ارزیابی شاخص‌های کارائی و یکنواختی آبیاری نواری در استان لرستان

یحیی پرویزی[1]*

استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه؛ yparvizi1360@gmail.com

چکیده

در این مطالعه به منظور شناسائی مهمترین عوامل هدررفت آب در مزرعه، عملکرد مدیریت فعلی سامانه آبیاری نواری در استان لرستان در مزارع گندم، چغندر، لوبیا و یونجه که کشت‌های غالب در استان می باشد، در ۱۶ مزرعه آزمایشی با مدیریت سنتی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه سه کمیت کمبود رطوبت مجاز (MAD)[2]، کمبود رطوبت خاک قبل از آبیاری(SMD)[3] و عمق آب نفوذ یافته نشان داد که در اکثر موارد، کم آبیاری و یا آبیاری تنشی صورت گرفته است. از دلایل آن عدم تناسب اجزاء سیستم و کم بودن بیش از حد مجازرطوبت خاک قبل از آبیاری، می‌تواند باشد. این عوامل باعث افزایش بازدهی کاربرد و ذخیره آب شده است. طیف بازده کاربرد آب، تلفات نفوذ عمقی و تلفات پایاب به ترتیب از ۱۰/۵٪ تا ۹۵/۵٪، ۰/۶٪ تا ۸۳/۵٪ و صفر تا ۴۲/۹ درصد در مزارع مورد آزمایش اندازه‌گیری شد. نمودارهای پیش‌روی و پس‌روی آب در نوارها تاثیر رطوبت اولیه خاک، شیب و ابعاد نوار بر زمان قطع جریان ورودی و یکنواختی توزیع آب در نوار را نشان می‌داد. پائین بودن شاخص‌های یکنواختی توزیع در بیشتر مزارع، باعث افزایش تلفات خاک از راه فرونشست عمقی آن گردیده بود. تحلیل نتایج آزمایش بیانگر ضعف مدیریت فعلی آبیاری ناشی از زمان نامناسب آبیاری، نظام مالکیت اراضی (از نظر ابعاد مزارع)، عدم تناسب میزان آب موجود با آب مورد نیاز برای سطوح زیر کشت و ضعف برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد.

واژه‌کلیدی: بازده کاربرد، نسبت پایاب، نسبت نفوذ عمقی و یکنواختی توزیع آب

مقدمه

از محدودیت‌های اصلی تولید در شرایط نیمه خشک کشور، کمبود بارندگی و توزیع نامناسب زمانی آن است. در سالهای اخیر خشکسالی‌های پی‌درپی، شرایط ناپایداری را در تامین منابع آب و تولید در بخش کشاورزی ایجاد نموده است. بنابراین، ضرورت دارد با بهبود مدیریت آبیاری، حداکثر استفاده از منابع آب محدود موجود را به عمل آورد. برای نیل به مدیریت بهینه کاربرد آب، باید سیستم‌های موجود ارزیابی گردد. برای ارزیابی سیستم‌های آبیاری، از شاخص‌های بازده و یکنواختی توزیع آب در تمام سیستم‌های آبیاری استفاده می‌شود (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۹ و هاول، ۲۰۰۳).

یکنواختی توزیع آب، بویژه در آبیاری نواری در افزایش بازدهی آبیاری نقشی کلیدی دارد و وابسته به ابعاد هندسی نوار و میزان دبی وروی آب به نوار می‌باشد (لنکفورد، ۲۰۰۶ و رودریگوز و همکاران، ۲۰۰۴). تا کنون شاخص-های مختلفی برای تعیین بازده و یکنواختی توزیع آبیاری در مزرعه تعریف شده است (کانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

مطالعات گسترده‌ای که در زمینه بازده آبیاری در ایران و جهان صورت گرفته، نشان می‌دهد که شاخص‌های مختلف بازده آب در ایران پائین‌تر از ارقام متوسط جهانی است (عباسی و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج مطالعه طرح جامع بازده آبیاری کشور، گسترده‌ای که در زمینه بازده آبیاری در ایران و جهان صورت گرفته، نشان می‌دهد که شاخص‌های

---

[1]. آدرس نویسنده مسؤول: کرمانشاه، بلوار جام جم، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، کد پستی: ۶۷۱۵۸۴۳۳۳ صندوق پستی: ۱۶۶۱-۶۷۱۴۵

* دریافت: آبان، ۱۳۹۱ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۲

2. Management allowed defici
3. Soil moisture deficit

مختلف بازده آب در ایران پائین‌تر از ارقام متوسط جهانی است که در زمینه بازده آبیاری در ایران و جهان صورت گرفته، نشان می‌دهد که شاخص‌های مختلف بازده آب در ایران پائین‌تر از ارقام متوسط جهانی است (عباسی و همکاران ۲۰۰۰). نتایج مطالعه طرح جامع بازده آبیاری کشور، نشان داد که در ایران مقادیر بازده کل آبیاری در مزرعه با روشهای مختلف از ۲۱ تا ٦۰ درصد متغییر است (اسدی ۱۹۹۷). معیری و کاوه (۲۰۰۸) بازده آبیاری را بین ۲۵/۸ تا ٦۳/۵ درصد تعیین کردند و همچنین گزارش نموده‌اند که بازده کاربرد آب در اراضی یکپارچه بیش از اراضی غیریکپارچه است. سپاسخواه و قهرمان (۲۰۰٤) نشان دادند که بازده کاربرد آبیاری در ایران حدود ۵۰ درصد است. آنان عنوان نمودند که طراحی و مدیریت نادرست آبیاری سطحی منجر به بازده پایین در مزرعه گردیده که با اصلاح آن‌ها بازده قابل قبولی حتی تا ۷۰ درصد در مزرعه بدست می‌آید. در تحقیقی چن و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که تنظیم زمان قطع جریان و طراحی متناسب سیستم آبیاری نواری قادر است بازده یکنواختی آبیاری را از ٦۵/٤ درصد به ۸۷/۸ و بازده کاربرد را از ٦۵/۱ به ۸۷/۷ درصد ارتقاء دهد

در تحقیق دیگری چن و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که در مزارع کوچک، اصلاح ابعاد هندسی نوار در سیستم آبیاری نواری می‌تواند بازده کاربرد آبیاری را به میزان ۲٦/۷ درصد افزایش دهد. راوانشی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه ای نشان دادند که تصحیح مدیریت سیستم آبیاری نواری از طریق تنظیم زمان قطع جریان ورودی می‌تواند ضمن ارتقاء بازده کاربرد، مقادیر فرونشست عمقی و پایاب را به میزان ۱۸ درصد افزایش دهد. عباسی و همکاران (۲۰۰۰) مقادیر بازده کاربرد آبیاری نواری و کرتی را در کشت پنبه در دشت گرگان از ۱۷/۸ تا ٦۹/۷ درصد برآورد کرده و پائین بودن بازده کاربرد را به علت افزایش زمان پیش‌روی و همچنین نامناسب بودن زمان آبیاری دانستند. موسوی و همکاران (۱۹۹۸) با تعیین شاخص‌های بازده کاربرد، بازده یکنواختی توزیع، نسبت‌های پایاب و نفوذ عمقی، آبیاری نواری در مزارع گندم، یونجه و چغندر قند نشان دادند که ضعف مدیریت رایج آبیاری، عدم تناسب میزان آب ورودی با نیاز و عدم اطلاع از وضعیت رطوبتی خاک باعث تقلیل شاخص‌های بازده آبیاری گردید. تاکنون پژوهشی به منظور ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری سطحی رایج در استان لرستان یعنی آبیاری نواری صورت نپذیرفته، لذا این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد این سیستم آبیاری در محصولات عمده استان و ارائه راه‌کارهائی به منظور بهبود آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق که به مدت دو سال انجام شد، ۱٦ مزرعه آبیاری نواری به گونه ای که این نقاط از نظر مشخصات فیزیکی و هندسی زمین، نوع کشت، مدیریت مرسوم و منبع تامین آب متفاوت بوده و نمونه معرف هر منطقه باشند، در سطح استان انتخاب شد. این مزارع شامل ۵ مزرعه گندم، ٤ مزرعه یونجه، ٤ مزرعه لوبیا و ۳ مزرعه چغندر قند در مراحل مختلف رشد در مناطق خرم آباد، دورود، الشتر و چغلوندی که عمده مناطق کشاورزی آبی استان هستند، انتخاب گردید. سیستم آبیاری مزارع انتخابی عمدتا نواری است که این سیستم آبیاری غالب در استان است. مشخصات و محل این مزارع در جدول (۱) ارائه شده است. ویژگی‌های هندسی نوارهای انتخابی از قبیل طول، عرض و شیب نوارها تعیین شد. سپس با نمونه‌برداری از خاک در اعماق مختلف (بسته به مرحله رشد گیاه و عمق توسعه ریشه در اعماق ۰-۲۰، ۲۰-٤۰ و ٤۰-٦۰ سانتی‌متری) قبل از آبیاری ضمن تعیین رطوبت وزنی خاک برخی ویژگی‌های خاک نظیر بافت خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق توسعه ریشه تعیین گردید. در هر آبیاری، زمان آبیاری با کرونومتر و مقادیر آب ورودی و خروجی به نوار با پارشال فلوم اندازه‌گیری شد. ۲٤ تا ٤۸ ساعت پس از آبیاری نیز با نمونه گیری از خاک در اعماق مختلف (در اعماق ۰-۲۰، ۲۰-٤۰ و ٤۰-٦۰ سانتی‌متری) رطوبت وزنی خاک در شرایط ظرفیت

زراعی (FC) تا عمق توسعه ریشه تعیین شد تا مقدار آب ذخیره شده در هر آبیاری در عمق ریشه با رابطه ۱ تعیین گردد.

$$D=\frac{[(Pm_2-Pm_1)\times Bd]\times d}{100} \quad (۱)$$

که در آن: D: عمق آب ذخیره شده در خاک پس از آبیاری بر حسب سانتی‌متر، Pm_2: متوسط درصد رطوبت وزنی خاک در عمق ریشه بعد از آبیاری، Pm_1: متوسط درصد رطوبت وزنی خاک در عمق ریشه قبل از آبیاری، d: عمق توسعه ریشه بر حسب سانتی متر و Bd جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشند

این اندازه‌گیری‌ها درنقاط مختلف نوار انجام شد. وسایل انجام آزمایش‌های صحرائی شامل فلومهای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی آب به نوارها، استوانه مضاعف برای اندازه‌گیری نفوذ در نوارها، قوطی‌های نمونه برداری خاک، نمونه‌بردار دست نخورده، مته نمونه‌برداری، میخ چوبی و کرونومتر بود. برای تعیین شیب و ابعاد نوار و نیز زمان‌های پیش‌روی و پس‌روی آب در نوار با میخ چوبی نوارها به فواصل ۱۰ متری ایستگاه بندی شده و فرصت زمانی نفوذ در هر ایستگاه با کرونومتر تعیین شد. با داشتن اطلاعات فوق و استفاده از فرمول‌های زیرمقادیر شاخص‌های مختلف بازده آبیاری نظیر ضریب یکنواختی کریستیانسن (Cu)[1]، یکنواختی توزیع آب (DU)[2]، بازده کاربرد آب (Ea)[3]، نسبت پایاب (TWR)[4]، نسبت نفوذ عمقی (DPR)[5]، بازده کمبود یا مازاد (Ed/e)[6] بازده ذخیره (Es)[7] تعیین گردید (۱۳ و ۲۱).

$$Cu=\left[1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\left(di-\bar{d}\right)\right|}{n\bar{d}}\right]\times 100 \quad (۲)$$

$$Ea=\frac{V_s}{Vt}\times 100 \quad (۳)$$

$$Es=\frac{V_s}{V_{fc}}\times 100 \quad (٤)$$

$$DU=\frac{d_{min}}{\bar{d}}\times 100 \quad (۵)$$

$$E(d/e)=\frac{V_s}{(V_t-V_d)}\times 100 \quad (٦)$$

$$TWR=\frac{V_{TW}}{Vt}\times 100 \quad (۷)$$

$$DPR=\frac{V_{DP}}{Vt}\times 100 \quad (۸)$$

đ: میانگین عمق آب نفوذ کرده به نوار ، di:عمق آب نفوذ یافته در هر ایستگاه، d_{min}: میانگین یک چهارم حداقل عمق‌های آب نفوذ کرده در نوار، n : تعداد ایستگاه در هر نوار، V_t: حجم آب ورودی به نوار، V_s: متوسط حجم آب ذخیر شده در ناحیه ریشه پس از آبیاری، V_{fc}: کل حجم آب مورد نیاز تا رسیدن به ظرفیت زراعی در عمق ریشه، V_d: کمبود حجمی آب در ناحیه ریشه پس از آبیاری، V_{TW}: حجم آب پایاب یا رواناب، V_{DP}: حجم آب نفوذ عمقی یافته از ناحیه ریشه

با داشتن شاخص‌های فوق و مشخص کردن مقادیر کمبود رطوبت خاک (SMD)، کمبود مجاز رطوبت (MAD) (که معرف میزان تنش کم‌آبی یا کم‌آبیاری است) و عمق آب نفوذ یافته به نوار (d) عملکرد آبیاری نواری ارزیابی گردید. مقادیر SMD با نمونه برداری از خاک قبل از آبیاری در عمق توسعه ریشه و اندازه‌گیری درصد رطوبت وزنی، تعیین گردید و مقادیر MAD نیز با توجه به نوع کشت و مرحله رشد و عمق توسعه ریشه تعیین گردید. برای تحلیل نتایج این پژوهش در زمینه کفایت آبیاری شاخص‌هائی نظیر بازده کاربرد آب، بازده ذخیره، بازده کمبود یا مازاد و عمق آبیاری مورد مطالعه قرار گرفت.

در بررسی یکنواختی آبیاری با تحلیل شاخص‌هائی نظیر بازده یکنواختی، یکنواختی توزیع

---

1. Christiansen coefficient of uniformity
2. Uniformity of distribution
3. Application efficiency
4. Tail water ratio
5. Deep percolation ratio
6. Deficit/Exess efficiency
7. Storage efficiency

کریستیانسن و مطالعه منحنی های پیش‌روی و پس‌روی آب و فرصت نفوذ در نوار ارزیابی به عمل آمد. با تحلیل مقادیر MAD، SMD و d و شاخص‌های بازده کاربرد و بازده ذخیره، ارزیابی کم آبیاری اعمال شده، انجام شد. برای تحلیل نتایج بازده کلی آبیاری در داخل نوار در این تحقیق شاخص‌های بازده کاربرد، نسبت نفوذ عمقی و بازده یا نسبت پایاب مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

مقایسه مقادیر عمق آب نفوذ یافته (d) و SMD در شکل ۱ نشان می‌دهد که در ۸۲ درصد موارد کم آبیاری با شدت متفاوت صورت گرفته است به نحوی که در ۲۵ رصد موارد تنها نیمی از کمبود رطوبت خاک در ناحیه ریشه و در طول نوار با آبیاری جبران شده است. مقایسه ضرایب SMD با d نشانگر آن است که در مزارع لوبیا با تنش کم آبی مواجه نبوده و کم آبیاری نیز در آن‌ها صورت نپذیرفته است. ولی بقیه زراعت‌ها با تنش کم آبی مواجه بوده است.

مقایسه مقادیر SMD و MAD در شکل ۲ نشان می‌دهد که در مزارع گندم آبیاری تنشی صورت گرفته است، به نحوی که در مزرعه شماره ۲ آبیاری قبلی ۲۳ روز پیش بود و مقدار SMD تقریبا دو برابر MAD بود. این در حالی است که بیشتر این مزارع در مراحل حساس به کمبود آب یعنی مرحله گلدهی و خمیری شدن بودند. همچنین مزارع چغندرقند و یونجه نیز با روند مشابهی و با شدت بیشتری با تنش کم آبی مواجه بوده اند، ولی در همه مزارع لوبیا روند عکس وجود داشته است. یعنی همواره کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری کمتر از کمبود رطوبت مجاز برای این محصول بوده است. لذا این امر می‌تواند باعث افزایش بازده کاربرد آب در مزارع گندم، چغندر و یونجه و کاهش این شاخص در مزارع لوبیا شود (جدول ۲). البته این امر شرط کافی برای کفایت آبیاری نیست.

مقایسه مقادیر بازده کمبود یا مازاد آبیاری ($E_{d/e}$) (که برای ارزیابی کفایت آبیاری با قیاس با d و SMD شاخص مناسبی است)، درجدول (۲) نشان داد که حداکثر میزان این شاخص مربوط به مزرعه چغندرقند (شماره ۱۳) با $E_{d/e}$= ۱۰۰ است که مقادیر d و SMD نیز در آن تقریبا مساوی است. ابعاد این نوار۱۲/۵×۱۰۰ متر و شیب آن ۰/۹ درصد است. کمترین میزان این شاخص مربوط به مزارع لوبیا است که مقدار MAD در آنها از SMD بیشتر است.

بررسی مقادیر نسبت پایاب (TWR) در جدول (۲) نشانگر آن است که در اکثر موارد این نسبت پائین است. مقدار این نسبت بسته به ابعاد نوار، مقدار و دبی آب مصرفی، رطوبت خاک و نوع کشت متغییر است. مقدار این شاخص در مزرعه ۱۰ کمترین بودن بازده پایاب، طول و عرض کم و شیب زیاد نوار و SMD پائین بوده است. تقریبا در یک سوم مزارع مقدار پایاب صفر است و در یک سوم بقیه کمتر از ۵ درصد می‌باشد و بقیه بین ۵ تا ۱۰درصد بود.

نتایج بررسی شاخص نسبت نفوذ عمقی آب (DPR) نشان داد که در اغلب نوارها قسمت قابل توجهی از آب مصرفی در بخش های ابتدائی نوار به صورت نفوذ عمقی از دسترس ریشه گیاه خارج می‌شود. در بیش از یک سوم مزارع آزمایشی بیش از نیمی و در حدود دو سوم مزارع آزمایشی حداقل یک چهارم از آب مصرفی از این راه تلف می‌شود. یکی از دلایل مهم در افزایش این تلفات، زمانی است که مقدار SMD خیلی بیشتر یا خیلی کمتر از MAD باشد. هر عاملی که به یکنواختی توزیع آب در مزرعه کمک کند، در صورت متناسب بودن زمان آبیاری باعث کاهش نسبت DPR نیز خواهد شد. بیشترین مقدار این تلفات نیز مربوط به مزارع ۱۲ و ۱٤ است که بیش از ۸۰ درصد آب مصرفی از این کانال به هدر رفته است (جدول۲). دلیل این امر آن است که در این نوارها SMD بسیار پائین‌تر از MAD است و عملا آبیاری ۳ یا چهار روز یکبار انجام می‌شد. البته طول زیاد مزرعه ۱٤ نیز مزید بر علت بود. در مزارع یونجه نیز به طور میانگین یک سوم

آب مصرفی از این راه و در نیمه ابتدائی نوار از دسترس ریشه خارج می‌شد.

نتایج بازده کاربرد آب (Ea) نشان می‌دهد مقدار این شاخص در مزرعه ۵ حداقل می‌باشد (جدول۲). دلیل این امر آن است که در مزرعه ۵ ابعاد نوار بزرگتر است و به دلیل بالا بودن SMD شیب منحنی پیش‌روی افزایش یافته و در نتیجه به دلیل عدم یکنواختی توزیع قسمت عمده آب در نیمه ابتدائی مزرعه از دسترس ریشه به صورت نفوذ عمقی خارج میشود. مقدار بالاتر شاخص Ea معرف آن است که مقدار بیشتری از آب مصرفی در ناحیه ریشه ذخیره شده و هر چه گیاه با کم آبیاری و آبیاری تنشی مواجه باشد و نیز ابعاد کرت و دبی آب ورودی متناسب با آن انتخاب شود، مقدار این شاخص بیشتر خواهد بود. تحلیل نتایج بازده ذخیره (Es) نوارهای آزمایشی در جدول(۲) نشان می‌دهد که در اکثر موارد بیش از نیمی از آب مورد نیاز برای رسیدن به ظرفیت مزرعه تامین شده است. مقادیر این شاخص نیز بسته به ابعاد نوار، نوع محصول و همچنین ویژگی‌های خاک متفاوت است. در برخی مزارع هرچند تلفات آب به صورت فرونشت عمقی و رواناب بالاست، ولی مقدار Es پائین است. این نشانگر آن است که با وجود آنکه مقدار زیادی از آب مصرفی تلف می‌شود، ولی آبیاری کافی صورت نگرفته است.

در این تحقیق، به منظور ارزیابی یکنواختی توزیع آب، شاخص‌های بازده یکنواختی توزیع (DUa) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (Cu) اندازه‌گیری شد (جدول۲). مقادیر DUa بین ۱۰ تا ۹۸ درصد و مقادیر Cu بین ٦١ تا ۹۷/٦ درصد در مزارع اندازه‌گیری شده متغیر بود.

منحنی‌های پیش‌روی و پس‌روی آب نیز به منظور ارزیابی یکنواختی آبیاری و نفوذ آب در این تحقیق در نوارهای انتخابی اندازه‌گیری و ترسیم گردید (شکل ۳). این منحنی‌ها نیز روند توزیع آب را در داخل نوار به عنوان تابعی از مقادیر و دبی آب ورودی به نوار، ابعاد نوار و ویژگی‌های خاک نوار نظیر بافت و رطوبت اولیه خاک تحلیل می‌کنند. تفاضل زمان پیش‌روی و پس‌روی آب در هر ایستگاه معرف فرصت زمان نفوذ در نوار است. نتایج نمودارها نشان می‌دهد که مزارع کدهای ۱۰ و ۱۳ چغندرقند روند یکنواخت‌تری در توزیع و فرصت نفوذ آب در طول نوار داشته اند. دلیل این امر، انتخاب ابعاد مناسب و دبی آب ورودی متناسب با آن و همچنین بافت سنگین خاک در مزرعه ۱۳ و شیب نسبتا زیاد و رطوبت اولیه نسبتا بالاتر در خاک مزرعه ۱۰ و نوع خاص کشت در آن است که آب در طول نوار فقط در داخل جویچه هائی جریان می‌یابد است تا سطح خیس شده کاهش یابد، به گونه‌ای که این عوامل اثر طول نسبتا زیاد نوار و بافت سبک آن را جبران کرده است.

در مزارع کدهای ۷ و ۵ بیشترین غیریکنواختی ملاحظه می‌شود. در برخی مزارع شیب منحنی پیش‌روی زیاد است. دلیل این امر کمبود رطوبت خاک (SMD) زیاد در هنگام آبیاری و نیز کم بودن دبی آب ورودی به نوار است. در این موارد راندمان یا بازده ذخیره و کاربرد آب نیز کم شده و تلفات فرونشست عمقی آب زیاد می شود. البته به دلیل نظام خاص مالکیت و بهره برداری آب در منطقه راه حل دیگر می تواند آن باشد که ابعاد کرت‌ها را با طراحی صحیح آبیاری، متناسب در نظر گرفت. اگر آبیاری زمانی صورت پذیرد که کمبود رطوبت خاک نزدیک MAD باشد، زمان پس‌روی و منحنی مربوطه به فرم ایده‌آل نزدیک خواهد شد

بحث ونتیجه گیری

در بسیاری از مزارع آزمایشی گیاه تحت تنش کم‌آبی بوده، ولی در برخی مزارع آبیاری بیش از حد نیاز و پیش از موعد صورت پذیرفته است. در این پدیده، مقادیر و دبی آب ورودی، طول، عرض و شیب نوار و ویژگی‌های فیزیکی خاک و رطوبت اولیه آن مؤثر بوده است. بازده کاربرد آب و بازده ذخیره در برخی مزارع (مزارع ۳، ٤ و ۱) بسیار بالا است. با این حال، ممکن است آبیاری کامل نباشد. لذا، مقایسه SMD و عمق آب نفوذ یافته به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی کم آبیاری و مقایسه SMD با MAD به منظور ارزیابی آبیاری تنشی ضروری است. یکنواختی توزیع آب و تناسب اجزای هندسی سیستم آبیاری با آب مصرفی و محصول، حداکثر بازده کاربرد و ذخیره را به دنبال دارد (هوریگان، ۲۰۱۰). پرویزی (۲۰۰٦) ثابت نمود که با افزایش

یکنواختی، فرصت زمانی نفوذ در همه طول مزرعه یکنواخت‌تـر شده و با اعمال زمان مناسب آبیاری که متناسب با ظرفیت نگه داشـت و نفوذپذیری خاک تنظیم می‌شود، توزیع مناسـبتری از رطوبـت در عمق توسـعه ریشـه بوجود آمده و در نتیجه شاخص‌های بازده کاربرد و ذخیره نیز افزایش خواهد یافـت.

مقادیر نسبت‌های پایاب نشان دهنده آن است که در اغلب مزارع این نسبت کم است. در مواردی که این نسبت زیاد است، بهتر است طول نوارها را افزایش داد و یا فاصله زمانی دو آبیاری را زیاد کرد و در نوارهائی که شیب جانبی ناچیزی دارند، در صورت محدودیت طولی عرض نوار را بیشتر کرد. بعلاوه می توان از طریق تنظیم زمان قطع جریان ورودی این نسبت را کاهش داد. راوانشی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که از طریق تنظیم زمان قطع جریان ورودی می‌توان مقادیر نسبت پایاب را به میزان ۱۸ درصد کاهش دهد. مقدار نسبت نفوذ عمقی در اغلب مزارع زیاد است دلایل این امر، ابعاد نامناسب نوار و آبیاری زودتر یا دیرتر از موعد است. برای اجتناب از این نقیصه، بهتر است از طریق طراحی سیستم با تمهیداتی توزیع آب را در نوار یکنواخت نمود و یا با مدیریت آبیاری، مصرف آب در آستانه زمان نیاز یا کمی پس از آن انجام شود. سینای و جین (۲۰۰۵) نشان دادند که برنامه ریزی آبیاری و تعیین زمان مناسب در تقلیل فرونشست عمقی آب به میزان حدود ۵ درصد موثر است. ادراکی و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان دادند که طراحی ابعاد و هندسه مزرعه، متناسب با حجم آب ورودی، اثر معنی داری در کاهش تلفات عمقی دارد.

مقایسه مقادیر بازده کاربرد با Cu و DU در مزارع، مبین عدم تطابق مشخصات هندسی و مدیریتی سامانه آبیاری موجود، با مشخصات فنی که باید در طراحی این سامانه لحاظ شود، می‌باشد. در تحقیقی چن و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که طراحی متناسب سیستم آبیاری نواری قادر است بازده یکنواختی آبیاری را از ٦٥/٤ درصد به ۸۷/۸ و بازده کاربرد را از ٦٥/۱ به ۸۷/۷ درصد ارتقاء دهد.. طول نوارها دارای تغییرات زیادی است به این نحو که یا خیلی زیاد و یا خیلی کم در نظر گرفته شده و متناسب با دبی آب ورودی نیست. در خیلی از موارد کوتاهی طول نوار باعث کاهش زمان قطع جریان ورودی و طولانی بودن طول نوار باعث کاهش بازده یکنواختی توزیع و بازده ذخیره شده است. پرویزی (۲۰۰٦) نشان داد که هـر چـه شاخص‌های یکنواختی آبیاری بیشتر باشند دیگـر شـاخص‌هـای بـازده آبیاری بـالاتر رفتـه و به تبع آن هـدر رفـت آب از مسـیر جریان نفوذ عمقی کـاهش مـی یابـد. اسکاگس و سمانی (۲۰۰۵) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج تحقیق سپاسخواه (۲۰۰۵) نیز نشان داد که طراحی و مدیریت نادرست آبیاری سطحی منجر به بازده کاربرد پایین در مزرعه گردیده که با اصلاح آن، بازده قابل قبولی حتی بیش از ۷۰ درصد در مزرعه بدست می‌آید. همچنین سپاسخواه و قهرمان (۲۰۰٤) نشان دادند با روش هایی از قبیل تحویل حجمی آب آبیاری به مزرعه، آبیاری شبانه و اعمال کم آبیاری می توان به افزایش بازده کاربرد آبیاری کمک نمود

در کلیه مزارع لوبیا MAD بیش از SMD اسـت، ولی در مزارع چغندرقند روند عکس وجـود دارد. مـزارع گندم نیز مانند مزارع چغندر ولی با شدت کمتر مـی‌باشـد. این امر ناشی از ضعف مدیریت و برنامـه‌ریـزی آبیـاری و عدم آگاهی زارعین از وضعیت رطوبتی خاک و نیـاز آبـی گیاه و تشخیص زمان آبیاری و نیز عدم تناسب میـزان آب موجود با آب مورد نیاز از حیث مقدار و دبی برای سطوح کشت می‌باشد. در ادامه جهت بهبود کارائی سامانه آبیـاری نواری در مزارع استان موارد زیر توصیه می شود.

۱. استفاده از سیستم نـواری در آبیـاری چغندرقنـد کارائی خوبی داشته و بسته به نوع خـاک و انتخـاب ابعـاد مناسب بر اساس طراحی سیسـتم مـی‌تـوان نقـاط ضـعف سیستم را برای محصول چغندر قند برطـرف نمـود. البتـه می‌توان در ارتباط با تلفیـق آبیـاری نـواری و شـیاری نیـز مطالعه و تحقیق نمود. آبیاری لوبیا همواره پیش از موعد و

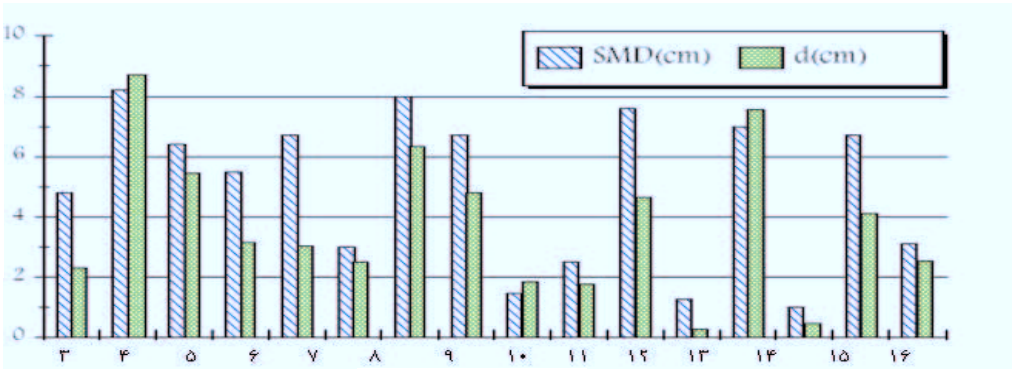
بدون در نظر گرفتن وضعیت رطوبتی خاک صورت می‌گیرد. پیشنهاد می‌شود در آبیاری لوبیا عمق آبیاری را کمتر در نظر گرفت.

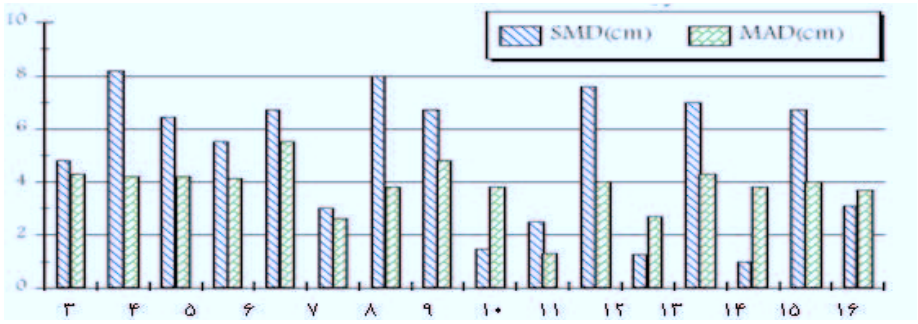
۲. راه عملی در بهبود شاخص‌های بازدهی، تنظیم متقابل مقدار جریان ورودی، طول نوار، فاصله مکانی و زمانی قطع آب از ابتدای نوار و آبیاری و رطوبت خاک قبل از آبیاری است. در مناطق سردسیری نظیر چغلوندی و الشتر از دور آبیاری کمتر و عمق کمتر آب آبیاری استفاده و در مناطق گرمتر و یا نقاطی که شیب کمتری دارند، از دور آبیاری و عمق آب مصرفی بیشتر در مدیریت آبیاری اعمال شود.

۳. بهتر است با ترویج اصول صحیح آبیاری در داخل مزرعه، زارعین را با مفاهیمی از قبیل نیاز آبی در مراحل رشد، اطلاع از وضعیت رطوبتی خاک و برنامه ریزی آبیاری را آموزش داد.

جدول ۱- محل و برخی مشخصات مزارع انتخابی

کد مزرعه	محصول	مرحله رشد	منطقه	طول نوار (m)	عرض نوار (m)	شیب طولی نوار (٪)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	بافت	نفوذ پذیری (mm/hr)	دبی ورودی (litt/sec)
۱	گندم	ساقه دهی	چغلوندی	۹۲	۷/۳	۱/۸	۱/۱	Si.C	۶۰	۱۷/۱
۲	گندم	کلدهی	الشتر	۱۸۵	۱۱/۱	۱/۲	۱/۰۸	Si.C	۶۲	۲۵/۵
۳	گندم	کلدهی	چغلوندی	۸۴	۶/۱	۱/۸	۱/۲۵	Si.C	۶۷	۱۰/۲۵
۴	گندم	خمیری	الشتر	۱۱۰	۶/۶	۱/۳۵	۱/۱۹	C.L.	۲۲۰	۱۵/۰۳
۵	گندم	خمیری	چغلوندی	۱۳۶	۱۹/۶	۱/۱۹	۱/۱۵	Clay	۸۰	۲۰/۳
۶	یونجه	جوانه	الشتر	۴۵	۴/۹	۱/۳۲	۱/۱۶	Si.C	۷۰	۵/۹
۷	یونجه	بعد از چین اول	الشتر	۱۵۰	۱۱	۱/۴۵	۱/۳۲	C.L.	۱۵۲	۳۵
۸	یونجه	کلدهی	خرم آباد	۱۰۰	۵	۱/۸	۱/۲	Si.C	۷۱	۱۲/۳
۱۵	یونجه	چین سوم	خرم آباد	۸۰	۱۵	۱/۸	۱/۳۱	C.L	۷۵	۲۶
۱۰	چغندرقند	۴-۶ برگی	دورود	۲۰۰	۷/۵	۲/۲	۱/۵	L.S	۱۱۰	۳۱
۱۱	چغندرقند	۶-۸ برگی	دورود	۲۶۸	۶	۱/۳۸	۱/۲۵	Clay	۸۹	۲۲
۱۳	چغندرقند	۸- ۱۰ برگی	الشتر	۱۰۰	۱۲/۵	۰/۹	۱/۰۵	Clay	۶۰	۳۰
۹	لوبیا	اوائل کلدهی	الشتر	۳۱۳	۶	۲	۱/۰۵	Clay	–	۲۸
۱۲	لوبیا	کلدهی	دورود	۷۳	۵	۲	۱/۳۵	Si.C.L	۱۰۸	۱۰
۱۴	لوبیا	تشکیل غلاف	الشتر	۱۹۰	۶/۵	۱/۱۷	۱/۲۲	Clay	–	۲۷
۱۶	لوبیا	بر شدن غلاف	فیروزآباد	۹۰	۵	۱/۹	۱/۱۵	Clay	۶۹	۲۴/۳



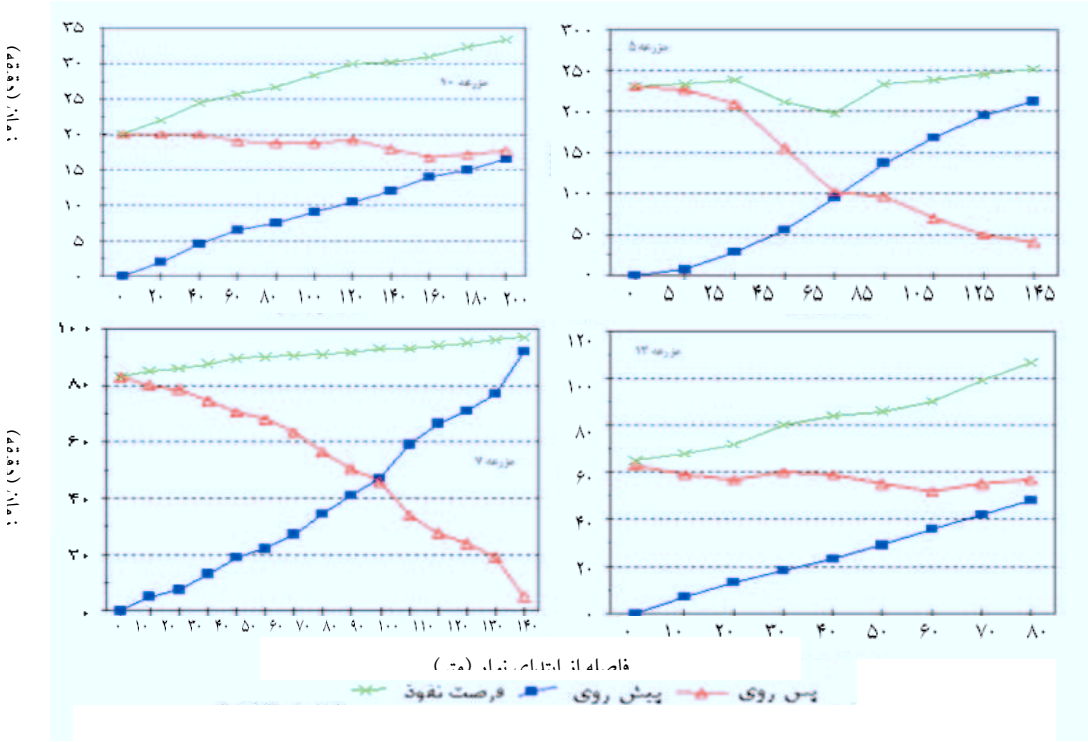


شکل ۲- مقایسه مقادیر کمبود رطوبت خاک (SMD) و کمبود رطوبت مجاز (MAD) در مزارع انتخابی

جدول ۲- ارقام شاخص‌های بازده آبیاری در مزارع انتخابی

کد مزرعه	TWR(%)	DPR(%)	E_s(%)	E_a(%)	DU(%)	Cu(%)	$E_{d/e}$(%)
۱	۵/۷	۵۸/۷	۵۶/۴	۳۵/۴	۸۳	۹۱/۲	۲۷/۵
۲	۳/۴	۲۴/۷	۱۰۰	۷۱/۸	۸۳/۶	---	۷۱/۸
۳	۹/۲	۱۵	۸۵	۷۵/۸	۷۱/۶	۸۲/۳	۶۶/۸
۴	۴/۷	۳/۳	۵۷/۶	۹۲	۶۷/۵	۹۱/۸	۵۴/۹
۵	۵/۴	۷۹	۴۵	۱۵/۶	۲۳/۷	۶۲/۳	۱۰/۵
۶	۱/۸	۵۷	۸۳/۷	۴۰/۸	۵۸/۶	---	۳۸/۱
۷	۰	۱۹/۲	۷۹/۲	۶۴/۷	۵۲/۵	۶۵/۳	۶۴/۸
۸	۴/۸	۳۰/۳	۷۱/۶	۶۵/۱	۸۶	۸۱/۴	۵۲/۸
۹	۰	۳۵/۸	۱۰۰	۶۴/۲	۷۵/۷	---	---
۱۰	۱۳/۴	۳۶/۸	۷۰/۴	۴۹/۸	۱۰	۹۲/۷	۳۳
۱۱	۰	۷۵/۱	۶۱	۲۴/۵	۶۳/۱	۶۱	۱۹/۷

۱۲	۰	۸۳/۵	۲۱/۶	۱۶/۵	۹۸	۹۷/۳	۱۰/۳
۱۳	۳/۹	۰/۶	۱۰۰	۹۵/۵	۸۹/۱	۸۲/۹	۱۰۰
۱۴	۷/۵	۸۲	۴۵	۱۰/۵	۹۰	---	۹/۳
۱۵	۰	۳۴/۴	۶۱/۲	۶۵/۶	۹۷/۵	۹۷/۶	۴۶/۳
۱۶	۴۲/۹	۸/۲	۸۱/۶	۴۸/۹	۵۸/۱	۹۶/۶	۴۳/۱



شکل ۳- منحنی‌های پیش‌روی، پس‌روی و فرصت زمانی نفوذ در طول نوار (دقیقه)

فهرست منابع:

1. Abbasi F., Kiani A., and Asadi M.A. 2000. Evaluation of application efficiency in different surface irrigation systems in Gorgan region. *Journal of agricultural engineering research*. 12:15-24. (In Farsi)
2. Asadi M.A. 1997. Evaluation of surface irrigation efficiency under farmer management. *2thNational congress of water and soil issues*. 30-40. .(In Farsi)
3. Chen B., Ouyang Z. and Zhang S. 2012. Evaluation of hydraulic process and performance of border irrigation with different regular bottom configurations. *Journal of Resources and Ecology*. 3(2): 151-160
4. Chen, B., Ouyang Z., Sun Z., Wu L., and Li F. 2012. Evaluation on the potential of improving border irrigation performance through border dimensions optimization: a case study on the irrigation districts along the lower Yellow River. *Irrigation Science*. DOI: 10.1007/s00271-012-0338-0
5. Edraki M., Humphreys E., O'Connell N. and Smith D.J. 2003. Determination of irrigation efficiency and deep drainage for irrigated maize with a shallow water table. Pp.542-563. CSIRO Land and Water, Griffith, Australia.Ghasemzadeh Mojaveri F. 1998. Irrigation system assessment in farms. Second edition. Astan Ghods Razavi Pub. (In Farsi)
6. Gupta S.K., Pandey R.N. and Batta R.K. 2009. Estimating water application efficiency in irrigation checks. *Irrigation Science*. 4:137-146.
7. Horrigan H. 2010. Irrigation efficiency training course report. Brisbane North Institute of TAFE, Austrailia.
8. Howell T.A. 2003. Encyclopedia of Water Science: Irrigation Efficiency. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.

9. Kang S.Z., Shi P., Pan Y.H., Liang Z.S., Hu X.T. and Zhang J. 2009. Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. *Irrigation Science*. 19(4):181-190
10. Lankford B. 2006. Localising irrigation efficiency. *Irrigation and Drainage*. 55(4): 345–362.
11. Rodríguez JA, Poyato EC, and López R, 2004. Application of data envelopment analysis to studies of irrigation efficiency in andalusia. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 130(3):175-183
12. Moaieri M.V. and Kaveh F. 2008. Analysis of surface irrigation efficiency in Dez irrigation network. *Journal of agricultural research engineering*. 9(3):9-110. (In Farsi).
13. Moosavi. S.F., Mostafazadeh B. and Absalan S. 1998. Evaluation of border Irrigation system efficiency in Kohgiloye and Boyer Ahmad. *Journal of agriculture and natural resource sciences and technology*. 2(4): 1-13. (In Farsi)
14. Parvizi Y. 2006. Assessing the relationship between soil moisture distribution, uniformity of distribution indices and soil physic-chemical properties of soil in different crops. *9th soil science congress*. Gilan University, Rasht. Iran, 212-210. (In Farsi).
15. Raghuwanshi, N., Saha, R., Mailapalli, D., and Upadhyaya, S. 2011. "Infiltration Evaluation Strategy for Border Irrigation Management. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 137(9):602–609.
16. Rodriguez J.A., Poyato E.C., and Lopez R., 2004. Application of data envelopment analysis to studies of irrigation efficiency in andalusia. J. Irrig. and Drain. Eng. 130(3): 175-183
17. Sepaskhah A.R. 2005. An overview of irrigation efficiency research in I.R. Iran. Scientific report. *Iranian Science Academy*. .(In Farsi)
18. Sepaskhah A.R. and Ghahraman B. 2004. The effects of irrigation efficiency and uniformity coefficient on relative yield and profit for deficit irrigation. *Biosystem Engineering*. 87: 495-507
19. Sinai G. and Jain P.K. 2005. Water management of irrigated-drained fields in the Jordan Valley south of Lake Kinneret. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*. 131(4):364-374.
20. Skaggs R.K. and Samani Z. 2005. Farm size, irrigation practices, and on-farm irrigation efficiency. *Irrigation and Drainage*. 54(1):43 –57.
21. Walker, W.R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Irrigation and drainage paper 45. Rome, FAO.