نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و ششم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۵۵ تا ۱۶۶

بررسی امکان استفاده از گیاه آزولا انزلی و عدسک آبی در کاهش هدررفت آب از سطوح آزاد آب و به‌عنوان کود سبز در مزارع

آرمیتا معتمدی*، جهانگیر عابدی کوپایی و سید علیرضا گوهری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۲)

چکیده

کمبود آب برای آبیاری محصولات و ضعیف‌بودن مواد آلی خاک‌ها برای برداشت محصول با کیفیت، از جمله مشکلات عمده بخش کشاورزی است. این پژوهش با هدف استفاده از گیاهان آزولا و عدسک آبی به‌عنوان پوشش سطح آزاد آب انجام شد، زیرا این گیاهان نه تنها دارای پتانسیل کاهش تبخیر هستند، بلکه می‌توانند کود سبز نیز تولید کنند. از این‌رو، طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار (عدسک آبی، آزولا، ترکیب دو گیاه عدسک آبی و آزولا و شاهد) و ۳ تکرار اجرا شد. سطح مخازن با گیاهان نامبرده پوشش‌دار شد و تغییرات ارتفاع آب به صورت یک روز در میان و میزان مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) بافت گیاهان طی سه نوبت در ابتدا، اواسط و انتهای دوره اندازه‌گیری شد. درنهایت میزان هدررفت آب در تیمارهای حاوی گیاه عدسک آبی، آزولا و تیمار ترکیبی به‌ترتیب ۳۹، ۳۳/۲ و ۲۸/۷ درصد کمتر از شاهد بود. بیشترین میزان مواد مغذی بافت گیاهی نیز به‌ترتیب در تیمارهای عدسک آبی، ترکیبی و آزولا مشاهده شد. اگرچه میزان مواد مغذی در تیمار ترکیبی بیشتر از عدسک آبی نبود، اما زیست‌توده بیشتری تولید شد بدین معنا که می‌تواند کود بیشتری تولید کند. درنهایت با توجه به نتایج یاد شده، تیمار ترکیبی دو گیاه گزینه مناسب‌تری برای استفاده محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کاهش هدررفت آب، پوشش‌دار کردن سطح آب، کود سبز، گیاه آبزی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: armita.mtd@gmail.com

مقدمه

طی سال‌های اخیر سایه خشکسالی و بحران کم‌آبی روی توسعه کشاورزی ایران سایه افکنده است. گزارش شده است که در سال ۱۳۷۰، مقدار آب‌های تجدیدپذیر کشور ۱۳۰ میلیارد مترمکعب بوده ولی در ده سال اخیر این رقم به ۱۱۵ میلیارد متر مکعب و در ۵ سال اخیر به ۱۰۴ میلیارد متر مکعب رسیده است (۲۰). از طرفی، گزارش شده است که نزدیک به ۲۷۰ میلیارد مترمکعب از میزان بارش سالانه کشور، که به‌طور میانگین ۴۰۰ میلیارد مترمکعب در سال است، تبخیر می‌شود (۲۰). در مناطقی که آب آبیاری در طول سال به‌طور مداوم در دسترس نیست، استفاده از سدهای کوچک مورد توجه کشاورزان است. تلفات آب به صورت تبخیر از سطح این مخازن که یکی از منابع اصلی اتلاف آب است، ممکن است تأثیر بسزایی بر درآمد کشاورزان داشته باشد (۱۸). در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نیز، کاهش تبخیر از مخازن ذخیره آب در مزارع یک راهکار عملی برای حفظ منابع آب می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده مشخص می‌شود که فشار بر منابع آب آغاز شده و بایستی فشار بیشتری را نیز در آینده تحمل نماید. با وجود شرایط تنش آبی برای فراهم‌آوردن امنیت غذایی، به دلیل دشواری افزایش سطح زیر کشت، حداکثر تلاش بایستی روی افزایش تولید در واحد سطح معطوف شود. بنابراین، توجه به توان حاصلخیزی خاک‌ها و چگونگی ارتقاء آن برای دستیابی به تولید پایدار، امنیت غذایی و حفظ محیط زیست از اهمیت فراوانی برخوردار است. در میان عوامل مؤثر در حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، کود همچنان مهم‌ترین عامل حاصلخیز کننده خاک در جهان بوده و مصرف بهینه کود و تغذیه متعادل گیاه از دغدغه‌های اصلی بخش کشاورزی است. با استفاده چشمگیر از کودها و سموم شیمیایی، اثرات نامطلوب آنها در تعادل محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی، بسیاری از دانشمندان محیط‌زیست را در مورد وضعیت آینده جهان نگران کرده است. اثرات نامطلوب کودها و آفت‌کش‌ها بر محیط زیست منجر به توجه بیشتر و استفاده از روش‌هایی شده که در آن نیازی به مصرف مواد شیمیایی نبوده یا کم باشد. یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به این هدف، کود سبز است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد. حال اگر بتوان روشی را در پیش گرفت که علاوه بر کاهش میزان هدررفت آب از سطوح مخازن کشاورزی، نیاز به کود سبز را نیز برطرف کند، دو مورد از مشکلات عمده این بخش تا حدودی مرتفع می‌شود.

امروزه بسیاری از گیاهان به‌ویژه گیاهان آبزی، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند که علت اصلی، قابلیت تطبیق و امکان تکثیر آنها برای اهداف گوناگون در اقلیم‌های مختلف می‌باشد. این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آب یک عامل محدود کننده به‌شمار می‌رود بسیار مهم است (۱). استفاده از گیاهان شناور بر روی آب که نیاز به ریشه‌دوانی در بستر را نداشته و به راحتی در حوضچه‌های ذخیره آب کشاورزی با سرعت زیاد تکثیر می‌شوند از جمله روش‌های تصفیه پساب به روش بیولوژیک و در برخی موارد کاهش دهنده هدررفت آب از سطوح آزاد بوده و دارای پتانسیل استفاده به‌عنوان کود سبز است. همچنین، به‌عنوان روشی با کمترین مخاطرات زیست محیطی شناخته می‌شود (۱۳).

یکی از گیاهانی که در قرن حاضر بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته و لقب امیدبخش‌ترین گیاه قرن ۲۱ را به آن نسبت داده‌اند، گیاه آبزی عدسک آبی ست. در طی یک مطالعه، میزان تبخیر و تعرق ۱۴ گیاه مختلف در حوضچه‌ها محاسبه شد و مشاهده شد که گیاه عدسک آبی می‌تواند تبخیر از سطح آزاد را از ۴/۵ به ۴/۱ میلی‌متر کاهش دهد (۹). در پژوهشی در فلوریدا مشخص شد که مقدار میانگین تبخیر سالانه در مخزنی با پوشش عدسک آبی، نسبت به سطح کنترل، ۱۰ درصد کاهش یافت. پژوهشگران بیان کرده‌اند که میزان تبخیر در تانک هایی که حاوی گیاه عدسک آبی بوده است حتی با افزایش تراکم گیاه و افزایش سرعت باد، ثابت ماند (۹). در بنگلادش از عدسک آبی به‌عنوان کود نیتروژن‌دار به صورت مکمل در مزارع برنج استفاده می‌شود که منجر به افزایش ارتفاع گیاه، رشد قسمت

علفی و همچنین دانه محصول و نیز افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم هم در گیاه برنج و هم در خاک منطقه می‌شود (۳). هاروی و فاکس (۱۶) طی پژوهش‌های خود برای تعیین میزان حذف مواد مغذی به وسیله عدسک آبی مشاهده کردند که این گیاه قادر است مقادیر قابل توجهی از فسفر و نیتروژن را طی رشد در پساب، حذف کند و در بافت آن تا ۵ درصد نیتروژن و ۱ درصد فسفر یافت شد. همچنین مشاهده شد که در شرایط آزمایشگاهی مساحت تحت پوشش این گیاه هر ۴ روز یک بار، دو برابر می‌شود. همچنین، در این پژوهش از عدسک آبی به‌عنوان گیاهی با صرفه‌ی اقتصادی برای کشت و برداشت یاد شد. در یکی دیگر از جدیدترین پژوهش‌های انجام شده در سال ۲۰۱۹ در دانشگاه سنت‌پیترزبورگ، پتروو و همکاران (۲۹) به این نتیجه دست یافتند که گیاه عدسک آبی به‌عنوان یک کود نیتروژن‌دار مناسب قابل استفاده است.

یکی دیگر از گیاهانی که دارای کاربردهای بسیاری است، گیاه آزولاست. از جمله مزایای این گیاه می‌توان به این موارد اشاره کرد: عامل کنترل بیولوژیک در برابر حشرات، کاهش تبخیر از سطوح آب، استفاده به‌عنوان کود سبز در مزارع برنج، خوراک مناسب تغذیه دام و طیور، گیاه مناسب برای سوخت زیستی و همچنین تصفیه پساب‌های شهری (حذف نیترات، فسفات و بهبود دیگر پارامترها) و پساب‌های صنعتی (حذف فلزات سنگین) (۱۲). در مطالعه‌ای که در آرژانتین انجام شد، تبخیر از سطح بدون پوشش ۷/۴ میلی‌متر بر روز و سطح با پوشش آزولا ۷/۱ میلی‌متر بر روز اندازه‌گیری شد که این امر نشان‌دهنده توانایی این گیاه برای کاهش تبخیر است (۲۱). در مطالعه‌ای که دیارا و ون هوو (۱۰) انجام دادند، ادعا کردند که سطحی با پوشش آزولا پیناتا (*Azolla pinnata*) به صورت سالانه در هر هکتار می‌تواند از هدررفت ۳۱۰۲ مترمکعب آب جلوگیری کند. از آزولا به‌عنوان کود سبز نیز استفاده می‌شود و بیشترین مصرف آن به‌عنوان کود سبز در مزارع است. پژوهش‌ها در چین نشان داده که کاربرد آزولا در مزارع برنج به‌طور میانگین سبب افزایش عملکرد به میزان ۶۰۰ تا ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار شده است. در پژوهشی دیگر، استفاده از آزولا به‌عنوان کود سبز عملکرد گیاه برنج را به میزان ۴۷ درصد که معادل ۱ تا ۱/۵ تن در هکتار است افزایش داده است، همچنین در مطالعات نشان داده شده است که آزولا می‌تواند تمام نیتروژن مورد نیاز برنج را در کشت مخلوط این دو گیاه تأمین نماید (۲۵). وگنر (۳۱) به این نتیجه دست یافت که آزولا قادر است حجم زیادی نیتروژن را تثبیت کند درحالی‌که به وجود خاک وابسته نیست، چنین ویژگی در محل‌هایی دارای خاک فقیر هستند بسیار با اهمیت است.

اهداف این پژوهش بررسی توانایی این گیاهان به صورت جداگانه و ترکیبی در کاهش تبخیر از سطوح آبی روباز و ارزیابی امکان استفاده از آنها به‌عنوان کود سبز است.

در سراسر جهان پژوهش‌های زیادی بر روی دو گونه گیاهی آزولا و عدسک آبی صورت گرفته و عملکرد آنها ازجهت‌های گوناگون بررسی شده است. مواردی که این پژوهش را از دیگر پژوهش‌ها متمایز می‌کند استفاده توأم از هر دو گیاه در قالب تیمار ترکیبی می‌باشد، همچنین در ایران عملکرد دو گونه برای کاهش تبخیر بررسی نشده و مقایسه‌ای به عمل نیامده است.

مواد و روش‌ها

۱- آزمایش‌های مزرعه‌ای

طرح در باغ مجاور پژوهشکده دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه و ۳۲ ثانیه و با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۵ ثانیه انجام شد. محل دقیق اجرای طرح در شکل ۱ قابل مشاهده است.

در اجرای این طرح از ۱۲ مخزن پلاستیکی استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است. مخازن ابتدا تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری برش پلاستیک داده شده، سپس چندین بار شستشو داده شد و به وسیله کامیونت به محل اجرای طرح انتقال یافت. هر مخزن تا ارتفاع مشخص از پساب ثانویه

شکل ۱. نقشه هوایی از محل اجرای طرح

جدول ۱. مشخصات مخازن مورد استفاده

عمق (متر)	قطر (متر)	سطح مقطع (متر مربع)	حجم (لیتر)
۰/۸	۰/۵۸	۰/۲۶	۲۲۰

لاگون‌های ذخیره پساب شهری دانشگاه صنعتی اصفهان پر شد. علت استفاده از پساب ثانویه شهری، عملکرد بهتر گیاهان در این نوع آب با توجه به مطالعات پیشین است (۷ و ۲۷). همچنین به‌منظور اندازه‌گیری ارتفاع پساب، مخازن مدرج شد. دو گیاه عدسک آبی و آزولا انزلی به‌ترتیب از محل پرورش ماهی در منطقه اشکاوند اصفهان و گلخانه گروه بیوتکنولوژی دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده در سراسر دنیا و اثبات عملکرد گیاه عدسک آبی، این‌گونه به دلایل عملکرد مناسب در پساب ثانویه شهری، پتانسیل کاهش تبخیر و قابلیت استفاده به‌عنوان کود سبز انتخاب شد (۹، ۲۰ و ۲۶). گونه آزولا انزلی نیز به دلیل ناشناخته بودن عملکرد این گونه برای اولین بار انتخاب شد. گیاهان موردنظر (آزولا و عدسک آبی) بر روی سطح آب قرار گرفتند به‌طوری‌که حدود ۸۰ درصد از سطح آب را پوشش بدهند تا هم پوشش مناسب به‌منظور تصفیه و کاهش تبخیر داشته باشیم و هم از ایجاد شرایط یوتریفیکاسیون و رشد جلبک‌ها جلوگیری شود. شایان ذکر است که نحوه قرارگیری گیاهان در تیمار ترکیبی از دو گیاه، ۵۰ درصد از هر یک از گیاهان بود. در این پژوهش از سیستم بسته استفاده شد. بدین معنی که فاضلاب مورد استفاده در مخزن ریخته شده، گیاهان جایگذاری شد و نمونه‌ها تحت عمق خاص و یکسانی از مخازن برداشته شد (بدون خروجی). آزمایش به مدت یک ماه از ابتدا تا انتهای مردادماه ۱۳۹۹ انجام شد، نمونه‌گیری ارتفاع مخازن به صورت یک روز درمیان و اندازه گیری مواد مغذی گیاهان نیز در سه نوبت (ابتدا، اواسط و انتهای دوره) انجام شد. خلاصه‌ای از پارامترهای هواشناسی در طول مدت داده برداری در جدول ۲ ارائه شده است.

۲- طرح آماری

پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (تیمار آزولا، عدسک آبی، ترکیب دو گیاه و شاهد هرکدام با ۳ تکرار) انجام شد. شماتیک قرارگیری تیمارها در شکل ۲ قابل

جدول ۲. مشخصات اقلیمی ایستگاه خمینی شهر در طول دوره آماری مورد مطالعه

پارامترهای هواشناسی	میانگین
بیشینه دمای روزانه (درجه سلسیوس)	۴۰
کمینه دمای روزانه (درجه سلسیوس)	۱۸/۶
دمای روزانه (درجه سلسیوس)	۲۹/۷
رطوبت نسبی (درصد)	۱۷/۵۶
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱/۵۲

مشاهده است. پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی، اطلاعات با استفاده از نرم افزار SPSS (26) مورد بررسی قرار گرفتند. پس از وارد کردن طرح آماری، آزمون نرمال-بودن باقی مانده داده‌ها انجام و سپس تجزیه واریانس انجام شد. مقایسات میانگین با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی دار (LSD) صورت گرفت.

نتایج و بحث

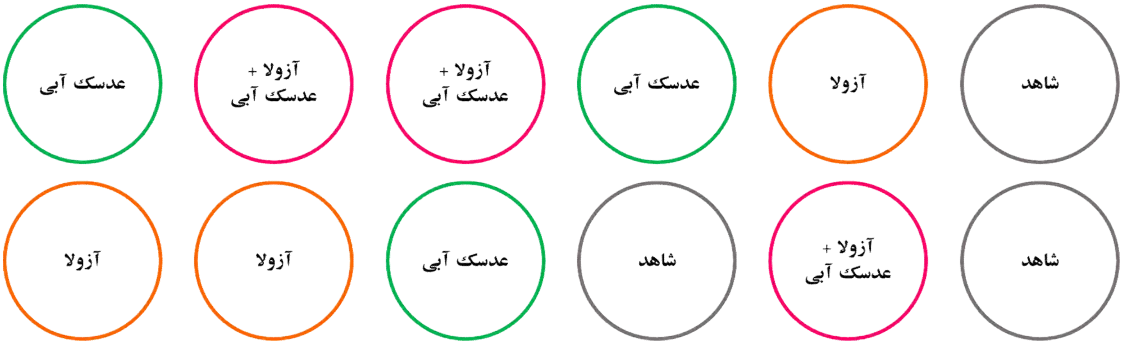
بررسی میزان هدررفت آب

نرمال‌بودن باقی‌مانده داده‌ها با آزمون کلموگروف- اسمیرنوف بررسی و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شد. پس از اطمینان از نرمال‌بودن باقی‌مانده داده‌ها، آزمون تجزیه واریانس انجام شد (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول ۴ و معنی‌دار بودن اثر تیمار بر کاهش میزان هدررفت آب، آزمون مقایسه میانگین حداقل اختلاف معنی دار (LSD) انجام شد. براساس آزمون مقایسه میانگین LSD، تیمارهایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار، ندارند (شکل ۳).

مقدار تبخیر روزانه در مرداد ماه ۹۹ از مخزن شاهد ۴/۸ میلی‌متر بوده است. هدررفت آب از مخازن حاوی آزولا، عدسک آبی و تیمار ترکیبی به‌ترتیب ۳/۴، ۲/۹ و ۳/۲ میلی‌متر و نشان‌دهنده توانایی این گیاهان در کاهش هدررفت آب است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هر سه تیمار حاوی گیاه، قادر به کاهش هدررفت آب از سطح آزاد هستند. براساس نتایج تحلیل واریانس داده‌ها در جدول ۴ مشخص شد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P<0.01$). نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین در تیمارهای مختلف در شکل (۳) نشان می‌دهد که کاهش هدررفت آب در تیمارهای مختلف نسبت به یکدیگر معنی دار بوده، همچنین، بیانگر این است که در طول مدت داده‌برداری تیمار شاهد بیشترین مقدار تبخیر را داشته است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشترین میزان تأثیر در کاهش هدررفت آب، مربوط به پوشش عدسک آبی می باشد. کاهش تجمعی ستون آب در طول یک ماه اندازه‌گیری برای تیمارهای شاهد، آزولا، عدسک آبی و آزولا + عدسک آبی به‌ترتیب ۱۴۴/۸، ۱۰۳/۲، ۸۸/۱ و ۹۶/۷ میلی‌متر بوده است. تیمارهای نام‌برده به‌ترتیب هدررفت آب را به میزان ۲۸/۷، ۳۹ و ۳۳/۲ درصد نسبت به شاهد، کاهش دادند.

عملکرد این دو گونه در کاهش هدررفت آب در چند مطالعه بررسی شده است که تأیید کننده نتایج این آزمایش است. دبوسک و همکاران (۹) میزان هدررفت آب از مخزن شاهد را ۱۳۵ میلی‌متر در ماه گزارش کرده اند، درحالی‌که این



شکل ۲. نحوه چیدمان مخازن در قالب طرح کاملاً تصادفی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

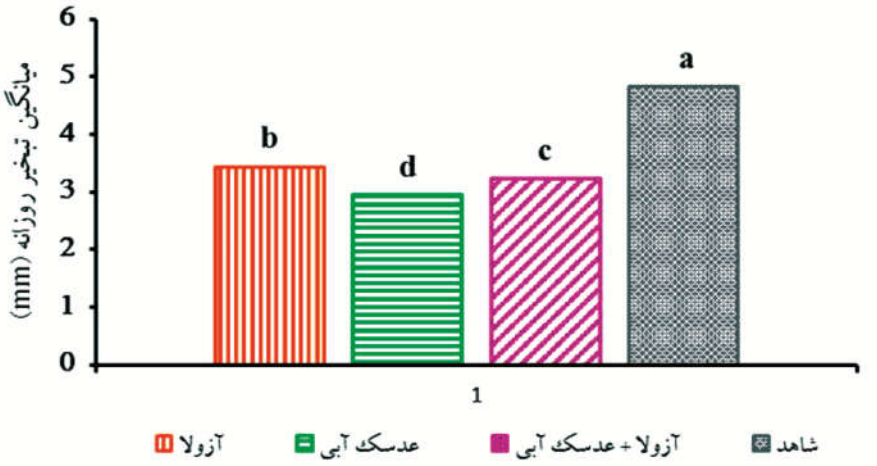
جدول ۳. آزمون نرمال‌بودن باقیمانده داده‌ها

آزمون کلموگراف- اسمیرنوف	
آستانه احتمال	آماره
۰/۰۹۳	۰/۱۵

جدول ۴. تجزیه واریانس

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
تیمار	۳	۲/۱۰**
خطای اصلی	۸	۰/۰۱
خطای کل	۱۱	
ضریب تغییرات (٪)	۲۰/۲۸	

**: در سطح ۱٪ معنی‌دار است.



شکل ۳. نمودار میانگین تبخیر روزانه در تیمارهای مختلف (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مقدار برای مخزن حاوی عدسک آبی تنها ۱۲۰ میلی‌متر بوده است، همچنین آنها نشان دادند که عملکرد گیاه عدسک آبی در کاهش تبخیر در روزهای گرم سال بیشتر است. در پژوهشی دیگر برروی گیاه آزولا هدر رفت آب از مخزن شاهد ۲۲۲ میلی متر و در مخزن حاوی آزولا ۲۱۳ میلی‌متر بوده است (۲۱). میزان کاهش ستون آب در مخزن حاوی آزولا + عدسک آبی تاکنون در هیچ پژوهشی بررسی نشده است.

بررسی مقدار نیتروژن و فسفر در جرم خشک گیاه

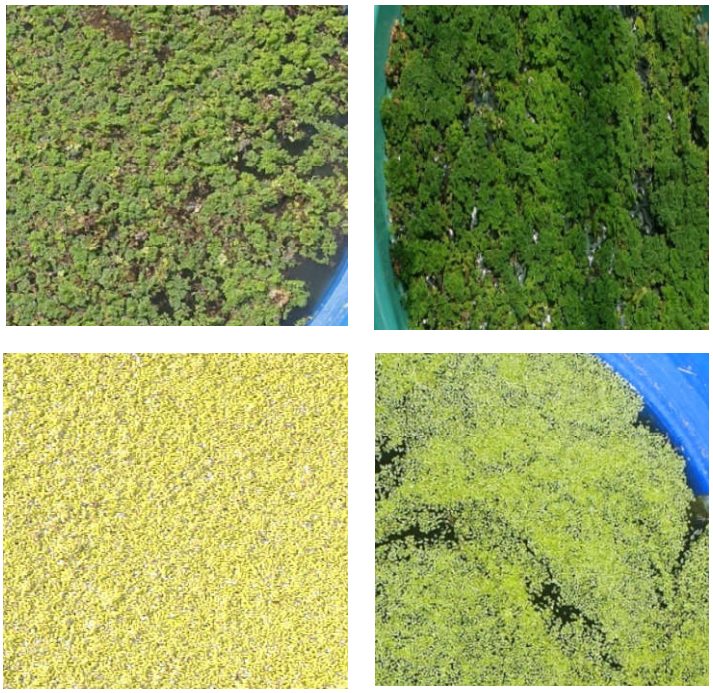
میزان نیتروژن و فسفر در جرم خشک نمونه های گیاهی به صورت جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول ۵، می توان دریافت که میزان مواد مغذی در همه تیمارها قابل توجه بوده است و مقدار این مواد از بیشترین تا کمترین به‌ترتیب در تیمار عدسک آبی، ترکیبی و آزولا یافت شد. نکته دیگر تغییرات غلظت این مواد طی زمان است. در اواسط دوره بیشترین و در اواخر دوره کمترین میزان، اندازه‌گیری شده که در ادامه به دلایل آن می‌پردازیم. میزان زیست‌توده تولیدی توسط گیاهان اندازه گیری نشد اما مشاهده گردید که تیمار ترکیبی به نسبت دو تیمار دیگر رشد به مراتب بیشتر و چشم‌گیری داشت.

۱- میزان قابل توجه مواد مغذی در بافت گیاهان عدسک آبی و آزولا : طبق پژوهش‌های انجام شده میزان نیتروژن در بافت خشک گیاهی آزولا معادل حدودی ۵-۴ ٪ وزن آن و در بافت خشک نشده معادل ۰/۴-۰/۲ وزن می‌باشد (۲۴). به صورت کلی، آزولا سرشار از مواد معدنی است (۵). این گیاه غنی از کلسیم، فسفر، پتاسیم، مس، منگنز و روی بوده و مقدار تقریبی فسفر ۰/۳ تا ۱/۳ درصد وزن خشک آن گزارش شده است (۲). هاروی و همکاران (۱۶) پس از قراردادن عدسک آبی در پساب ثانویه به مدت یک ماه و سپس اندازه‌گیری میزان نیتروژن و فسفر در بافت گیاهی، پی بردند که درحدود ۱۰۱ کیلوگرم نیتروژن و ۰/۸۱ کیلوگرم فسفر در بافت خشک به ازای یک ایکر (۹۵۶ مترمربع) از گیاه پرورش داده شده در پساب وجود دارد. کالی و اپس (۸) میزان مواد گوناگون در بافت عدسک آبی را در صورت رشد در آب شیرین، پساب ثانویه شهری و پساب قسمت مربوط به نگه‌داری حیوانات مقایسه کرده و دریافتند میزان نیتروژن بافت در عدسک‌های برداشت‌شده از آب شیرین حدود ۴۰-۲۰ گرم نیتروژن و ۱۰-۲ گرم فسفر به ازای یک کیلوگرم عدسک و در پساب‌ها حدود ۶۰-۴۰ گرم نیتروژن و ۲۹-۱۳ گرم فسفر به ازای یک کیلوگرم عدسک است. بیشترین میزان مواد مغذی در بافت نیز مربوط به پساب قسمت نگه‌داری حیوانات بود. با توجه به اینکه عدسک تهیه شده در این پژوهش، از استخرهای پرورش آبزیان بوده است، علت غلظت زیاد نیتروژن و فسفر در بافت آن قابل توجیه است.

۲- تغییرات غلظت مواد مغذی گیاهان طی زمان: با توجه به یافته‌ها، میزان تکثیر و همچنین نیتروژن موجود در بافت آزولا در غلظت زیاد فسفات با افزایش دما، افزایش می‌یابد (۶). با افزایش دما از ۲۹ به ۳۴ درجه سانتی‌گراد، میزان نیتروژن در بافت گیاهی ۱۹ درصد افزایش یافت. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم از فسفات طی ۲۱ روز، میزان تکثیر این گیاه در دمای ۱۹ درجه ۲۰ برابر و در دمای ۲۲ درجه، ۳۲ برابر شد (۴). بدیهی است میزان نیتروژن موجود در بافت گیاهی پس از ۹ روز افزایش، سپس با کاهش فسفات موجود در پساب، رشد گیاه محدود شده و میزان نیتروژن بافت آن نیز کاهش یافت. همان‌طور که میزان نیتروژن بافت گیاهی در آزمایشی پس از ۲۱ روز قرار دادن آزولا در پساب از ۴۱/۸ به ۱/۲ میلی‌گرم کاهش گزارش شده است (۱۵). رنگ گیاهان نیز از سبز پررنگ به سبز کم‌رنگ در انتهای آزمایش تغییر یافت که در شکل ۴ قابل مشاهده است. قابل ذکر است با توجه به قابلیت این گیاه در تثبیت نیتروژن، کاهش نیتروژن موجود در محیط، اختلالی در رشد آن ایجاد نمی‌کند (۲۶). رشد و تکثیر عدسک آبی شدیداً وابسته به نیترات و فسفات محیط می‌باشد به‌طوری‌که در صورت عدم وجود این مواد مغذی، گیاه به رنگ سفید در آمده و همچون پوسته‌ای بر روی آب باقی می‌ماند تا دوباره مواد مورد نیاز تأمین شود (۳۰). تغییر رنگ این گیاه نیز در پایان آزمایش، مشهود بود (شکل ۴). پس از اینکه مواد مغذی دوباره در اختیار

جدول ۵. میزان نیتروژن و فسفر بافت گیاهی در ابتدا، نیمه و انتهای دوره نمونه برداری

نام تیمار	نیتروژن بافت گیاهی (mg/g)			فسفر بافت گیاهی (mg/g)		
	t_0	t_8	t_{18}	t_0	t_8	t_{18}
آزولا	۳۶/۱	۳۷/۹	۳۴/۷	۵/۸	۵/۹	۵/۶
عدسک آبی	۴۲/۳	۴۵/۵	۴۰/۸	۸/۶	۸/۸	۸/۳
آزولا + عدسک آبی	۴۱/۴	۴۴/۹	۳۸/۲	۷/۱	۷/۵	۶/۹



شکل ۴. تغییرات رنگ بافت گیاهی آزولا (تصاویر بالا) و عدسک آبی (تصاویر پایین) در روز شروع (سمت چپ) و اتمام آزمایش (سمت راست) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

این گیاه قرار گیرد، در مدت زمان بسیار کمی، به حالت اولیه خود باز می‌شود. همچنین می‌توان با برداشت به موقع این گیاهان، قبل از به اتمام رسیدن مواد ذکر شده، از این اتفاق جلوگیری کرد.

۳- تولید بیشتر زیست‌توده در تیمار ترکیبی: اگرچه میزان مواد مغذی در تیمار آزولا + عدسک آبی کمتر از گیاه عدسک آبی بوده است، ذکر این نکته ضروری است که در این تیمار میزان تکثیر گیاهان بسیار بیشتر از دیگر تیمارهای حاوی گیاه بود. پیتر و همکاران (۲۸) رشد گیاه آزولا، عدسک آبی و یک گیاه دیگر را به صورت جدا و دوتا دوتا بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که این گیاهان در کنار یکدیگر رشد سریع‌تری نسبت به شرایط کشت جداگانه دارند. یک دلیل محتمل ممکن است مورفولوژی گیاهان باشد (۱۱ و ۲۲). برگ‌های گیاه عدسک آبی کوچک بوده و به‌طور معمول به صورت افقی رشد می‌کند این درحالی‌است که گیاه آزولا هم به صورت افقی و هم عمودی گسترش می‌یابد، به همین دلیل زمانی‌که در یک محیط تنها از گیاه آزولا وجود داشته باشد با افزایش تراکم، سرعت تکثیر کاهش می‌یابد. در حضور عدسک آبی، آزولا محیط بیشتری

برای رشد داشته و می‌تواند بر روی برگ‌های عدسک آبی گسترش یابد (۲۸). از طرفی دیگر، مقداری از نیتروژنی که توسط آزولا از اتمسفر جذب می‌شود، در آب غوطه‌ور شده و به مصرف عدسک آبی رسیده و نیتروژن بیشتری در اختیار عدسک برای تکثیر قرار می‌دهد (۲۳). اگر به بررسی موضوع به صورت دقیق‌تر بپردازیم، می‌توان گفت باکتری هم‌زیست آزولا که وظیفه تثبیت نیتروژن و تأمین این ماده برای گیاه را بر عهده دارد، خارج از بافت سلول، نیتروژن تثبیت کرده را ذخیره می‌کند و در هنگام رهاسازی برای استفاده، مقداری از آن وارد آب می‌شود (۲۳). با توجه به نتایج ارائه شده، با به کارگیری فقط پنج تن در هکتار کمپوست آزولا، امکان کاهش یا حذف استفاده از کودهای شیمیایی در مزارع، وجود دارد. همچنین در پژوهش کامیاب و همکاران (۱۹) پس از قراردادن عدسک آبی در پساب و تهیه کود از آن در انتهای دوره، مشاهده شد که میزان نیترات و فسفات موجود در کود به مراتب بیشتر از میزان موجود در پراستفاده‌ترین کودهای ارگانیک موجود در بازار بوده و گزینه بسیار مناسبی برای این منظور حساب می‌شود. بدین ترتیب با توجه به اینکه میزان کمپوست تولیدی حاصل از تکثیر توأم دو گیاه بیشتر خواهد بود، گزینه مناسب‌تری به حساب می‌آیند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد دو گیاه آبزی آزولا و عدسک آبی و نیز ترکیب این دو گیاه در کاهش هدررفت آب و نیز پتانسیل استفاده از آنها به‌عنوان کود سبز، مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با وجود کوچک‌بودن گیاهان مورد استفاده، عملکردشان بسیار رضایت‌بخش بود. این گیاهان بسیار ارزان و کم‌هزینه بوده و برخلاف بقیه گیاهان، احتیاج به مراقبت ویژه‌ای ندارد، همچنین پس از بررسی عملکرد آنها این نتیجه حاصل شد که هر سه تیمار دارای پتانسیل مناسبی برای کاهش هدررفت آب و همچنین استفاده به عنوان کود گیاهی هستند. اگرچه نمی‌توان سهم کاهش تبخیر و تبخیر و تعرق گیاهی را از هم جدا کرد اما این سه پوشش، میزان هدررفت آب از سطح را بین ۲۹ تا ۳۹ درصد کاهش دادند. آزولا قادر بود در حدود ۲۹ درصد از کاهش هدررفت آب جلوگیری کند که در مقیاس سالانه چشمگیر است اما باید توجه داشت که این گیاه در طی سال‌های اخیر مشکلاتی را در تالاب‌های شمالی کشور ایجاد کرده است و به‌عنوان گونه مهاجم شناخته شده است (۱۴). اگرچه این گیاه به راحتی با راه‌های مختلف از جمله جمع‌آوری با تور و یا رهاسازی اردک در مخزن و ... قابل کنترل می‌باشد (۱۷)، همچنان لازم است در استفاده از آن احتیاط کرد. در مزارع کشاورزی که امکان راه‌یابی این گیاه به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها اندک بوده و تکثیر آن قابل کنترل است، مانعی نداشته و می‌توان از مزایای بسیار آن بهره برد. گیاه عدسک آبی، بیشترین تأثیر را در کاهش هدررفت آب دارا بود و در مخازن حاوی این گیاه نسبت به مخزن شاهد، ۳۹ درصد آب ذخیره شد، همچنین این گیاه مشکلات گیاه آزولا را ندارد. تیمار ترکیبی و آزولا نیز، با میزان کمتر نسبت به عدسک آبی و بیشتر نسبت به آزولا، از هدررفت بیش از ۳۳ درصد آب جلوگیری کردند. اما آنچه باعث می‌شود تیمار ترکیبی از دو گیاه در مجموع گزینه مناسب تری به شمار رود، میزان تولید زیست‌توده بسیار زیاد است.

نتایج آزمایش، حاکی از میزان زیاد نیتروژن و فسفر در بافت این گیاهان است که باعث می‌شود گزینه‌های مناسبی برای استفاده به‌عنوان کود سبز در نظر گرفته شوند. اگرچه نیتروژن و فسفر بافت گیاهی عدسک آبی بیشترین میزان را دارد اما با در نظر گرفتن تکثیر زیاد تیمار آزولا + عدسک آبی و در نتیجه تولید بیشتر زیست‌توده، این تیمار گزینه مناسب‌تری به‌نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که مواد مغذی موجود در بافت گیاه آزولا در مقایسه با دیگر تیمارها کمترین میزان را داشت. نکته جالب توجه این است که با جذب مواد مغذی محیط، میزان فسفر و نیتروژن موجود در

بافت تمامی گیاهان در اواسط دوره افزایش یافت اما در انتهای دوره و با کم‌شدن میزان این مواد در محیط، رنگ گیاهان به سفیدی رفت و مقدار مواد مغذی در بافت نیز کاهش یافت. درنهایت، با توجه به مطالب یاد شده، می‌توان گفت تیمار ترکیبی از دو گیاه در زمینه کاهش هدررفت آب می‌توانند به میزان قابل ملاحظه‌ای مؤثر واقع شوند و به دلیل تولید زیست‌توده بسیار و میزان مواد مغذی مناسب، گزینه‌های بهتری برای استفاده به‌عنوان کود سبز هستند.

با توجه به عملکرد مناسب گیاهان در کاهش هدررفت آب، استفاده از آنها در استخرهای ذخیره آب کشاورزی با سطح وسیع توصیه می‌شود همچنین تکثیر گیاهان در پساب، استفاده از آنها به‌عنوان کود سبز و بررسی تغییرات محصول تولیدی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت تدارکاتی و مالی دانشگاه صنعتی اصفهان و راهنمایی‌های بی‌دریغ آقای مهندس عرب‌زادگان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abedi-Koupai, J., M. A. Jamalian and M. M. Dorafshan. 2019. Improving Isfahan landfill leachate quality by phytoremediation using Vetiver and Phragmites plants in green space irrigation. *Journal of Water and Wastewater* 31(3): 101-111 (In Farsi).
2. Alalade, O. and E. Iyayi. 2006. Chemical composition and the feeding value of Azolla (Azolla pinnata) meal for egg-type chicks. *International Journal of Poultry Science* 5: 137-141.
3. Bonomo, L., G. Pastorelli and N. Zambon. 1997. Advantages and limitations of duckweed-based waste water treatment systems. *Water Science and Technology* 35: 239-246.
4. Cary, P. R. and P. G. J. Weerts. 1983. Growth of Salvinia molesta as affected by water temperature and nutrition II. Effects of phosphorus level. *Aquatic Botany* 17: 61-70.
5. Chatterjee, A., P. Sharma, M. Ghosh, M. Mandal and P. Roy. 2013. Utilization of Azolla microphylla as feed supplement for crossbred cattle. *International Journal of Agriculture Food Science and Technology* 4: 207-214.
6. Cheng, W., H. Sakai, M. Matsushima, K. Yagi and T. Hasegawa. 2010. Response of the floating aquatic fern Azolla filiculoides to elevated CO2, temperature, and phosphorus levels. *Hydrobiologia* 656: 5-14.
7. Costa, M., M. Santos, F. Carrapiço and A. Pereira. 2009. Azolla-Anabaena's behaviour in urban wastewater and artificial media–Influence of combined nitrogen. *Water Research* 43: 3743-3750.
8. Culley, J. D. D. and E. A. Epps. 1973. Use of duckweed for waste treatment and animal feed. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 45(2): 337-347.
9. Debusk, T., J. Ryther and L. Williams. 1983. Evapotranspiration of Eichhornia crassipes (Mart.) Solms and Lemna minor L. in central Florida: relation to canopy structure and season. *Aquatic Botany* 16: 31-39.
10. Diara, H. and C. Van Hove. 1984. Azolla, a water saver in irrigated rice fields? PP. 115-118. *In:* W. S. Silver and E. C. Schroder (Eds.). Practical Application of Azolla for Rice Production, Springer, Dordrecht.
11. Dickinson, M. B. and T. E. Miller. 1998. Competition among small, free-floating, aquatic plants. *The American Midland Naturalist* 140: 55-67.
12. Diniz, M., G. Teixeira and F. Carrapico. 2015. Azolla as a biofertilizer in Africa. A challenge for the future. *Revista de Ciências Agrárias* 23(3-4): 120-138.
13. Ekperusi, A. O., F. D. Sikoki and E. O. Nwachukwu. 2019. Application of common duckweed (Lemna minor) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere* 223: 285-309.
14. Farahpour-Haghani, A. 2019. Biological control of Azolla spp. in Iran: existing challenges and opportunities. *Journal of Biocontrol in Plant Protection* 7(1): 71-92 (In Farsi).
15. Haddad, M., S. Abid, M. Hamdi and H. Bouallagui. 2018. Reduction of adsorbed dyes content in the discharged sludge coming from an industrial textile wastewater treatment plant using aerobic activated sludge process. *Journal of Environmental Management* 223: 936-946.
16. Harvey, R. M. and J. L. Fox. 1973. Nutrient removal using Lemna minor. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 45(9): 1928-1938.
17. Hill, M. 1997. The potential for the biological control of the floating aquatic fern, Azolla filiculoides Lamarck (red water fern/rooivaring) in South Africa. Available online at: http://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/KV-100-97.

18. Hudson, N. 1987. Soil and Water Conservation in Semi-Arid Areas. Food and Agriculture Org. Ampthill, Bedford, United Kingdom.
19. Kamyab, H., S. Chelliapan, M. F. M. Din, R. Shahbazian-Yassar, S. Rezania, T. Khademi, A. Kumar and M. Azimi. 2017. Evaluation of Lemna minor and Chlamydomonas to treat palm oil mill effluent and fertilizer production. *Journal* of *Water Process Engineering* 17: 229-236.
20. Khalili, D. 2016. Challenges facing water resources management under drought conditions in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 1(2): 149-164.
21. Lallana, V. H., R. A. Sabattini and M. Lallana. 1987. Evapotranspiration from Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes, Salvinia aherzogi and Azolla caroliniana during summer in Argentina. *Journal of Aquatic Plant Management* 25: 48-50.
22. Mcilraith, A. L., G. G. Robinson and J. M. Shay. 1989. A field study of competition and interaction between Lemna minor and Lemna trisulca. *Canadian Journal of Botany* 67: 2904-2911.
23. Meeks, J. C., A. S. Nisan, C. S. Enderlin, C. M. Joseph and G. A. Peters. 1987. Azolla-Anabaena Relationship. *Plant Physiology* 84: 883-886.
24. Mishra, D., S. Rajvir, U. Mishra and S. S. Kumar. 2013. Role of bio-fertilizer in organic agriculture: a review. Research. *Journal of Recent Sciences* 2: 39-41.
25. Najafi, H. 2013. Biology and Management of Iranian Weeds. Agricultural Research Organization, Tehran, Iran (In Farsi).
26. Okoronkwo, N., C. Van Hovel and D. Eskew. 1989. Evaluation of nitrogen fixation by different strains of the Azolla-Anabaena symbiosis in the presence of a high level of ammonium. *Biology and Fertility of Soils* 7: 275-278.
27. Ozengin, N. and A. Elmaci. 2007. Performance of Duckweed (*Lemna minor* L.) on different types of wastewater treatment. *Journal of Environmental Biology* 28: 307-314.
28. Peeters, E. T., R. E. Neefjes and B. G. V. Zuidam. 2016. Competition between free-floating plants is strongly driven by previously experienced phosphorus concentrations in the water column. *PloS One* 11: e0162780.
29. Petrov, D. S., V. S. Kuznecov, I. K. Suprun, M. A. Zhuravkova and M. A. Solnyshkova. 2019. Phytoremediation efficiency of duckweed communities for mining enterprises wastewater treatment from nitrogen compounds. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 10: 719-725.
30. Portielje, R. and R. Roijackers. 1995. Primary succession of aquatic macrophytes in experimental ditches in relation nutrient input. *Aquatic Botany* 50: 127-140.
31. Wagner, S. C. 2011. Biological nitrogen fixation. *Nature Education Knowledge* 5: 3-15.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 2, Summer 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Possibility of Using Azolla anzali and Lemna Minor to Reduce Water Loss from Surface Water and as a Green Fertilizer in Farms

A. Motamedi*, J. Abedi-Koupai and S. A. R. Gohari[1]

(Received: May 26-2021; Accepted: August 13-2021)

Abstract

Water scarcity and lack of soil fertility are two major problems in the agriculture sector. This study aimed to use Azolla anzali and Lemna minor as a cover for a free surface of the water since not only do they have the potential to reduce evaporation, but they can also produce green fertilizer. Therefore, a completely randomized design experiment with 4 treatments (Azolla anzali, Lemna minor, combination of Azolla anzali+ Lemna minor and control) was performed with three replications. The surface of the reservoirs was covered with the mentioned plants and the changes in water height were measured every other day and the amount of nutrients (nitrogen and phosphorus) of the plant tissue was measured three times at the beginning, middle, and end of the period. Eventually, water loss in tanks containing Lemna, Azolla, and Lemna+ Azolla, was 39, 33.2, and 28.7% less than the control tank. The highest amount of nutrients in plant tissue was observed in Lemna, Azolla+ Lemna, and Azolla treatments, respectively. Although the amount of nutrients in the combined treatment was not higher than that of Lemna more biomass was produced, which means it can provide more fertilizer. Finally, the combined treatment of the two plants is a more suitable option to be used.

Keywords: Water loss reduction, Surface water covering, Green manure, Aquatic plants.

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: armita.mtd@gmail.com