یک قطرهٔ غیرنیوتنی با مدل توانی به فیبر شبیه سازی شد. جهت انجام اعتبار سنجی، نتایج حاصل از شبیه سازی در حالت $n=1$، که معادل رفتار سیال نیوتنی است، با نتایج حاصل از پژوهش تجربی مقایسه شد که نتایج با دقت مناسبی با نتایج تجربی ارائه شده مطابقت داشته است. جهت درک تفاوت‌های رفتار یک سیال غیر نیوتنی در مقایسه با یک سیال نیوتنی، چگالی $\rho$، کشش سطحی $\sigma$ و ضریب ویسکوزیتهٔ مدل توانی $k$ به ترتیب برابر چگالی $\rho$، کشش سطحی $\sigma$ و ویسکوزیتهٔ $\mu$ آب قرار داده شد و با تغییر شاخص سیال توانی $n$، تغییر رفتار قطرهٔ غیرنیوتنی بررسی و با نتایج بخش قبل مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان می دهند که با تغییر مقدار $n$ قطره رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در سیالات برشی نازک $n<1$، با کاهش شاخص سیال توانی $n$، در یک سرعت ثابت، شعاع آستانهٔ جذب کاهش خواهد یافت. اما در سیالات برشی ضخیم $n>1$، با افزایش شاخص سیال توانی در یک سرعت ثابت شعاع آستانهٔ جذب افزایش خواهد یافت. همچنین، در سیالات برشی نازک، در اعداد $n$ کوچک، با افزایش سرعت، شعاع آستانهٔ جذب کاهش خواهد یافت. در سیالات برشی ضخیم نیز، در اعداد $n$ بزرگ، با افزایش سرعت، شعاع آستانهٔ جذب کاهش می‌یابد اما این روند در سرعت‌های بالا، کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان دهندهٔ آن است که بطور کلی، با افزایش سرعت، شعاع آستانهٔ جذب قطره کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر با افزایش قطر قطره، سرعت آستانهٔ جذب، که در آن قطره بطور کامل توسط فیبر جذب می‌گردد، کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از برخورد قطرات غیرنیوتنی به فیبرهای آبدوست نشان می‌دهند که فیبرهای

آبدوست با افزایش نیروی موئینگی تمایل به حفظ قطره داشته و در مقابل نیروهای اینرسی و گرانش مقاوت بیشتر از خود نشان می‌دهند. لذا، شعاع آستانهٔ جذب را در مقایسه با فیبرهای خنثی افزایش می‌دهند. بلعکس، در فیبرهای آبگریز، تمایل قطره به تر نمودن فیبر کاهش یافته و قطره پس از برخورد به فیبر تمایل به بازگشت از سطح را از خود نشان می‌دهد. در واقع، در فیبرهای آبگریز نیروی موئیینگی سهم کمتری در حفظ قطره بر روی فیبر ایفا می‌نماید. بنابراین شعاع آستانهٔ جذب در این فیبرها کاهش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** تغیر شکل قطره، برخورد قطره به فیبر، سرعت آستانهٔ جذب، شعاع آستانهٔ جذب، قطرهٔ غیرنیوتنی، فیبر آبدوست، فیبر آبگریز، روش حجم سیال

**فهرست مطالب**


1 **فصل اول: مقدمه** ..... 1

1-1 مقدمه ..... 2

2-1 ایروزول ..... 3

3-1 اتمیزه شدن ..... 4

4-1 شکست قطرات ..... 5

5-1 فیلترهای فیبری ..... 11

6-1 برخورد قطره به سطح جامد ..... 13

7-1 هدف تحقیق حاضر ..... 21

8-1 رئوس مطالب ارائه شده ..... 21

2 **فصل دوم: معادلات حاکم** ..... 23

1-2 تعریف مسئله ..... 23

2-2 روش‌های مختلف شبیه سازی عددی قطرهٔ در حال سقوط و معادلات حاکم ..... 24

1-2-2 روش‌های تشخیص سطح مشترک ..... 25

2-2-2 روش حجم سیال ..... 26

3-2 گسسته سازی فضای محاسباتی ..... 35

1-1-3-2 ترتیب و ذخیره سازی متغیرها ..... 35

4-2 گسسته‌سازی معادلات ..... 40

2-4-1 درونیابی ..... 41
2-4-2 گرادیان ..... 41
2-4-3 مشتق زمانی ..... 42
2-4-4 عبارت جابجایی ..... 42
2-4-5 عبارت نفوذ ..... 43
2-4-6 عبارت چشمه ..... 43
2-4-7 گسسته‌سازی زمانی ..... 44
2-4-7-1 کنترل تطبیق‌پذیر گام زمانی ..... 45
2-4-8 نمادسازی در حجم محدود ..... 46
2-5 گسسته‌سازی معادلات حاکم بر سقوط قطره ..... 48
2-5-1 معادله انتقال کسر حجمی ..... 48
2-5-2 حل معادله فشار- سرعت، حلقه PISO ..... 49
2-6 اعداد بی‌بعد ..... 50
2-6-1 عدد رینولدز ..... 51
2-6-2 عدد وبر ..... 51
2-6-3 عدد Ohnesorge ..... 51
2-6-4 عدد Eötvös ..... 52
2-7 معادلات حاکم بر برخورد قطره به فیبر ..... 52

3 **فصل سوم: معرفی سیالات غیر نیوتنی** ..... 56

1-3 مقدمه ..... 57

2-3 معرفی سیالات غیر نیوتنی ..... 58

3-3 رفتار مستقل زمانی سیال ..... 59

1-3-3 سیالات برشی نازک ..... 60

1-1-3-3 مدل توانی ..... 61

2-1-3-3 مدل کراس ..... 62

3-1-3-3 مدل کارو ..... 62

2-3-3 سیالات ویسکو پلاستیک ..... 62

3-3-3 سیالات برشی ضخیم ..... 63

4 **فصل چهارم: تولید شبکه** ..... 64

1-4 تولید شبکه ..... 65

1-1-4 تولید شبکه جهت اعتبار سنجی حل غیرنیوتنی ..... 65

2-4 تولید شبکه جهت شبیه‌سازی برخورد قطره به فیبر ..... 69

5 **فصل پنجم: اعتبار سنجی و ارائهٔ نتایج** ..... 74

1-5 اعتبار سنجی کد ..... 74

1-1-5 اعتبار سنجی کد با شبیه سازی جریان سیال غیرنیوتنی در حفرهٔ مربعی ..... 75

2-1-5 اعتبار سنجی شبیه سازی بر خورد قطرهٔ نیوتنی، $n=1$، به فیبر ..... 77

2-5 بررسی رفتار غیرنیوتنی قطره در بر خورد به فیبر با تغییرات شاخص سیال توانی ..... 82

3-5 بررسی اثرات آبدوستی و آبگریزی سطح در برخورد قطرهٔ غیرنیوتنی به فیبر ..... 94

6 **فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات** ..... 105

1-6 نتیجه گیری ..... 106

2-6 پیشنهادات ..... 107

**مراجع** ..... 109

**فهرست شکل‌ها**


شکل (1-1): ایروزل خروجی از یک اتمایزر ..... 3

شکل (1-2): اتمیزه شدن یک جت صفحهای ..... 5

شکل (1-3): الگوریتم شکست و یا تغییر شکل قطره [5] ..... 6

شکل (1-4): حالتهای متفاوت شکست قطره [6] ..... 7

شکل (1-5): نمای شماتیک یک فیلتر فیبری ..... 11

شکل (1-6): برخورد یک قطره بر سطح جامد [23] ..... 14

شکل (1-7): نیروهای کشش سطحی مؤثر بر یک قطرهٔ ساکن بر یک سطح جامد ..... 14

شکل (1-8): زوایای مختلف تماس مایع با سطح جامد: (*a*) خنثی، (*b*) آبدوست و (*c*) آبگریز ..... 15

شکل (2-1): نمای شماتیک برخورد قطره به فیبر ..... 24

شکل (2-2): توزیع شماتیک کسر حجمی در شبکه ..... 27

شکل (2-3): بردارهای نرمال و مماسی سطح مشترک (چپ)، بردارهای نرمال و مماسی سطح دیواره و خط تماس (راست) [53] ..... 31

شکل (2-4): کانتور سطح یک قطرهٔ گلیسرین بر روی سطح wax، (*a*) پخش شدگی و (*b*) پس زنی [54] 31

شکل (2-5): زاویهٔ تماس دینامیکی با توجه به سرعت خط تماس [53] ..... 32

شکل (2-6): زوایای تماسی پیشرو و پسرو در یک قطره در حال سر خوردن از یک صفحهٔ تخت مورب [53] ..... 32

شکل (2-7): نمودار شماتیک تغییرات زاویهٔ تماسی دینامیکی [53] ..... 33

شکل (2-8): گسسته سازی فضای محاسباتی [57] ..... 35

شکل (2-9): پارامترهای موجود در گسسته سازی حجم کنترل [57] ..... 36

شکل (2-10): دو نوع ترتیب و ذخیره سازی متغیرها، a) متغیرها در مرکز سلول هر سلول ذخیره می

شوند، b) متغیرها در سطوح سلول ذخیره می شوند [57]..... 37
شکل (2-11): توزیع فشار غیر یکنواخت در یک شبکه همجا ..... 38
شکل (2-12): یک المان در شبکه همجا ..... 38
شکل (2-13): شکل (a) نمای ساده یک قطره آویزان از یک فیبر با شعاع b، شکل (b) نمای فرضی معادل، شامل دو فیبر متصل به قطره در نقطه مشترک [19] ..... 53
شکل (2-14): موقعیت قطره قبل وبعد از برخورد به فیبر افقی ..... 55
شکل (3-1): منحنی های جریان کیفی برای انواع مختلف سیالات غیرنیوتنی [65] ..... 60
شکل (4-1): شبکه های تولید شده جهت اطمینان از حل مستقل از شبکه در شبیه سازی حفرهٔ مربعی.. 68
شکل (4-2): شبکه های تولید شده جهت شبیه سازی برخورد قطره به فیبر در گام نخست ..... 71
شکل (4-3): تولید شبکهٔ انتخابی در گام نخست با تفکیک پذیری های مختلف ..... 72
شکل (4-4): پروسه تولید شبکه با استفاده از کتابخانه SnappyHexMesh ..... 73
شکل (5-1): نمای شماتیک یک حفرهٔ مربعی با دو دیوارهٔ متحرک ..... 76
شکل (5-2): جریان سیال غیرنیوتنی با شاخص توانی $n$=0.5، a، شبیه سازی در این پژوهش و b، شبیه سازی با استفاده از روش لتیث [68] ..... 76
شکل (5-3): جریان سیال غیرنیوتنی با شاخص توانی $n$=1، a، شبیه سازی در این پژوهش و b، شبیه سازی با استفاده از روش لتیث [68] ..... 77
شکل (5-4): جریان سیال غیرنیوتنی با شاخص توانی $n$=1.5، a، شبیه سازی در این پژوهش و b، شبیه سازی با استفاده از روش لتیث [68] ..... 77
شکل (5-5): سرعت برخورد صفر، در شعاع بحرانی 2/05 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد ..... 78
شکل (5-6): سرعت برخورد 0/2 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/95 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. .. 79
شکل (5-7): سرعت برخورد 0/3 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/8 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. .... 79

شکل (5-8): سرعت برخورد 0/4 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/75 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. .. 79
شکل (5-9): سرعت برخورد 0/5 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/6 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. .... 80
شکل (5-10): سرعت برخورد 0/6 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/35 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. 80
شکل (5-11): سرعت برخورد 0/7 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/25 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. 80
شکل (5-12): سرعت برخورد 0/8 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/15 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. 81
شکل (5-13): سرعت برخورد 0/9 متر بر ثانیه، در شعاع بحرانی 1/00 میلی متر قطره به فیبر می‌چسبد. 81
شکل (5-14): مقایسه نتایج حاصل شبیه سازی برخورد قطرهٔ نیوتنی با حل تئوری و نتایج تجربی ..... 82
شکل (5-15): رفتار قطرهٔ غیرنیوتنی در بر خورد به فیبر با سرعت صفر، در حالتی که $k=1mPa\cdot s,\ \rho=1000kg/m^3,\ R=2.05mm$ ..... 84
شکل (5-16): رفتار قطرهٔ غیرنیوتنی در بر خورد به فیبر با 0/3 متر بر ثانیه، در حالتی که $k=1mPa\cdot s,\ \rho=1000kg/m^3,\ R=1.80mm$ ..... 85
شکل (5-17): رفتار قطرهٔ غیرنیوتنی در بر خورد به فیبر با 0/6 متر بر ثانیه، در حالتی که $k=1mPa\cdot s,\ \rho=1000kg/m^3,\ R=1.35mm$ ..... 86
شکل (5-18): رفتار قطرهٔ غیرنیوتنی در بر خورد به فیبر با 0/9 متر بر ثانیه، در حالتی که $k=1mPa\cdot s,\ \rho=1000kg/m^3,\ R=1.00mm$ ..... 87
شکل (5-19): شعاع آستانهٔ جذب 1/75 میلیمتر، سرعت برخورد صفر و شاخص توانی $n$=0.5 ..... 88
شکل (5-20): شعاع آستانهٔ جذب 1/50 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.3 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=0.5 ..... 89
شکل (5-21): شعاع آستانهٔ جذب 1/25 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.6 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=0.5 ..... 89
شکل (5-22): شعاع آستانهٔ جذب 0/80 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.9 نتر بر ثانیه و شاخص توانی

$n$=0.5 ..... 89

شکل(5-23): شعاع آستانهٔ جذب 2/95 میلیمتر، سرعت بر خورد صفر و شاخص توانی $n$=1.5 ..... 90

شکل (5-24): شعاع آستانهٔ جذب 2/40 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.3 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=1.5 ..... 90

شکل (5-25): شعاع آستانهٔ جذب 1/70 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.6 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=1.5 ..... 91

شکل (5-26): شعاع آستانهٔ جذب 1/30 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.9 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=1.5 ..... 91

شکل (5-27): شعاع آستانهٔ جذب 3/30 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=2 ..... 92

شکل (5-28): شعاع آستانهٔ جذب 2/50 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.3 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=2 ..... 92

شکل (5-29): شعاع آستانهٔ جذب 1/80 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.6 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=2 ..... 92

شکل (5-30): شعاع آستانهٔ جذب 1/50 میلیمتر، سرعت بر خورد $U^*$=0.9 متر بر ثانیه و شاخص توانی $n$=2 ..... 93

شکل (5-31): نمودار سرعت آستانهٔ برخورد (متر بر ثانیه) نسبت به شعاع آستانهٔ بر خورد (میلیمتر) برای سیالات نیوتنی، برشی نازک و برشی ضخیم ..... 93

شکل (5-32): قطره با رفتار برشی نازک $n$=0.5، با سرعت برخورد $U^*$=0.9، در شعاع آستانهٔ جذب $R$=0.8 ..... 94

شکل (5-33): با رفتار برشی نازک $n$=0.5، با سرعت برخورد $U^*$=0.9، در شعاع آستانهٔ جذب $R$=0.9 ..... 95

شکل (5-34): با رفتار برشی ضخیم $n$=1.5، با سرعت برخورد $U^*$=0.9، در شعاع آستانهٔ جذب $R$=1.5.... 95
شکل (5-35): با رفتار برشی ضخیم $n$=1.5، با سرعت برخورد $U^*$=0.9، در شعاع آستانهٔ جذب $R$=1.6.... 95
شکل (5-36): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=0.5 در سرعت 0/3 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 96
شکل (5-37): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=0.5 در سرعت 0/5 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 96
شکل (5-38): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=0.5 در سرعت 0/7 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 97
شکل (5-39): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=0.5 در سرعت 0/9 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 97
شکل (5-40): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=1.5 در سرعت 0/3 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 97
شکل (5-41): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=1.5 در سرعت 0/5 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 98
شکل (5-42): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=1.5 در سرعت 0/7 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 98
شکل (5-43): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=1.5 در سرعت 0/9 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 45 درجه ..... 98
شکل (5-44): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=0.5 در سرعت 0/3 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 99
شکل (5-45): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n$=0.5 در سرعت 0/5 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی

110 درجه ..... 99
شکل (5-46): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n=0.5$ در سرعت 0/7 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 100
شکل (5-47): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n=0.5$ در سرعت 0/9 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 100
شکل (5-48): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n=1.5$ در سرعت 0/3 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 100
شکل (5-49): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n=1.5$ در سرعت 0/5 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 101
شکل (5-50): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n=1.5$ در سرعت 0/7 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 101
شکل (5-51): شعاع آستانهٔ جذب برای سیال برشی نازک $n=1.5$ در سرعت 0/9 متر بر ثانیه، زاویهٔ تماسی 110 درجه ..... 101
شکل (5-52): قطرهٔ برشی نازک ($n=0.5$) با شعاع آستانهٔ جذب در سرعت 0/9 متر بر ثانیه بر روی سه فیبر آبدوست، خنثی و آبگریز ..... 102
شکل (5-53): قطرهٔ برشی ضخیم ($n=1.5$) با شعاع آستانهٔ جذب در سرعت 0/9 متر بر ثانیه بر روی سه فیبر آبدوست، خنثی و آبگریز ..... 103
شکل (5-54): تغییرات شعاع آستانهٔ جذب یک قطرهٔ برشی نازک ($n=0.5$) نسبت به سرعت آستانهٔ برخورد در سه فیبر آبدوست، خنثی و آبگریز ..... 104
شکل (5-55): تغییرات شعاع آستانهٔ جذب یک قطرهٔ برشی ضخیم ($n=1.5$) نسبت به سرعت آستانهٔ برخورد در سه فیبر آبدوست، خنثی و آبگریز ..... 105

**فهرست جداول**

جدول (2-1): نماد سازی حجم کنترل [54] ..... 47

جدول (3-1): مقادیر ویسکوزیته برخی سیالات معمول در دمای اتاق [64] ..... 58

جدول (5-1): مشخصات فیزیکی آب و روغن سیلیکون ..... 78

جدول (5-2): درصد خطا در مقایسه داده های تجربی و تئوری ..... 83

## فهرست علائم

| | |
|---|---|
| سیستم معادلات جبری خطی | $\mathbf{A}$ |
| شعاع فیبر | $b$ |
| ضریب درگ | $C_D$ |
| عدد کورنت | $Co$ |
| بردار‌بین مراکز سلول محاسباتی و سلول همسایه | $\mathbf{d}$ |
| سطوح سلول | $f$ |
| نیروی بدنی در واحد جرم | $\mathbf{f}_b$ |
| نیروی کشش سطحی | $\mathbf{f}_\sigma$ |
| شار جرمی در سطح سلول | $F$ |
| نیروی موئینگی | $F_C$ |
| نیروی درگ | $F_D$ |
| جاذبه گرانش | $g$ |
| ضریب ویسکوزیته سیال توانی | $k$ |
| طول موئینگی | $\boldsymbol{k}^{-1} = \sqrt{\sigma/\rho g}$ |
| شاخص سیال توانی | $n$ |
| بردار یکه عمود بر سطح | $\mathbf{n}$ |
| بردار نرمال اصلاح شده | $\mathbf{n}^*$ |
| بردار نرمال سطح دیواره | $\mathbf{n}_{wall}$ |
| فشار استاتیک | $p$ |
| فشار اصلاح شده | $p_d$ |
| شعاع قطره | $R$ |
| شعاع آستانه جذب | $R_M$ |
| بردار مساحت سطح | $\mathbf{S}$ |
| عبارت چشمه | $S_\phi$ |
| زمان | $t$ |
| گام زمانی | $\Delta t$ |
| تانسور تنش ویسکوز | $\mathbf{T}$ |
| بردار نرمال سطح مشترک و مماس بر دیواره | $\mathbf{t}_{wall}$ |
| بردار سرعت | $\mathbf{U}$ |
| سرعت تراکم | $\mathbf{U}_r$ |
| سرعت برخورد | $U^*$ |

| | |
|---|---|
| سرعت خط تماس | $\mathbf{U}_C$ |
| حجم | $V$ |
| موقعیت مکانی | $x$ |
| موقیعت مکانی مرکز سطح | $x_f$ |
| موقعیت مکانی مرکز سلول | $x_P$ |

## اعداد بی بعد

| | |
|---|---|
| عدد Eötvös | $Eo = \frac{\Delta\rho\, g\, D^2}{\sigma}$ |
| عدد Ohnesorge | $Oh = \frac{\mu_d}{\left(\rho_d\, D\, \sigma\right)^{0.5}}$ |
| عدد رینولدز | $\mathrm{Re} = \frac{\rho_d\, U\, D}{\mu_d}$ |
| سرعت مشخصه | $U_M = \sqrt{4gR_M}$ |
| عدد وبر | $We = \frac{\rho_d\, U^2\, D}{\sigma}$ |

## علائم یونانی

| | |
|---|---|
| شار حجمی | $\phi$ |
| کسر حجمی فاز | $\gamma$ |
| نرخ برش | $\dot{\gamma}$ |
| کشش سطحی مایع-جامد | $\sigma_{SL}$ |
| کشش سطحی جامد-گاز | $\sigma_{SG}$ |
| کشش سطحی مایع-گاز | $\sigma_{LG}$ |
| چگالی | $\rho$ |
| عبارت نفوذ | $\Gamma$ |
| دلتای کرونکر | $\delta_{i,j}$ |
| فاکتور پایدارساز | $\delta_n$ |
| خمیدگی | $\kappa$ |
| حجم آستانه جذب | $\Omega_M = 4\pi R_M^3 / 3$ |
| زاویهٔ تماس استاتیکی | $\theta_c$ |
| زاویهٔ تماس دینامیکی | $\theta_d$ |
| زاویهٔ تماس پخش شده‌گی | $\theta_{CS}$ |
| زاویهٔ تماس پس زنی | $\theta_{CR}$ |
| زاویهٔ تماس پیشرو | $\theta_A$ |

| | |
|---|---|
| زاویهٔ تماس پسرو | $\theta_R$ |

## زیرنویس‌ها

| | |
|---|---|
| نیروهای بدنی | $b$ |
| محیط ساکن | $c$ |
| قطره | $d$ |
| سطح سلول | $f$ |
| فاز گاز | $g$ |
| ابتدایی | int |
| فاز مایع | $l$ |
| حداکثر | max |
| مرکز سلول همسایه | $N$ |
| مرکز سلول محاسباتی | $P$ |