

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت ترویج

دستورالعمل تعیین بهره‌وری آب در مزارع

سرشناسه	: کیانی، علیرضا، ۱۳۴۲ -
عنوان و نام پدیدآور	: دستورالعمل بهره‌وری آب در مزارع/نویسنده علیرضا کیانی؛ تهیه شده در معاونت ترویج موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
مشخصات نشر	: کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت ترویج. نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۲۲ ص.: مصور (رنگی)، جدول.
شابک	: رایگان 9-294-520-964-978:
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: بهره‌وری آب
موضوع	: کشاورزی آبی
موضوع	: آب در کشاورزی
موضوع	: بهره‌وری آب -- ایران
موضوع	: آب در کشاورزی -- ایران
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت ترویج. نشر آموزش کشاورزی
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. معاونت ترویج
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ک ۵۶۵/۵ GB
رده بندی دیویی	: ۵۵۱/۴۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۱۴۴۳۴۰

ISBN: 978-964-520-294-9

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۲۹۴-۹



عنوان نشریه: دستورالعمل تعیین بهره‌وری آب در مزارع

نویسنده: علیرضا کیانی

ویراستار ترویجی: علیمراد سرافرازی

مدیر داخلی: شیوا پارسائیک

صفحه آرا: نادیا اکبری

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی - دفتر شبکه ملی تلویزیونی کشاورزی و مدیریت دانش

ناشر: نشر آموزش کشاورزی

شمارگان: ۱۵۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۵

قیمت: رایگان

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ۴۹۷۵۹ به تاریخ ۹۵/۴/۲۰ می‌باشد.

نشانی: تهران - بزرگراه شهید چمران - خیابان یمن، پلاک ۱ و ۲، معاونت ترویج
ص. پ. ۱۱۱۳-۱۹۳۹۵ تلفکس: ۲۱-۲۲۴۱۳۹۲۳

مخاطبان نشریه

کارشناسان و مروجان مسئول پهنه

اهداف آموزشی

آشنایی با روش‌های بهره‌وری آب در مزارع

فهرست

صفحه	عناوین
۱	مقدمه
۳	تعاریف
۳	بهره وری آب
۳	بهره وری فیزیکی آب (کیلوگرم در آب مصرفی)
۴	بهره‌وری اقتصادی آب (ریال در آب مصرفی)
۵	روش ساده محاسبه بهره‌وری آب
۵	برآورد بهره‌وری فیزیکی آب
۱۰	برآورد بهره‌وری اقتصادی آب
۱۲	برآورد بهره‌وری آب در الگوی کشت
۱۳	برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در الگوی کشت
۱۷	برآورد بهره‌وری اقتصادی آب در الگوی کشت

مقدمه

در مقایسه سیستم‌های آبیاری با یکدیگر و ارزیابی‌های مربوط به تاثیر مقدار آبیاری بر افزایش محصول بیشتر از واژه‌هایی مانند راندمان آبیاری، کارایی مصرف آب، بهره‌وری آب و یا امثال آن استفاده می‌شود که در این قسمت به تعریف هر کدام از این واژه‌ها پرداخته می‌شود.

به طور کلی هر گیاه را می‌توان به یک راکتور تشبیه کرد که انرژی خورشیدی را دریافت و آن را به ماده یا محصول تبدیل می‌کند. در این فرایند مقداری آب مصرف می‌شود که بخش زیادی از آن از ریشه وارد شده و پس از انجام وظایف خود که از جمله خنک کردن این راکتور می‌باشد از برگ‌ها خارج می‌شود. بخشی از آب نیز که نسبت به کل آب مصرفی بسیار اندک است، در داخل اندام‌های گیاهی و از جمله محصول تولیدی باقی می‌ماند. آنچه از دیدگاه یک متخصص آبیاری مطرح می‌باشد این است که در سیستم آبیاری که ورودی آن آب و خروجی آن محصول است چگونه درجه موثر بودن آب را

ارزیابی کند. راندمان یا کارائی، زمانی معنی پیدا می‌کند که نوع ورودی به یک سیستم و خروجی از آن از یک جنس باشند. در واقع در راندمان، مساله جابجایی یا انتقال یک ماده و همچنین تلفات آن طی انتقال مطرح است. مانند آنکه آب ورودی به یک کانال را در ابتدا و انتها اندازه‌گیری کنیم و در نهایت با تقسیم مقدار آب خروجی از کانال بر مقدار آب ورودی به کانال، راندمان یا بازده آن سیستم را در انتقال آب ارزیابی کنیم. بنابراین راندمان به زبان ساده نسبت خروجی به ورودی سیستم تعریف می‌شود. معمولاً خروجی همواره کمتر از ورودی و یا حداکثر مساوی آن خواهد بود و در نتیجه نسبت فوق کوچکتر از یک است. اما این امکان وجود دارد که خروجی و ورودی به یک سیستم از یک جنس نباشند. مانند گیاه که ورودی آن آب و خروجی آن محصول است. اگر انرژی خورشید در نظر گرفته نشود، آب مصرفی توسط گیاه به عنوان ورودی سیستم و محصول به عنوان خروجی سیستم بوده (گیاه آب را به محصول تبدیل می‌کند) که این دو از یک جنس نیستند.

از طرف دیگر زارع، آب را به طور مستقیم به گیاه نمی‌دهد بلکه آن را از محلی برداشت کرده و پس از انتقال به مزرعه زمین را آبیاری می‌کند و گیاه پس از دریافت آب از خاک، آب را به محصول تبدیل می‌کند. بنابراین در آبیاری و تبدیل آب به محصول، هم بحث انتقال آب مطرح است و هم بحث تبدیل آب به یک ماده دیگر و در نتیجه در توصیف درجه موثر بودن آب برای افزایش محصول باید این دو به صورت توأم در نظر گرفته شوند. از آنجا که این دو (آب و تولید) از یک جنس نمی‌باشند، به جای واژه راندمان از واژه بهره‌وری استفاده می‌شود.

تعاریف

بهره‌وری آب

تعریف خلاصه بهره‌وری آب، نسبت عملکرد به مقدار آب به کار برده شده برای گیاه است. در واقع بهره‌وری آب مشخص می‌کند که به ازای کاربرد مقدار مشخصی از آب چه مقدار ماده تولید می‌شود و این واژه دارای واحد کیلوگرم بر متر مکعب است. البته در بررسی و ارزیابی اثربخشی آب در تولید گیاه، علاوه بر مقدار ماده تولید شده باید به ارزش ماده تولیدی هم توجه شود. مثلاً درآمد حاصل از مصرف هر مترمکعب آب و یا مقدار پروتئین و کالری تولید شده به ازای مقدار مشخصی از آب نیز می‌توانند در ارزیابی‌ها مورد توجه قرار گیرند.

بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم در آب مصرفی)

ساده‌ترین روشی که در مزارع برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب یک گیاه می‌توان به کار برد، اندازه‌گیری سه عامل ۱- عملکرد ۲- مقدار آب آبیاری و ۳- مقدار بارش در طی فصل است.

$$WP_p = \frac{Y}{I+P} \quad (1)$$

WP بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم در متر مکعب، Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، I و P به ترتیب عمق آب آبیاری و باران بر حسب متر مکعب در هکتار است. مقدار آب آبیاری با استفاده از فلوم‌ها، کنتور حجمی و یا برآورد دبی چاه و مدت زمان آبیاری باید اندازه‌گیری شود.

بهره‌وری اقتصادی آب (ریال در آب مصرفی)

مفهوم بهره‌وری اقتصادی آب به صورت خیلی ساده این است که بهره‌بردار به ازای مقدار آبی که مصرف می‌کند چقدر درآمد کسب می‌کند. به عبارت دیگر تنها مقدار تولید نباید معیار ارزش آب مصرفی قرار گیرد، بلکه باید به ارزش گیاه علاوه بر مقدار فیزیکی آن نیز توجه کرد. با مصرف مقدار مشخصی از آب، تولید زعفران (ارزش خیلی زیاد) یقیناً بسیار کمتر از تولید سیب زمینی خواهد بود، یعنی بهره‌وری فیزیکی آب در زعفران به طور طبیعی کمتر از سیب زمینی است ولی نباید این عدد معیار تصمیم‌گیری شود چون ارزش زعفران بسیار بالاتر از سیب زمینی است. در نتیجه پیشنهاد می‌شود بعد از محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری اقتصادی آب نیز برآورد شود. البته این مورد هم خیلی سخت نیست. در صورت کسر بالا به جای تولید، مقدار ریالی خالص دریافتی (تفاوت ناشی از درآمد محصول و هزینه‌ها) جایگزین شود.

$$WP_e = \frac{I_N}{I+P} \quad (2)$$

در رابطه (۲) WP_e و I_N به ترتیب بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) و درآمد خالص که از تفاوت هزینه‌های انجام شده در طی فصل و درآمد ناشی از تولید به دست می‌آید (ریال).

روش ساده محاسبه بهره‌وری آب

برآورد بهره‌وری فیزیکی آب

ابزار مورد نیاز: یکی از وسایل اندازه‌گیری آب، کنتور، فلوم، سرریز، ظرف مدرج

اقدامات اولیه در هر آبیاری

- تعیین مساحت زمین تحت آبیاری
- تعیین دبی آب ورودی به مزرعه
- مدت زمان آبیاری یعنی تعیین شروع و قطع آبیاری
- ثبت مقدار باران در طی فصل رشد گیاه مورد نظر
- تعیین عملکرد گیاه
- ثبت تعداد آبیاری و مجموع آب فصلی

نکته: اندازه‌گیری موارد بالا منجر به برآورد بهره‌وری فیزیکی آب یک گیاه خواهد شد. اکثر موارد به سادگی قابل اندازه‌گیری هستند ولی برای اندازه‌گیری دبی، قدری نیاز به تامل دارد و کار پیچیده‌تر است، به طوری که اگر منبع آبی، چاه یا کانال آبیاری باشد روش‌ها متفاوت هستند. به طور کلی فرآیند برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در مزرعه در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱- یادداشت برداری برای محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب در مزرعه

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
گیاه	تاریخ آبیاری	مساحت زمین تحت آبیاری (هکتار)	دبی آب رده‌ای به مزرعه (لیتر در ثانیه)	زمان شروع آبیاری	زمان پایان آبیاری	حجم آب آبیاری (متر مکعب در مساحت مورد نظر)	حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)	مقدار باران (میلی‌متر)	مقدار باران (متر مکعب در هکتار)	صمگردد (کیلوگرم در مساحت تحت آبیاری)	صمگردد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم در متر مکعب)

برای سادگی مطالب، چگونگی تعیین حجم آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی به تفکیک مثال‌های زیر ارائه می‌شود.

مثال ۱- تعیین حجم آب کاربردی (مجموع آبیاری و باران)

کشاورزی ۲۰ هکتار زمین دارد و یک چاه آب که با دبی ۳۰ لیتر در ثانیه آب را وارد مزرعه می‌کند. در مزرعه مورد نظر گندم کشت شده است. کشاورز در هر آبیاری زمین را برای آبیاری قطعه‌بندی کرده است و همه آب چاه را به این قطعه هدایت می‌کند. در این مزرعه در طی فصل رشد چهار بار آبیاری در تاریخ‌های ۱۵ اسفند، ۱۵ فروردین، ۲ اردیبهشت و ۲۰ اردیبهشت انجام شده است. از زمان کاشت تا برداشت گندم در مجموع ۱۴۰ میلی‌متر باران باریده است. ابعاد بخشی از مزرعه که آبیاری می‌شوند به تفکیک هر

دستورالعمل تعیین بهره‌وری آب در مزارع

۷

آبیاری اندازه‌گیری شد. مراحل انجام داده‌برداری‌ها، مساحت زمین تحت آبیاری و محاسبات مربوطه بر اساس جدول ۱ در جدول ۲ خلاصه شده است.

جدول ۲- فرآیند تعیین مقدار آب کاربردی در مزرعه

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
گیاه	تاریخ‌های آبیاری	مساحت زمین تحت آبیاری (هکتار)	دبی آب ورودی به مزرعه (لیتر در ثانیه)	دبی آب ورودی به مزرعه (متر مکعب در روز)	زمان شروع آبیاری	زمان پایان آبیاری	حجم آب آبیاری (متر مکعب در مساحت مورد نظر)	حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)	مجموع مقدار باران (میلی‌متر)	مقدار باران موثر (میلی‌متر)	مقدار باران موثر (متر مکعب در هکتار)	مجموع باران و آبیاری (متر مکعب در هکتار)
گندم	۱۲/۱۵	۴	۲۵	۹۰	۶ صبح	۲۲ بعد از ظهر	۱۴۴۰	۳۶۰	۱۴۰	۱۱۲	۱۱۲۰	۳۲۵۰
	۱/۱۵	۳	۲۵	۹۰	۶ صبح	۲۰ صبح	۱۲۶۰	۴۲۰				
	۲/۲	۳	۲۵	۹۰	۱۰ صبح	۴ صبح فردا	۱۶۲۰	۵۴۰				
	۲/۲۰	۲	۲۵	۹۰	۱۰ صبح	۴ صبح فردا	۱۶۲۰	۸۱۰				

توضیح جدول ۲- برآورد گام به گام برای تعیین مقدار آب کاربردی در مزرعه

۱. مساحت زمین (ستون ۳) منظور همان بخشی از مزرعه است که در حال آبیاری است. به عبارت دیگر کشاورز ممکن است ۱۰ هکتار گندم کاشته باشد ولی همه زمین را

نمی‌تواند هم زمان آبیاری کند. او زمین را بسته به مقدار آبی که در اختیار دارد قطعه بندی می‌کند و به نوبت آبیاری را انجام می‌دهد.

۲. بهتر است دبی ورودی به واحد متر مکعب در ساعت تبدیل شود. برای این کار ستون ۴ که بر حسب لیتر بر ثانیه است را در عدد $3/6$ ضرب کنید تا اعداد ستون ۵ حاصل شوند. مثلاً در اولین آبیاری که دبی ورودی در حدود ۲۵ لیتر بر ثانیه است که در ستون ۴ نوشته شده است، به شرح زیر تبدیل به واحد متر مکعب بر ساعت شده که نتیجه در ستون ۵ نوشته می‌شود:

$$\text{مترمکعب در ساعت} = 90 = 3/6 \times \left(\frac{\text{لیتر}}{\text{ثانیه}} \right) 25$$

۳. در ستون‌های ۶ و ۷ زمان شروع و پایان آبیاری یادداشت می‌شود که از تفاوت آنها مدت زمان آبیاری در هر بار را مشخص نمایید.

۴. در ستون ۸ حجم آب مصرف شده در مساحت مورد نظر را از حاصل ضرب مدت زمان آبیاری (تفاوت ستون ۷ از ۶) در دبی ورودی (ستون ۵) به دست آورید. مثلاً برای آبیاری اول برآورد اعداد ستون ۸ را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$\text{مترمکعب در ۴ هکتار} = 16 \times 90 = 1440$$

۵. ستون ۹ حجم آب مصرف شده در هر هکتار: از حاصل تقسیم حجم آب مصرف شده در مرحله ۴ (یعنی ستون ۸) که مربوط به مساحت ۴ هکتار است به مساحت زمین تحت آبیاری (ستون ۳) به دست آورید. مثلاً در آبیاری اول برای هر هکتار در حدود ۳۶۰ متر مکعب آب مصرف شده است (۱۴۴۰ تقسیم بر ۴).

۶. در ستون ۱۰، مقدار کل بارش در طی فصل رشد گیاه را بر حسب میلی‌متر (همانگونه که هواشناسی اعلام می‌کند) یادداشت کنید.

۷. از آنجا که همه مقدار باران برای گیاه مؤثر نیست و بسته به شرایط، بخشی از آن مؤثر واقع می‌شود، برای کارهای عملی، ۸۰ درصد کل بارش را مؤثر در نظر بگیرید. بنابراین اعداد ستون ۱۱ برابر ۸۰ درصد مقدار اعداد ستون ۱۰ هستند.

۸. ستون ۱۲، هر میلی‌متر آب معادل ۱ لیتر در هر مترمربع است یا کاربردی‌تر معادل ۱۰ متر مکعب در هر هکتار است. در نتیجه اعداد ستون ۱۲ را به سادگی از حاصل ضرب اعداد ستون ۱۱ در عدد ۱۰ برآورد کنید (تبدیل به واحد مترمکعب در هر هکتار).

۹. برای به دست آوردن عدد ستون ۱۳ یعنی مقدار کل آب کاربردی برای گیاه در طی فصل، ابتدا مجموع آب آبیاری در تمام آبیاری‌ها را جمع کنید (در این مثال ۴ بار آبیاری انجام شده است که مجموع چهار آبیاری در ستون ۹ در حدود ۲۱۳۰ متر مکعب در هر هکتار به دست می‌آید) و سپس با باران مؤثر (ستون ۱۲) جمع کنید.

مثال ۲- برآورد بهره‌وری فیزیکی آب (مثالی از گندم)

در مثال قبلی اگر از هر هکتار به طور متوسط ۴ تن گندم برداشت شده باشد مقدار بهره‌وری فیزیکی آب مطابق رابطه ۱ برآورد شده و نتیجه در جدول ۳ خلاصه می‌شود.

جدول ۳- برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در گندم به استناد داده‌های مثال ۱

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
گیاه	تعداد آبیاری	حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)	حجم باران موثر (متر مکعب در هکتار)	حجم آب کاربردی (متر مکعب در هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	WP _p
گندم	۴	۲۱۳۰	۱۱۲۰	۳۲۵۰	۴۰۰۰	۱/۲۳

توضیح جدول ۳

اعداد ستون ۳ از مجموع چهار مرحله آب آبیاری که در مزرعه به کار رفته، به دست آمد (مثال ۱). ستون ۷ که همان بهره‌وری فیزیکی آب است بر اساس رابطه ۱ از تقسیم عملکرد گندم (ستون ۶) به مجموع آب کاربردی (ستون ۵) برآورد شد.

برآورد بهره‌وری اقتصادی آب

برای برآورد بهره‌وری اقتصادی آب همان‌طور که در فرمول ۲ ارائه شده است، مخرج کسر (مقدار آب کاربردی) مشابه بهره‌وری فیزیکی آب است. اما صورت کسر، نیاز به بررسی بیشتر دارد. در صورت کسر، درآمد خالص کشاورز محاسبه می‌شود. در درآمد خالص نیز نیاز است همه هزینه‌های انجام شده در طی فصل برای تولید گیاه برآورد و مقدار درآمد دریافتی ناشی از فروش محصول نیز محاسبه شده و تفاوت این دو نشان دهنده درآمد خالص است که باید در صورت کسر در رابطه ۲ جایگزین شود.

مثال ۳- برآورد بهره‌وری اقتصادی آب (مثالی از گندم)

فرض می‌کنیم که شرایط تولید و کشت و کار گندم مانند مزرعه مثال شماره ۱ باشد. یعنی در هر هکتار ۴۰۰۰ کیلوگرم گندم تولید می‌شود و مجموع آب آبیاری و باران در طی فصل هم برابر با ۳۲۵۰ متر مکعب در هر هکتار است. هزینه تولید گندم شامل: آماده سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت و هزینه زمین، معادل ۵۰۰ تومان به ازای هر کیلوگرم و قیمت گندم هم برابر ۱۱۰۰ تومان به ازای هر کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط بهره‌وری اقتصادی آب (WP_e) به شرح زیر در جدول شماره ۴ خلاصه می‌شود:

جدول ۴- برآورد بهره‌وری اقتصادی آب (مثالی از گندم)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
گندم	هزینه آماده سازی زمین (تومان در هکتار)	هزینه کاشت (تومان در هکتار)	هزینه داشت (تومان در هکتار)	هزینه برداشت (تومان در هکتار)	هزینه زمین (تومان در هکتار)	هزینه کل (تومان در هکتار)	اصلی‌گرم در هکتار (کیلوگرم در هکتار)	قیمت در کیلوگرم (تومان در کیلوگرم)	درآمد ناخالصی (تومان در هر هکتار)	درآمد خالصی (تومان در هر هکتار)	آب کاربردی (مترمکعب در هکتار)	بهره‌وری اقتصادی آب (تومان در هر مترمکعب)
۷۲۳	۱۴۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۲۶۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۰۵۰۰۰۰	۴۰۰۰	۱۱۰۰	۴۴۰۰۰۰۰	۲۳۵۰۰۰۰	۳۲۵۰	۷۲۳

توضیح جدول ۴ به صورت گام به گام برای برآورد بهره‌وری اقتصادی آب در گندم

۱. کل هزینه تولید به ازای هر هکتار (ستون ۷) شامل: هزینه‌های آماده سازی زمین (ستون ۲)، هزینه کاشت (ستون ۳)، هزینه داشت (ستون ۴)، هزینه برداشت (ستون ۵) و هزینه زمین (ستون ۶) برابر ۲۰۵۰۰۰۰ تومان می‌شود.

۲. درآمد ناخالص گندم (ستون ۱۰) به ازای هر هکتار را از حاصل ضرب عملکرد گندم در هکتار (ستون ۸) در قیمت گندم (ستون ۹) به دست آورید.
 ۳. درآمد خالص (I_N) را از تفاوت درآمد ناخالص (ستون ۱۰) از کل هزینه تولید (ستون ۷) به ازای هر هکتار به دست آورید.
 ۴. بهره‌وری اقتصادی آب (WP_e) را از حاصل تقسیم درآمد خالص (ستون ۱۱) به مقدار آب کاربردی (ستون ۱۲، مجموع آب آبیاری و باران) محاسبه کنید.
- نتیجه نهایی اینکه در گندم به ازای مصرف هر متر مکعب آب در حدود ۷۲۳ تومان درآمد حاصل می‌شود.

برآورد بهره‌وری آب در الگوی کشت

در قسمت‌های قبلی روش تعیین بهره‌وری آب توضیح داده شد و برای درک بهتر نیز یک مثال از یک گیاه آورده شد. اما در دشت‌ها و مناطق به صورت واقعی کارشناسان با تعدادی از گیاهان در الگوی کشت منتخب روبرو هستند. در این شرایط نیاز به بررسی جامع‌تر از کل گیاهان اعم از کل آب مصرفی برای دشت و الگوی کشت، کل تولید و همچنین سطح زیر کشت هر یک از گیاهان در الگوی کشت منطقه می‌باشد. برای محاسبه بهره‌وری آب در صورتی که بهره‌وری آب هر گیاه به صورت جداگانه مشخص باشد، از میانگین‌گیری ساده بین آن‌ها اجتناب شود. به دلیل تفاوت زیاد در سطح زیر کشت گیاهان، اثربخشی بهره‌وری گیاهانی که دارای سطح زیر کشت کم هستند ولی بهره‌وری بالایی هم داشته باشند در میانگین‌گیری بسیار اندک خواهد بود. در صورتی که بهره‌وری گیاهان

جداگانه مشخص نباشد، از نسبت مجموع تولید همه گیاهان در الگوی کشت به مجموع آب کاربردی برای همه گیاهان استفاده شود. در بخش‌های زیر نحوه برآورد بهره‌وری آب در الگوی کشت به صورت ساده همراه با یک مثال تشریح می‌شود.

برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در الگوی کشت

برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب به یکی از دو روش زیر عمل شود:

۱. در شرایطی که بهره‌وری آب گیاهان به تفکیک مشخص باشد، ابتدا مساحت هر یک از گیاهان را در الگوی کشت بر حسب درصد تعیین کنید. برای این کار مساحت هر گیاه در الگوی کشت را به کل مساحت الگوی کشت تقسیم کرده و در ۱۰۰ ضرب کنید. در مرحله بعدی بهره‌وری هر گیاه را در درصد مساحت آن ضرب کرده و سپس همه را جمع و در نهایت به ۱۰۰ تقسیم شود. عدد نهایی میانگین وزنی بهره‌وری فیزیکی در الگوی کشت است.
 ۲. در صورتی که بهره‌وری آب گیاهان مشخص نباشد، مجموع تولید همه گیاهان در الگوی کشت تعیین و سپس مجموع حجم آب کاربردی برای همه گیاهان را مشخص کنید. بهره‌وری فیزیکی آب را از حاصل تقسیم مجموع تولید در الگوی کشت (بر حسب کیلوگرم) به مقدار کل آب کاربردی (بر حسب مترمکعب) به دست آورید.
- برای روشن شدن مطلب مثالی با هفت گیاه در یک الگوی منتخب به شرح زیر آورده و نتایج برآورد در جدول ۵ خلاصه شده است.

مثال ۴- در منطقه‌ای ۷ نوع گیاه با سطوح مختلف کشت به شرح جدول ۵ قرار دارند. در این منطقه خواسته شده است که بهره‌وری فیزیکی آب در کل منطقه تعیین شود. برای

آشنایی خوانندگان محترم با نحوه عملی برآورد فیزیکی آب در یک الگوی کشت از دو روش اشاره شده در بالا استفاده می‌شود.

روش میانگین وزنی

همان‌طوری که قبلاً توضیح داده شد، در این روش فرض بر این است که بهره‌وری هر یک از گیاهان در الگوی کشت مشخص شده است و با استفاده از میانگین وزنی بین آن‌ها، بهره‌وری فیزیکی کل منطقه به دست می‌آید.

جدول ۵- نحوه برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در الگوی کشت با استفاده از میانگین وزنی

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
گیاه	مساحت زیر کشت (هکتار)	درصد مساحت	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	آب کاربردی (مترمکعب در هکتار)	بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم در مترمکعب)	وزن دادن بهره‌وری بر اساس مساحت	بهره‌وری نهایی در الگوی کشت (کیلوگرم در متر مکعب)
گندم	۱۶۰۰۰	۵۰/۴	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۷۵	۳۷/۸۳	۰/۷۳
کلزا	۲۰۰۰۰	۶/۳	۲۳۰۰	۳۰۰۰	۰/۷۷	۴/۸۳	
برنج	۶۰۰۰۰	۱۸/۹	۴۷۰۰	۱۱۲۰۰	۰/۴۲	۷/۹۴	
ذرت	۱۲۰۰	۰/۴	۶۴۰۰	۵۹۰۰	۱/۰۸	۰/۴۱	
پنبه	۱۵۰۰۰	۴/۷	۲۹۰۰	۸۰۰۰	۰/۳۶	۰/۷۱	
سویا	۵۵۰۰۰	۱۷/۳	۲۵۰۰	۷۰۰۰	۰/۳۶	۶/۱۹	
سیمب زمینی	۶۰۰۰	۱/۹	۴۸۰۰۰	۶۵۰۰	۷/۳۸	۱۳/۹۷	
جمع / میانگین	۳۱۷۲۰۰	۱۰۰			۱/۵۹	۷۲/۸۹	

توضیحات جدول ۵

۱- در ستون ۳ درصد مساحت زیر کشت هر یک از گیاهان را از تقسیم مساحت گیاه مورد نظر به مجموع مساحت الگوی کشت تعیین کنید. مثلاً مساحت گندم که ۱۶۰۰۰۰ هکتار است را به مجموع مساحت (آخرین ردیف در ستون ۳) یعنی ۳۱۷۲۰۰ هکتار تقسیم و در ۱۰۰ ضرب کنید، که ۵۰/۴ درصد به دست می‌آید.

۲- در ستون ۶ بهره‌وری فیزیکی آب را نیز برای هر گیاه همانند روش توضیح داده شده در قسمت‌های قبلی از حاصل تقسیم عملکرد (ستون ۴) به آب کاربردی (ستون ۵) به دست آورید.

۳- در ستون ۷ با توجه به مساحت هر گیاه در الگوی کشت، بهره‌وری فیزیکی که برای هر گیاه در ستون ۶ محاسبه کردید را وزن دهید. یعنی عدد ستون ۶ را در عدد ستون ۳ ضرب کنید.

۴- برای محاسبه بهره‌وری نهایی در الگوی کشت منطقه، اعداد ستون ۷ را جمع کرده (مجموع در ردیف انتهایی از ستون ۷ آورده شده است) و سپس به عدد ۱۰۰ تقسیم کنید. بنابراین در این الگوی کشت بهره‌وری نهایی گیاهان برابر ۰/۷۳ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب به دست آمد.

توجه: اگر از میانگین گیری ساده برای برآورد بهره‌وری نهایی منطقه استفاده می‌شد (یعنی میانگین مجموع اعداد ستون ۶)، بهره‌وری نهایی منطقه برابر ۱/۵۹ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب به دست می‌آمد که با واقعیت سازگاری ندارد.

روش تولید کل

در این روش که ساده‌تر از روش قبلی است، نیازی به برآورد بهره‌وری فیزیکی آب به صورت جداگانه برای گیاهان نیست. در این روش تولید کل گیاهان و مجموع آب به کار رفته برای این تولید مورد نظر است. اگر تولید کل گیاهان را بر حسب کیلوگرم به مجموع حجم آب به کار رفته در الگوی کشت برای کل گیاهان را بر حسب متر مکعب تقسیم کنید، بهره‌وری نهایی آب در الگوی کشت تعیین می‌شود. با توجه به مثال و اعداد جدول ۵، اطلاعات موجود و نحوه برآورد بهره‌وری نهایی فیزیکی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- نحوه برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در الگوی کشت با استفاده از تولید و

حجم کل آب مصرفی در الگوی کشت

۱	۲	۴	۵	۶
گیاه	مساحت زیر کشت (هکتار)	تولید (تن)	حجم آب کاربردی (مترمکعب در مساحت)	بهره‌وری نهایی فیزیکی آب (کیلوگرم در متر مکعب)
گندم	۱۶۰۰۰	۴۸۰۰۰	۶۴۰۰۰۰۰	۰/۶۹
کلزا	۲۰۰۰	۴۶۰۰	۶۰۰۰۰۰۰	
برنج	۶۰۰۰	۲۸۲۰۰	۶۷۲۰۰۰۰۰	
ذرت	۱۲۰۰	۷۶۸۰	۷۰۸۰۰۰۰	
پنبه	۱۵۰۰	۴۳۵۰۰	۱۲۰۰۰۰۰۰	
سویا	۵۵۰۰	۱۳۷۵۰۰	۳۸۵۰۰۰۰۰	
سیب زمینی	۶۰۰۰	۲۸۸۰۰۰	۳۹۰۰۰۰۰۰	
جمع	۳۱۷۲۰۰	۱۲۸۴۶۸۰	۱۹۲۳۰۸۰۰۰	

توضیحات جدول ۶

- ۱- اعداد ستون ۴ را از حاصل ضرب عملکرد در هکتار هر محصول (اعداد ستون ۴ در جدول ۵) در مساحت تحت کشت آن (ستون ۲) بر حسب تن به دست آورید.
- ۲- اعداد ستون ۵ را از حاصل ضرب آب کاربردی در هکتار یک محصول (ستون ۵ از جدول ۵) در مساحت همان محصول (ستون ۲) به دست آورید.
- ۳- بهره‌وری نهایی فیزیکی آب در ستون ۶ را از حاصل تقسیم مجموع تولید در الگوی کشت (ردیف انتهایی ستون ۴) که در ۱۰۰۰ ضرب شده است برای تبدیل به کیلوگرم به مجموع آب به کار رفته در الگوی کشت (ردیف انتهایی ستون ۵) برآورد کنید. تفاوت اعداد ۰/۶۹ در این روش با ۰/۷۳ در روش قبلی به خاطر گرد شدن اعداد است.

برآورد بهره‌وری اقتصادی آب در الگوی کشت

برای محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب در الگوی کشت برای همه محصولات ابتدا درآمد خالص و سپس آب کاربردی هم برای همه محصولات همانند روشی که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد برآورد می‌شود.

مثال ۵- برای الگوی کشت در مثال ۴ بهره‌وری‌وری نهایی اقتصادی آب را تعیین کنید.

جدول ۷- نحوه‌ی برآورد بهره‌وری اقتصادی آب در الگوی کشت

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
بهره‌وری نهایی اقتصادی (تومان در مترمکعب)	درآمد خالص (۱۰۰۰ تومان)	درآمد ناخالص (۱۰۰۰ تومان)	قیمت (تومان در کیلوگرم)	هزینه کل (۱۰۰۰ تومان)	هزینه (۱۰۰۰ تومان در هکتار)	حجم آب کاربردی (۱۰۰۰ مترمکعب در مساحت)	تولید (تن)	مساحت زیر کشت (هکتار)	گیاه
۶۶۸	۱۶۰۰۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰	۳۲۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰	۶۴۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	گندم
	۴۵۴۰۰۰۰۰	۸۷۴۰۰۰۰۰	۱۹۰۰	۴۲۰۰۰۰۰۰	۲۱۰۰	۶۰۰۰۰	۴۶۰۰۰	۲۰۰۰۰	کلزا
	۸۵۸۰۰۰۰۰۰	۱۱۲۸۰۰۰۰۰	۴۰۰۰	۲۷۰۰۰۰۰۰۰	۴۵۰۰	۶۷۲۰۰۰	۲۸۲۰۰۰	۶۰۰۰۰	برنج
	۳۵۲۸۰۰۰	۶۵۲۸۰۰۰	۸۵۰	۳۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰	۷۰۸۰	۷۶۸۰	۱۲۰۰	ذرت
	۶۷۷۰۰۰۰۰	۹۵۷۰۰۰۰۰	۲۲۰۰	۴۸۰۰۰۰۰۰	۳۲۰۰	۱۲۰۰۰۰	۴۳۵۰۰	۱۵۰۰۰	پنبه
	۱۰۱۷۵۰۰۰۰	۲۳۳۷۵۰۰۰۰	۱۷۰۰	۱۳۲۰۰۰۰۰۰	۲۴۰۰	۳۸۵۰۰۰	۱۳۷۵۰۰	۵۵۰۰۰	سویا
	۶۷۸۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۸۰۰۰۰۰۰	۳۵۰	۳۳۰۰۰۰۰۰۰	۵۵۰۰	۳۹۰۰۰	۲۸۸۰۰۰	۶۰۰۰	سیرب زمینی
	۱۲۸۴۱۷۸۰۰۰					۱۹۲۳۰۸۰	۱۲۸۴۶۸۰	۳۱۷۲۰۰	جمع

از حاصل تقسیم مجموع درآمد خالص همه گیاهان در الگوی کشت (بر حسب تومان) به مجموع آب کاربردی برای همه گیاهان (بر حسب مترمکعب) بهره‌وری نهایی اقتصادی آب (بر حسب تومان به ازای هر مترمکعب آب) در الگوی کشت منطقه به دست می‌آید. مثال زیر برای گیاهان بالا بهره‌وری اقتصادی آب در الگوی کشت فوق را برآورد و نتایج در جدول ۷ ارایه شده‌اند.

توضیحات جدول ۲

- ۱- به دلیل بزرگ بودن اعداد، در برخی از ستون‌ها اعداد به ۱۰۰۰ تقسیم شده‌اند. مثلاً در ستون ۴ مفهوم ۱۰۰۰ تومان در هکتار یعنی اینکه برای تبدیل اعداد زیر ستون آن به تومان باید در ۱۰۰۰ ضرب شوند و همین طور برای ستون‌های بعدی.
- ۲- نحوه برآورد درآمد ناخالص و خالص قبلاً برای گندم در جدول ۴ تشریح شده‌اند.
- ۳- برای برآورد نهایی بهره‌وری اقتصادی آب در الگوی کشت مجموع درآمد خالص تمام گیاهان (ردیف نهایی از ستون ۹) را به مجموع آب کاربردی برای تمام گیاهان (ردیف آخر از ستون ۴) تقسیم کنید. در نهایت نتیجه در ستون ۱۰ برای این الگوی کشت برابر با ۶۶۸ تومان درآمد خالص به ازای مصرف هر متر مکعب آب به دست آمد.

