

اندازه‌گیری و واسنجی خصوصیات بارش در

یک شبیه‌ساز باران دوناژله

- ❖ عطااله کاویان*؛ دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ مازیار محمدی؛ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
- ❖ مقدسه فلاح؛ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
- ❖ کاکا شاهی؛ دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ محمود حبیب نژاد؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ کریم سلیمانی؛ استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ واحد بردی شیخ؛ دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

شبیه‌سازهای باران کوچک و قابل حمل از ابزارهای اساسی در مطالعات فرسایش خاک و هیدرولوژی سطحی هستند و در آزمایشات امکان تکرار خصوصیات بارش طبیعی را بوجود می‌آورند. در این تحقیق ضمن معرفی یک دستگاه شبیه‌ساز باران دو نازل، آزمایشات واسنجی شامل آبدهی نازل‌ها، یکنواختی بارش در سطح پلات و توزیع اندازه قطرات انجام شده است. نتایج حاصل از واسنجی آبدهی نازل‌ها نشان داد که دبی خروجی دو نازل تحت فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال مشابه بوده و بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. برای رسیدن به حد مطلوبی از یکنواختی بارش در سطح پلات آزمون یکنواختی بارش با تغییر فاصله بین نازل‌ها (۵۰، ۶۰ و ۷۰ سانتی متر) و زاویه نوسان آن‌ها (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه) در فشار ثابت ۶۰ کیلوپاسکال به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که ضریب یکنواختی در سطح پلات ۲ متر مربعی از ۵۷ تا ۶۱ درصد و شدت متوسط بارش نیز از ۴۸ تا ۱۰۱ میلی‌متر در ساعت متغییر است. در ادامه با استفاده از روش عکس‌برداری با سرعت بالا محدوده میانه قطری قطرات شبیه‌سازی شده در فشار بهینه (۶۰ کیلوپاسکال) بین ۲/۴ الی ۲/۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

کلید واژگان: شبیه‌ساز باران، واسنجی، عکس‌برداری، قطر قطرات، یکنواختی بارش

۱. مقدمه

شرایط غیر قابل پیش‌بینی و ماهیت تصادفی باران طبیعی، بررسی اثرات آن را در مطالعات حفاظت آب و خاک دشوار می‌کند [۳، ۳۶]. لذا به منظور سرعت بخشیدن به روند اجرای طرح‌های تحقیقاتی، ایجاد رگبارهای متناسب با نیاز محقق و قابلیت تکرارپذیری آزمایش‌ها، شبیه‌ساز باران به عنوان یکی از کاربردی‌ترین روش‌های در دسترس برای مطالعات صحرایی بارش تاکنون مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است [۳]. شبیه‌سازهای باران در مطالعات میدانی و آزمایشگاهی امکان کنترل برخی از مهم‌ترین متغیرهای بارندگی را فراهم کرده و در نتیجه قابلیت اعتماد نتایج را به نحو مطلوبی افزایش می‌دهند [۹]. این ابزارها به‌عنوان مهم‌ترین وسیله شبیه‌سازی اجزای مختلف چرخه هیدرولوژی، به‌خصوص باران و روان‌آب ناشی از آن در اولین مراحل شکل‌گیری و رخداد فرآیند فرسایش خاک، امکان جمع‌آوری سریع داده‌های تکرارپذیر را در محیط‌های آزمایشگاهی و میدانی در فرآیندهای نفوذ، روان‌آب و فرسایش به‌وجود می‌آورند [۲۴، ۱۱، ۲]. شبیه‌سازی خصوصیات باران طبیعی تا حد امکان و هم‌چنین متناسب بودن آن با شرایط منطقه مورد مطالعه و منابع در دسترس دو نکته مهم در طراحی شبیه‌ساز باران می‌باشند. در طراحی باران‌ساز بایستی تمام خصوصیات فیزیکی باران طبیعی با حداکثر دقت ممکن شبیه‌سازی شود. از جمله معیارهای اصلی مورد توجه در شبیه‌سازی می‌توان به توزیع اندازه قطرات شبیه‌سازی شده، توزیع تصادفی قطرات، سرعت برخورد قطرات با سطح پلات و مقایسه آن با سرعت حد باران طبیعی، زاویه برخورد قطرات، یکنواختی باران در سرتاسر پلات آزمایشی و قابلیت تکرار پذیری بارش با شدت و تداوم مورد نظر اشاره کرد [۲۱، ۲۲، ۲۵، ۱۵].

هرچند امکان شبیه‌سازی کامل خصوصیات باران طبیعی میسر نیست و هم‌چنین ساخت و کاربرد باران‌سازها نیز با محدودیت‌هایی از قبیل صرف هزینه و

زمان جهت ساخت و واسنجی شبیه‌ساز متناسب با نیاز محقق، پوشش مساحتی کوچک باران‌سازها و هم‌چنین وجود نیروی انسانی ماهر و متخصص برای اجرای دقیق و مؤثر یک برنامه مطالعاتی همراه است، اما علی‌رغم کمبودهای وارد بر شبیه‌ساز باران، استفاده از این ابزار، جزء کاربردی‌ترین روش‌های در دسترس برای مطالعات صحرایی در بسیاری از موقعیت‌ها می‌باشد [۳]. نتایج نهایی به‌دست‌آمده بر اساس کرت‌های آزمایشی صحرایی مبتنی بر باران‌های طبیعی، اغلب به سالیان متمادی نیاز دارند تا نمونه‌برداری مناسب از رگبارهای مختلف و رگبارهای بحرانی صورت گیرد. در این مدت ممکن است شیوه‌های مدیریتی مورد نظر به‌طور محسوس تغییر یابد. به‌عبارت دیگر بسیاری از تحقیقات مورد نیاز، چنانچه مبتنی بر رگبارهای طبیعی باشند، هرگز شروع نخواهند شد. لذا در چنین شرایطی، استفاده از باران‌سازها به‌عنوان تنها گزینه کاربردی در برنامه‌های مطالعاتی فرآیندهای مختلف فرسایش خاک مورد توجه است. اندازه شبیه‌سازهای باران از یک *Infiltrometer* بسیار کوچک قابل حمل با منطقه بارش به قطر ۱۵ سانتیمتر [۹] تا باران‌سازهای پیچیده کنتاکی با سطح پوشش که ۲۲ × ۴/۵ متر مربعی متغیر است [۲۵]. مانستر و همکاران [۲۶] باران‌سازی به وسیله ۴ نازل و قابلیت شبیه‌سازی بارشی با شدت ۲۵ تا ۲۵۰ میلی‌متر در ساعت با ضریب یکنواختی در حدود ۵۸ تا ۷۳ درصد طراحی کردند. قطر متوسط قطرات از ۱/۷ تا ۲/۴ میلی‌متر متغیر بوده و انرژی جنبشی مربوط به آن در محدوده ۱۶/۸ تا ۲۵/۹ ژول به‌ازای هر میلی‌متر در یک متر مربع به‌دست آمد. نازیباک و همکاران [۲۰] در آمریکا اقدام به ساخت باران‌سازی کردند که قابلیت شبیه‌سازی شدت بارش ۱/۰۷ تا ۱۴ میلی‌متر بر دقیقه را از طریق ۴ شبکه آب‌پاش با ۱۸ نازل *Fulljet* دارا بوده و اندازه قطرات باران در محدوده ۰/۵ تا ۴/۵ میلی‌متر قرار داشت. طبق نتایج به‌دست‌آمده بهترین توزیع قطری قطرات مربوط به مرتفع‌ترین نازل بود. ردی و همکاران [۳۰] در مؤسسه

۱۲۱ میلی متر در ساعت طراحی کردند. آن‌ها با استفاده از روش عکس برداری از کاغذ نشانه در فشار ۷۰ تا ۱۵۰ کیلوپاسکال قطر قطرات را بین ۰/۸ تا ۲/۱ میلی‌متر محاسبه کردند. نوسلی و همکاران [۲۷] به‌منظور پژوهش رواناب سطحی در مناطق آبی شبه‌ساز بارانی با سطح بارش ۱۰ متر مربع طراحی کردند. آن‌ها در تحقیق خود با استفاده از نازل‌های *Rainbird* توانستند در فشار ۲۰ کیلوپاسکال بارشی با شدت ۷۰ تا ۱۳۰ میلی متر در ساعت را شبیه‌سازی کنند. این مطالعه با هدف طراحی، ساخت و واسنجی شبه‌ساز بارانی متناسب با اقلیم مازندران با قابلیت حمل و عملکرد و مونتاژ آسان در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گرفت. در این پژوهش تلاش گردید تا ضمن ایجاد باران، یکنواختی در سطح پلات آزمایشی در شدت‌های مختلف، سرعت و توزیع قطری قطرات بارش شبه‌ساز شده محاسبه شود.

۲. روش‌شناسی

۱.۱.۲ اجزای مختلف شبه‌ساز باران

۱.۱.۲.۱ چارچوب اصلی دستگاه

شبه‌ساز باران طراحی شده بر روی یک ساختار فلزی به فرم A و با قابلیت تنظیم ارتفاع ۲ تا ۲/۷ متر و قطر ۴۰ میلی‌متر مستقر گردید (شکل ۱، الف). پایه‌های تلسکوپیک در این شبه‌ساز به‌منظور تسهیل استقرار و تراز دستگاه بر روی سطوح شیب‌دار در مطالعات میدانی تعبیه شدند.

۲.۱.۲ سیستم آبرسانی

سیستم آبرسانی شبه‌ساز باران شامل یک منبع آب به ظرفیت ۶۰ لیتر، موتور پمپ الکتریکی و یک شیلنگ انعطاف پذیر انتقال دهنده آب به قطر ۱/۵ سانتی‌متر و طول ۷ متر است. به‌منظور اندازه‌گیری فشار آب و کنترل آن در سیستم یک فشارسنج (۰-۱۶۰ کیلوپاسکال) و یک دستگیره روی شیلنگ هادی نصب شده است. همچنین

تحقیقات کشاورزی در هند، برای ساخت باران‌سازی با ابعاد پلات ۲۴ در ۳ و ارتفاع ۳ متر، از هشت نازل *Veejet* نوع ۸۰۱۰۰ با فواصل ۳ متر از هم، به‌منظور شبیه‌سازی بارانی با شدت ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در ساعت، استفاده کردند. طبق نتایج به‌دست آمده این شبه‌ساز قادر به تولید دامنه قطری ۲/۲ تا ۳/۲ میلی‌متر بوده و قطرات هنگام برخورد به سطح پلات سرعتی در حدود ۵/۱۸ تا ۱۰/۳۶ متر در ثانیه دارا بودند. زاویه عمل‌کرد نازل در این شبه‌ساز ۶۰ درجه بوده و ضریب یکنواختی بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۱ متغیر بود. کاورت و جردن [۸] به‌منظور انجام مطالعات مربوط به میزان تولید رواناب و رسوب در مناطق آتش‌سوزی شده در اکوسیستم‌های جنگلی کانادا، باران‌سازی قابل حمل با ابعاد پلات ۱ در ۱ و ارتفاع ۳/۳ متر با یک نازل *1/2HH-30WS* با فشار عمل‌کرد ۴۰ کیلوپاسکال ساختند. میانه قطری قطرات باران شبه‌ساز شده، با استفاده از روش عکس‌برداری با سرعت ۱/۵۰۰ فریم در ثانیه، در حدود ۱/۴ میلی‌متر و سرعت برخورد قطره‌ای با همین ابعاد به سطح پلات، ۶/۹ میلی‌متر در ساعت تخمین زده شد. سانگس و همکاران [۳۳] نیز با استفاده از ۴ نازل *Unijet* تمام‌مخروط با چینش مستقیم به ضریب یکنواختی ۹۰ درصد در شبه‌ساز باران قابل حمل با سطح پلات ۲ در ۲ متر رسیدند. متوسط شدت قابل شبیه‌سازی در این پژوهش ۱۱۹ و ۱۲۴ میلی‌متر در ساعت به‌ترتیب در فشارهای ۱۰۰ و ۷۵ کیلوپاسکال بود. پارساخو و همکاران [۲۸] به‌منظور مطالعات فرسایش خاک در جنگل‌های شمال شبه‌ساز باران تک‌نازله را طراحی و کالیبره کردند. آن‌ها با استفاده از نازل *Schlick r18650* بارشی با شدت ۳۲ میلی‌متر در ساعت، میانه قطری ۳ میلی‌متر و یکنواختی ۸۴ تا ۹۴ درصد در سطح پلات را شبیه‌سازی کردند. سالم و همکاران [۳۲] در اسپانیا به‌منظور بررسی اثر نوع شخم در جمع‌آوری رواناب و کنترل فرسایش خاک باران‌ساز آزمایشگاهی با سه نازل نوسانی به ارتفاع ۲/۳ متر با زاویه نوسان ۹۰ درجه و همچنین شدت بارش ۳۰ تا

۴.۱.۲. جمع آوری آب مازاد

به منظور جلوگیری از هدر رفت آب مازاد، هر نازل درون یک مکعب فلزی قرار گرفته که آب تحت فشار از یک مجرا خارج شده و مازاد آن پس از تجمع در مکعب توسط دو لوله دوباره به مخزن اصلی انتقال داده می شود.

۵.۱.۲. برد کنترلی

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 است.

یک مقسم فلزی از جنس برنج قبل از دو نازل به همراه دو شیلنگ به طول ۷۰ سانتی متر آب پمپاژ شده از مخزن را به صورت مساوی به سمت نازلها هدایت می کند.

۲.۱.۳. صفحه بارش

جهت شبیه سازی باران از دو نازل ویجت ۸۰/۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلیمتر با قابلیت جابه جایی بر روی ریلی به طول ۲ متر و تغییر ارتفاع ۲ تا ۲/۷ متر استفاده گردید. با توجه به تحت فشار بودن آب در سیستم شبیه ساز باران نوع الگوی بارش به صورت بادبزی بوده که بارش شبیه سازی شده از یک نازل حدود ۱۲۰ سانتی متر است و با توجه به متغیر بودن فاصله بین نازلها جهت رسیدن به یکنواختی بیشتر بارش در سطح پلات می توان همپوشانی پاشش بین دو نازل را افزایش یا کاهش داد. در شکل (۱، ب) صفحه بارش شبیه ساز باران نشان داده شده است.



الف



ب



ج



د



ه

شکل ۱. الف: شبیه ساز باران طراحی شده؛ ب: صفحه بارش؛ ج: فشارسنج؛ د: موتور پمپ التریکی؛ ه: برد کنترلی

۲.۲. کالیبراسیون شبیه ساز باران

۱.۲.۲. آبدهی نازلها

به منظور تعیین دبی نازلها به‌عنوان تابعی از فشار آب از روش حجمی استفاده شد. بنابراین ظرفی با ظرفیت ۰/۰۲ مترمکعب زیر نازلها قرار گرفت و حجم آب در یک زمان مشخص اندازه‌گیری شد. این آزمون تحت فشار ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال با سه تکرار به اجرا درآمد و متوسط آبدهی نازلها محاسبه شد.

۲.۲.۲. آزمون یکنواختی و متوسط شدت بارش

این آزمایش با هدف تعیین همگنی یا ناهمگنی و همچنین تعیین الگوی مکانی بارش شبیه‌سازی شده در سطح پلات انجام گرفت. به این منظور ۴۵ ظرف استوانه‌ای لبه تیز (با قطر ۱۱۴ میلی‌متر) در یک پلات ۲ مترمربعی به‌صورت شبکه‌ای با ابعاد ۲۵ در ۲۵ سانتی‌متر در زیر نازلها قرار داده شد. سپس حجم آب درون هر ظرف پس از ۱۰ دقیقه با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری و به مقادیر شدت (میلی‌متر در ساعت) تبدیل شد. برای محاسبه یکنواختی نیز از ضریب یکنواختی کریستین سن [۷] استفاده شد:

$$\text{CU} = 100\% \left(\frac{1 - \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{x \cdot n} \right) \quad (1) \text{ معادله } (1)$$

که در اینجا، $\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$ مجموع انحراف مطلق از مقدار متوسط آب برای همه نمونه‌ها (میلی‌متر)، x_i مقدار آب در هر باران‌سنج (میلی‌لیتر) و n مجموع تعداد باران‌سنجها است. از آنجایی که شدت و یکنواختی بارش شبیه‌سازی شده در سطح پلات علاوه بر فشار آب به زاویه نوسان نازلها نیز بستگی دارد [۱۴]. لذا این آزمایش با هدف رسیدن به حد مطلوب یکنواختی با تغییر فاصله نازلها (۵۰، ۶۰، ۷۰ سانتی‌متر) و زاویه نوسان آنها (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه) به اجرا درآمد. هر آزمایش با سه بار تکرار در فشار ثابت ۶۰ کیلو پاسکال صورت گرفت. برای نمایش توزیع مکانی بارش شبیه‌سازی شده از نرم افزار

۱.۳.۲.۱. Sigmaplot استفاده شد.

۳.۲.۲. توزیع اندازه قطرات

برای تعیین دامنه قطری قطرات تولید شده توسط شبیه‌ساز باران از روش عکس‌برداری با سرعت بالا [۱۶] استفاده شد. بدین‌منظور از دوربین دیجیتالی نیکون D90 با سرعت شاتر ۱/۴۰۰۰ فریم در ثانیه و وضوح تصویر ۱۲/۹ مگا پیکسل جهت ثبت قطرات شبیه‌سازی شده استفاده شد. برای یکنواختی عمل‌کرد در فرایند آنالیز تصاویر از یک فریم چوبی ۳۳ در ۵۵ سانتی‌متری با یک قطعه ۳ در ۳ سانتی‌متری در مرکز آن جهت تنظیم بزرگنمایی دوربین استفاده گردید [۳۱] که در ارتفاع نیم‌متری از زمین در زیر شبیه‌ساز قرار گرفت. شکل (۲) نمونه‌ای از تصویر ثبت شده از قطرات باران را نشان می‌دهد. برای پردازش تصاویر و اندازه‌گیری قطر قطرات از نرم افزار Imagej 1.46 استفاده شد. در پردازش تصویر نیز تعیین یک آستانه در طیف خاکستری^۱ برای جداسازی شیء مورد نظر از رنگ زمینه حائز اهمیت است. از آنجایی که در تصاویر ارزش پیکسل مناسب‌ترین قطرات برای اندازه‌گیری در محدوده ۸۳-۱۹۶ هیستوگرام طیف خاکستری نرم افزار قرار داشت، به این منظور سایر قطرات خارج از این محدوده به‌دلیل عدم قرارگرفتن در مرکز زوم دوربین دارای وضوح مناسب نبوده و از مجموعه داده‌ها حذف شدند [۳۱]. همچنین با توجه به مقیاس مورد استفاده، در قسمت Set Scale نرم‌افزار هر ۹ پیکسل معادل ۱ میلی‌متر تعریف شد و با ترسیم هر خط بر روی تصویر، نرم‌افزار با محاسبه تعداد پیکسلها طول خط را به‌صورت اتوماتیک با دقت هزارم میلی‌متر محاسبه کرد.

۳. نتایج

۱.۳. کالیبراسون آبدهی نازلها

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری آبدهی نازلها نشان داد که دبی خروجی از هر دو نازل مشابه بوده و بین آنها

۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال به صورت معادله ۲ ارائه گردید.

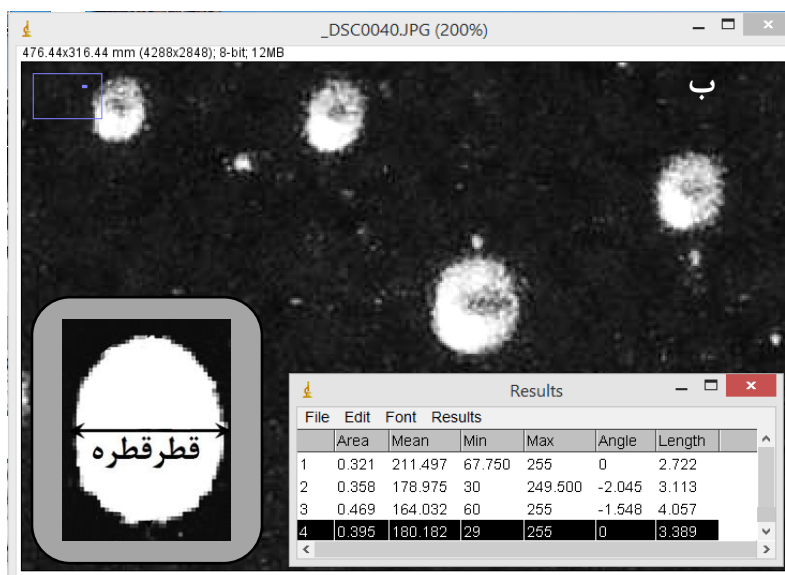
$$Q = 0.028 + 0.020(P)$$

معادله (۲)

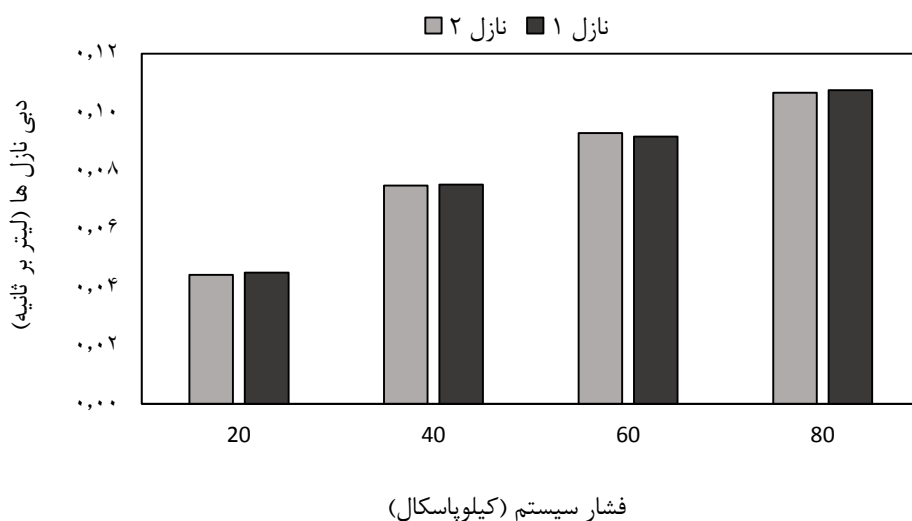
$$R^2 = 0.98^{**}$$

** معنی داری در سطح ۰.۹۹٪

تفاوت معنی داری مشاهده نمی شود (شکل ۳). هم چنین نتایج به دست آمده از آزمون بررسی همبستگی و معادله رگرسیونی بین متوسط دبی خروجی (Q) از نازل و فشار (P) عمل کرد شبیه ساز باران در چهار فشار ۲۰، ۴۰،



شکل ۲. تصویر ثبت شده از قطرات باران شبیه سازی شده در فشار عمل کرد ۶۰ کیلوپاسکال توسط دوربین دیجیتالی Nikon D90 (الف) و اندازه گیری قطر قطرات با استفاده از نرم افزار Imagez (ب)



شکل ۳. نمودار مربوط به آبدهی نازل‌ها در فشارهای مختلف

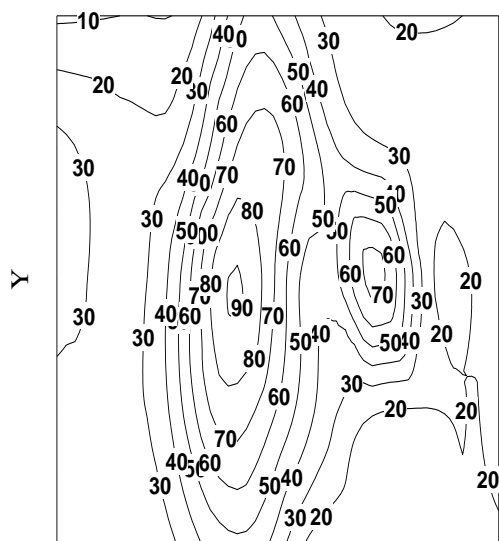
به بالاترین میزان یکنواختی در نظر گرفته شد.

۲.۳. یکنواختی و متوسط شدت بارش

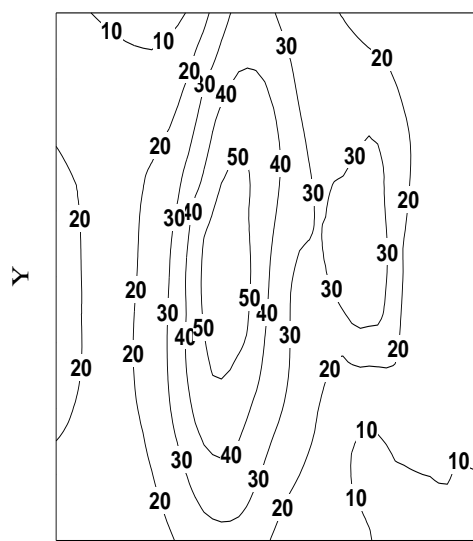
محدوده ضریب یکنواختی از ۵۴ درصد (زاویه نوسان ۳۰ درجه و فاصله نازل‌ها ۵۰ سانتی‌متر) تا ۶۱ درصد (زاویه نوسان ۳۰ درجه و فاصله نازل‌ها ۶۰ سانتی‌متر) با استفاده از ضریب یکنواختی کریستین‌سن برای پلات ۲ متر مربعی محاسبه شد. همان‌طور که در شکل‌های ۴ تا ۶ مشاهده می‌شود با افزایش زاویه نوسان نازل‌ها شدت بارش شبیه‌سازی شده افزایش و یکنواختی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد شبیه‌ساز باران در فشار ثابت ۶۰ کیلوپاسکال قادر به تولید بارشی با دامنه شدت ۴۸ تا ۱۰۱ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. با توجه به شکل ۵، مرکز پلات نسبت به حواشی به دلیل همپوشانی پاشش دو نازل از حجم بارش بیش‌تری برخوردار است. همچنین با توجه به بررسی نتایج آزمون‌های مختلف یکنواختی، فاصله بهینه ۷۰ سانتی‌متر بین دو نازل جهت دستیابی

۳.۳. توزیع اندازه قطرات

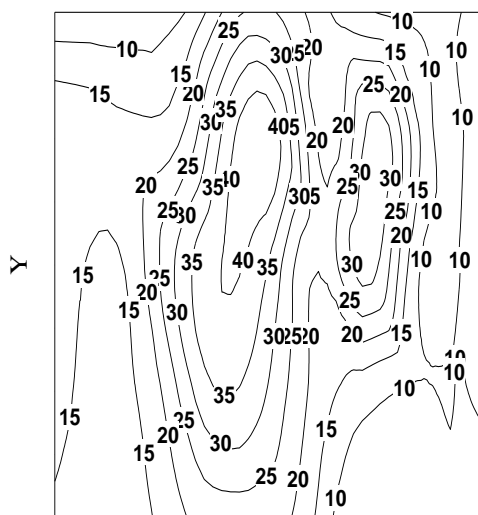
در فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال فشار عملکردی دستگاه شبیه‌ساز باران بیش از ۳۰۰ قطره در هر فشار انتخاب و قطر آن اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از توزیع اندازه قطرات باران در فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال در جدول (۱) ارائه شده است. تخمین اندازه قطرات تولید شده توسط شبیه‌ساز با استفاده از روش عکس‌برداری صورت گرفت که نتایج حاصل از پردازش تصاویر توزیع قطری قطرات شبیه‌سازی شده در جدول (۲) خلاصه شده است. همچنین جدول ۲ و شکل ۳ به ترتیب خصوصیات آماری و اسکترپلات توزیع قطری قطرات اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.



X
یکنواختی: ۵۴٪
انحراف معیار: ۱۹/۶
شدت: ۱۰۱ میلی متر در ساعت
زاویه نوسان نازل‌ها: ۳۰ درجه

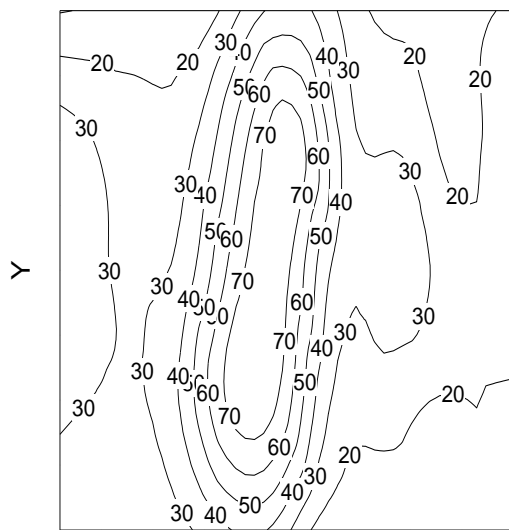


X
یکنواختی: ۵۷٪
انحراف معیار: ۱۰/۹
شدت: ۶۶ میلی متر در ساعت
زاویه نوسان نازل‌ها: ۴۵ درجه



X
یکنواختی: ۵۷٪
انحراف معیار: ۹/۷۳
شدت: ۵۴ میلی متر در ساعت
زاویه نوسان نازل‌ها: ۶۰ درجه

شکل ۴. پراکنش بارندگی در سطح پلات (فاصله نازل‌ها ۵۰ سانتی متر)
توجه: X، Y و خطوط به ترتیب عرض کرت (۱متر)، طول کرت (۲متر) و حجم بارش به میلی لیتر است.



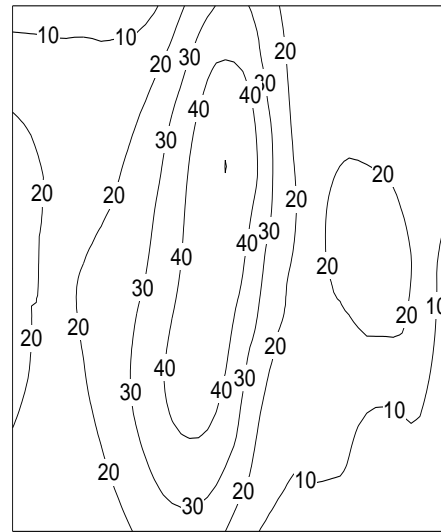
X

یکنواختی: ۶۱٪

انحراف معیار: ۱۶/۷

شدت: ۹۴ میلی‌متر در ساعت

زاویه نوسان نازل‌ها: ۳۰ درجه



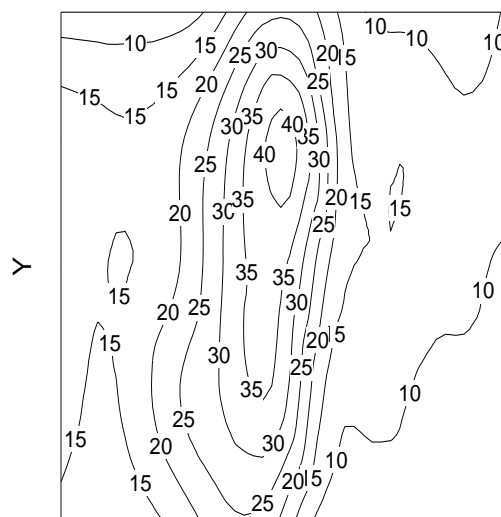
X

یکنواختی: ۶۰٪

انحراف معیار: ۱۰/۶

شدت: ۶۰ میلی‌متر در ساعت

زاویه نوسان نازل‌ها: ۴۵ درجه



X

یکنواختی: ۵۹٪

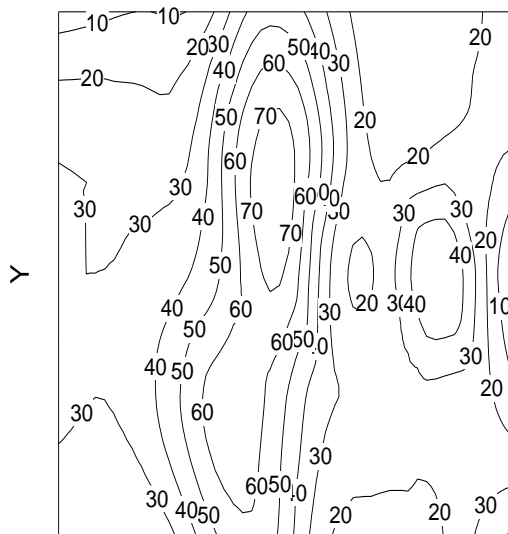
انحراف معیار: ۸/۶

شدت: ۴۹ میلی‌متر در ساعت

زاویه نوسان نازل‌ها: ۶۰ درجه

شکل ۵. پراکنش بارندگی در سطح پلات (فاصله نازل‌ها ۶۰ سانتی‌متر).

توجه: X، Y و خطوط به ترتیب عرض کرت (۱متر)، طول کرت (۲متر) و حجم بارش به میلی‌لیتر است.



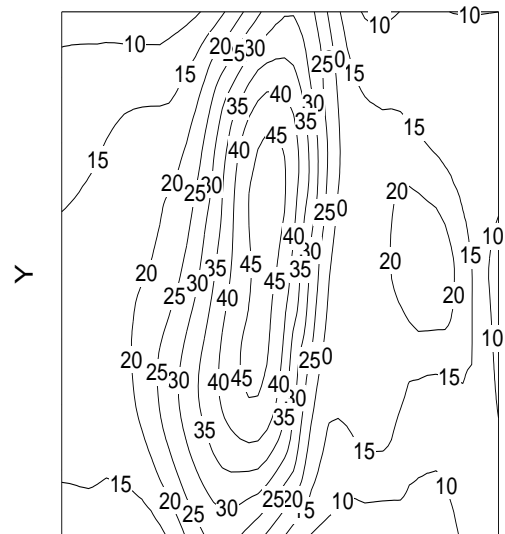
X

یکنواختی: ۶۰٪

انحراف معیار: ۱۵/۹

شدت: ۹۴ میلیمتر در ساعت

زاویه نوسان نازل‌ها: ۳۰ درجه



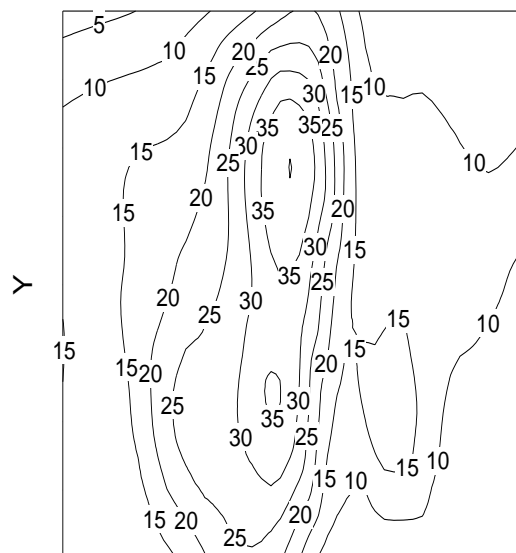
X

یکنواختی: ۶۰٪

انحراف معیار: ۱۵/۹

شدت: ۹۴ میلیمتر در ساعت

زاویه نوسان نازل‌ها: ۴۵ درجه



X

یکنواختی: ۵۹٪

انحراف معیار: ۸/۵

شدت: ۴۸ میلیمتر در ساعت

زاویه نوسان نازل‌ها: ۶۰ درجه

شکل (۶) پراکنش بارندگی در سطح پلات (فاصله نازل‌ها ۷۰ سانتی متر)

توجه: X، Y و خطوط به ترتیب عرض کرت (۱متر)، طول کرت (۲متر) و حجم بارش به میلی لیتر است.

جدول ۱. درصد توزیع قطری قطرات شبیه‌سازی شده در فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوپاسکال

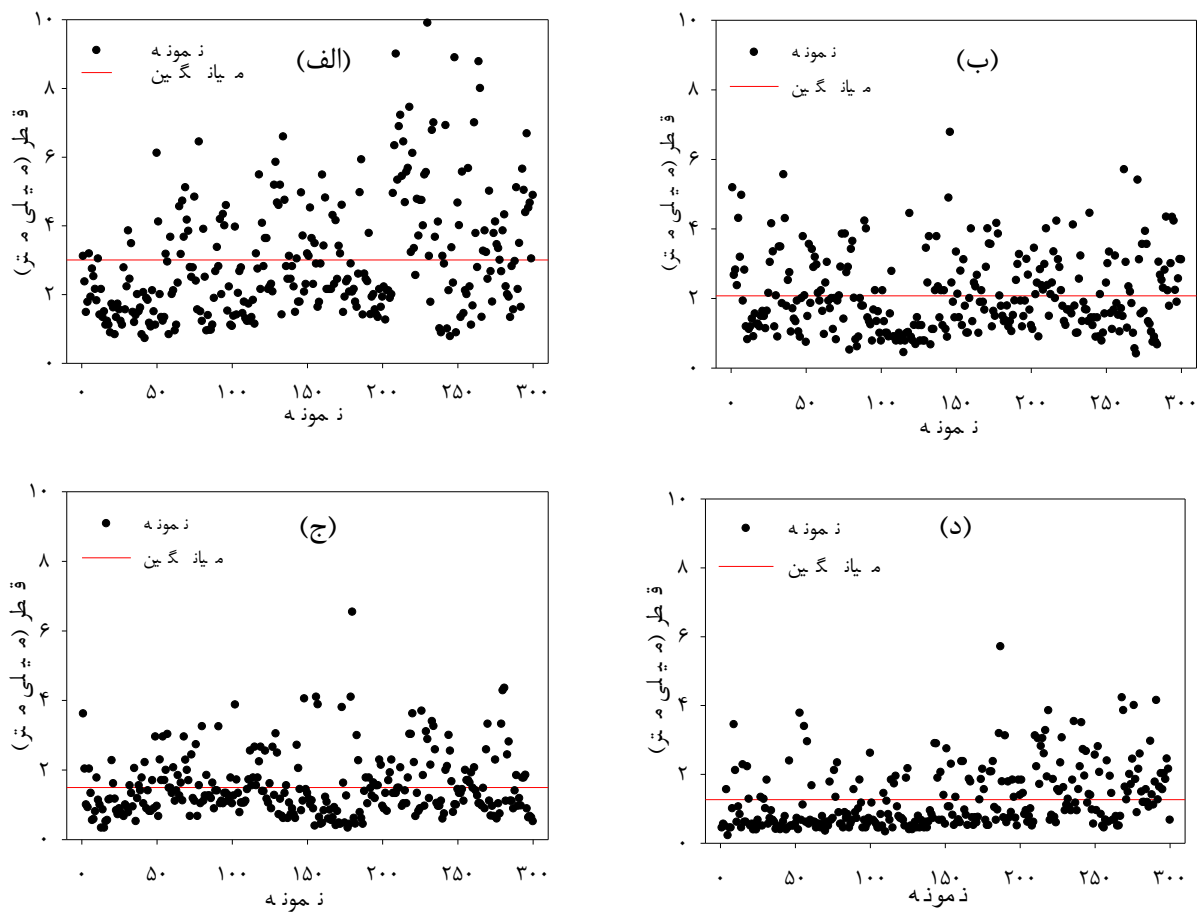
فشار (کیلوپاسکال)				
۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	کلاس قطری قطرات
۳/۳۳	۱/۳۳	۰	۰	۰/۴ >
۲۲	۶/۶۶	۱/۳۳	۰	۰/۴-۰/۶
۲۰/۳۳	۱۰/۳۳	۵/۶۶	۰/۶۶	۰/۶-۰/۸
۸/۳۳	۱۳/۶۶	۶/۳۳	۳/۳۳	۰/۸-۱
۷	۱۶	۱۱/۳۳	۵	۱-۱/۲
۴/۶۶	۹/۶۶	۸	۶/۶۶	۱/۲-۱/۴
۵	۹/۳۳	۹	۷/۳۳	۱/۴-۱/۶
۴	۹	۹	۶	۱/۶-۱/۸
۶	۳/۶۶	۵/۶۶	۳/۶۶	۱/۸-۲
۴/۳۳	۳/۳۳	۵/۶	۱۰/۳۳	۲-۲/۲
۴	۳/۳۳	۶	۵/۶۶	۲/۲-۲/۴
۱/۶۶	۲/۶۶	۴	۴/۳۳	۲/۴-۲/۶
۱/۳۳	۱/۶۶	۲/۶	۴	۲/۶-۲/۸
۲	۲/۳۳	۴	۳/۶۶	۲/۸-۳
۲	۱/۶۶	۴/۶۶	۵	۳-۳/۲
۰/۶۶	۲	۳	۲/۳۳	۳/۲-۳/۴
۱	۰	۲/۳۳	۲/۳۳	۴/۲-۳/۶
۰/۳۳	۱/۳۳	۲	۳/۶۶	۳/۶-۳/۸
۰/۶۶	۰/۶۶	۱/۳۳	۲	۳/۸-۴
۰/۶۶	۱	۲/۳۳	۳/۳۳	۴-۴/۲
۰/۳۳	۰/۳۳	۲/۳۳	۱/۳۳	۴/۲-۴/۴
۰	۰	۰/۶۶	۱/۶۶	۴/۴-۴/۶
۰	۰	۰	۱/۳۳	۴/۶-۴/۸
۰	۰	۰/۶۶	۲	۴/۸-۵
۰/۳۳	۰	۲	۱۲/۳۳	۵ <

جدول ۲. خصوصیات آماری توزیع قطرات باران در فشارهای مختلف

فشار سیستم (کیلوپاسکال)				خصوصیات آماری
۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	
۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۷	حداقل قطر
۵/۷	۶/۵	۶/۷	۹/۹	حداکثر قطر
۱/۲	۱/۴	۲	۲/۹	میانگین
۰/۹	۰/۸	۱/۱	۱/۷	انحراف معیار
۰/۸	۱/۲	۱/۷	۲/۴	میانه
۱/۴	۱/۶	۱	۱/۲	چولگی ^۱
۲/۲	۴	۰/۹	۱/۴	کشیدگی ^۲

1 Skewness

2 Kurtosis



شکل ۷. اسکترپلات توزیع قطرات بارش شبیه‌سازی شده در فشارهای ۲۰ (الف)، ۴۰ (ب)، ۶۰ (ج) و ۸۰ (د) کیلوپاسکال

الگوی توزیع مکانی بارش شبیه‌سازی شده با محدوده شدت ۴۸ تا ۱۰۱ میلیمتر در ساعت با نتایج سالم [۳۲] مشابهت دارد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش زاویه نوسان و فاصله بین نازل‌ها میزان یکنواختی افزایش یافته ولی شدت بارش در مرکز پلات کاهش می‌یابد. محدوده ضریب یکنواختی در این تحقیق بین ۵۴ تا ۶۴ درصد محاسبه شد که این مقدار کمتر از نتایج کاتو و همکاران [۱۹] با ضریب یکنواختی ۸۰/۷ درصد و پرزلانوره و همکاران [۲۹] با ضریب یکنواختی ۸۰-۹۲ درصد است که دلیل آن را می‌توان به خصوصیات فیزیکی نازل و فشار مورد استفاده در دستگاه شبیه‌ساز باران نسبت داد [۱۸].

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت شبیه‌سازهای باران در مطالعات فرسایش خاک و هیدرولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اقدام به طراحی، ساخت و کالیبراسیون یک شبیه‌ساز باران قابل حمل کرد. به‌منظور اهمیت توزیع مکانی بارش در آزمایشات در سطح پلات از آزمون یکنواختی کریستین‌سن با تغییر زاویه نوسان و فاصله بین نازل‌ها در فشار ۶۰ کیلوپاسکال برای پلات ۲ متر مربعی استفاده شد. به‌دلیل همپوشانی پاشش دو نازل مخصوصاً در فاصله ۵۰ سانتی‌متری شدت بارش در مرکز حداکثر و در اطراف پلات حداقل است که این شکل از

مطابقت دارد اما از نتایج ۳/۵ میلی‌متر کاتو و همکاران [۱۹] و ۳/۲ میلی‌متر سودهر و پاندا [۳۵] کمتر است. محققان دیگر مانند هامفری [۱۷]، فیستر و همکاران [۱۲] و اسلاتری و برایان [۳۴] برای شبیه‌سازهای باران با پلات کمتر از ۵ متر مربع میانه قطری قطرات را ۱ تا ۱/۵ میلی‌متر به‌دست آوردند که از میانه قطری حاصل شده در این تحقیق کمتر است.

از مزایای این شبیه‌ساز باران می‌توان به مواردی چون سبک و قابل حمل بودن، هزینه پایین در ساخت، داشتن نازل‌های نوسانی برای کم کردن شدت بارش، تحت فشار بودن آب سیستم و بازگشت مجدد آب مازاد به داخل سیستم، قابلیت تغییر فاصله بین نازل‌ها برای پراکنش بهتر، قابل استفاده در پژوهش میدانی توسط یک موتور برق کوچک، جداسازی و مونتاژ آسان و سریع قطعات، پایین بودن مصرف آب و نیز امکان برنامه‌نویسی و اجرای خودکار ده برنامه بارش ۶۰ دقیقه‌ای با تغییر زاویه نوسان، سرعت نوسان نازل‌ها و مدت‌زمان بارش در هر برنامه اشاره کرد. علیرغم وجود این ویژگی‌های مناسب برخی برنامه‌های تکمیلی شامل امکان قطع باران به‌صورت خودکار، امکان تعویض نوع نازل‌ها برای رسیدن به شدت‌های کمتر بارش و ساخت یک فلوم شیب‌پذیر برای انجام آزمایشات لازم است در طرح‌های توسعه این سیستم در آینده مدنظر قرار گیرد.

در این تحقیق تخمین اندازه قطرات تولید شده با استفاده از روش عکس‌برداری صورت گرفت. بر طبق نظر هافمن [۱۶] روش عکس‌برداری به‌عنوان یک روش اندازه‌گیری مستقیم در تعیین اندازه هر قطره است. سودهر و پاندا [۳۵] در پژوهشی برای تعیین اندازه قطرات تولید شده توسط نازل‌های آب‌پاش آبیاری از روش پردازش تصویر استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که این روش در تعیین توزیع اندازه قطرات مؤثر بوده و همچنین آن‌ها گزارش کردند که این روش نیاز به واسنجی نداشته و دقت آن به نوع دوربین مورد استفاده بستگی دارد. از آنجایی که محدوده قطری قطرات باران طبیعی از ۰/۱ تا ۵ میلی‌متر گزارش شده است [۲۳] لذا اندازه قطرات بارش شبیه‌سازی شده با اندازه قطرات بارش طبیعی مطابقت دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری توزیع قطرات در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش فشار از ۲۰ تا ۸۰ کیلوپاسکال قطر قطرات کاهش می‌یابد که دلیل آن را می‌توان افزایش برخورد قطرات و متلاشی شدن قطرات درشت‌تر بیان کرد. قطر میانه در شبیه‌ساز حاضر ۲/۴ تا ۲/۶ میلی‌متر به‌دست آمد که با مقادیر گزارش شده ۲ تا ۳ میلی‌متر گریسون و ادس [۱۳]، ۲/۵۸ میلی‌متر توسط بتانی و گریمر [۳]، ۲/۴ میلی‌متر توسط استیوز و همکاران [۱۱]، ۲/۱ تا ۲/۹ میلی‌متر توسط اکسوی و همکاران [۲]، ۲/۲۵ دی لیما و دی لیما [۱۰] و ۲/۲۵ توسط برسلی [۵]

References

- [1] Abudi, I., Carmi, G., and Berliner, P. (2012). Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*, 454–455, 76–81.
- [2] Aksoy, H., Unal, E., Cokgor, S., Gedikli, A., Yoon, J., Koca, K., Eris, E. (2012). A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena*, 98, 63–72.
- [3] Battany, M., and Grismer, M. (2000). Development of a portable field rainfall simulator for use in hillside vineyard runoff and erosion studies. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 14, 1119–1129.
- [4] Bhardwaj, A., and Singh, R. (1992). Development of a portable rainfall simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion stud. *Agricultural Water Management*, 22(3), 235–248.

- [5] Borselli, L., Torri, D., Poesen, J., and Sanches, S. (2001). Effects of water quality on infiltration runoff and interrill erosion processes during simulated rainfall. *Earth Surface Processes*, 26, 329–342.
- [6] Bunenzer, G. (1979). Rainfall characteristics important for simulation. Pages 22-34 in *Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop, Tucson Arizona, March 7-9, 1979*. U.S. Department of Agriculture Science and Education Administration Agricultural Reviews and Manuals. ARM-W-10/July 1979.
- [7] Christiansen, J. (1942). Irrigation by sprinkling. *Univ. Calif. Agric. Exp. Stn. Bull* , 670.
- [8] Covert, A., and Jordan, P. (2009). A Portable Rainfall Simulator: Techniques for Understanding the Effects of Rainfall on Soil Erodibility. *Watershed Management Bulletin*, 13(1), 5-9.
- [9] de Lima, J., Torfs, P., and Singh, V. (2002). A mathematical model for evaluating the effect of wind on downward-spraying rainfall simulators. *CATENA*, 46, 221–241.
- [10] de Lima, M., and de Lima, J. (1990). Water erosion of soils containing rock fragments. *IAHS Publication*, 197, 141–147.
- [11] Esteves, M., Planchon, O., Lapetite, J., Silveira, N., and Cadet, P. (2000). The “Empire” large rainfall simulator: design and field testing. *Earth Surf. Process. Landforms*, 25, 681–690.
- [12] Fister, W., Iserloh, T., Ries, J., and Schmidt, R. (2012). A portable combined wind and rainfall simulator for in situ soil erosion measurements. *Catena*, 91, 72–84.
- [13] Grierson, I., and Oades, J. (1977). A rainfall simulator for field studies of run-off and soil erosion. *Agricultural Engineering Research*, 22, 37-44.
- [14] Grismer, M. (2011). Rainfall simulation studies—a review of designs, performances and. Draft report as of March 4, 2011.
- [15] Gunn, R., and Kinzer, G. (1949). The terminal velocity of fall for water droplets. *Journal Of Meteorology*, 6, 243-248.
- [16] Hoffman, F. (1977). Applications of droplet photography. Calfran Industries, Springfield, MA.
- [17] Humphry, J., Daniel, T., Edwards, D., and Sharpley, A. (2002). A portable rainfall simulator for plot-scale runoff studies. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(2), 199–204.
- [18] Iserloh, T., Fister, W., Seeger, M., Willger, H., and Ries, J. (2012). A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil and Tillage Research*, 124, 131–137.
- [19] Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y., and Asano, M. (2009). Field measurement of infiltration rate using an oscillating nozzle rainfall simulator in the cold, semiarid grassland of Mongolia. *Catena*, 76(3), 173–181.
- [20] Knasiak, K., Schick, R., and Kalata, w. (2007). Multiscale design of rain simulator. ILASS Americas, 20th Annual conference on liquid Atomization and spray system, (pp. 1-7). Chicago.
- [21] Laws, J. (1979). Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. *Transactions of the American Geophysical Union*, 22, 709-721.
- [22] Laws, J., and Parsons, D. (1943). The relationship of raindrop-size to intensity. *Transaction of American Geophysics Union*, 24, 452-460.
- [23] Masayuki, M., Keenan, T., Sasaki, Y., and Nakamura, K. (2008). Characteristics of the raindrop size distribution in tropical continental squall lines observed in Darwin, Australia. *Journal of Applied Meteorology*, 40, 1393–1412.
- [24] Miller, W. (1987). A solenoid-operated, variable intensity rainfall simulator. *Soil Science of Society America Journal*, 51, 832–834.
- [25] Moore, I., Hirschi, M., and Barfield, B. (1983). Kentucky rainfall simulator. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 23, 1085-1089.
- [26] Munster, C., Taucer, P., Wilcox, B., Porter, S., and Richards, S. (2006). An Approach for Simulating Rainfall Above the Tree Canopy at the Hillslope Scale. *Transactions of the ASABE*, 49(4), 915-924.
- [27] Newesely, C., Leitinger, G., Zimmerhofe, W., Kohl, B., Markart, G., Tasser, E., and Tappeiner, U. (2015). Rain simulation in patchy landscapes: Insights from a case study in the Central Alps. *Catena*, 127, 1-8.

- [28] Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kavian, A., Hoseini, S., and Demir, M. (2012). Calibration of a portable single nozzle rainfall simulator for soil erodibility study in hyrcanian forests. *African Journal of Agricultural Research*, 7(27), 3957-3963.
- [29] Pérez-Latorre, F., de Castro, L., and Delgado, A. (2010). A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil Tillage Res*, 11–16.
- [30] Reddy, C., Satish Kumar, U., Mishra, P., and Kumathe, S. (2007). Hydrological Response of Surface Configurations under Simulated Conditions Using CRIDA Rainfall Simulator. *Karnataka Journal Agricultural Science*, 20(2), 338-341.
- [31] Sadeghi, S., Abdollahi, Z., and 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.
- [32] Salem, H., Valero, S., Muñoz, M., Gil-Rodríguez, M., and Barreiro, P. (2014). Effect of reservoir tillage on rainwater harvesting and soil erosion control under a developed rainfall simulator. *Catena*, 113, 353–362.
- [33] Sangüesa, C., Arumí, J., Pizarro, R., and Link, O. (2010). A rainfall simulator for the in situ study of superficial runoff and soil erosion. *Chilean journal of agricultural research*, 70(1), 178-182.
- [34] Slattery, M., and Bryan, R. (1994). Surface seal development under simulated rainfall on an actively eroding surface. *Catena*, 22, 17–34.
- [35] Sudheer, K., and Panda, R. (2000). Digital image processing for determining drop sizes from irrigation spray nozzles. *Agricultural Water Management*, 45, 159-167.
- [36] Suresh, R. (2000). *Soil and Water Conservation Engineering*. Standard Publishers, Delhi.

