فصـــل اول

مقـــــدمه

الف) کلیات و تعاریف

در گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، جمعیت ایران برای سال ۲۰۲۵ میلادی بیش از دو برابر جمعیت سال پایه ۱۳۷۲ یعنی حدود ۱۲۴ میلیون نفر پیش‌بینی شده است. ولی بر اساس سرشماری سال ۱۳۷۵ و کاهش محسوس نرخ تولد در آن سال جمعیت ایران حدود ۹۰ میلیون نفر تخمین زده می‌شود. در گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب در مورد ایران فرض شده که سرانه مصرف آب کشاورزی ثابت و با توجه به طرح جامع کشور به رقم ۱۲۹۹ مترمکعب اصلاح شده است. در این مطالعات تراکم کشت ۱۰۹ درصد لحاظ شده است. در گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، راندمان آبیاری در حد ۶۵ درصد به دست آمده که با تغییر داده‌ها به ۵۳ درصد اصلاح شد. همچنین راندمان آبیاری سال ۲۰۲۵، حدود ۷۰ درصد فرض شده که غیرقابل حصول بوده و با نظرات کارشناسی به ۶۰ درصد کاهش داده شد. در جدول (۱-۱) جزئیات این گزارش مشاهده می‌گردد [۲۲]

جدول ۱-۱: تخصیص منابع آب کشور در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۵ میلادی

موضوع	سال ۱۹۹۰	سال ۲۰۲۵
جمعیت	۵۸/۹ میلیون نفر	۹۰ میلیون نفر
سطح زیر کشت سالانه	۷ میلیون هکتار	۱۰/۷ میلیون هکتار
تراکم کشت آبی	۱۰۵ درصد	۱۰۹ درصد
آب مصرفی آبیاری	۷۶ میلیون متر مکعب در سال	۱۰۳/۱ میلیون متر مکعب در سال
آب شرب شهری و روستائی	۴/۰۰۵ میلیون متر مکعب در سال	۶/۹۳۰ میلیون متر مکعب در سال
آب مصرفی صنعتی	۱/۱۷۸ میلیون متر مکعب در سال	۳/۱۶ میلیون متر مکعب در سال
مجموع آب مصرفی	۸۱/۶۸۳ میلیون متر مکعب در سال	۱۱۳/۶۳۰ میلیون متر مکعب در سال

بر اساس شاخص فالکن مارک، کشور ایران در آستانه قرار گرفتن در بحران آبی قرار دارد. همچنین بر اساس شاخص سازمان ملل و شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. بنا به گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران برای حفظ وضع موجود خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این مقدار با توجه به امکانات و منابع آب موجود غیر ممکن به نظر می‌رسد [۱۱].

بنابراین با توجه به وضعیت آب موجود در کشور کارشناسان باید با اتخاذ تصمیمات اصولی مانع از گسترش بحران آب شوند [۱۱]

اگرچه در سال‌های اخیر سیستم‌های آبیاری بارانی توانسته‌اند تا حدی جایگزین سیستم‌های سطحی شوند اما توسعه و بهبود کیفی این سیستم‌ها مستلزم بررسی و ارزیابی وضعیت موجود طراحی و بهره‌برداری طرح‌های آبیاری بارانی اجرا شده، سازگاری آنها با شرایط آب و هوایی مناطق مختلف کشور و ارائه راه حل‌های مدیریتی برای

افزایش راندمان آبیاری می‌باشد. ارزیابی عملکرد، مفهومی است که در سیستم‌های آبیاری امروزه نقش مناسبی داشته و این نقش روز به روز آشکارتر می‌شود [۵۴]. هدف نهایی ارزیابی عملکرد، دستیابی به عملکرد مؤثر و کارآمد به‌وسیله مدیریت مناسب‌تر می‌باشد. از نظر اقتصادی، بهبود مدیریت آبیاری خیلی بهتر از بهبود سیستم آبیاری تشخیص داده شده است [۵۸]. به گفته بسیاری از محققین، ارزیابی عملکرد باید فرایندی منظم و کوتاه مدت برای بررسی نقصان‌های بحرانی و مشکوک در عملکرد یک سیستم آبیاری باشد [۵۴]. مریام و کلر ارزیابی یک سیستم آبیاری را آنالیز آن، بر پایه اندازه‌گیری‌ها در شرایط مزرعه و در حین کار طبیعی سیستم تعریف نموده‌اند [۵۶]. برای این منظور شاخص‌هایی برای مقایسه عملکرد واقعی یک سیستم آبیاری با معیارهای طراحی پیش‌بینی شده، پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها، متغییرهایی قابل اندازه‌گیری هستند که اوضاع سیستم و تغییرات آن نسبت به زمان و مکان را شرح می‌دهند [۵۴]. ارزیابی روش‌های آبیاری شامل تعیین راندمان واقعی کاربرد آب و بررسی روش مدیریت مزرعه و به دست آوردن حداکثر عملکرد واقعی سیستم می‌باشد که جهت افزایش بازدهی آبیاری در صورتی‌که مدیریت مزرعه و یا راندمان واقعی سیستم پایین باشد بایستی با اتخاذ تدابیری به پتانسیل عملکرد واقعی سیستم رسید [۲].

ب) ضرورت و اهداف پژوهش

ارزیابی طرح‌های اجرا شده باعث روشن شدن نقاط ضعف آنها از جنبه‌های مختلف می‌شود. همچنین می‌توان پیشنهادهای سازنده‌ای برای بهبود عملکرد سیستم‌های مورد نظر از لحاظ طراحی و مدیریتی ارائه نمود که در نهایت منجر به افزایش راندمان آبیاری می‌گردد. در نتیجه، سیستم‌های آبیاری بارانی بایستی بعد از طراحی و اجرا، مورد بررسی قرار گرفته و کارآیی و عملکرد آنها تحت شرایط موجود در مزرعه بررسی گردد. این بررسی شامل وضعیت طراحی، اجرا، مدیریت و لوازم به کار رفته در سیستم می‌باشد.

در راستای توسعه کاربرد روش‌های آبیاری تحت فشار در سطح کشور، در استان کردستان نیز طرح‌های زیادی به مرحله اجرا در آمده است که از آن جمله می‌توان به طرح‌های اجرا شده در دشت قروه اشاره نمود. تا پایان سال ۱۳۸۶ بیش از ۲۷۰۰۰ هکتار از اراضی استان زیر پوشش آبیاری تحت فشار قرار گرفته است. در این میان شهرستان‌های قروه و دهگلان با اجرای بیش از ۱۴۰۰۰ هکتار، بیشترین سهم اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار در استان را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین اکثر طرح‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در دشت قروه، آبیاری بارانی و از نوع کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک می‌باشد. با توجه به ضرورت بیان شده، شایسته است که بعد از گذشت چند سال از کاربرد این سیستم‌ها به بررسی و ارزیابی عملکرد آنها پرداخته شود، تا مسائل و مشکلات موجود شناخته شده و در آینده از تجارب حاصله استفاده گردد. از این رو هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی وضعیت موجود سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت و لوله چرخدار اجرا شده در دشت قروه و ارزیابی و مقایسه آنها می‌باشد. همچنین جهت رفع نقایص موجود در سیستم‌های مورد ارزیابی و ارتقای کارآیی آنها، پیشنهادهای سازنده‌ای ارائه خواهد شد [۳].

ج) معرفی سیستم لوله چرخدار

این وسیله از لوله‌های آلومنیومی به قطر ۴ یا ۵ اینچ ساخته شده که طولی معادل ۱۲ متر دارند. در وسط هر شاخه ۱۲ متری، یک چرخ پره‌دار نصب می‌شود. در یک سمت لوله، اتصال دارای خروجی آبپاش و در سمت دیگر اتصال بدون خروجی پرس می‌شود. زیر اتصال خروجی‌دار، یک شیر تخلیه آب نصب می‌شود که با خاموش کردن پمپ یا قطع جریان آب، شیر باز شده و آب از دستگاه تخلیه می‌شود (شکل ۱-۱) . در زمین‌های بادخیز لوله چرخدار به خصوص اگر خالی باشد همراه با باد جابجا می‌شود. لذا باید آن را در هنگام استفاده با کابل مهار کرد.

شکل ۱-۱: سوپاپ تخلیه

شکل ۱-۲: وزنه تعادل آبپاش

در این سیستم لوله لاترال خود به عنوان محور چرخ‌ها عمل کرده و آبپاش‌ها مجهز به آونگ وزنه‌ای می‌باشند تا در هر موقعیت پیچشی به طور قائم قرار گرفته و عمل پخش آب با مشکل مواجه نشود (شکل ۱-۲). در وسط دستگاه یک شاسی چهارچرخ قرار می‌گیرد. این ارابه می‌تواند با شاسی تک یا دوبل باشد. شاسی دوبل استحکام بیشتر و ضمن حرکت طولی انحراف کمتری دارد. روی این ارابه یک موتورکوچک بنزینی به قدرت ۶ تا ۸ اسب بخار قرار دارد (شکل ۱-۳). پس از روشن نمودن موتور بنزینی دستگاه به محل موردنظر رفته و موتور خاموش می‌شود. کارگر آبیار، لوله خرطومی (شکل ۱-۴) ابتدای دستگاه را به هیدرانت (شکل۱-۵) خط آبرسان وصل می-کند. فشار آب در داخل لوله دستگاه باعث مسدود شدن شیر تخلیه‌ها شده و آبپاش‌ها که به فاصله ۱۲ متر از یکدیگر قرار دارند شروع به آبیاری می‌نمایند. طول دستگاه با لوله ۴ اینچ حداکثر ۳۷۲ متر می‌باشد.

شکل ۱-۳: شاسی سیستم لوله چرخدار

شکل ۱-٤: لوله خرطومی

شکل ۱-۵: هیدرانت

این دستگاه برخلاف دستگاه بارانی خطی حین آبیاری در یک نقطه ثابت مانده و تنها به منظور جابجایی به موقعیت بعدی موتور بنزینی روشن شده و جابجا می‌شود.

دستگاه به قطر ۵ اینچ می‌تواند به طول ۴۲۰ متر باشد. در ایران فقط ۴ اینچ آن تولید می‌شود که با احتساب شعاع پاشش اولین و آخرین آبپاش، طول مؤثر دستگاه می‌تواند به ۴۰۰ متر برسد. ضخامت لوله لاترال در وسط و در نزدیکی موتور حرکت‌دهنده لوله ضخیم‌تر می‌باشد تا از پیچید خوردگی لوله طی حرکت جلوگیری شود. قطر چرخ‌ها بسته به نوع زراعت متفاوت بوده اما معمول‌ترین اندازه برای قطر چرخ‌ها ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ سانتی‌متر است. لوله اصلی در کنار زمین و یا در وسط آن قرار می‌گیرد بنابراین ورود آب به لوله لاترال یا از کنار و یا از وسط صورت می‌گیرد. به دلیل ارتفاع ثابت آبپاش از زمین، گیاهان تا بلندی ۱ متر قابل آبیاری می‌باشند. شکل زمین می‌بایست چهارگوش و منظم باشد. آبپاش‌های به قطر پاشش حدود ۲۸ متر و پایه به قطر ۰/۷۵ اینچ به کار می‌روند. طول دستگاه را معادل یک ضلع مزرعه انتخاب می‌نمایند [۱۶ و ۲۲].

د) معرفی روش آبیاری بارانی کلاسیک:

از این روش می توان برای آبیاری انواع گیاهان زراعی و در بعضی مواقع هم برای آبیاری درختان در زمینهای شیبدار، هموار، نا هموارو خاکهای شنی و رسی استفاده کرد.

در این روش آب به وسیله پمپ، از مخزن یا منبع اصلی مانند استخر، چاه، رودخانه، چشمه، قنات و یا کانال وارد لوله های اصلی و بال ها شده و از طریق آبپاش ها به صورت باران یا قطره های بسیار ریز و یکنواخت، بر روی مزرعه پاشیده می شود.

د-۱) اجزاء تشکیل دهنده دستگاه آبیارانی بارانی کلاسیک:

این روش از وسایل و قسمتهای زیر تشکیل شده است:

۱-قسمت تأمین آب و ایجاد فشار

۲-لوله های اصلی، نیمه اصلی، فرعی و اتصالها

۳-بال

۴-شیر فلکه و فشار سنج

۵-پایه آبپاش و نگهدارنده آن

۶-آبپاش

د-۱-۱) قسمت تأمین آب و ایجاد فشار:

برای تأمین آب، از یک منبع و برای تأمین فشار از یک پمپ استفاده می شود. لوله مکش پمپ را در مخزن آب قرار داده و سپس برای ایجاد فشار مناسب در داخل لوله ها، پمپ هوا گیری، روشن می شود. در این حالت آب با فشار داخل لوله ها جریان پیدا می کند. انواع پمپ ها عبارتند از:

الکترو پمپ و موتور پمپ (برقی و دیزلی) هدف نیروی محرکه پمپ است.

د-۱-۲) لوله های اصلی، فرعی و اتصال ها:

برای رساندن آب از منبع به مزرعه از لوله های اصلی، نیمه اصلی و فرعی استفاده می شود. لوله ها ممکن است آلومینیومی، پلی اتیلن و یا آزبست باشند.

لوله های مورد استفاده دارای طول و قطر متفاوتی بوده و فشارهای مختلفی را می توانند تحمل کنند.

لوله های آلومینیومی معمولا روی زمین قرار گرفته و برای اتصال آنها به یکدیگر از دو روش استفاده می شود:

الف)استفاده از اتصال های سریع

ب)با استفاده از فلنج

لوله های پلی اتیلن و آزبست در زیر زمین و در عمق مناسب کار گذاشته می شوند. لوله های آزبست توسط اتصالات آزبستی و چدنی و لوله های پلی اتیلن بسته به قطر آنها به دو شکل متصل می شوند:

الف)لوله های پلی اتیلنی با قطر کمتر از ۹۰mm با اتصال رزوه ایی

ب)لوله های پلی اتیلنی با قطر بیش از ۹۰mm با اتصالات جوشی و فلنج دار

برای وصل کردن لوله ها به یکدیگر، گرفتن انشعاب و تغییر جهت آنها از زانویی، تبدیل، سه راهی و .... استفاده می شود.

د-۱-۳) بال

بال های آبیاری همان لوله های آلومینیومی هستند که در سطح مزرعه قرار دارند و آبپاشها به وسیله پایه آبپاش بر روی آن نصب شده اند.

د-۱-۴) فلکه شیر و فشارسنج

به وسیله شیر فلکه، جریان آب و تا حدودی فشار آن در لوله ها و بال ها تنظیم می شود. با باز کردن شیر فلکه، آب در لوله ها جریان پیدا می کند و با کم و زیاد باز کردن شیر فلکه ، فشار داخل لوله ها نیز کم و زیاد می شود برای این که آبپاش ها به خوبی کار کنند، شیر فلکه را باید آن قدر باز کنیم تا فشار آب در داخل لوله ها به اندازه مورد نظر برسد. مقدار فشاری که باید در لوله ایجاد شود، توسط کارخانه سازنده و طراحان قبلا تعیین شده است. برای

قطع و وصل جریان آب و تغییر فشار از شیر آبگیر هم استفاده می شود. برای اندازه گیری فشار در آبپاش‌ها از فشارسنج سیار استفاده می شود.

د-۱-۵) پایه آبپاش و نگهدارنده آن:

پایه آبپاش لوله باریکی است که ارتفاع آن بستگی به نوع گیاهی که به وسیله آن آبیاری می شود، دارد. یعنی برای آبیاری محصولات بلند، (مثل ذرت، آفتابگردان و نیشکر)، از پایه های بلند و برای محصولات کوتاه(چغندر و یونجه) از پایه های کوتاه استفاده می شود.

پایه آبپاش بلند بر روی وسیله ای به نام((نگهدارنده پایه آبپاش))قرار می گیرد:

۱-آبپاش

۲-پایه آبپاش و نحوه اتصال به بال

د-۱-۶) آبپاش:

آبپاش ها با چرخش به دور خود، عمل آبیاری را توسط یک یا دو نازل(سوراخ خروج آب) انجام می دهند. آبپاش ها مهمترین جزء در آبیاری بارانی اند و بایستی به طور مرتب بازدید شوند.

د-۲) انواع روش های آبیارانی بارانی کلاسیک:

د-۲-۱) روش آبیاری بارانی کلایسک متحرک:

در این روش قسمتهای مختلف دستگاه مانند پمپ، لوله های اصلی، نیمه اصلی، بالها و آبپاشها، پس از آبیاری یک قسمت از زمین، از هم جدا شده و برای آبیاری قسمت دیگر به آنجا منتقل می شوند. در محل جدید دوباره قطعات به هم وصل شده تا کار آبیاری ادامه یابد. این روش برای آبیاری قطعات کوچک و جدا از هم مفید می باشد.

د-۲-۲) روش آبیاری بارانی کلاسیک نیمه متحرک:

در این روش پمپ و لوله های اصلی، نیمه اصلی در جای خود ثابت مانده و پس از آبیاری یک قسمت، بال ها جدا شده و به محل جدید منتقل و دوباره نصب می شوند. این روش را به علت این که فقط بالها جا به جا می شوند،((روش آبیاری کلاسیک نیمه متحرک)) می گویند. برای اینکه عمل جا به جایی بال ها به راحتی انجام شود بالها از جنس آلومینیوم ساخته و به روش اتصال سریع به هم وصل می شوند.

در صورتیکه جنس خاک رسی باشد، به علت گل آلود بودن زمین و مشکلاتی که در زمان جا به جایی به وجود می آید بهتر است از یک بال اضافی برای آبیاری مدید استفاده شود تا پس از گذشت مدتی، سطح زمین که قبلا آبیاری شده کمی خشکتر شده و رفت و آمد در زمین و جابجایی بالها راحت تر انجام شود.

د-۲-۳) روش آبیارانی بارانی کلاسیک ثابت:

در این شیوه، بال ها و آبپاش ها در تمام سطح مزرعه نصب شده و ثابت هستند و عمل آبیاری با باز و بسته کردن شیر فلکه انجام می شود. در این حالت تعداد کمتری کارگر مورد نیاز است.

اگر جنس بالها آلومینیومی باشند، در سطح زمین قرار می گیرند و در صورتی که از جنس پلی اتیلن باشند در زیر زمین قرار می گیرند.

توجه:وقتی جنس بالها آلومینیومی می باشد باید بعد از کاشت محصول، آنها را روی زمین نصب کرده و قبل از برداشت هم جمع آوری نمود.

د-۲-۴)روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک:

در این روش، پمپ، لوله های اصلی، نیمه اصلی و بالهای آبیاری همگی ثابت هستند و فقط آبپاش ها به همراه پایه های خود با استفاده از شیر خودکار جا به جا می شوند.

برای آبیاری مساحتهای بزرگتر، از آبپاش هایی با فشار بالا استفاده می شود. در این صورت، زمان آبیاری کوتاه خواهد بود.

د-۳) مزایای آبیاری بارانی کلاسیک:

۱-در این روش آب برای رسیدن به مزرعه از جوی های خاکی عبور نمی کند و در نتیجه بخار نمی شود، در خاک نفوذ نمی نماید، بذر علف های هرز را وارد مزرعه نمی کند و می توان در مقدار مصرف آب صرفه جویی کرده و مقدار بیشتری از زمین های کشاورزی را به زیر کشت برد.

۲-توزیع و پخش یکنواخت آب در مزرعه

۳-امکان آبیاری انواع گیاهان در زمینهای شیب دار، هموار و نا هموار رسی و شنی در این روش وجود دارد و می توان سم و کود را به راحتی در سطح مزرعه با هزینه کم توزیع نمود.

۴-تمیز شدن برگ گیاهان در هنگام آبیاری و استفاده بهتر گیاه از تابش نور خورشید و ساختن غذای بیشتر تولید محصول بهتر و بیشتر می باشد و تجربه نشان داده که گیاه رشد بهتری دارد.

۵-با این روش در هوای خیلی سرد، از یخ زدگی شکوفه ها جلوگیری می شود.

۶-در بعضی مناطق کوهستانی، می توان برای ایجاد فشار در لوله ها، از اختلاف ارتفاع استفاده کرد.

۷-استفاده از این روش، به دانش زیادی احتیاج ندارد.

فصل دوم

پیشینه و تاریخچه تحقیق

برای ارزیابی یک پروژه باید معیارهایی وجود داشته باشد تا بتوان عملکرد سیستم در مزرعه را با عدد و رقم بیان کرد. این معیارها ابزار مقایسه‌ای برای روش‌های مختلف آبیاری است. بدین منظور جهت ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی از مفاهیم یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل و راندمان کاربرد ربع پایین آب استفاده می‌شود. این مفاهیم عمده‌ترین کاربرد را در ارزیابی و بهبود راندمان آبیاری دارند [۴]. هدف اصلی مهندسی آبیاری نیز افزایش این راندمان‌هاست.

در نواحی خشک و نیمه‌خشک که منابع آب محدود است، راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب [۳۲] به طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا کرده است. از این رو، ارزیابی مزرعه‌ای سیستم‌های آبیاری بارانی برای ثبات راندمان و عملکرد آنها امری ضروری است [۳۲]. با ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها، بسیاری از نقاط ضعف آنها نمایان می‌شود. سپس می‌توان پیشنهادهای سازنده‌ای برای بهبود عملکرد آنها از جنبه‌های مختلف ارائه نمود [۳۲] که در نهایت منجر به افزایش راندمان آبیاری می‌گردد. البته باید این نکته هم قید گردد که راندمان پتانسیل و راندمان کاربرد ربع پایین آب نیز به نوبه خود، تابعی از یکنواختی توزیع می‌باشد، بنابراین حجم انبوهی از تحقیقاتی که در حوزه ارزیابی صورت پذیرفته، در رابطه با عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب می‌باشد.

۲-۱شاخص‌های مورد ارزیابی در سیستم‌های آبیاری بارانی

هدف از ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی، انتخاب تعدادی از مشخصه‌هایی است که به آسانی قابل اندازه‌گیری بوده و به دریافت نتایج منطقی از سیستم اجازه دهند [۵۴]. برای این منظور شاخص‌های متعددی برای مقایسه عملکرد واقعی سیستم با معیارهای طراحی پیش‌بینی شده، پیشنهاد گردیده است[۵۴ و ۵۶] . این شاخص‌ها ابزاری قوی برای مشخص کردن ناکارایی در بخش مدیریت آبیاری می‌باشند و به‌عبارت دیگر مدیریت آب را به کمیّت در می‌آورند. به‌طور کلی، این شاخص‌ها مربوط به یکنواختی توزیع آب در سطح مزرعه و راندمان کاربرد آب درون مزرعه می‌باشند. بیشتر نوشته‌های علمی درباره سیستم‌های آبیاری، روی بهبودسازی توزیع آب در خاک متمرکز شده‌اند. از این رو بسیاری از محققین، از یکنواختی توزیع آب به عنوان اولین و مهمترین شاخص در ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی نام برده‌اند [۵۳].

مریام و کلر (۱۹۷۸) یکنواختی توزیع[1] (DU)، راندمان کاربرد آب در ربع پایین[2] (AELQ)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین[3] (PELQ) و ضریب یکنواختی[4] (CU) را به عنوان عمده‌ترین پارامترها در ارزیابی سیستم‌های بارانی معرفی نمودند. دِچمی و همکاران (۲۰۰۳c) در پژوهش خود، که در شمال شرقی اسپانیا (زاراکوزا) صورت گرفت، از ضریب یکنواختی کریستیانسن (۱۹۴۲)، راندمان پتانسیل کاربرد ربع پایین (PELQ) و تلفات تبخیر و باد[5] (WDEL) استفاده نمودند. الغُباری (۲۰۰۶) نیز برای ارزیابی عملکرد شش سیستم آبیاری بارانی سنترپیوت در عربستان سعودی از سه شاخص ضریب یکنواختی هیرمان و هین (۱۹۶۸)، DU و PELQ بهره گرفت. منتظر و مریدنژاد (۲۰۰۸) گزارش کردند که در ارزیابی تعدادی از سیستم‌های آبیاری بارانی بیله سوار دشت

1. Distribution Uniformity
2. Application Efficiency of Low Quarter
3. Potential Application Efficiency of Low Quarter
4. Coefficient of Uniformity
5. Wind Drift and Evaporation Losses

مغان از ضرایب یکنواختی کریستیانسن (۱۹۴۲)، هارت و رینولدز (۱۹۶۵)، ضریب یکنواختی آماری[۶] (CUS)، یکنواختی توزیع و راندمان تخلیه[۷] (E_d)، به عنوان شاخص‌های ارزیابی استفاده نمودند. بستیانسن و بُوس (۱۹۹۹) از ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در ربع پایین به عنوان شاخص‌های عملکرد امروزی نام برده‌اند. پریرا و همکاران (۲۰۰۲) از DU به عنوان ابزاری اساسی برای بهبود عملکرد سیستم‌های آبیاری نام بردند. ابوغُبار (۱۹۹۲) برای ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی سنترپیوت از شاخص‌های DU، PELQ و ضریب یکنواختی هیرمان و هین (۱۹۶۸) اصلاح شده توسط استاندارد ASAE (۱۹۸۷) استفاده نمود. لُرنزینی و رِچی‌ین (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که در باب آبیاری بارانی، ارزیابی تلفات جت آب به دلیل شرایط محیطی را می‌توان به عنوان شاخصی مهم از عملکرد سیستم در نظر گرفت.

۲-۲ یکنواختی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری بارانی

باارزش‌ترین خروجی فرایند ارزیابی سیستم‌های بارانی، یکنواختی آبیاری است که به صورت تغییر عمق آبیاری در مساحت تحت پوشش آبیاری تعریف می‌شود. زمانی آبیاری یکنواخت است که مقدار آب داده شده به خاک در قسمت‌های مختلف مزرعه چندان متفاوت نباشد. از مشخص شدن تأثیر یکنواختی آبیاری بارانی بر میزان کلی محصول گیاه دهه‌های زیادی می‌گذرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که یکنواختی آبیاری بارانی مستقیماً تابع تولید گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد[۳۷، ۴۰ و ۵۲].

6. Statistical Coefficient of Uniformity

7. Efficiency of Discharge

هدف اصلی آبیاری بارانی، به‌کار گرفتن هرچه یکنواخت‌تر آب آبیاری در ناحیه ریشه می‌باشد [۳۹]. توزیع غیریکنواخت آب در خاک باعث می‌شود که بعضی مناطق آب کمتر و بعضی آب بیشتری دریافت نمایند. آب ناکافی در خاک موجب مکش رطوبتی زیاد خاک و استرس گیاه [۴۸] شده و در نهایت منجر به کاهش محصول خواهد شد. آب اضافی نیز ممکن است از طریق فرایندهایی مانند تهویه کم خاک ، آبشویی مواد غذایی ، افزایش بیماری‌ها و ایجاد نقص در رشد قسمت‌های پر ارزش گیاه ، باعث کاهش محصول شود [۴۸]. از این رو اثرات یکنواختی آبیاری بر محصول گیاه، عامل بسیار مهمی در طراحی و عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی می‌باشد[۴۸]. علاوه بر این، افزایش یکنواختی توزیع باعث جلوگیری از نفوذ عمقی و رواناب سطحی شده و راندمان آبیاری را افزایش می‌دهد. در نتیجه برای داشتن راندمان آبیاری بالا، یکنواختی توزیع امری ضروری است[۲۳] .

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که یکنواختی توزیع آب در بسیاری از سیستم‌های آبیاری بارانی موجود در کشور ما پایین‌تر از حد قابل قبول می‌باشد. در کشورهای دیگر نیز این موضوع مشاهده شده است. والین و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که در بسیاری از موارد، یکنواختی توزیع آب در تمام مزرعه که به وسیله شاخص‌های ضریب یکنواختی یا یکنواختی توزیع اندازه‌گیری شده است کمتر از استانداردهای قابل قبول می‌باشد. پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که مهم‌ترین دلایل ضعیف بودن عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی در کشور ما عبارتند از: مشکلات طراحی و اجرا، به‌کار بردن وسایل با کیفیت نامناسب، مشکلات بهره برداری و مدیریتی و دانش ناکافی کشاورزان نسبت به این سیستم‌ها و نیاز آبی گیاهان [۳۰].

۲-۳عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری بارانی

توزیع صد در صد یکنواخت آب عملاً امکان‌پذیر نیست زیرا عواملی در توزیع آب دخالت دارند که نمی‌توان تأثیر همه آنها را از بین برد. به طور کلی عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب در چهار گروه مربوط به آبپاش، دستگاه، محیط و مدیریت دسته‌بندی می‌گردند[۵۰].

۲-۳-۱ عوامل مربوط به آبپاش

۲-۳-۱-۱ زاویه خروج فواره آب نسبت به افق

بیلانسکی و کیدر (۱۹۵۸) در آزمایش‌های خود زاویه پرتاب آب را از ۱۰ تا ۳۵ درجه با گام‌های ۵ درجه‌ای تغییر دادند ونتیجه گرفتند که آبپاش‌های با زاویه پرتاب حدود ۳۰ درجه در شرایط باد آرام دارای بالاترین ضریب یکنواختی توزیع هستند [۲۸].

کلر (۱۹۸۳) گزارش کرد که بسیاری از سازندگان آبپاش‌ها ترجیح می‌دهند، آبپاش‌هایی با زاویه پرتاب ۲۲ تا ۲۴ درجه بسازند، زیرا این زوایای پرتاب تحت شرایط متفاوت باد به خوبی کار کرده و دارای یکنواختی توزیع بالایی هستند. در مناطقی که سرعت باد همیشه کم است، آبپاش‌های دارای زاویه پرتاب زیاد، بهترین یکنواختی توزیع آب را در حداقل فشار توصیه‌شده به وجود می‌آورند [۴۰].

اکرم (۱۳۶۳) ارتباط ضریب یکنواختی با زاویه پرتاب آبپاش‌ها را تحت شرایط مختلف باد و با فشارهای بسیار کم مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که در شرایط بدون باد، زاویه پرتاب ۳۶ درجه و در شرایط باد با شدت متوسط (۳ تا ۶ متر بر ثانیه)، زاویه پرتاب ۳۰ درجه بهترین یکنواختی توزیع را دارند [به نقل از ۱].

وان‌برنوس (۱۹۸۸) با تدوین یک مدل، اثر زاویه پرتاب جت آبپاش را در شرایط باد و بدون باد بررسی نمود. وی نتیجه گرفت که باد مهم‌ترین اثر را روی شعاع پرتاب آبپاش دارد و برای هر سرعت باد و اندازه قطره مشخص، یک زاویه پرتاب بهینه وجود دارد و در آبپاش‌های آبیاری، دلیلی برای طراحی با زوایای بیش از ۲۵ درجه وجود ندارد. همچنین نتیجه گرفت در زاویه‌های پرتاب ۱۰ الی ۱۵ درجه، ۹۵ درصد از قطرات، به ازای افزایش هر درجه زاویه جت و افزایش یک متر بر ثانیه سرعت باد، حدود ۰/۰۴ متر تحت تأثیر بادبردگی قرار گرفته‌اند [۶۱].

به گزارش کریستیانسن (۱۹۴۲) در شرایط بدون باد زاویه پرتاب ۴۵ درجه جت آب، منجر به حداکثر شعاع پرتاب می‌شود، ولی با وجود تأثیر مقاومت هوا، حداکثر شعاع پرتاب در زاویه کوچک‌تر (احتمالاً ۳۰ درجه) اتفاق می‌افتد. در شرایط باد اگر زاویه پرتاب بیشتر باشد، جت آب شدیداً در معرض تخریب قرار گرفته و از این جهت زوایای ۱۸، ۲۱و ۲۴ درجه توصیه می‌گردد. بسیاری از کارخانه‌های سازنده، زاویه جت ۲۷ درجه را به عنوان استاندارد ساخت قبول کرده‌اند[به نقل از ۵۷] .

سوارز و همکاران (۱۹۹۱) نتیجه گرفتند که در شرایط شیب تند زمین، زاویه نازل بایستی بیشتر باشد اما در شرایط باد، تلفات تبخیر و بادبردگی افزایش می‌یابد [۵۵].

۲-۳-۱-۲ اندازه نازل

هال و بوینگ (۱۹۵۶) نشان دادند که یک روزنه با سطح مقطع مثلثی بهتر از روزنه معمولی با سطح مقطع دایره‌ای کار می‌کند. سگینر (۱۹۶۳) گزارش داد که با استفاده از روزنه مثلثی به الگوی توزیع مناسبی با قطرات ریز دست یافته است، منتهی کاهش زیادی در قطر خیس شده، به خصوص وقتی که فشار بین ۳۰ تا ۳۵ متر بوده، وجود داشته است [۵۲].

چن و والندر (۱۹۸۵) گزارش کردند که نازل با مقطع مربعی، در فشار کم دارای ضرایب یکنواختی کریستیانسن بیشتری نسبت به مقطع دایره‌ای می‌باشد و در فشارهای بالا این رابطه بالعکس است. نتایج تحقیقات ایشان در جدول زیر آورده شده است [۲۹].

جدول ۲-۱: اثر فشار و شکل نازل روی یکنواختی توزیع آب

ضریب یکنواختی کریستیانسن		فشار (کیلو پاسکال)
نازل دایره‌ای (۴ میلی‌متر)	نازل مربعی (۳/۵ میلی‌متر)	
۷۱	۷۳	۱۳۸
۷۳	۷۵	۱۷۲
۸۰	۶۶	۲۰۷
۸۱	۸۰	۲۴۱

بیلانسکی و کیدر (۱۹۵۸) نتیجه گرفتند که نازل‌های بزرگ‌تر تحت هر فشاری در دامنه فشار توصیه‌شده، یکنواختی توزیع بهتری را ایجاد می‌کنند [۲۸].

کلر (۱۹۸۳) به این نتیجه رسید که با کاهش سطح مقطع نازل آبپاش، ذرات آب کوچک‌تر می‌شوند و اگر سطح مقطع نازل بیش از اندازه کوچک شود، قطرات آب پودری شده و با کمترین حرکت هوا (باد) جابجا شده و باعث کاهش یکنواختی توزیع آب و راندمان کاربرد آب می‌گردد [۴۰].