

واژه‌های کلیدی: توزیع قطر قطرات، سرعت سقوط،
عکس برداری، پردازش تصویر، آشکارسازی لبه، *ImageJ*

مقدمه

از آنجا که اندازه‌ی قطرات بر سایر پارامترهای بارش مانند سرعت، انرژی جنبشی و در نهایت فرساینده‌ی باران اثر مستقیم دارد لذا نقش مهمی در فرایندهای فرسایش خاک ایفا می‌کند [۲۳]. شبیه‌سازی بارش به یک روش مهم برای ارزیابی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک تبدیل شده است. شبیه‌سازهای باران در مطالعات میدانی و آزمایشگاهی امکان کنترل برخی از مهم‌ترین متغیرهای بارندگی را فراهم نموده و در نتیجه قابلیت اعتماد نتایج را به نحو مطلوبی افزایش می‌دهند [۱۰]. بخش مربوط به تشکیل قطرات در باران ساز جزء کلیدی باران‌ساز محسوب شده و ممکن است به بخش‌های مختلف مکانیکی و الکترونیکی مناسب مجهز باشند، به نحوی که بیشتر طراحان وسایل پیشرفته در دهه‌های اخیر، موضوع مربوط به اندازه و سرعت قطره را به عنوان معیاری برای بازسازی هرچه دقیق‌تر رگبارها مورد توجه دقیق قرار دادند [۲]. اندازه‌ی قطرات بارش طبیعی از صفر تا ۶ میلی‌متر متغیر است [۲۴] و سرعت حد باران طبیعی با افزایش قطر قطره افزایش می‌یابد و به حدود ۹ متر بر ثانیه می‌رسد [۱۱]. تا به امروز محققان بسیاری در سراسر جهان جهت اندازه‌گیری خصوصیات بارش طبیعی یا شبیه‌سازی شده (توسط باران سازها) خصوصا با تمرکز بر اندازه و سرعت قطرات از تکنیک‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. این روش‌ها شامل دیسدمتر [۱۶] و [۳۲]، [۲۹] و [۶]، گلوله آردی [۱۹]، [۱۸] و [۱۷]، مومنتیوم [۲]، نوری [۳۷]، [۸] و [۲۹]، رادار [۲۸] و [۷]، [۲۹]، [۳۳]، [۶]، [۳۴] و [۱۹]، لکه رنگی [۲۷]، [۱۴] و [۳۰]، غوطه‌وری [۱۷] و [۱۱] و روش عکس‌برداری [۱۵] می‌باشند. یکی از مزیت‌های روش عکس‌برداری اندازه‌گیری مستقیم قطر هر قطره است. این روش نیاز به واسنجی نداشته و دقت اندازه‌گیری به نوع دوربین مورد استفاده [۳] و روش‌های پردازش تصویر تا حد زیادی به عمق زمینه‌ی تصویر بستگی دارد [۸]، [۲۴]. در بسیاری از تحقیقات برای اندازه‌گیری خصوصیات بارش از روش عکس‌برداری با سرعت بالا استفاده شده است. سودهر و پاندا [۳۱] در تحقیق خود برای اندازه‌گیری توزیع قطری قطرات بارش شبیه‌سازی شده از یک نازل آبیاری از تکنیک عکس‌برداری و تکنیک هیستوگرام خاکستری در پردازش تصویر استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عکس‌برداری و پردازش تصویر به عنوان روشی موثر و با صحت

استفاده از روش عکس‌برداری و پردازش تصویر در
اندازه‌گیری قطر و سرعت قطرات باران شبیه‌سازی شده

مازیار محمدی^{۱*}، عطاالله کاویان^۲ مقدسه فلاح^۳ و زهرا عبداللهی^۴
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۹

چکیده

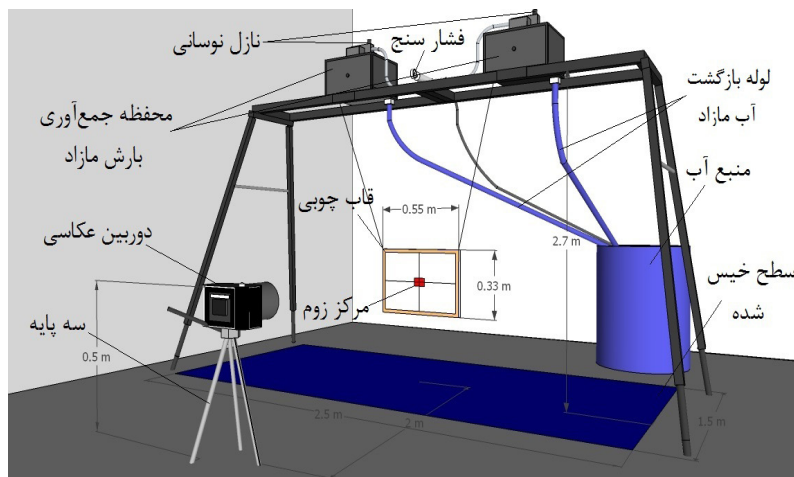
تمامی روش‌های موجود در اندازه‌گیری خصوصیات قطرات بارش طبیعی یا شبیه‌سازی شده پرهزینه، طاقت‌فرسا و زمان‌بر هستند. در این تحقیق برای اندازه‌گیری توزیع قطری و سرعت قطرات بارش شبیه‌سازی شده از روش عکس‌برداری با دوربین سرعت بالا (Nikon D90) و تکنیک پردازش تصویر استفاده شده است. برای پردازش تصویر نرم افزار *ImageJ* و روش آشکارسازی لبه بکارگرفته شد و قطر قطرات با دقت هزارم میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر قطرات نشان داد که شبیه‌ساز حاضر در این مطالعه در فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکل قادر به شبیه‌سازی قطراتی با دامنه قطری ۰/۲ تا بیش از ۶ میلی‌متر است. با توجه به عملکرد مناسب شبیه‌ساز باران در فشار ۶۰ کیلوپاسکل، سرعت قطرات برای کلاس‌های قطری مختلف در این فشار و در ارتفاع نیم متری از زمین از ۱/۲ تا ۷/۵ متر بر ثانیه محاسبه شد که به سرعت حد بارش طبیعی نزدیک است. هم‌چنین با استفاده از آزمون دانکن مشخص شد که بین قطر قطرات تولید شده در هر ۴ فشار مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد که با افزایش فشار قطر قطرات کاهش می‌یابد. در نهایت نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عکس‌برداری و پردازش تصویر روشی سریع، کم‌هزینه با دقت و صحت بالا در تعیین خصوصیات بارش شبیه‌سازی شده می‌باشد.

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، و نویسنده مسئول،
Email: M.mohammadi@sanru.ac.ir

۲ - دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳ - دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۴ - دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.



شکل (۱) نمایی از دوربین عکاسی و قاب تعبیه شده جهت عکس برداری زیر شبیه ساز باران (ترسیم با نرم افزار SketchUp Google ورژن 8.0.3117)

می باشد. بدین منظور از روش عکس برداری با دوربین سرعت بالا و تکنیک پردازش تصویر استفاده شده است.

مواد و روش

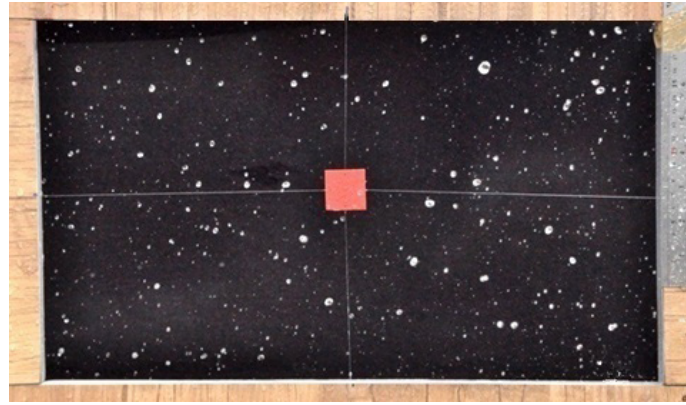
۱- توصیف شبیه ساز باران

شبیه ساز باران طراحی شده بر روی یک ساختار فلزی به فرم A و با قابلیت تنظیم ارتفاع ۲ تا ۲/۷ متر و با قطر پایه ۴۰ میلیمتر مستقر گردید. پایه های تلسکوپی در این باران ساز به منظور تسهیل استقرار و تراز دستگاه بر روی سطوح شیب دار در مطالعات میدانی تعبیه شدند. جهت شبیه سازی باران از دو نازل و بجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلیمتر با قابلیت جابه جایی بر روی ریلی به طول ۲ متر استفاده گردید. هر نازل درون یک مکعب فلزی ثابت قرار گرفته تا آب مازاد را به سیستم بارش بازگردانند. جهت انتقال آب به نازلها از یک شیلنگ انعطاف پذیر به قطر ۱۵ میلی متر متصل به یک پمپ الکتریکی استفاده گردید. سپس جریان آب در ارتفاع ۲ متری توسط یک مقسم فلزی و دو شلنگ ۱۲ میلی متری به طول ۷۰ سانتی متر با فشار یکسان به نازلها منتقل می شود. همچنین برای کنترل فشار آب در پشت نازلها یک فشارسنج (۰ - ۱۶۰ کیلو پاسکال) بر روی شیلنگ هادی نصب شد. شکل (۱) شمایی از شبیه ساز باران طراحی شده را نشان می دهد. به منظور راه اندازی شبیه ساز و کنترل تداوم بارش، یک برد کنترلی با قابلیت برنامه نویسی و اجرای ۱۰ برنامه بارشی با خصوصیات مختلف و به صورت خودکار و متوالی طراحی گردید که با استفاده از یک صفحه کلید، مشابه شکل ۱، سرعت نوسان نازلها، زاویه نوسان نازلها (۰ تا ۶۰ درجه) و مدت زمان بارش (۱ دقیقه تا یک ساعت) قابل تنظیم می باشد. این شبیه ساز باران قابلیت شبیه سازی بارش ۴۰ تا ۱۲۰ میلیمتر در ساعت را دارد.

۲- تکنیک پردازش تصویر

پردازش تصویر شامل صورت خودکار در آوردن و یکپارچه سازی

بالا می تواند در اندازه گیری قطر قطرات بارش مورد استفاده قرار گیرد. کاورت و جردن [۹] در کلمبیا برای اندازه گیری قطر قطرات بارش شبیه سازی شده از روش عکس برداری در مقابل یک صفحه ی شبکه بندی شده استفاده کردند و اندازه ی قطرات رها شده از فاصله ی ۳/۳ متر را صفر تا ۶ میلی متر محاسبه کردند. ابودی و همکاران [۵] برای اندازه گیری توزیع قطری و سرعت قطرات یک باران ساز صحرایی از روش عکس برداری با دوربینی با توانایی ثبت تصویر ۸۰۰۰ فریم در ثانیه استفاده کردند. در تحقیق ایشان قطرات در محدوده ی ۱ تا ۲/۵ میلیمتر و میانه ی قطرات ۱/۵ میلیمتر بدست آمد. همچنین آن ها گزارش کردند که میانگین قطر بدست آمده در روش عکس برداری به میانگین قطر بدست آمده در روش کاغذ نشانه بسیار نزدیک است. صادقی و همکاران [۲۵] نیز به منظور اندازه گیری توزیع قطر قطرات بارش طبیعی در استان مازندران از روش عکس برداری با دوربین سرعت بالا استفاده کردند. ایشان در تحقیق خود از دوربین Canon EOS 550D با سرعت شاتر ۴۰۰۰ فریم بر ثانیه استفاده کردند و به منظور افزایش دقت در فرایند پردازش تصویر قطراتی که در خارج از مرکز زوم دوربین قرار داشتند را از مجموعه داده ها حذف کردند. در تحقیق آن ها محدوده ی قطری قطرات از ۰/۲ تا ۵/۱۶ میلیمتر محاسبه شد و همچنین آن ها گزارش کردند که نتایج روش گلوله آردی و روش عکس برداری در اندازه گیری قطر قطرات مشابه بود. عبداللهی و همکاران [۳] در تحقیقی به منظور انتخاب بهترین نوع نازل و همچنین واسنجی خصوصیات بارش مانند توزیع قطری قطرات، سرعت و زاویه برخورد قطرات با سطح پلات از روش عکس برداری و پردازش تصویر استفاده کردند. ایشان در پژوهش خود میانه قطری، سرعت و زاویه برخورد قطرات را به ترتیب ۱/۴ میلیمتر، ۶/۴ متر بر ثانیه و ۸۹ درجه محاسبه کردند. هدف تحقیق حاضر معرفی یک روش سریع و دقیق در واسنجی خصوصیات بارش و همچنین بررسی اثر تغییرات فشار آب در سیستم شبیه ساز باران بر دو مورد از مهمترین خصوصیات باران شامل قطر و سرعت قطرات



شکل (۲) تصویری از قطرات باران ثبت شده بوسیله دوربین نیکون D90 در فشار ۶۰ کیلوپاسکال

تصویر مانند کنتراست^۲، کنولوسيون^۳، تجزیه و تحلیل سری فوری^۴، شارپ کردن^۵، صاف کردن^۶، تشخیص لبه^۷، و فیلتر میانه^۸ پشتیبانی می‌کند. در تحقیق حاضر به منظور جداسازی قطرات باران از تصویر زمینه اندازه‌گیری قطر آن‌ها از روش آشکارسازی^۹ لبه‌ها استفاده شده است. این روش یکی از مهمترین روش‌ها در زمینه پردازش تصویر می‌باشد که در بسیاری از برنامه‌های کاربردی از جمله تقسیم‌بندی، ثبت، استخراج ویژگی و شناسایی اشیاء در صحنه استفاده می‌شود. همچنین در این روش اگرچه مقدار زیادی از داده‌ها در طی فرایند پردازش در زمینه تصویر حذف می‌شوند (قطرلت بسیار ریز خارج از مرکز زوم دوربین) اما همچنان بسیاری از ویژگی‌های مهم مورد هدف (قطرات اصلی باران) در تصویر باقی می‌ماند. تشخیص لبه به فرایند ناپیوستگی مکانی در یک تصویر اشاره می‌کند که این ناپیوستگی می‌تواند ناشی از ناپیوستگی در عمق، ناپیوستگی در جهت سطح و تغییر در خواص مواد و تغییرات در روشنایی صحنه می‌باشد [۱۳]. شکل (۳) مراحل آشکار سازی لبه را نشان می‌دهد [۱۲].

پس از پردازش تصویر و جداسازی قطرات باران از تصویر زمینه به اندازه‌گیری قطر قطرات باران اقدام شد. در قسمت Set scale نرم افزار ImageJ با توجه به مقیاس مورد استفاده در قاب عکس برداری هر ۱ میلیمتر معادل ۹ پیکسل تعیین شد و سپس قطر قطرات با کشیدن خطی افقی در میانه‌ی هر قطره و با توجه به مقیاس تعیین شده توسط نرم‌افزار محاسبه شد (شکل ۴). در هر یک از فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال قطر بیش از ۳۰۰ قطره با دقت هزارم میلیمتر اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه قطراتی که در مرکز زوم

طیف گسترده‌ای از فرآیندها است که مورد استفاده برای درک بینایی است و شامل سه مرحله اصلی کسب داده، پردازش و تفسیر می‌باشد [۳۱].

۳- جمع‌آوری داده

برای تعیین دامنه قطری قطرات تولید شده توسط شبیه‌ساز باران از روش عکس برداری با سرعت بالا و پردازش تصویر استفاده شد [۱۵]. بدین منظور از دوربین دیجیتال Nikon D90 با سرعت شاتر ۱/۴۰۰۰ فریم در ثانیه و وضوح تصویر ۱۲/۹ مگا پیکسل جهت ثبت قطرات شبیه‌سازی شده استفاده شد. جهت یکنواختی عمل کرد در فرایند آنالیز تصاویر از یک فریم چوبی ۳۳ در ۵۵ سانتی متری با یک قطعه ۳ در ۳ سانتی متری در مرکز آن جهت تنظیم زوم دوربین استفاده گردید [۲۵] تا قطرات در اندازه‌ی واقعی ثبت شوند و دوربین بر روی سه پایه در ارتفاع نیم متری از زمین در فاصله ۲ متری از شبیه‌ساز قرار گرفت. همچنین برای جداسازی بهتر قطرات باران از تصویر زمینه در مرحله پردازش تصویر از یک پرده مشکی در پشت قاب استفاده شد. شکل (۲) نمونه‌ای از تصویر ثبت شده از قطرات باران را نشان می‌دهد. عکس برداری از قطرات در فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال صورت گرفت و سپس تصاویر ثبت شده جهت انجام پردازش تصویر به محیط رایانه انتقال داده شدند. همچنین برای داشتن مقیاس در تصویر از یک خط‌کش مدرج در کنار چارچوب استفاده شد.

۴- پردازش و تفسیر عکس

در این مطالعه به منظور پردازش تصویر و اندازه‌گیری قطر قطرات از نرم‌افزار ImageJ ورژن ۱/۴۶ استفاده شده است. این نرم افزار یکی از نرم افزارهای پردازش تصویر می‌باشد که توسط موسسه ملی بهداشت ایالات متحده آمریکا بر روی پلاتفورم جاوا طراحی شده است. این نرم افزار از توابع استاندارد منطقی و ریاضی پردازش

2. Contrast
3. Convolution
4. Fourier analysis
5. Sharpening
6. Smoothing
7. Edge detection
8. Median filtering
9. Edge Detection Procedure

1. Image Processing and Analysis in Java

از روش عکس برداری با سرعت بالا (در فاصله‌ی نیم متری از زمین) استفاده گردید. پس از پردازش تصاویر در نرم افزار ImageJ تعداد ۱۰ قطره بصورت تصادفی از هر کلاس قطری انتخاب شد و سپس اختلاف طول عمودی و قطر قطره محاسبه و در نهایت مقدار کشیدگی قطرات (جابجایی مکانی) در $1/4000$ ثانیه بدست آمد (شکل ۵). سپس با تبدیل این واحد به متر بر ثانیه سرعت قطرات در هر کلاس قطری محاسبه شد.

نتایج و بحث

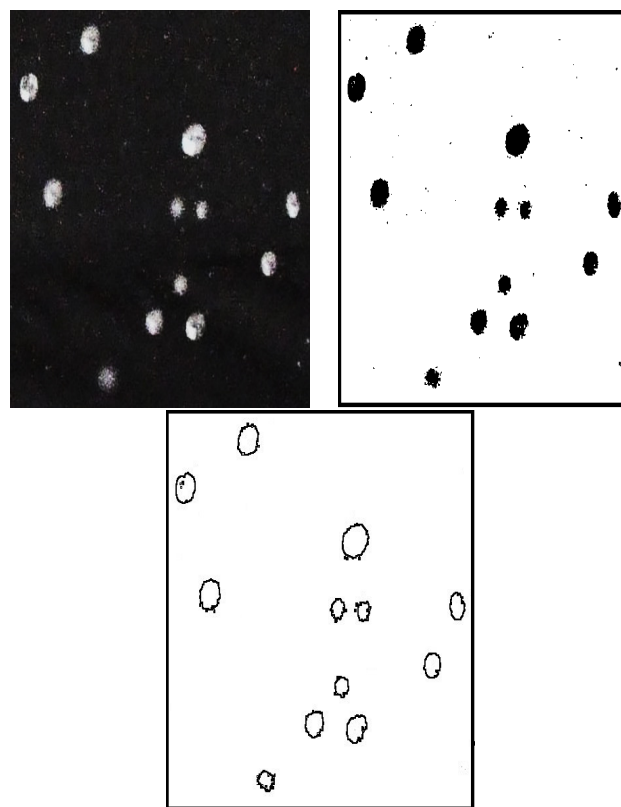
۱- توزیع اندازه‌ی قطرات

باران مجموعه‌ای از قطرات با اندازه‌های مختلف است. در بارش طبیعی محققین به این نتیجه رسیدند که حداقل قطر قطره معمولاً 0.2 میلی‌متر و حداکثر قطر قطرات معمولاً حدود 5 میلی‌متر می‌باشد و البته به ندرت پیش می‌آید که قطر قطرات باران طبیعی به 5 یا 6 میلی‌متر برسد. این درحالی است که احتمالاً دو قطره در حال سقوط به قطره بزرگتری برخورد کرده و قطرات بزرگتری را ایجاد می‌کنند [۱]. برای اندازه‌گیری قطر قطرات از روش عکس برداری با سرعت بالا و پردازش تصویر استفاده شد و قطر قطرات از حداقل 0.2 در فشار 80 کیلوپاسکال تا بیش از 6 میلی‌متر در فشار 20 کیلوپاسکال محاسبه شدند. در شکل (۶) نتایج حاصل از محاسبه توزیع اندازه‌ی قطرات در کلاس قطری 0.2 تا بیشتر از 6 میلی‌متر در فشارهای مختلف ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که با افزایش فشار از 20 تا 80 کیلوپاسکال اندازه‌ی حداقل و حداکثر قطر قطره کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن را می‌توان افزایش برخورد قطرات و تلاشی شدن قطرات درشت تر بیان کرد. از آنجایی که محدوده‌ی قطری باران طبیعی 0.1 تا 5 میلی‌متر گزارش شده است، لذا محدوده قطری حاصل از این تحقیق در فشار بهینه 60 کیلوپاسکال با قطرات بارش طبیعی نزدیکی دارد [۲۱]. همچنین در تحقیق میر و هارمون [۲۲] و لوچ و همکاران [۲۰] اندازه‌ی قطرات ایجاد شده بین 1 تا 5 میلی‌متر

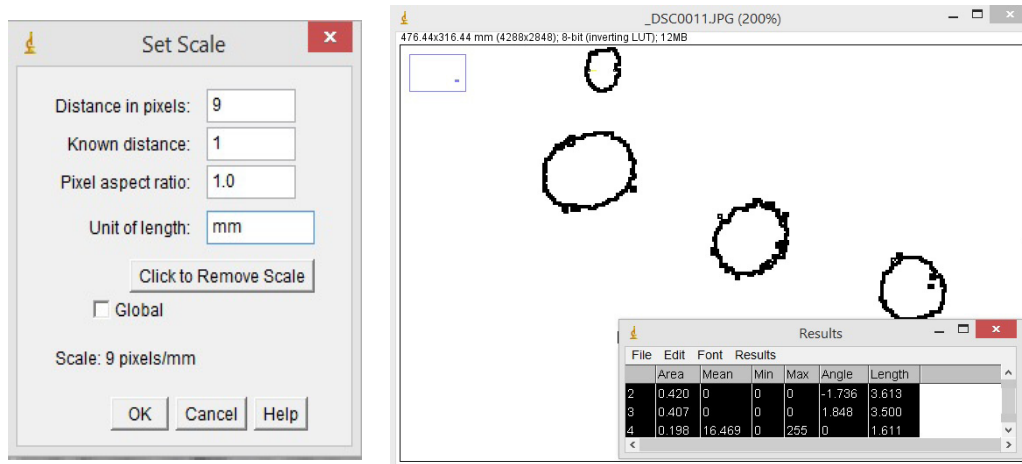
دوربین قرار داشتند در اندازه‌ی واقعی خود بوده از وضوح و شفافیت بالاتری برخوردار بودند لذا سایر قطرات خارج از مرکز زوم دوربین از مجموعه داده‌ها حذف شدند [۲۶].

۲-۵- سرعت قطرات

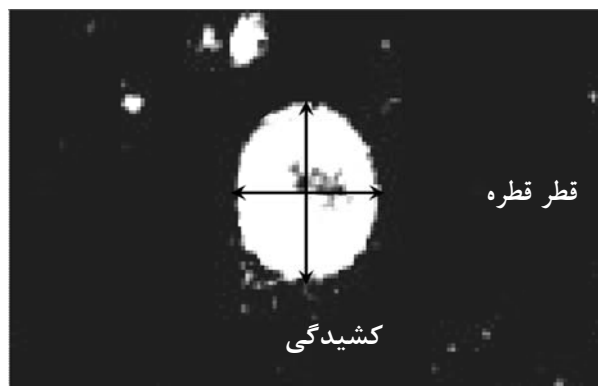
با توجه به عملکرد بهتر شبیه ساز باران در فشار 60 کیلوپاسکال، اندازه‌گیری سرعت قطرات در این فشار انجام شد. برای این منظور



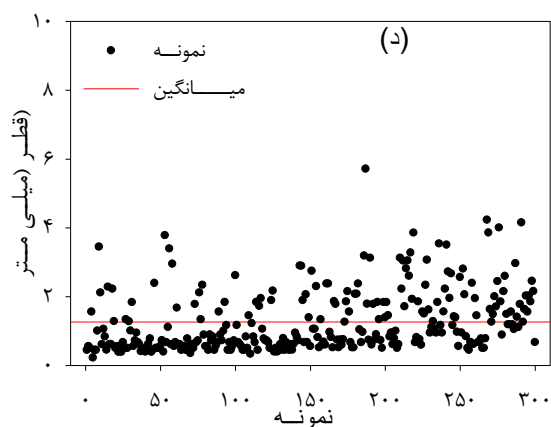
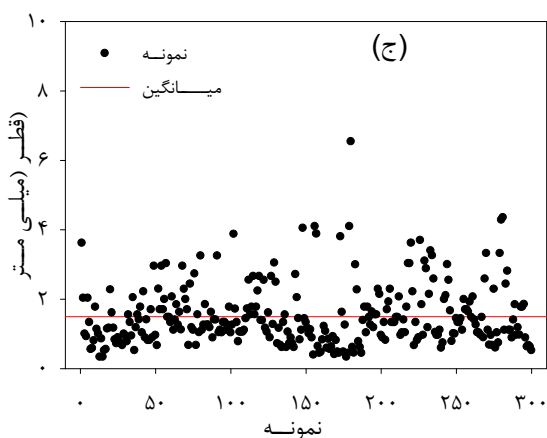
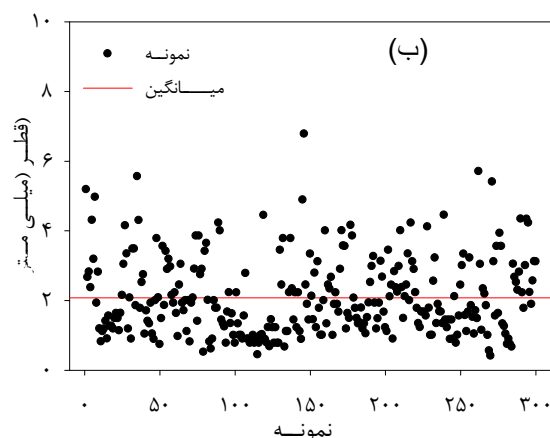
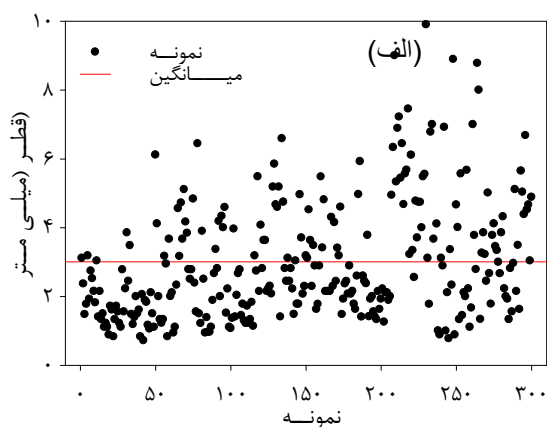
شکل (۳) تصویر اصلی (بالا-چپ) تصویر باینری (بالا-راست) و تصویر آشکارسازی لبه (پایین)



شکل (۴) مقیاس گذاری (چپ) و اندازه‌گیری قطر قطرات با استفاده از نرم افزار ImageJ (راست)



شکل (۵) شمایی از نحوه اندازه‌گیری مولفه‌های اصلی قطره برای محاسبه سرعت سقوط



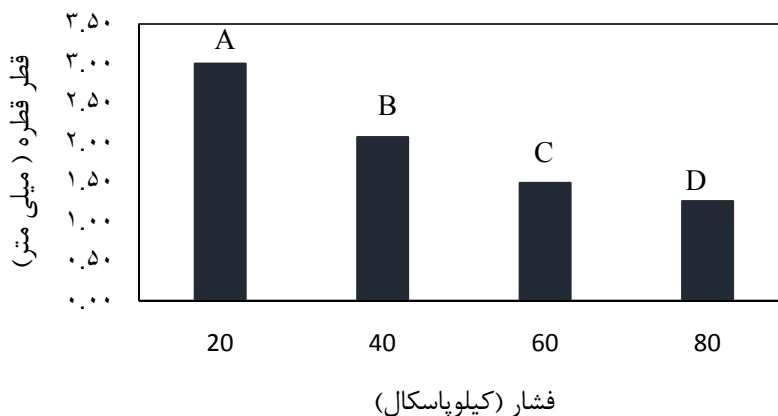
شکل (۶) اسکترپلات توزیع قطرات بارش شبیه‌سازی شده در فشارهای ۲۰ (الف)، ۴۰ (ب)، ۶۰ (ج) و ۸۰ (د) کیلوپاسکال

میانگین، میانه، حداقل و حداکثر قطر قطرات کاهش می‌یابد. میانه‌ی قطری در فشار ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال به ترتیب $2/4$ ، $1/7$ ، $1/2$ و $0/8$ میلیمتر محاسبه شد. صادقی و همکاران [۲۶] در منطقه مازندران با استفاده از روش عکس‌برداری محدوده‌ی قطری قطرات را برای بارش طبیعی از حداقل $0/2$ تا ۶ میلیمتر گزارش کردند که با دامنه قطری محاسبه شده در این تحقیق در فشار ۶۰ کیلوپاسکال

با حداکثر فراوانی ۲ تا ۳ میلیمتر گزارش شد که همانند بارش طبیعی دامنه‌ی وسیعی از قطرات با اندازه‌های متفاوت را دربر می‌گرفت. جدول (۲) خصوصیات آماری توزیع قطری قطرات بارش شبیه‌سازی شده را در فشارهای مختلف عملکرد دستگاه شبیه‌ساز باران را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از جدول مذکور می‌توان گفت که

جدول (۲) خصوصیات آماری قطر قطرات در فشارهای مختلف

فشار سیستم (کیلو پاسکال)				خصوصیات آماری
20	40	60	80	
0.2	0.3	0.4	0.7	حداکثر قطر
5.7	6.5	6.7	9.9	حداقل قطر
1.2	1.4	2	2.9	میانگین
0.9	0.8	1.1	1.7	انحراف معیار
0.8	1.2	1.7	2.4	میانه
1.4	1.6	1	1.2	چولگی



شکل (۷) نمایش اختلاف معنی دار قطر قطرات در بین هر چهار فشار مختلف

جدول (۳) آنالیز واریانس (ANOVA) اثر تغییرات فشار بر قطر قطرات

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانین مربعات	مقدار F	معنی داری
تیمار (فشار)	541.71	3	180.57	117.45	*
خطا	1838.68	1196	1.57		
کل	2380.40	1196			

جابجایی مکانی آن در یک چهارهزارم فریم بر ثانیه (سرعت شاتر دوربین عکاسی) می‌باشد، با تبدیل این واحد به متر بر ثانیه سرعت هر قطره بدست آمد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سرعت قطرات در کلاس قطری ۰/۵ تا ۵ میلی‌متر در جدول (۴) آمده است. سرعت سقوط قطرات تحت فشار ۶۰ کیلو پاسکال در ارتفاع نیم متری زمین به طور میانگین در کلاس های قطری در محدوده‌ی بین ۱/۱۲ تا ۷/۵۶ متر در ثانیه محاسبه شد که با توجه به نتایج لوز و پارسون [۱۹] به سرعت حد باران طبیعی نزدیک است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش قطر، سرعت سقوط قطرات نیز افزایش می‌یابد (شکل ۷).

قطرات درشت پس از طی ارتفاع سقوط حدود ۱۰ متر و یا کمتر به سرعت نهایی خود می‌رسند [۱]. با توجه به ارتفاع بارش ۲ متری صفحه نازل و تحت فشار بودن آب در سیستم، قطرات شبیه‌سازی شده تحت فشار بوده و با سرعت اولیه از نازل اسپری می‌شوند.

همخوانی دارد. همچنین با استفاده از نرم افزار SPSS ورژن ۱۹ و روش آنالیز واریانس مشخص شده که تغییرات فشار بر تغییر کلاس‌های قطر قطرات اثر معنی‌داری دارد (جدول ۳). آزمون دانکن نشان داد که این اختلاف معنی‌دار بصورت دو به دو در بین تمامی کلاس‌های فشار ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلو پاسکال مشاهده می‌شود (شکل ۷).

۲- نتایج سرعت

به طور کلی سرعت نهایی قطره باران به قطر آن بستگی دارد یعنی اینکه هرچه قطر قطره باران بزرگتر باشد سرعت نهایی آن بیشتر است [۱]. در این تحقیق سرعت قطرات نیز با استفاده از روش عکس‌برداری در فاصله‌ی نیم متری از زمین محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری سرعت در هر کلاس ۱۰ قطره بصورت تصادفی انتخاب شد و پس از محاسبه مقدار کشیدگی هر قطره که نشان دهنده‌ی

جدول (۴) اندازه‌گیری سرعت قطرات در کلاس‌های قطری مختلف

قطرات انتخاب شده برای اندازه‌گیری سرعت												
میانگین	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	پارامتر	کلاس قطری (mm)
43/0	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	قطر (mm)	0.5<
0.71	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.8	0.5	0.6	0.8	طول (mm)	
0.28	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	کشیدگی (mm)	
1.12	1.2	1.2	1.2	1.6	1.2	1.8	1.2	1.8	1.8	1.2	سرعت (m/s)	0.5-1
0.87	0.8	0.8	0.8	0.9	1	0.9	0.8	1	0.9	0.8	قطر (mm)	
1.49	1.2	1.4	1.2	1.6	1.8	1.6	1.2	1.9	1.6	1.4	طول (mm)	
0.74	1	0.6	1	0	0.8	0.7	1	1	0.7	0.6	کشیدگی (mm)	1-1.5
2.96	4	2.4	4	0	2.3	2.8	4	4	2.8	2.4	سرعت (m/s)	
1.34	1.3	1.4	1.5	1.1	1.3	1.5	1.3	1.5	1	1.5	قطر (mm)	
2.37	2.3	2.5	2.4	2.1	2.3	2.5	2.3	3	2.6	2.7	طول (mm)	1.5-2
1.06	1	0.9	1.9	1	1	1	1	1.5	1	1.3	کشیدگی (mm)	
4.24	4	3.6	3.6	4	4	4	4	6	4	1.5	سرعت (m/s)	
68	1.4	2	1.9	1.3	2	1.3	1.4	1.7	1.8	2	قطر (mm)	2-2.5
2.94	2.5	3.2	3.3	2.5	3.6	2.3	2.4	2.8	3.3	3.5	طول (mm)	
1.24	1.1	1.2	1.4	1	1.6	1	1	1.1	1.5	1.5	کشیدگی (mm)	
4.96	4.4	4.8	5.6	4	6.4	4	4	4.4	6	6	سرعت (m/s)	2.5-3
2.29	1.2	2.1	2.1	2.4	2.5	2.5	2.3	2	2.4	2.5	قطر (mm)	
3.61	3.1	3.5	3.5	3.4	3.7	3.4	3.9	3.4	4	2.4	طول (mm)	
1.28	1	1	1.4	1	1.2	1.9	1.6	1.4	1.6	1.7	کشیدگی (mm)	3-3.5
5.12	4	4	5.6	4	4.8	3.6	6.4	5.6	6.4	8.6	سرعت (m/s)	
2.91	2.6	2.4	2.8	5.8	2.5	2.9	2.4	2	2.7	3	قطر (mm)	
3.14	3	3.6	5	3.8	1.4	1.4	4.6	4.1	4.3	4.8	طول (mm)	3.5-4
1.68	4.1	1.2	2.2	1	1.6	1.2	2.2	2.1	1.9	2	کشیدگی (mm)	
6.72	5.6	4.8	8.8	4	6.4	4.8	8.8	8.4	7.6	8	سرعت (m/s)	
3.31	3	3.5	3.5	3.5	3.3	3.3	3.3	3	3.4	3.3	قطر (mm)	4-5
5.05	5.3	5.3	5	5	5.5	3.4	5	4	5.5	5.6	طول (mm)	
1.89	2.3	2.3	2	2	2.2	1	1.7	1	2.1	2.3	کشیدگی (mm)	
7.56	9.2	9.2	8	8	8.8	4	6.8	4	8.4	9.2	سرعت (m/s)	4-5
3.69	3.8	3.4	4.2	3.8	3.5	3.3	3.5	3.7	3.7	4	قطر (mm)	
5.59	5.9	5.7	6.3	5.6	5.5	4.8	5	5.3	5.7	6.1	طول (mm)	
1.88	1.2	2.3	2.1	1.8	2	1.5	1.5	1.4	2	2.1	کشیدگی (mm)	4-5
7.52	8.4	9.2	8.4	7.2	8	6	6	5.6	8	8.4	سرعت (m/s)	
4.56	4.5	4.3	4.5	4	5.4	5	4.3	4.2	4.5	4.9	قطر (mm)	
6.23	4.4	6.3	6.3	6.5	6.7	6.6	5.6	5.7	4.4	6.7	طول (mm)	4-5
1.67	1.9	2	1.8	1.6	1.3	1.7	1.3	1.5	1.8	1.8	کشیدگی (mm)	
6.68	7.6	8	7.2	6.4	2.5	6.8	5.2	6	7	2.7	سرعت (m/s)	

قطرات با داشتن قطر و با استفاده از جدول [۱۹] سرعت حد قطرات را بین ۵/۷ تا ۶/۸ متر بر ثانیه محاسبه کردند. ابودی و همکاران [۵] نیز در تحقیق خود با استفاده از روش عکس‌برداری با سرعت بالا با دوربینی با قابلیت ۸۰۰۰ فریم در ثانیه سرعت قطرات را از ۲/۵ متر بر ثانیه برای کلاس قطری ۰/۸ میلی‌متر تا بیشتر از ۵/۷ متر بر ثانیه برای کلاس قطری بیش از ۵ میلی‌متر محاسبه کردند که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. ارزیابی نتایج سرعت قطرات

همچنین باید در نظر داشت که قطرات درشت نسبت به قطرات ریز بیشتر تحت تاثیر نیروی کششی بوده و برای رسیدن به سرعت حد به ارتفاع سقوط آزاد بیشتری نیاز دارند. با این حال، سرعت بدست آمده در کلاس‌های مختلف به سرعت حد قطرات در بارش طبیعی نزدیک است. نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری سرعت قطرات در این تحقیق با نتایج بدست آمده در تحقیق محمود آبادی و عرب‌خدری [۴] مشابهت دارد. آن‌ها در تحقیق خود برای اندازه‌گیری سرعت

estimation from polarimetric radar measurements: composite algorithms immune to variability in raindrop shape size relation. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology*, 18, 1773–1786.

8. Chigier, N. (1991). Optical imaging of sprays. *Progress in Energy Combustion Science*, 17, 211–262.

9. Covert, A., & Jordan, P. (2010). A Small Single-Nozzle Rainfall Simulator to Measure Erosion Response on Different Burn Severities in Southern British Columbia, Canada, *Geophysical Research Abstract*. 12, 1-1.

10. De Lima, J. L., Torfs, P. J., & Singh, V. P. (2002). A mathematical model for evaluating the effect of wind on downward-spraying rainfall simulators. *CATENA*, 46, 221–241.

11. Eigel, J., & Moore, I. (1983). A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 26(4), 1079–1084.

12. El-Sayed, M. A. (2011). A New Algorithm Based Entropic Threshold for Edge Detection in Images. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 8(5).

13. El-Zaart, A. (2010). A Novel Method for Edge Detection Using 2 Dimensional Gamma Distribution. *Journal of Computer Science*, 6(2), 199-204.

14. Hall, M. (1970). Use of the stain method in determining the drop size distribution of coarse liquid sprays. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 13, 33–37.

15. Hoffman, F. (1977). Applications of droplet photography., (pp. Calfran Industries, Springfield, MA).

16. Illingworth, A., & Stevens, C. (1987). An optical disdrometer for the measurement of raindrop size spectra in windy conditions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 4, 411–421.

17. Kincaid, D., Solomon, K., & Oliphant, J. (1996). Drop size distribution for irrigation sprinklers. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 39(3), 839–845.

18. Kohl, R., & DeBoer, D. (1984). Drop size distribution for a low pressure spray type agricultural

نشان می‌دهد که در کلاس قطری بیش از ۵ میلیمتر سرعت قطرات کاهش می‌یابد. قطرات ریزتر به سرعت حد خود می‌رسند. قطرات ریز تحت فشار آب از نازل خارج شده و سرعت آنها به فشار سیستم شبیه‌ساز باران بستگی دارد. اما قطرات بزرگ در خارج از نازل در اثر پیوستن قطرات بهم ایجاد می‌شوند و تحت تاثیر نیروی گرانش هستند در نتیجه برای رسیدن به سرعت حد به ارتفاع بارش بیشتری نیاز دارند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکان استفاده از روش عکس‌برداری و تکنیک پردازش تصویر برای تعیین خصوصیات بارش از یک شبیه‌ساز باران مورد استفاده قرار گرفت. برای عکس‌برداری از یک دوربین دیجیتال و برای پردازش تصویر از نرم افزار ImageJ و روش آشکارسازی لبه برای تجزیه تحلیل خصوصیات بارش مانند توزیع قطری و سرعت قطرات استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تکنیک عکس‌برداری و پردازش تصویر روش مناسب، سریع و دقیق برای کمی‌سازی ارتباط بین نوع نازل، فشار سیستم و خصوصیات باران مانند سرعت سقوط و توزیع قطری قطرات می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی سایر روش‌ها مانند گلوله آردی، لکه رنگی، غوطه‌وری و سایر نرم افزارهای پردازش تصویر مانند Photoshop استفاده و نتایج آن‌ها مقایسه شود.

منابع

۱. رفاهی، ح. (۱۳۸۸). فرسایش آبی و کنترل آن (جلد چاپ ششم). موسسه انتشارات دانشگاه تهران. (۶۷۱).
۲. صادقی، س. (۱۳۸۹). مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. چاپ اول. ۱۹۹ص.
۳. عبداللهی، ز.، صادقی، س.، و خالدی درویشان، ع. (۱۳۹۲). طراحی، ساخت و آزمون نازل‌های شبیه ساز باران. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۶)، ۶۷-۸۶.
۴. محمود آبادی، م.، و عرب خدری، م. (۱۳۹۰). آزمایشگاه شبیه ساز باران و فرسایش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، معرفی ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و کاربرد‌ها. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱(۳)، ۱-۱۱.
5. Abudi, I., Carmi, G., & Berliner, P. (2012). Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*, 454–455, 76–81.
6. Bringi, V., Chandrasekar, V., Hubbert, J., & Gorgucci, E. (2003). Raindrop size distribution in different climatic regimes from disdrometer and dual-polarized radar analysis. *Atmospheric Science*, 60, 354–365.
7. Chandrasekar, V., & Bringi, V. (2001). Rainfall

28. Sekhon, R., & Srivastava, R. (1971). Doppler radar observation of drop size distribution in a thunderstorm. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28, 983–994.
29. Sheppard, B., & Joe, P. (1994). Comparison of raindrop size distribution measurements by a Joss-Waldvogel disdrometer, a PMS 2DG spectrometer and a Poss Doppler radar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 11, 874–887.
30. Solomon, K., Kincaid, D., & Bezdek, J. (1985). Drop size distribution for irrigation spray nozzles. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 28(6), 1966–1974.
31. Sudheer, K., & Panda, R. (2000). Digital image processing for determining drop sizes from irrigation spray nozzles. *Agricultural Water Management*, 45, 159-167.
32. Swithenbank, J. (1977). A laser diagnostic technique for the measurement of droplet and particle size distributions. *Progress in Astronautics and Aeronautics*, 53, 421–427.
33. Ulbrich, C., & Atlas, D. (1997). Rainfall microphysics and radar properties: analysis methods for drop size spectra. *Journal of Applied Meteorology*, 37, 912–923.
34. Zhang, G., Vivekanandan, J., & Brandes, E. (2001). A method for estimating rain rate and drop size distribution from polarimetric radar measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(4), 830–841.
- sprinkler. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 27(6), 1836–1840.
19. Laws, J., & Parsons, D. (1943). The relationship of raindrop-size to intensity. *Transaction of American Geophysics Union*, 24, 452-460.
20. Loch, R., Connolly, R., & Littleboy, M. (2000). Using rainfall simulation to guide planning and management of rehabilitated areas: Part II. Computer simulations using parameters from rainfall simulation. *Land Degrad. Dev*, 11, 241-255.
21. Masayuki, M., Keenan, T., Saski, Y., & Nakamura, K. (2001). Characteristics of the raindrop size distribution in tropical continental squall lines observed in Darwin, Australia. *Journal of Applied Meteorology*, 40, 1393–1412.
22. Meyer, L., & Harmon, W. (1979). Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Trans. ASAE*, 22, 100-103.
23. Morgan, R. (1995). *Soil Erosion and Conservation*. Second Ed., Silsoe College Canfield, Longman. 198p.
24. Nishino, K., Kato, H., & Torii, K. (2000). Stereo Imaging for Simultaneous Measurement of Size and Velocity of Particles in Dispersed Two Phase Flow. *Measurement Science and Technology*, 11, 633-645.
25. Sadeghi, S., Abdollahi, Z., & Khaledi Darvishan, A. (2013). Experimental comparison of some techniques for estimating natural raindrop size distribution on the south coast of the Caspian Sea, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1374-1382.
26. Scheleusener, P. (1967). Drop size distribution and energy of falling rain drops from a medium pressure irrigation sprinkler. Thesis (PhD), Michigan State University.
27. Seginer, I. (1963). Water distribution from medium pressure sprinklers. *Journal of Irrigation Drainage Engineering of the American Society of Agricultural Engineers*, 89(2), 13–29.

**Abstract****Using Photography and Image Processing for Simulated Rain Drops Diameter and Velocity Measurements**M. Mohammadi^{1*}, A. Kavian², M. Fallah³ and Z. Abdollahi⁴

Received: 2016/04/11 Accepted: 2016/09/19

All available methods to measure the properties of natural and simulated rain droplets are costly, cumbersome and time consuming. In this study, high speed photography method and image processing technic used to measure the droplet diameter distribution and velocity of simulated rainfall. ImageJ software and edge detection method used for image processing and droplet size were measured with the accuracy of 1:1000 mm. The results of droplet measurements showed that the simulator can simulate droplets with a diameter range of 2.0 to more than 6 mm at pressure of 20, 40, 60 and 80 Kp. According to the proper operation of rainfall simulator at pressure of 60 Kp, droplets velocity was calculated from 2.1 to 5.7 m/s for different diameter classes at the height of 0.5 m above surface which is close to terminal velocity of natural rainfall. Also Duncan test showed that there are significant differences between the droplet size in four operational pressure and droplet size decreases with increasing operational pressure. The results of this study showed that photography and image processing is a rapid, cost-effective and high accuracy method to characterization of simulated rainfall properties.

Keywords: *Raindrop size distribution, Raindrop velocity, Photography, Image processing, Edge detection, ImageJ*

1. MSc Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Corresponding Author, Email: M.mohammadi@sanru.ac.ir

2. Associate professor, Watershed Management Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

3. MSc Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University

4. Ph.D. Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University