





وزارت جهاد کشاورزی
موسسه تحقیقات برنج کشور
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

آزولا

نویسندگان:

دکتر تیمور رضوی پور کومله

دکتر آتوسا فرحپور حقانی

محققین موسسه تحقیقات برنج کشور



۱۳۹۹

سرشناسه	: رضوی پور، تیمور
عنوان و نام پدیدآور	: آزولا / نویسندگان تیمور رضوی پور کومله، آنوسا فرحپور حقانی؛ ویراستاران علمی بیژن یعقوبی، الهیار فلاح، مهدی جلائیان؛ ویراستار ادبی مهدی جلائیان.
مشخصات نشر	: تهران: نارون دانش، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۲۳۸ ص. شابک : 978-622-7318-37-1
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: آزولا Azolla
موضوع	: شالیکاری Rice farming
موضوع	: مردابها Marshes
شناسه افزوده	: فرحپور حقانی، آنوسا، ۱۳۵۷-
شناسه افزوده	: یعقوبی، بیژن، ویراستار
شناسه افزوده	: فلاح، الهیار، ویراستار
رده بندی کنگره	: SB۳۱۷
رده بندی دیویی	: ۶۳۱/۸۷۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۳۰۷۴۴۶

آدرس: میدان انقلاب اسلامی، خیابان کارگر شمالی، خیابان نصرت شرقی، پلاک هفتادودو، واحد یک شماره تماس: ۰۹۲۲۴۰۱۳۷۰۴ و ۰۲۱۶۶۹۳۲۲۴۵ آدرس الکترونیکی: narvanpub@gmail.com آدرس سایت: www.narvanpub.com	
--	---

عنوان کتاب: آزولا نویسندگان: تیمور رضوی پور کومله، آنوسا فرحپور حقانی ویراستاران علمی: دکتر بیژن یعقوبی، دکتر الهیار فلاح، دکتر مهدی جلائیان ویراستار ادبی: دکتر مهدی جلائیان صفحه‌آرا: اکرم ملک نژاد طراح جلد: الیرا صیامی ناشر: انتشارات نارون دانش شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه نوبت چاپ: اول — ۱۳۹۹ قیمت: ۵۰۰۰ تومان ۱- این اثر به شماره ۹۹-۱۵/k و تاریخ ۱۳۹۹/۶/۳۱ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی به ثبت رسیده است. ۲- مسئولیت صحت مطالب با نویسندگان است. ۳- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور می‌باشد. ISBN: ۹۷۸-۶۲۲-۷۳۱۸-۳۷-۱	
--	--

پاسکزاری

خداوند قادر متعال را پاس مرگوینم که توفیق تهیه و تدوین این کتب را به ما عطا فرمود. این کتب حاصل ترجمه، گردآوری و تالیف مطالب علمر محققان دنیا و میهن عزیزان ایران و همچنین برگرفته از پروژه های متعدد تحقیقاتی و پایان نامه های دانشجویی بوده است که نویسندگان در اجرای آنها به عنوان محرری مسئول، مشاور و غیره همکاری داشته اند. از کلیه دوستان و همکاریان مؤسسه تحقیقات برنج کشور و همکاریان بخش تحقیقات خاک و آب به ویژه خانم معصومه بصیری که در تایپ، تنظیم و صفحه آرایی این کتب ما را یاری نمودند صمیمانه پاسکزاری مرغانیم. از زحمات اعضای محترم شورای انتشارات مؤسسه تحقیقات برنج کشور و داوران محترم که در چند مرحله این کتب را داورى کرده و نظرات ارشادی دادند و به ویژه آقای دکتر مهدی جلیلیان سردیر محترم شورا که در تنظیم کتب براساس چارچوب زحمت رزادی را متقبل شدند پاسکزاری و قدر دانس مرغانیم.

این کتب را با صمیمانه ترین سپاس با به خانواده و عزیزانمان که در این سه مدت زحمت بسیاری را تقبل نموده و همواره حامی و مشوق ما بودند تقدیم مرکنیم.

مؤلفان

یک هزار و سیصد و نود و هشت هجری شمسر

فهرست مطالب

پیش گفتار.....	۱۱
مقدمه.....	۱۵

فصل اول: کلیات ۱۹

۱-۱- آژولا چیست؟.....	۲۰
۲-۱- Anabaena azollae و عملکرد آن در آژولا.....	۲۳
۳-۱- طبقه‌بندی گیاهی آژولا.....	۲۵
۴-۱- مهم ترین مناطق جغرافیایی انتشار گونه‌های آژولا.....	۳۴
۵-۱- تاریخچه آژولا در جهان.....	۴۴
۶-۱- تاریخچه آژولا در ایران.....	۴۷
۷-۱- آژولا، علف‌هرز مهاجم یا گونه‌ای مفید؟.....	۵۰
۸-۱- گونه مهاجم چیست و چرا آژولا به‌عنوان گونه‌ای مهاجم در نظر گرفته شده است؟.....	۵۵
۹-۱- عملکرد تهاجمی آژولا در شمال ایران و علل آن.....	۶۳

فصل دوم: خصوصیات آژولا ۶۷

۱-۲- بیولوژی آژولا.....	۶۸
۲-۲- مرفولوژی آژولا.....	۶۹
۱-۲-۲- مرفولوژی ساقه.....	۷۲
۲-۲-۲- مرفولوژی برگ.....	۷۴
۴-۲-۲- مرفولوژی ریشه.....	۷۹
۳-۲- فیزیولوژی آژولا.....	۸۲
۴-۲- اکولوژی آژولا.....	۸۲
۵-۲- ترکیبات شیمیایی آژولا.....	۸۴

فصل سوم: تولید مثل و تکثیر آژولا ۸۷

۱-۳- تولید مثل آژولا.....	۸۸
۱-۱-۳- تولید مثل غیرجنسی آژولا (تولید مثل رویشی).....	۸۹

- ۳-۱-۲- تولید مثل جنسی آذولا ۸۹
- ۳-۲- روش تعویض آنابنای آذولا - هیبریداسیون غیرجنسی آذولا ۹۳
- ۳-۳- پرورش آذولا ۹۴

فصل چهارم: عوامل محیطی مؤثر بر رشد آذولا ۹۷

- ۴-۱- درجه حرارت ۹۸
- ۴-۲- گازها ۱۰۱
- ۴-۳- آب ۱۰۱
- ۴-۴- PH ۱۰۳
- ۴-۵- نور ۱۰۴
- ۴-۶- شوری ۱۰۵
- ۴-۷- باد و امواج ۱۰۶
- ۴-۸- رطوبت نسبی ۱۰۷
- ۴-۹- مواد معدنی مورد نیاز ۱۰۸

فصل پنجم: فواید و مضرات آذولا ۱۱۳

- ۵-۱- فواید آذولا ۱۱۴
- ۵-۱-۱- تولید آمونیاک توسط آذولا ۱۱۵
- ۵-۱-۲- تثبیت نیتروژن در آذولا ۱۱۶
- ۵-۱-۳- جذب فلزات سنگین از خاک و آب ۱۲۰
- ۵-۱-۴- استفاده از آذولا در کشاورزی ۱۲۱
- ۵-۱-۴-۱- نقش آذولا به عنوان کود سبز آلی ۱۲۳
- ۵-۱-۴-۲- تک کشتی آذولا در مزارع برنج ۱۲۶
- ۵-۱-۴-۳- کشت مخلوط آذولا در برنج ۱۲۸
- ۵-۱-۴-۴- سیستم ترکیبی مخلوط و تک کشتی ۱۳۰
- ۵-۱-۴-۵- تک کشتی آذولا خارج از مزارع برنج ۱۳۰
- ۵-۱-۴-۶- نقش آذولا در کنترل علف های هرز ۱۳۰
- ۵-۱-۴-۷- کمپوست آذولا ۱۳۴

۱۳۶	۵-۱-۴-۸- تأثیر بر آب و خاک.....
۱۳۶	۵-۱-۴-۹- تأثیر بر آفات و بیماریهای گیاهی.....
۱۳۶	۵-۱-۵- استفاده از آزولا در دامپروری.....
۱۳۹	۵-۱-۵-۱- خوراک طیور.....
۱۴۰	۵-۱-۵-۲- خوراک ماهی.....
۱۴۷	۵-۱-۵-۳- مکمل پروتئینی ارزان برای ماهی.....
۱۵۱	۵-۱-۵-۴- آزولا به عنوان بخشی از جیره غذایی ماکیان.....
۱۵۴	۵-۱-۵-۵- تغذیه احشام.....
۱۵۶	۵-۱-۵-۶- سیلو کردن آزولا.....
۱۵۷	۵-۱-۶- آزولا به عنوان منبع غذایی برای انسان.....
۱۵۸	۵-۱-۷- جایگزین سموم ضد لارو پشه.....
۱۵۹	۵-۱-۸- جهت کاوش های اقلیم شناسی.....
۱۵۹	۵-۱-۹- سایر مصارف آزولا.....
۱۶۰	۵-۲- معایب آزولا.....
۱۶۰	۵-۲-۱- آزولا به عنوان یک گیاه مهاجم.....
۱۶۲	۵-۲-۲- کاهش سرعت جریان آب.....
۱۶۳	۵-۲-۳- تخریب زیستگاه های آبی توسط آزولا.....
۱۶۴	۵-۲-۴- سایر معایب آزولا.....
۱۶۴	۵-۳- برداشت آزولا.....

۱۶۷..... فصل ششم

۱۶۸	۶-۱- ضرورت مدیریت صحیح آزولا در ایران.....
۱۶۹	۶-۲- روش های مبارزه با آزولا در دنیا و ایران.....
۱۷۲	۶-۳- کنترل بیولوژیک علف های هرز به عنوان یک راهکار کارآمد و نوین.....
۱۷۵	۶-۴- شیوه تمایز آزولا از گونه های مشابه فعال در زیستگاه های آبی.....
۱۸۱	۶-۵- کنترل بیولوژیک آزولا در دنیا.....
۱۸۴	۶-۶- گونه های فعال روی آزولا در ایران.....

۶-۷- راهکارهای مدیریت آذولا در شمال کشور بر اساس منابع موجود.....	۲۰۱
منابع مورد استفاده.....	۲۰۷
پیوست.....	۲۳۵

پیش‌گفتار

گیاه‌شناور آبرزی آزولا در شرایط عدم حضور عوامل محدود کننده و به دلیل شرایط محیطی مناسب در طول چهار دهه در شمال کشور گسترش یافت. به نحوی که، سطوح گسترده‌ای از تالاب‌ها، مزارع برنج و سایر آبگیرهای شهرستان‌های استان گیلان به وسیله این گیاه آبرزی پوشانیده شده بود. اگرچه در سال‌های اخیر سطح آلوده به این گیاه تغییرات چشمگیری کرده است؛ اما هنوز نیز مشکلات ناشی از گسترش این گیاه در منطقه وجود دارد. سرخس آزولا در سال ۱۳۶۳ از کشور فیلیپین به‌عنوان گیاه جاذب نیتروژن هوا برای اجرای طرح‌های مطالعاتی وارد ایران شد؛ اما پس از مدت کوتاهی بدون توجه به پیامدهای ناگوار و زیان‌های اقتصادی به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی در زمینه شیوه‌های مدیریت صحیح آن، از آبگیرهای استان گیلان سر درآورد. آزولا از تیره سرخس‌ها بوده و دارای رنگ سبز، قهوه‌ای و قرمز آجری است که به تناسب دریافت نور خورشید رنگ آن تغییر می‌کند. این گیاه دارای ریشه‌های چند میلی‌متری تا چند سانتی‌متری است که در سطح آب و مناطق مرطوب سریعاً رشد می‌کند و جوانه‌های جدیدتر آن معمولاً بر روی گیاهان قدیمی‌تر می‌رویند و با پوشاندن گیاهان زیرین از آنها به‌عنوان منبع غذایی استفاده می‌کنند. آزولا به راحتی به‌وسیله جریان‌های آب و پرندگان و وسایل نقلیه جابه‌جا می‌شود و در مدت کوتاهی منطقه وسیعی را فرا می‌گیرد. از بدو ورود به منطقه پس از گذشت چند سال اکثر مناطق آبگیر و زمین‌های کشاورزی استان گیلان به‌ویژه تالاب بین‌المللی انزلی به شدت در محاصره رویش سریع این گیاه مزاحم گرفتار شد. رشد شناور و بیش از حد این گیاه در سطح تالاب بین‌المللی انزلی باعث شده است تا اکثر گیاهان بومی این زیستگاه جهانی به دلیل خفگی نابود شوند و نفس زندگی این

اکوسیستم چند صد هزار ساله به شماره افتد. گروهی بدون مطالعه کارشناسی گیاه آژولا را با هدف تأمین خوراک دام، طیور و آبزیان و همچنین اثرات مثبتی که در کشت برنج دارد، وارد کشور کردند و امروز که کنترل آن از دست رفته و در زمینه‌های زیست‌محیطی و کشاورزی به بلا تبدیل شده است. البته نباید فراموش کرد که آژولا تنها به‌عنوان آفت نیست بلکه گیاهی است پرفایده و سودمند. گیاه آژی آژولا که از آن به‌عنوان یک مشکل زیست‌محیطی در تالاب‌های گیلان یاد می‌شود، می‌تواند به یک خوراک عمده و پرفایده برای دام و یا پس از کمپوست شدن به کود گیاهی مفید و غنی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان تبدیل شود. در کشورهای جنوب شرقی آسیا از گیاه آژولا به‌عنوان یک نعمت خدادادی استفاده‌های فراوانی می‌شود، درحالی که در کشور ما این گیاه تبدیل به یک مشکل بزرگ زیست‌محیطی شده است. این گیاه جزو گیاهان نادری است که با جذب نیتروژن هوا و انتقال آن به خاک، باعث غنی‌سازی خاک‌های زراعی فقیر می‌شود. گیاه آژولا با برخورداری از ارزش غذایی و پروتئینی قابل توجه در اکثر کشورها برای تغذیه دام، طیور و آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد، درحالی که در کشور ما به این مهم توجه چندانی نشده است. گیاه آژولا به‌رغم برخورداری از مزیت‌های فراوان غذایی و موارد استفاده گوناگون اگر با شیوه مناسب کنترل و بهره‌برداری نشود، به دلیل برخورداری از مزیت رشد سریع، به‌عنوان یک عامل خسارت‌زا به کشاورزی و محیط زیست عمل می‌کند. آژولا در طی حدود چهار دهه گذشته به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضل و مشکل زیست‌محیطی منطقه بوده و حدود ۲۰ درصد سطح تالاب انزلی و بیش از ۲۵ درصد دیگر آبگیرها و شالیزارهای استان گیلان توسط این گیاه پوشیده شده بود. این گیاه غیربومی به صورت یک اپیدمی در تمامی مناطق استان گیلان، مازندران و گلستان گسترش پیدا کرده بود؛ لیکن از سال ۱۳۹۶ با وارد شدن سرخرطومی استنوپلموس رافیناسوس *Stenopelmus rufinasus* به کشور، این گیاه تقریباً کنترل شد. با این وجود شواهدی در دست است که نشان می‌دهند حتی در مناطقی که این سرخرطومی به خوبی استقرار یافته و

آزولا را تحت کنترل قرار داده تحت شرایط محیطی خاص و با گذشت زمان آزولا دوباره امکان احیا شدن یافته است. همچنین شواهدی دیگری نشان می‌دهد عملکرد این سرخرطومی روی گونه‌های مختلف آزولا یکسان نیست. بنابراین با اینکه امروزه به نظر می‌رسد آزولا در منطقه کنترل شده است، همچنان ضرورت دارد اطلاعات کافی در مورد آزولا و مدیریت صحیح آن در اختیار افراد مرتبط قرار گیرد و کتاب حاضر در همین راستا تألیف شده است که می‌تواند مورد استفاده دانشجویان، اساتید و دست‌اندرکاران در حوزه کشاورزی قرار گیرد. صاحب نظران و خوانندگان ارجمند می‌توانند جهت بهبود هر چه بیشتر کیفیت مطالب کتاب انتقادات و پیشنهادهای خود را با مؤلفان کتاب در میان گذارند.

مؤلفان

یک هزار و سیصد و نود و هشت هجری شمسی

مقدمه

با توجه به محدودیت زمین‌های کشاورزی و روند افزایش جمعیت در جهان، شاید یکی از اساسی‌ترین و مفیدترین راه برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز انسان و یا حیوانات که از طریق فرآورده‌های کشاورزی به دست می‌آید، افزایش تولید در واحد سطح با استفاده از ارقام جدید و پر محصول و مقاوم در برابر عوامل نامساعد و همچنین استفاده صحیح از مواد تقویت کننده و کاربرد تکنیک‌های جدید می‌باشد که از این طریق می‌توان راندمان محصول را افزایش داد (خدابنده، ۱۳۷۱). نیتروژن یکی از عناصر اصلی و ضروری بوده که کمبود آن در بیشتر گیاهان به غیر از گیاهان تیره بقولات دیده می‌شود. نیتروژن در بسیاری از ترکیبات درون گیاه وارد می‌شود. کمبود نیتروژن در اغلب خاک‌ها وجود داشته و دادن کودهای نیتروژن دار یکی از راههای مؤثر در تغذیه گیاهان و بالا بردن عملکرد محصول می‌باشد. گیاه برنج چون مدت زیادی از دوره رشد و نمو خود را در آب سپری می‌نماید، به مواد غذایی کافی و کامل بخصوص به نیتروژن فراوانی نیاز دارد. تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه خود مستلزم هزینه زیاد برای شالیکار خواهد بود و در صورتی که مواد غذایی به اندازه کافی به گیاه داده نشود؛ نه تنها رشد گیاه کامل نخواهد شد بلکه از نظر کمی و کیفی نیز کاهش عملکرد در گیاه به وجود خواهد آمد. بدین منظور دانشمندان و محققین درصدد جایگزینی مواد تقویت کننده در شالیزارها برآمده و موفق شدند که در این رابطه از گیاه آزولا استفاده کرده و از آن به عنوان جایگزین مناسبی برای تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه برنج مورد استفاده قرار دهند (خدابنده، ۱۳۷۱).

در یک نگاه سطحی ممکن است اینگونه تصور شود که چون نیتروژن تقریباً $\frac{4}{5}$ گازهای موجود در اتمسفر را تشکیل می‌دهد اصولاً نباید مشکلی در خصوص تأمین آن برای گیاهان ایجاد شود؛ اما در اینجا شکل و چگونگی پراکنده بودن نیتروژن اتمسفر مطرح می‌شود که براساس نظریه دانشمندان این عنصر به صورت مولکول پایدار دو اتمی بوده در حالیکه فقط شکل تثبیت شده آن برای گیاهان قابل استفاده می‌باشد و شاید به همین دلیل باشد که از جمله تلاش‌های دانشمندان پیدا کردن راه‌های استفاده از این منبع نیتروژن بوده و می‌باشد. تحقیقات و بررسی‌های انجام شده مبین این واقعیت است که نیتروژن موجود در سیستم‌های بیولوژیکی از دو راه می‌تواند وارد شود، یک راه استفاده از نیتروژنی که از طریق بیولوژیکی تثبیت شده است و دیگری استفاده از طریق کودهای شیمیایی می‌باشد. مورد دوم حالتی است که اغلب پس از تعیین مقدار مورد نیاز گیاه و تجزیه خاک و در صورت وجود کمبود بوسیله کارشناسان زراعی تجویز شده و به صورت مختلف به زمین اضافه می‌شود. اما تثبیت نیتروژن فقط از طریق پروکاریوت‌های^۱ که دارای اطلاعات ژنتیکی جهت سنتز آنزیم نیتروژناز هستند امکان‌پذیر می‌شود. این آنزیم تبدیل نیتروژن به آمونیوم را در درجه حرارت و فشار معمولی ممکن می‌سازد. از عوامل و موجوداتی که این عمل را انجام می‌دهند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹) عبارتند از:

۱- اکتینومیست‌ها^۲

۲- جلبک‌های سبز- آبی

۳- برخی از انواع باکتری‌ها مانند ریزوبیوم‌ها^۳

چگونگی عمل برخی از عوامل یاد شده بالا در تثبیت نیتروژن شناخته شده است؛ اما از جمله عواملی که توانایی انجام این مهم را داشته و مورد تحقیق دانشمندان به‌ویژه در سال‌های اخیر قرار

1. Prokaryotes
2. Actinomyces
3. Rhizobium

گرفته است نوعی جلبک سبز- آبی بنام آنابنا است که در همزیستی با آزولا به کار تثبیت نیتروژن می‌پردازد (قره‌یاضی و همکاران، ۱۳۷۱).

گیاه آزولا نوعی سرخس کوچک آبزی^۱ است که در تمام مناطق دنیا بخصوص نواحی برنج‌خیز جهان وجود دارد. این گیاه را می‌توان در شرایط مساعد و مناسب به‌طور شناور در استخرها و آب‌های راکد، کانال‌های آبیاری و مزارع برنج به فراوانی پیدا نمود (متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ فرنیتینوس و همکاران، ۲۰۰۲). گیاه آزولا در حفره‌های برگ‌گی خود مأمنی در اختیار جلبک (آلگه) آنابنا می‌گذارد و در عوض به قدری نیتروژن از اتمسفر جذب می‌کند که نیازهای خود و میزبان‌ش را برآورده می‌کند. این گیاه از نظر بعضی از سازمان‌ها به دلیل تغییراتی که در اکوسیستم و محیط خود ایجاد می‌نماید، مضر تشخیص داده می‌شود ولی از نظر کشاورزی و جذب نیتروژن هوا و همچنین خوراک دام و ماهی مفید است (نصیریان، ۱۳۶۶). به طور کلی چنین اظهارنظر می‌شود که گیاه آزولا در صورتی که به‌صورت علف هرز نمایانگر شود، دشمن تلقی شده و اگر در جهت مصارف کشاورزی باشد، علاوه بر تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه به عنوان کود سبز، علوفه برای مصرف دام و ماهی و اُردک و دوست بشر محسوب می‌شود. آزولا به دلیل رابطه همزیستی آن با جلبک *Anabaena azollae* و تثبیت نیتروژن همواره مورد توجه محققین و گیاهشناسان بوده است. بنابراین چون آزولا هم کار تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهد و هم نیاز به زمین اضافی برای رشد و تکثیر ندارد و همچنین به‌عنوان یک منبع مناسب غذایی برای دام و طیور دارای قابلیت بالایی است نمی‌تواند از نظر دور بماند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ نصیریان، ۱۳۶۹).

۱

کلیات

۱-۱- آزولا چیست؟

آزولا^۱ نوعی سرخس آبزی کوچکی است که با یک نوع سیانو باکتر^۲ به نام آنابنا رابطه همزیستی دارد. این سرخس در آب به حالت شناور زندگی کرده و غالباً در مناطقی که دارای آب راکد هستند وجود داشته و قادر به زندگی می‌باشد (خراسانی و ثابت‌رفتار، ۱۳۷۴) (شکل ۱-۱). آنابنا وظیفه تثبیت نیتروژن را در این همزیستی بر عهده دارد و در حفرات برگ موجود در شاخه‌های آزولا زندگی می‌کند (وایتون و راجر، ۱۹۸۹). آزولا یک کلمه یونانی است که از دو بخش آزو^۳ (خشک شدن) و اوילו^۴ (مردن) تشکیل شده است و معنای این کلمه در خشکی مردن است. وجه تسمیه آن به دلیل زیستگاه این گیاه است، چرا که آزولا وابسته به آب بوده و به شدت رطوبت‌پسند است. پراکندگی این گیاه از نزدیکی سطح دریا تا ارتفاعات بسیار زیاد و از شمالی‌ترین بخش آلاسکا و نواحی استوایی، آسیا، اقیانوسیه، آمریکای شمالی و جنوبی، اروپا و آفریقا یافت شده و معمولاً در هر ناحیه حداقل یک گونه آن مشاهده می‌شود (لامپکین، ۱۹۸۲). زیستگاه اولیه آزولا کالیفرنای آمریکا بوده است. این گیاه روی سطح آب شالیزارهای برنج، استخرهای کوچک، کانال‌ها و رودخانه‌ها زندگی می‌کند. این گیاه در واقع یک سرخس کوچک آبزی است که بومی آسیا، آفریقا، و آمریکا می‌باشد. در دریاچه‌ها، باتلاق‌ها و شالیزارها و مناطق دیگری که آب وجود دارد رشد و زندگی می‌کند. از نظر وراثتی و نژادی وابسته به یک گروه همزیست تثبیت‌کننده سیانوباکتری، *Anabaena azollae* بوده و در گروه با تولید و رشد رویشی بسیار زیاد و محتوی پروتئین بالا طبقه‌بندی می‌شود. در واقع، این گیاه بسیار حساس به خشکی بوده و بدون آب مرده و از بین خواهد رفت (مور، ۱۹۶۹؛ آشتون و والمسل، ۱۹۷۶). این گیاه در مزارع برنج در زیر بوته‌های گیاه برنج و روی سطح آب یا خاک مرطوب زندگی می‌کند. آزولا دارای برگ‌های

1. Azolla
2. Cyanobacteria
3. Azo
4. Olloyo

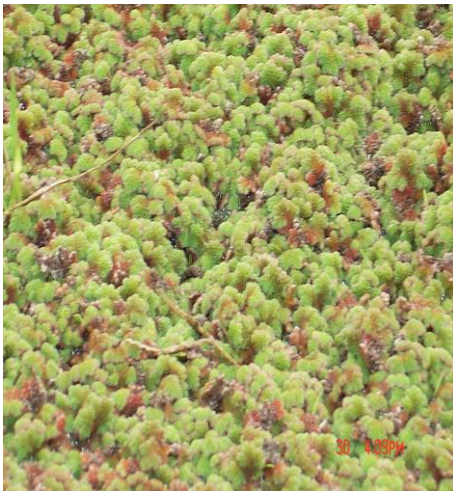
کوچک به رنگ سبز تیره تا قرمز قهوه‌ای است. طول این گیاه از ۳/۵-۱ سانتی‌متر در گونه‌هایی مثل پیناتا تا ۱۵ سانتی‌متر یا بیشتر در برخی گونه‌ها مانند نیلوتیکا^۱ و فلیکولوئیدس^۲ می‌رسد (فرنٹینوس و همکاران، ۲۰۰۲). این گیاه برای اولین بار در سال ۱۸۷۳ میلادی شناسایی شد و تاکنون هفت گونه از این گیاه در جهان به ثبت رسیده است (سبک‌رو فومنی، ۱۳۸۸؛ نیرزویکی بائوئر، ۱۹۹۰؛ براون هاوولد و کاراپیکو، ۱۹۹۱؛ کاراپیکو، ۱۹۹۱؛ سرانو، ۱۹۹۹).

آزولا در همزیستی با جلبک سبز-آبی^۳ قابلیت جذب نیتروژن هوا را به دست می‌آورد که وظیفه تأمین مواد غذایی جلبک به عهده آزولا است و جلبک نیز در مقابل نیتروژن مورد نیاز آزولا را فراهم می‌کند. آزولا در شرایط مناسب، روزانه می‌تواند ۲ تا ۴ کیلوگرم نیتروژن به هر هکتار مزرعه ارائه کند که معادل ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم است (آوودان، ۲۰۰۸). این گیاه دارای برگ‌های زیادی است که روی سطح آب قرار می‌گیرند. جلبک آزولا دارای خصوصیات منحصر به فردی است، به طوری که سازگاری زیادی با محیط دارد. ریشه‌های آویزان و معلق در آب آن، این امکان را به گیاه می‌دهد که تغییر مکان داده و با جریان آب به سهولت جابجا شود و یکی از علل پراکندگی سریع آن نیز همین موضوع است. آزولا به محض ثابت شدن در یک مکان شروع به تکثیر می‌کند و ظرف مدت کوتاهی تمام سطح آب را می‌پوشاند (شکل ۱-۱). به طوری که هیچ روزنه‌ای برای ورود نور خورشید به درون آب وجود نخواهد داشت. در اثر کمبود نور رشد آبریزی مانند فیتوپلانکتون‌ها^۴ متوقف می‌شود و در نتیجه مقدار نیتروژن آب کاهش می‌یابد. آزولا

1. *A. nilotica*
2. *A. filiculoides*
3. Blue Green Algae

۱. فیتوپلانکتون‌ها (Phytoplankton) دسته‌ای از آغازیان تولیدکننده یا گیاه مانند هستند که قادر به اتوتروفی (Autotrophy) می‌باشند. اغلب این موجودات بسیار ریز هستند و با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند اما اگر تعداد بسیار زیادی از آن‌ها در آب تجمع داشته باشند ممکن است رنگ آب را سبز (به خاطر داشتن سبزینه) یا به رنگ‌های دیگر کنند و گاه منجر به بروز پدیده شکوفایی جلبکی یا کشند سرخ شوند. فیتوپلانکتون‌ها یکی از منابع تغذیه‌ای مهم برای آبریزان هستند.

در استخرها، نهرها و زمین‌های مرطوب در مناطق گرمسیری در جهان یافت می‌شود. این گیاه در آب یا روی لجن‌های مرطوب رشد می‌کند و در شرایط آب و هوایی خشک بعد از چند ساعت از بین می‌رود. آژولا می‌تواند در pH های ۳/۵ تا ۱۰ رشد کند؛ اما بهترین pH برای رشد آن ۴/۵ تا ۷ است. دمای مطلوب برای رشد آژولا ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است؛ اما بعضی از گونه‌های آن تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر را می‌توانند تحمل کنند (کاراپیکو و همکاران، ۲۰۰۰). رشد آژولا میزان شوری خاک را کاهش می‌دهد. مهم‌ترین عامل در رشد آژولا آب است زیرا گیاه آژولا در خاک‌های شالیزاری و در باران‌های متناوب برای مدت کوتاهی بقا می‌یابد، این درست عکس آن چیزی است که برای جلبک‌های سبز-آبی وجود دارد. یعنی تمام گونه‌های آن به گرما و خشکی تحمل دارند. آژولا نیاز زیادی به نور دارد و رشد آن ۲ تا ۳ هفته بعد از انتقال نشاهای برنج تحت تأثیر قرار می‌گیرد، زیرا ساقه‌های برنج پس از رشد فضاها بین بوته‌ها را پوشانده و بر روی آژولا سایه می‌اندازند و مانع رسیدن نور می‌شوند (کائور، ۲۰۰۰).



شکل ۱-۱- رشد زیاد آژولا در سطح آب که مانع عبور نور خورشید می‌شود (اصلی)

۱-۲- *Anabaena azollae* و عملکرد آن در آزولا

گونه *Anabaena azollae* (شکل ۱-۲) از شاخه سیانوفیت^۱ و راسته نوستوکال^۲ (نوستوک، آنابنا) و خانواده نوستوکاسه^۳ می باشد و تنها گونه شناخته شده است که می تواند در همزیستی با سرخس آزولا بسر برد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). لادها و اتانابه (۱۹۸۲) نشان دادند که یک واکنش شدید بین آنتی بادی های آنابنا در گونه های مختلف آزولا نسبت به گونه دیگر وجود دارد. نتایج کار آنها تأکید می کند که تنها یک گونه آنابنا به صورت همزیست با آزولا وجود دارد. نتایج کار آنان همچنین نشان داد که آنابنا در تمام گونه های آزولا همگی دارای یک آنتی ژن بسیار اختصاصی هستند (قره یاضی، ۱۳۶۸ و ۱۳۷۰؛ قجاوند، ۱۳۷۵). با این وجود بررسی های انجام شده در سال های اخیر نشان داده که این نتایج درست نیست. در بررسی های انجام شده توسط پریرا و واسکونسلوس (۲۰۱۴)، گونه های *Nostoc azollae*، *Anabaena azollae*، *A. variabilis* و *Trichormus azollae* براساس صفات مرفولوژیکی، جنس های *Anabaena* و *Nostoc* براساس توالی 16Sr RNA و *non-Nostoc* و *non-Anabaena* براساس توالی ژن فیکوسانین^۴ به عنوان باکتری های همزیست با آزولا جداسازی شدند که نشان می دهد بیش از یک گونه آنابنا به صورت همزیست با آزولا وجود دارد.

معمولاً سه تیپ سلول در *Anabaena azollae* وجود دارد:

- ۱- سلول های رویشی که محل اولیه فتوسنتز هستند.
- ۲- سلول های هتروسیت^۵ که تثبیت نیتروژن به صورت فعال در آنها انجام می گیرد.

1. Cyanophyta
2. Nostocales
3. Nostocaceae
4. Phycocyanin gene

۵. سلول های اختصاص یافته ای هستند که عمل تثبیت نیتروژن را در حضور اکسیژن زیاد محیط در درون سلول های خود انجام می دهند.

۳- سلول‌های اکینت^۱ که در حقیقت اسپورهای در حال خواب با دیواره‌های ضخیم هستند. سلول‌های هتروسیت و سلول‌های اکینت از سلول‌های رویشی ساخته می‌شوند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

آنابنا در تمام مراحل رشد آزولا بجز میکروسپورها با آن همراه می‌باشد. تکنیک تعویض آنابنای آزولا توسط لین‌چانگ ارائه شده است. واریته‌های جلبک آنابنا به‌طور اختصاصی متعلق به گونه‌های آزولا می‌باشند. چنانچه به‌طور مصنوعی آنابنای یک گونه را حذف و آنابنای گونه دیگر را در درون حفره برگ آزولا جایگزین نمایند صفات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آزولا به‌طور قابل توجهی تغییر می‌نماید. این عمل را هیبریداسیون غیرجنسی آزولا می‌نامند. به‌طور مثال با هیبریداسیون غیرجنسی توانسته‌اند مقاومت برخی از ارقام را نسبت به دمای بالا و پایین افزایش دهند (صفائی‌ان، ۱۳۷۴).



شکل ۱-۲- آزولا آنابنا (*Anabaena azollae*)

(https://wnmu.edu/academic/nspages/gilafiora/anabaena_azollae.html)

۱. سلول اکینت سلول‌های مقاوم تولید مثلی هستند.

گیاه آزولا در حفره‌های برگ‌های خود مأمنی در اختیار جلبک آنابنا می‌گذارد و آنابنا در عوض به قدری نیتروژن از اتمسفر جذب می‌کند که نیازهای خود و میزبان را برآورده می‌کند. در حفره‌های برگ‌های آزولا حدود ۸۰ هزار جلبک همزیست زندگی می‌کنند (مور، ۱۹۶۹؛ واتانابه، ۱۹۷۷؛ لامپکین و پلاکت، ۱۹۸۲). مقداری از نیتروژنی که توسط آزولا از اتمسفر جذب می‌شود، در آب شالیزار غوطه‌ور شده و گیاه برنج آن را جذب می‌کند. مقداری نیز از طریق شخم زدن و مخلوط کردن با خاک به‌عنوان کود سبز استفاده می‌شود. معمولاً در این خاک‌ها تا حدود ۳ کیلوگرم در هکتار نیتروژن هوا در روز تثبیت می‌شود. گونه‌های مختلف آزولا می‌تواند رنگ‌های بنفش، قرمز، ابری، زرد مایل به قهوه‌ای روشن تا سبز روشن و سبز تیره را از خود بروز دهند. بروز این رنگ‌ها به علت وجود رنگدانه‌های آنتوسیانین^۱ می‌باشد.

۱-۳- طبقه‌بندی گیاهی آزولا

آزولا سرخس آبری است از تیره پیشین سالوینیاسه^۲ در نامگذاری قدیم و آزولاسه^۳ در نامگذاری جدید. هم آزولا و هم سالوینیا از سرخس‌های آبری هستند که دو نوع اسپور مجزا و قابل مشاهده شبیه بذر گیاهان تولید می‌کنند. در حالیکه اغلب سرخس‌ها تنها یک نوع اسپور تولید می‌نمایند. سرخس‌ها بر اساس اینکه بافت اسپوروژنی^۴ آنها از رشد یک سلول منفرد ابتدایی به‌وجود آید یا از بیش از یک سلول، به دو دسته مشخص و مجزا تقسیم می‌شوند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجواند، ۱۳۷۵؛ سی‌ای‌اچ، ۲۰۰۴؛ کوئین، ۲۰۱۵؛ ویکیدیا، ۲۰۱۵). آزولا مربوط به دسته

1. Anthocyanin

2. Salviniaceae

3. Azollaceae

۴. هاگ یا اسپور (spore) در زیست‌شناسی و باکتریولوژی ساختاری تولیدمثلی است که برای پراکنش نسل آن موجود و بقا در شرایط سخت برای مدت‌های مدید سازگار شده است. هاگ در چرخه زندگی بسیاری از گیاهان، جلبک‌ها، قارچ‌ها، برخی پروتوزوآ و باکتری‌های گرم‌مثبت وجود دارند.

اول می‌باشد. یعنی اسپوروکارپ‌ها^۱ در آن از رشد یک سلول اولیه منفرد به وجود می‌آیند. آزولا نوعی سرخس است با برگ‌های کوچک به رنگ سبز تیره تا قرمز قهوه‌ای. طول این گیاه در برخی گونه‌ها نهایتاً به ۲/۵ سانتی‌متر می‌رسد. طبقه بندی آزولا متعلق به گروهی واحد و منفردی از تیره آزولائه می‌باشد. این گیاه در گذشته در دو تیره و به شش گونه تقسیم‌بندی شده بود؛ ولی در سال ۱۹۹۲ توسط ساندروز و فولر براساس مطالعات مرفولوژیکی و آناتومی به دو گروه اصلی رایزوسپرما^۲ و ائوآزولا^۳ با هفت گونه قابل تشخیص در این طبقه‌بندی تقسیم شده است (افتخاری، ۱۳۸۲؛ سینگ، ۱۹۸۹).

۱- گروه ائو آزولا شامل پنج گونه است و به نظر می‌رسد که پنج گونه مربوط به ائوآزولا از مناطق معتدل، گرمسیری و نیمه گرمسیری آمریکای شمالی و جنوبی و اقیانوسیه سرچشمه گرفته‌اند (وان‌هوف، ۱۹۸۹). زیمرمن (۱۹۹۱) گونه‌های *A. caroliniana*، *A. mexicana* و *A. microphylla* را از نظر رده‌بندی دارای وابستگی نزدیک و مشابهی معرفی کرده و واکنش آنها به کمبود فسفر را از نشانه‌های این وابستگی معرفی کرده است و لذا به‌عنوان یک گونه واحد در نظر گرفته است.

۲- گروه رایزوسپرما دو گونه را شامل می‌شود. پراکنش گونه *A. nilotica* که بومی آفریقا می‌باشد و از کشور سودان تا موزامبیک یافت می‌شود (وان‌هوف، ۱۹۸۹). *A. pinnata* دو زیرگونه متفاوتی دارد و الگوهای پراکندگی متفاوتی را نشان می‌دهند، *A. pinnata* var. *imbricata* از مناطق گرمسیری آسیا سرچشمه می‌گیرد در حالی که *A. pinnata* var. *pinnata* در آفریقا وجود داشته و به‌عنوان نژاد آفریقایی شناخته شده است (وان‌هوف، ۱۹۸۹).

جنس آزولا اولین بار توسط ژان‌باپتیست لامارک بر اساس نمونه‌های جمع‌آوری شده توسط

۱. یک sporocarp نوع خاصی از ساختار موجود در برخی از سرخس‌ها است که کارکرد اصلی آنها تولید و انتشار اسپور است.

2. Rhizosperma

3. Euazolla

فیلبرت کامرسون و دستیارش ژانه بارت در سال ۱۷۸۳ توصیف شد. کامرسون که یک گیاه‌شناس فرانسوی بود به همراه همکارش با همراهی در یکی از سفرهای مازلان به دور دنیا این گیاه را از آمریکای جنوبی جمع‌آوری کرده بود (شیپینگر، ۲۰۰۳؛ کاراپیکو، ۲۰۱۰). قدیمی‌ترین شواهد فسیلی مربوط به این جنس مربوط به اواخر دوره‌ی کرتاسه^۱ زمین‌شناسی است (مارتین، ۱۹۷۶)؛ اما گونه‌های مختلف این جنس در دوران‌های بعد از کرتاسه ایجاد شده و دارای قدمت تاریخی کمتری هستند (فاولر، ۱۹۷۵).

در منابع قدیمی ابتدا تعداد سلول‌های گُرک‌چه‌های موجود بر روی برگ‌های آزولا در رده‌بندی و تشخیص گونه‌های آزولا مورد استفاده قرار می‌گرفتند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵). اما بررسی‌های بیشتر نشان داد که استفاده از اجزای اندام‌های تولیدمثلی مانند تعداد خانه‌های گلوشید^۲ یا ساختمان اسپرودرم^۳، تعداد شناورها^۴ و تزئینات سطح مگاسپوروکارپ^۵ برای تفکیک دقیق‌تر گونه‌ها مناسب‌تر است و براساس اجزای اندام‌های تولید مثلی جنس آزولا به دو زیرجنس ائوآزولا و ریزوسپرما تقسیم شد. در گونه‌های متعلق به زیرگروه ائوآزولا، گلوشیدیا گسترده است؛ اما گونه‌های متعلق به زیرگروه ریزوسپرما دارای گلوشیدای ساده هستند.

در منابع جدید با توجه به نادر بودن تولید مثل جنسی در این گیاه و مشکلات موجود در زمینه دسترسی به اندام‌های تولید مثلی گیاه، علاوه بر اجزای اندام‌های تولید مثلی روش‌های مولکولی نیز برای تفکیک گونه‌های آزولا مورد استفاده قرار می‌گیرند که براین اساس جنس آزولا دارای ۲۵ گونه فسیل و ۷ گونه زنده در نظر گرفته شده است. کانائیان و کومار (۲۰۰۶) در بررسی تنوع زیستی آزولا و باکتری همزیست آن، گونه‌های زنده متعلق به هر زیرگروه را مشخص نموده‌اند (شکل ۱-).

1. Cretaceous

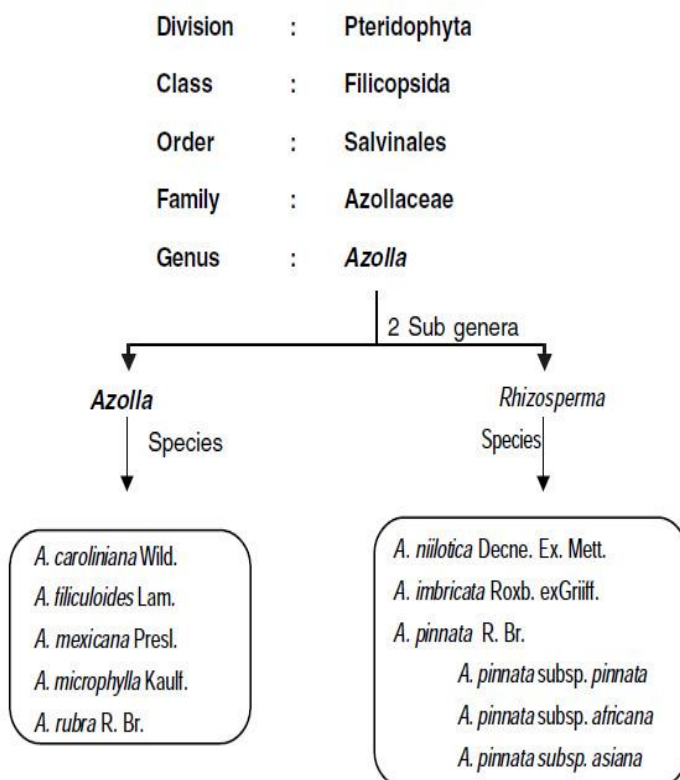
۲. Glochidia اندام‌های خارمانند و چسبنده روی توده اسپوره‌ای نر (Massula)

3. Sporoderm

4. Float

5. Megasoprocarp

۳)، اما هنوز در مورد برخی از گونه‌ها اختلاف نظر وجود دارد. به عنوان مثال، در برخی از منابع گونه *A. rubra* به عنوان یک وارسته از گونه *A. filiculoides* در نظر گرفته شده است.



شکل ۱-۳ - گونه‌های متعلق به هر زیرگروه آزولا (کانائیان و کومار، ۲۰۰۶)

براساس صفات مورفولوژیکی هر یک از دو زیرجنس از جنس آزولا با مشخصات زیر از یکدیگر متمایز و مجزا می‌شوند:

۱- زیرجنس رایزوسپرما: شامل دو گونه *Azolla pinnata* و آزولا نیلوتیکا می‌باشد که مشخصات آن عبارت است از:

الف- وجود گُرک‌های کوچک بر روی تمام اندام‌های رویشی

ب- وجود ۹ شناور بر روی مگاسپوروکارپ

ج- گلوشیدهای ساده و بدون دیواره داخلی و بدون انتهایی قلاب مانند

۲- زیرجنس انوآزولا: شامل ۴ گونه آزولا فلیکلولوئیدس، آزولا مکزیکانا، آزولا کارولینانا،

آزولا میکروفیلا می باشد و مشخصات آن عبارت است از:

الف- وجود گُرکچه های تنها بر روی برگ ها و تعدادی از شاخه ها

ب- وجود ۳ شناور بر روی مگاسپوروکارپ

ج- گلوشیدهای کاملاً مشخص با دیواره های داخلی و انتهایی قلاب مانند

در مورد رده بندی آزولا روش های متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته است که بر اساس یافته های جدیدتر همه ساله تغییرات جزئی در این سیستم ها مشاهده می شود.. به عنوان مثال بر اساس اطلاعات ارائه شده در سایت فرهنگ جامع زیستی^۱ (EOL) در سال ۲۰۱۶ این سرخس آبری توسط پایگاه مرکز جهانی اطلاعات بیوتکنولوژیکی^۲ (NCBI) در تیره Azollaceae رده بندی شده بود (شکل ۱-۴)؛ اما برخی از منابع مانند مرکز سیستم های بارکد اطلاعات زیستی^۳ (BLOD) این سرخس را در تیره Salviniaceae رده بندی کرده بودند (شکل ۱-۵). به این ترتیب بر اساس موارد اطلاعات ارائه شده در هر دو سایت در سال ۲۰۱۹ هر دو منبع آزولا را در تیره Salviniaceae رده بندی کرده اند در حالیکه سامانه اطلاعات رده بندی^۴ (ITIS) هنوز آزولا را متعلق در تیره Azollaceae رده بندی کرده است (جدول ۱-۱).

1. Encyclopedia of Life

2. National Center for Biotechnology Information

3. Barcode of Life Data Systems

4. Integrated Taxonomic Information System- ITIS

Recognized By	Rank	Classification
NCBI Taxonomy	Genus	Cellular organisms + Eukaryota + Viridiplantae + Streptophyta + Streptophytina + Embryophyta + Tracheophyta + Euphyllophyta + Moniliiformopses + Polypodiidae + Salviniales + Azollaceae + Azolla Azolla anabanae Azolla caroliniana Azolla cristata Azolla filiculoides Azolla imbricata Azolla japonica Azolla mexicana Azolla microphylla Azolla microphylla x Azolla filiculoides Azolla nilotica Azolla pinnata Azolla pinnata subsp. africana Azolla pinnata subsp. asiatica Azolla pinnata subsp. pinnata Azolla rubra Azolla sp. AsEq1 Azolla sp. CHR 451298 Azolla sp. Qiu 02051

شکل ۱-۴ - درخت رده‌بندی آزولا بر اساس رده‌بندی ارائه شده در مرکز جهانی اطلاعات بیوتکنولوژیکی (EOL, 2016: <http://eol.org/pages/72876/names?all=1> سایت (استخراج از

Recognized By	Rank	Classification
BOLDS resource for species-level	Genus	Pteridophyta + Pteridopsida + Hydropteridales + Salviniaceae + Azolla Azolla caroliniana Azolla filiculoides Azolla imbricata Azolla japonica Azolla mexicana Azolla microphylla Azolla nilotica Azolla pinnata Azolla rubra Salvinia +

شکل ۱-۵- درخت رده‌بندی آزولا بر اساس رده‌بندی ارائه شده در مرکز سیستم‌های بارکد اطلاعات زیستی (EOL, 2016: <http://eol.org/pages/72876/names?all=1> سایت استخراج از)

جدول ۱-۱ آخرین رده‌بندی آژولا بر اساس منابع ارایه شده در سامانه‌های NCBI، BOLD و ITIS در سال ۲۰۱۹

NCBI: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Undef&id=39630&lvl=3&keep=1&srchmode=1&unlock&lin=f&log_op=lineage_toggle
Super kingdom: Eukaryota Kingdom: Viridiplantae Phylum: Streptophyta Sub Phylum: Streptophytina No rank: Embryophyta No rank: Tracheophyta No rank: Euphyllophyta Class: Polypodiopsida Sub class: Polypodiidae Order: Salviniiales Family: Salviniaceae Genus: <i>Azolla</i> (mosquito ferns) Species: <i>Azolla caroliniana</i> (mosquito fern) Species: <i>Azolla</i> cf. <i>caroliniana</i> Rothfels 4138 Species: <i>Azolla cristata</i> Species: <i>Azolla filiculoides</i> Species: <i>Azolla imbricata</i> Species: <i>Azolla japonica</i> Species: <i>Azolla mexicana</i> Species: <i>Azolla microphylla</i> Species: <i>Azolla microphylla</i> x <i>Azolla filiculoides</i> Species: <i>Azolla nilotica</i> Species: <i>Azolla pinnata</i> Sub species: <i>Azolla pinnata</i> subsp. <i>africana</i> Sub species: <i>Azolla pinnata</i> subsp. <i>asiatica</i> Sub species: <i>Azolla pinnata</i> subsp. <i>pinnata</i> Species: <i>Azolla rubra</i> No rank: unclassified <i>Azolla</i> Species: <i>Azolla</i> sp. 'anabena' Species: <i>Azolla</i> sp. AsEq1 Species: <i>Azolla</i> sp. BC-2016 Species: <i>Azolla</i> sp. CHR 451298 Species: <i>Azolla</i> sp. FU-CH153 Species: <i>Azolla</i> sp. FU-CH322 Species: <i>Azolla</i> sp. Qiu 02051
BOLD: http://v3.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=162991
Phylum: Streptophyta Class: Polypodiopsida Order: Hydropteridales Family: Salviniaceae Genus: <i>Azolla</i> Species: <i>Azolla caroliniana</i> Species: <i>Azolla cristata</i>

Species: <i>Azolla filiculoides</i> Species: <i>Azolla imbricata</i> Species: <i>Azolla japonica</i> Species: <i>Azolla mexicana</i> Species: <i>Azolla microphylla</i> Species: <i>Azolla nilotica</i> Species: <i>Azolla pinnata</i> Sub species: <i>Azolla pinnata</i> subsp. <i>africana</i> Sub species: <i>Azolla pinnata</i> subsp. <i>asiatica</i> Sub species: <i>Azolla pinnata</i> subsp. <i>pinnata</i> Species: <i>Azolla rubra</i> Species: <i>Azolla</i> sp. Species: <i>Azolla</i> sp. AsEq1
ITIS: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=18006#null
Kingdom: Plantae – plantes, Planta, Vegetal, plants Subkingdom: Viridiplantae – green plants Infrakingdom: Streptophyta – land plants Superdivision: Embryophyta Division: Tracheophyta – vascular plants, tracheophytes Subdivision: Polypodiophytina Class: Polypodiopsida – leptosporangiate ferns Subclass: Polypodiidae Order: Salviniales – water ferns, heterosporous ferns Family: Azollaceae – mosquito ferns Genus: <i>Azolla</i> Lam. – mosquito ferns, water ferns, mosquitoferns Species: <i>Azolla cristata</i> Kaulf. Species: <i>Azolla filiculoides</i> Lam. – fern azolla, Pacific azolla, Pacific mosquitofern Species: <i>Azolla pinnata</i> R. Br. – mosquito fern, water velvet, feathered mosquitofern

دونهام و فاولر^۱ (۱۹۸۷) روند تغییرات رده‌بندی گونه‌های آزولا را به صورت یک جدول مشخص کرده‌اند (شکل ۱-۶). بررسی آنها نشان می‌دهد که بسیاری از گونه‌هایی که ابتدا به عنوان یک گونه مجزا در نظر گرفته شده بودند در واقع زیرگونه‌ها یا واریته‌های زیستی گونه‌های دیگری هستند. امروزه تنها گونه‌های *A. filiculoides*، *A. microphylla*، *A. mexicana*، *A. caroliniana* و *A. rubra* از زیرگروه ائوآزولا و گونه‌های *A. pinnata*، *A. nilotica* و *A. imbricata* از زیرگروه ریزوسپرما به عنوان گونه‌های مورد قبول اکثر محققین شناخته می‌شوند (کانائیان و کومار، ۲۰۰۶).

Original name and author	Mettenius 1847	Mettenius 1867	Svenson 1944	Present proposal
<i>A. portoricensis</i>	<i>A. portoricensis</i>	-	<i>A. microphylla</i>	<i>A. sp</i>
<i>A. microphylla</i>	<i>A. microphylla</i>	-	-	-
<i>A. bonariensis</i>	<i>A. bonariensis</i>	-	-	-
<i>A. mexicana</i>	<i>A. mexicana</i>	-	<i>A. mexicana</i>	<i>A. mexicana</i>
<i>A. caroliniana</i>	<i>A. caroliniana</i>	<i>A. microphylla</i>	-	-
<i>A. densa</i> Desvx,	<i>A. densa</i>	<i>A. caroliniana</i>	-	-
		<i>A. cristata</i>	<i>A. caroliniana</i>	
<i>A. cristata</i>	<i>A. cristata</i>	-	-	-
<i>A. arubuscula</i>	<i>A. arubuscula</i>	-	-	<i>A. caroliniana</i>
<i>A. megellanica</i>	<i>A. megellanica</i>	<i>A. filiculoides</i>	<i>A. filiculoides</i>	<i>A. filiculoides</i>
<i>A. filiculoides</i>	<i>A. filiculoides</i>	<i>A. rubra</i>	-	<i>A. rubra</i>
<i>A. rubra</i>	<i>A. rubra</i>	-	-	<i>Azolla sp</i>

شکل ۱-۶- جدول تغییرات رده‌بندی گونه‌های آزولا (کانائیان و کومار، ۲۰۰۶).

۱-۴- مهم‌ترین مناطق جغرافیایی انتشار گونه‌های آزولا

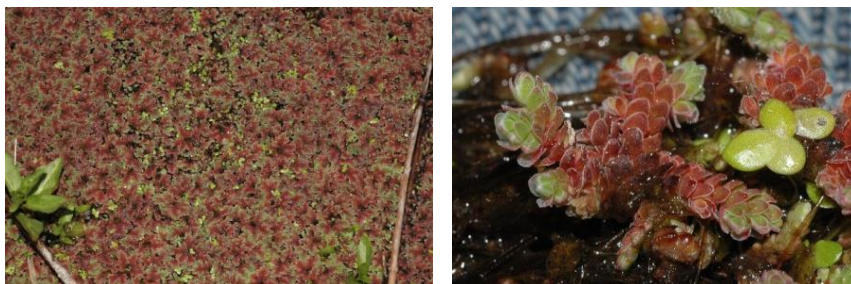
موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) در فیلیپین صدها نمونه آزولا را جمع‌آوری کرده است. هرچند در هاوایی هیچ نمونه‌ای مشابه با *A. filiculoides* که به‌طور تصادفی در قرن بیستم آورده شده باشد، وجود ندارند (فوس‌برگ، ۱۹۴۲). سرخس کوچک و زیبایی آبری آزولا در تمام مناطق دنیا وجود و ۲۵ گونه فسیل شده آنهم به‌دست آمده است. گونه‌های مختلف جنس آزولا در تمام مناطق دنیا وجود دارد، لیکن موطن اصلی گونه‌های شناخته شده و مراکز انتشار عبارتند از:

۱- *A. caroliniana* (شکل ۱-۷)

مرکز اولیه آن مناطق غربی آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و آمریکای مرکزی است و در استرالیا، اسپانیا فرانسه نیز وجود دارد.

گونه *A. caroliniana* بومی قاره آمریکا بوده و در شرق آمریکای شمالی از جنوب به انتاریو و از شرق به ساحل غربی ویسکانسین و تگزاس است. همچنین در جزایر کارائیب و در آمریکای مرکزی و جنوبی، از جنوب شرقی مکزیک تا شمال آرژانتین و اروگوئه گسترده‌اند. *A. caroliniana* اغلب به‌عنوان یک گیاه زینتی شناور در آب‌های سرد و گرم و آکواریوم و همچنین در برکه‌های فضای باز استفاده می‌شود.

این گیاه آبی آب شیرین، دارای برگ‌ساقه‌های ۵ تا ۱۰ میلی‌متر به رنگ سبز مایل به قرمز می‌باشد (اغلب در نور قوی و در زمستان به رنگ مایل به قرمز است). این برگ‌ها از موهای ریز که به آن ظاهر مخملی می‌دهند، پوشیده شده‌اند و با آن قادر به جذب نیتروژن از هوا با استفاده از همزیستی سیانوباکتری‌ها هستند. سرعت رشد این گیاه متوسط و تا حدی سریع است. این گیاه شناور است و سطح آب را پوشش می‌دهد. می‌تواند در درجه حرارت آب کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد در زمستان زنده بماند؛ اما رشد مطلوب آن در تابستان با دمای بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. *A. caroliniana* از اهمیت تجاری در جنوب و شرق آسیا برخوردار است و به‌عنوان کود با ارزش برای تثبیت نیتروژن در بعضی از محصولات کشاورزی مانند برنج است که نیاز اضافی به کود مصنوعی را کاهش می‌دهد. محدوده pH این گونه آزولا ۶/۵ تا ۸ است. بهتر است هر چند وقت یکبار نسبت به جمع آوری این گیاه از سطح آب اقدام نمود تا مانع رسیدن نور به گیاهان داخل آب نشود. برگ‌ساقه‌های آن نیز به‌عنوان غذا برای ماهی و مرغ استفاده می‌شود.



شکل ۱-۷ - *A. caroliniana*

(http://www.plantsystematics.org/imgs/kcn2/r/Salviniaceae_Azolla_caroliniana_22128.html & [22129.html](http://www.plantsystematics.org/imgs/kcn2/r/Salviniaceae_Azolla_caroliniana_22129.html))

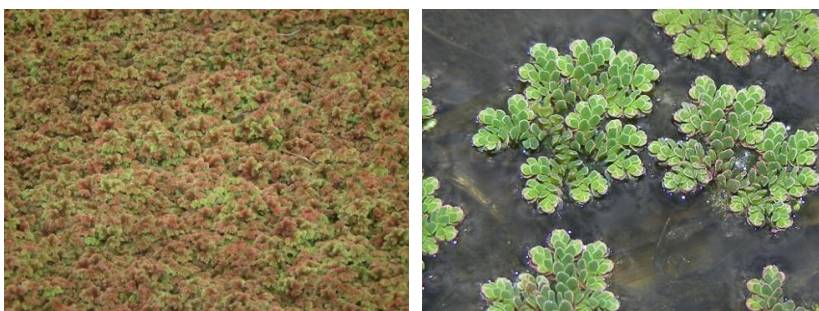
۲- *A. filiculoides* (شکل ۸-۱)

مرکز اصلی این گونه آمریکاست ولی در استرالیا، نیوزلند انگلستان، آلمان، چک و اسلواکی و ژاپن نیز وجود دارد. این گیاه در برابر سرما مقاوم تر از سایر گونه هاست. بهترین دما برای رشد آن ۲۲ تا ۲۵ درجه سانتی گراد می باشد ولی دمای ۵ درجه سانتی گراد را نیز تحمل می کند.

گونه *A. filiculoides* بومی آمریکا است که به طرُوق مختلف در سرتاسر دنیا از جمله اورپا، شمال آفریقا، چین، ژاپن، نیوزیلند، استرالیا، کارائیب و هاوایی گسترش یافته است و انسان یکی از عوامل اصلی پخش و گسترش آن بوده است (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۰ و ۱۹۸۲؛ آشتون، ۱۹۸۲)؛ اما جینز (۱۹۹۸) و شزیس نیاک و همکاران (۲۰۰۹) اظهار می نمایند که *A. filiculoides* برای اولین بار در اواخر قرن نوزدهم و در دهه ۱۸۷۰ و ۱۸۸۰ در اروپا ثبت شده است و بعدها از طریق کشتی ها و یا به عنوان گیاه زینتی توسط انسان به سایر نقاط انتقال یافته است. سپس در سال ۱۹۷۷ به عنوان جایگزین برای *A. pinnata* حساس به سرما و به عنوان کود سبز مزارع برنج از آلمان شرقی به آسیا آورده شد (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۲). در سال ۱۹۴۶ به عنوان گیاه مناسبی برای آکواریوم به آفریقا انتقال یافت (اوس تویی زن و والترز، ۱۹۶۱؛ ژاکوت و گیلامود، ۱۹۷۹). به عنوان یک گیاه مدل برای مطالعات همزیستی آزولا-آنابائنا نیز در سراسر جهان منتشر شده است (کاراپیکو، ۲۰۱۰). مخاطرات گسترش آن در دنیا زمانی بیشتر شد که این گونه آزولا به عنوان غذای ماهی در

خزانه رشد داده شد. گسترش آن در کشورهای آفریقایی و اروپایی بدون تردید به دلیل چسبیدن به بدن پرندگان آبی بوده است.

برخی منابع نیز اعتقاد دارند که گونه *A. filiculoides* احتمالاً تنها گونه سرخس شناور در بریتانیا می‌باشد اگرچه گزارشاتی مبتنی بر مشاهده گونه *A. caroliniana* نیز وجود دارند. این گونه‌ها اصولاً بومی آمریکای شمالی هستند به‌طوری‌که گونه اولی در مناطق غربی و گونه دومی در مناطق شرقی آمریکا گسترش دارند. این گونه‌ها از جهت تعداد پُرزهای سطح برگ و تعداد سلول‌های حاشیه‌ای برگ‌شاخه‌ها با یکدیگر متفاوتند (سی ای اچ، ۲۰۰۴).



شکل ۱-۸- آزولا فیلیکلوئیدس (*A. filiculoides*)

[http://publish.plantnet-](http://publish.plantnet-project.org/project/plantinvasivekruger/collection/collection/synthese/taxo_view_gallery/Salviniaceae%20-%20Azolla%20filiculoides%20Lam.)

[project.org/project/plantinvasivekruger/collection/collection/synthese/taxo_view_gallery/Salviniaceae%20-%20Azolla%20filiculoides%20Lam.\)](http://publish.plantnet-project.org/project/plantinvasivekruger/collection/collection/synthese/taxo_view_gallery/Salviniaceae%20-%20Azolla%20filiculoides%20Lam.)

۳- *A. microphylla* (شکل ۱-۹)

یک سرخس آبی بومی کالیفرنیا است؛ اما بیشتر در آمریکای مرکزی و شمالی پراکنده است و در جنوب هندوستان نیز وجود دارد، این گونه گیاهی در محیط‌های گرم و نیمه گرمسیری بهتر رشد می‌کند. امروزه معمولاً این گونه را با *A. mexicana* یکسان در نظر می‌گیرند.



شکل ۱-۹- آزولا میکروفیلا (*A. microphylla*) (یادوف و همکاران، ۲۰۱۴)

۴- *A. mexicana* (شکل ۱-۱۰)

یک گیاه از نهانزادان آوندی^۱ و سرخس آبری بومی مکزیک، بریتیش کلمبیا و غرب ایالات متحده و شامل ایالت‌های کالیفرنیا، اورگان، واشنگتن، آریزونا، نیومکزیکو، تگزاس، یوتا و نوادا بوده و به نام سرخس پشه مانند مکزیک می‌باشد. گزارش‌هایی از این گونه نیز در دشت‌های بزرگ مرکزی ایالات متحده وجود دارد؛ اما این گزارش‌ها نیاز به بررسی بیشتر برای صحت وجود این گونه از آزولا دارد (یو اس دی آ، ۲۰۱۶). مناطق پراکندگی این آزولا آمریکاست ولی مرکز اولیه آن مکزیک می‌باشد. این گونه گیاهی در مناطق گرم رشد بهتری دارد. گیاهی است سبز یا اغلب به رنگ آبی تا سبز و گاهی به رنگ قرمز تیره که حاشیه برگ‌ها به رنگ قرمز بوده و معمولاً به صورت آزاد در سطح آب شناور هستند. ساقه آن در حدود ۱/۵-۱ سانتی‌متر می‌باشد که در اوائل تابستان تشکیل یک لایه به ضخامت حدود ۴ سانتی‌متر را در سطح آب ایجاد می‌کند اسونسون، ۱۹۴۴). آزولا مکزیکانا به‌طور کلی کمتر مقاوم به سرما بوده و محدوده زیست‌محیطی کمتری نسبت به آزولا کارولینایا دارد؛ اما خصوصیات مشابهی با آزولا کارولینایا دارد (زیمرمن و همکاران، ۱۹۸۹).

1. pteridophyte



شکل ۱-۱۰- آزولا مکزیکانا (*A. mexicana*)

(<https://www.minnesotawildflowers.info/fern/mexican-mosquito-fern>)

۵- *A. nilotica* (شکل ۱-۱۱)

سرخس شناوری با اندازه متوسط از تیره سالوینیاسه است که به طور طبیعی در آفریقای مرکزی، سودان و کناره‌های رود نیل وجود دارد؛ ولی مرکز اصلی آن شمال آفریقا به خصوص کناره‌های رود نیل است. این گیاه در مناطق گرم و مرطوب رشد بهتری دارد. نام *A. nilotica* برای اولین بار توسط گیاه شناس آلمانی بنام جورج هنریچ متنیوس^۱ شناسایی و در کتاب Plantis Tinneanis در سال ۱۸۶۵ منتشر شد و سپس توسط ژوزف دیکیسن^۲ گیاه شناس فرانسوی رسماً نامگذاری شد (متنیوس، ۱۸۶۵). در واقع دلیل نامگذاری آن به نیلوتیکا این بود که ابتدا از اطراف رودخانه نیل جمع‌آوری گردیده بود (هایده و همکاران، ۲۰۱۷).

این گونه گاهی تا ۳۲ سانتی‌متر نیز طول دارد و حاوی شاخه‌های جانبی طویل و افقی و همچنین ریزوم‌های موئین با ضخامت حدود ۲ میلی‌متر است. شاخه‌های جانبی به طور متناوب و منظم بر روی ساقه قرار دارند. معمولاً در فصل بهار ریشه‌های موئین همراه با گره‌هایی در آن رشد می‌کنند. در لب بالایی هر برگ یک گامت ماده سبز رنگ به طول ۲ میلی‌متر تشکیل می‌شود. نوک گامت ماده گرد و لبه‌های کناری آن شفاف است که در وسط برگ قرار دارد.

اسپورکارپ‌ها در *A. nilotica* در چهار گروه تشکیل شده و ممکن است ترکیبی از ماکروسپورها

1. Georg Heinrich Mettenius

2. Joseph Decaisne

و میکروسپورها را با هم داشته باشند که در این حالت به آن ماسولا^۱ می‌گویند (لامپکین، ۱۹۸۱). در سایر گونه‌ها اسپورکارپها جفتی است. این گونه دارای عادات رفتاری متفاوتی نسبت به گونه‌های دیگر آزولا می‌باشد. همچنین مجموعه‌ای از ریشه‌ها را دارد، در حالی که گونه‌های دیگر دارای تک ریشه هستند. گُب بالایی برگ‌ها بزرگتر از گُب پایین است، در صورتی که به‌طور مثال در *A. filiculoides* گُب پایین برگ بزرگتر از گُب بالایی می‌باشد (هایده و همکاران، ۲۰۱۷). گیاه هرگز به رنگ قرمز نمی‌رسد و بنابراین مانند دیگر گونه‌ها هرگز به پایان فصل رشد نمی‌رسد و همیشه در حال رشد دیده می‌شود (لامپکین، ۱۹۸۱). گونه *A. nilotica* نیز مانند سایر گونه‌ها دارای یک رابطه همزیستی با سیانوباکتری‌ها می‌باشد (اسژودین، ۲۰۱۲).

این گیاه در آب‌های راکد یا آب‌هایی که به آرامی جریان دارند مانند استخرهای موقت، آب‌بندان‌ها و کناره‌های دریاچه‌ها و گِل‌هایی که در حال خشک شدن هستند، دیده می‌شود. همچنین وجود آن در ارتفاعات ۱۶۵۰ متری از سطح دریا نیز گزارش شده است (آی یو سی ان، ۲۰۱۰). درجه تحمل گرمای آن کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد (۵۰ درجه فارنهایت) است، بنابراین احتمال اینکه بتواند در خارج از مناطق گرمسیری دیده شود، بسیار کم است (لامپکین، ۱۹۸۱). همانند گونه‌های دیگر آزولا به دلیل نیترات بالایی که تولید می‌کند می‌تواند به‌عنوان کود سبز استفاده شود (آی یو سی ان، ۲۰۱۰).



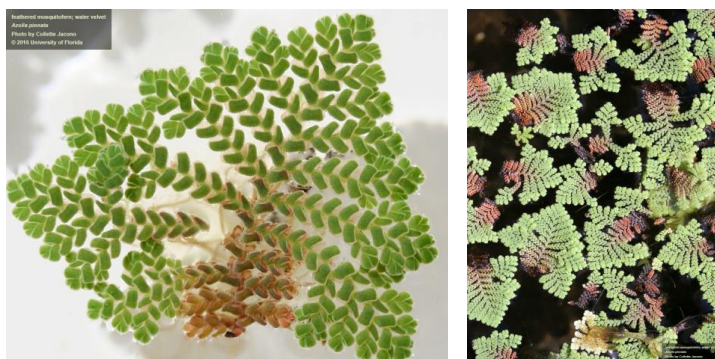
شکل ۱-۱۱- آزولا نیلوتیکا (*A. nilotica*)

https://www.inaturalist.org/taxa/445201-Azolla-nilotica/browse_photos

۶- *A. pinnata* (شکل ۱-۱۲)

گونه‌ای از سرخس آزولا هست که با چندین نام مشترک، از جمله سرخس پشه مانند، سرخس پردار و مخملی شناخته می‌شود. شکل آن شبیه درخت کریسمس بوده و دارای برگ‌های سبز و ریشه‌های پر مانند با رنگ قرمز و قهوه‌ای می‌باشد. این سرخس بومی بسیاری از کشورهای آفریقایی و آسیایی از جمله برونئی دارالسلام، چین، هند، ژاپن، کره و فیلیپین و همچنین بخش‌های مختلفی از استرالیا است. گیاهی آبزی است که بر روی سطح آب شناور است و به‌ویژه در آبهای آرام و آهسته به فراوانی وجود دارد، زیرا جریان‌های سریع و امواج آب این گیاه را از بین می‌برند (سود و همکاران، ۲۰۰۵).

البته *A. pinnata* بیشتر در قاره آسیا پراکنده است. بیشترین مناطق پراکندگی آن در کشورهای فیلیپین، چین، تایوان، هندوستان، ویتنام و اندونزی است. این نوع آزولا که در استرالیا و بعضی از مناطق آفریقایی نیز دیده شده است. در مناطق معتدل رشد بهتری دارد و در برخی از کشورها مانند ویتنام در سراسر سال به رشد خود ادامه می‌دهد و در این کشورها به آزولای سبز معروف شده است. در مناطقی که درجه حرارت آب به بالاتر از ۳۰ و حتی ۳۸ درجه سانتی‌گراد برسد، این گونه می‌تواند مقاومت نماید. در برابر آفات و کمبود کود فسفره نیز مقاومت کافی از خود نشان می‌دهد. در محیط‌هایی که pH آنها بین ۵/۸-۶/۵ باشد به خوبی رشد می‌نماید (فرن‌تینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راژا و همکاران، ۲۰۱۲). این گونه در آمریکا در گروه علف‌های هرز محسوب می‌شود (USDA-NRCS, 2004). این گونه اغلب برای پاکسازی آلاینده‌های زیست محیطی استفاده می‌شود (کوه و همکاران، ۲۰۱۵a).



شکل ۱-۱۲ - آزولا پیناتا (*A. pinnata*)

(<https://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/azolla-pinnata/>)

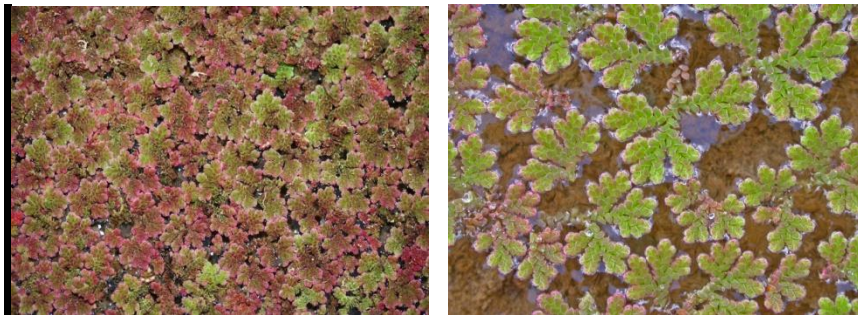
۷- *A. rubra* (شکل ۱-۱۳)

گونه‌ای دیگر از سرخس آیزی و شناور آزولا می‌باشد که اغلب به رنگ قرمز مایل به قرمز تیره و یا قرمز مایل به سبز است که بومی شمال جزایر شمالی نیوزیلند مانند نورث‌لند، اوکلند، فلات‌های آتشفشانی، تاراناکی، گیسبورن و جزایر شمالی جنوبی، در غرب در نلسون، ساندز نلسون، مارلبوروگ، وستلند، کانتربوری، اوتاگو، سوسلند و فیوردلند و همچنین در جزایر جنوبی آن یافت می‌شود. همچنین در کرمدکس و تمام ایالت‌های استرالیا، و احتمالاً در گینه نو، اندونزی و ژاپن یافت می‌شود. *A. rubra* در حال حاضر تنها گونه‌ای است که در جزایر جنوبی یافت می‌شود؛ اما احتمال دارد با عبور از تنگه کوک به زودی به نقاط دیگر نیز برسد. این گیاه از نقاط ساحلی تا کوه‌های با ارتفاع حدود ۸۰۰ متر و در آب‌های کم‌عمق مانند استخر مزارع، زهکش‌ها و پشت سدها به خوبی رشد می‌کند.

این گونه از حدود یک قرن پیش در مناطقی از ایرلند نیز استقرار یافته‌اند. محققان مبدأ این گونه آزولا را مناطق شمالی، مرکز و جنوبی آمریکا می‌دانند. باید توجه داشت که آزولا در ابتدا احتمالاً به‌عنوان یک گیاه زینتی جهت پرورش در تالاب‌های ماهیان معرفی شده بود. اگرچه فسیل‌های موجود در مناطق مختلف قاره اروپا بیانگر این است که گونه‌هایی از آزولا نیز به‌صورت بومی در

اروپا می‌زیسته‌اند که در ضمن سال‌های ۱۸۸۰ میلادی مجدداً در قاره سبز مطرح گردیده‌اند (کلی و ماگوئیره، ۲۰۰۹). دارای ریشه‌های طویل و آویزان و بدون ریشه‌های جانبی است. گیاهی است به شکل پنکه یا فن و تخم مرغی با شاخه‌هایی به شکل نامنظم که اندازه آنها به حدود ۲ سانتی‌متر می‌رسد. برگ‌ها مثلی با نوک انتهایی گرد دارد، سطحی صاف و بدون زبری بوده و شفاف است. ماسولاهایی مارپیچی و میکروسکوپی دارد که در سرتاسر ماسولاها خارهای برجسته‌ای وجود دارند. به مقدار بسیار زیاد و گسترده‌ای در آب‌های کم یا آب‌هایی که جریان کندی دارند، وجود دارد؛ اما در مناطق آلی یا در مجاورت رودخانه موری^۱ وجود ندارد (انت‌وایسله، ۱۹۹۴؛ رید و همکاران، ۲۰۰۶).

A. rubra هم به روش جنسی و هم به‌طور غیرمستقیم به روش قطعه قطعه شدن اندام‌ها تکثیر می‌یابد. گزارش شده است که احتمال دارد *A. pinnata* جایگزین آزولا را برادر جزایر جنوبی و در اوکلند شود. چون *A. rubra* دارای شاخه‌های نامنظمی بوده و از طرفی چون ریشه‌های موئین بر روی ریشه اصلی ندارد، به راحتی می‌توان آن را از *A. pinnata* متمایز نمود (تورسن و همکاران، ۲۰۰۹؛ براون‌سی و پرئیه، ۲۰۱۳).

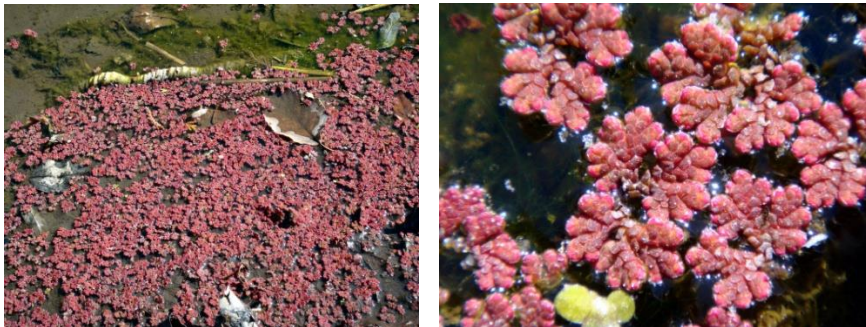


شکل ۱-۱۳- آزولا رابرا (*A. rubra*)

(http://www.phytoimages.siu.edu/imgs/BarcelJF/r/Salviniaceae_Azolla_rubra_66549.html & [66562.html](http://www.phytoimages.siu.edu/imgs/BarcelJF/r/Salviniaceae_Azolla_rubra_66562.html))

۸- *A. japonica* (شکل ۱-۱۴)

اطلاعات زیادی در خصوص این زیرگونه آزولا موجود نیست؛ اما بسیاری از نویسندگان ژاپنی در مقالات خود این نوع از آزولا را مختص ژاپن دانسته و معتقدند که این گونه ابتدا در ژاپن شناسایی شده و در کتابی در ژاپن به ثبت رسیده است. با این حال، برخی از نویسندگان خارجی گفته‌اند که *A. japonica* در واقع همان *A. filiculoides* می‌باشد. از طرف دیگر مطالعه DNA در *A. japonica* نشان داد که این گونه مجموعه ادغام شده‌ای از *A. filiculoides* لامارک با آزولا رابرای قرمز رنگ می‌باشد. برخی دیگر از نویسندگان از یک طرف معتقدند که *A. japonica* نوعی *A. filiculoides* است که به رنگ قرمز در آمده و خصوصیتی شبیه *A. rubra* را دارد. مطالعات اخیر نشان داد که دو نوع *A. japonica* به نام‌های ایاموتو و تاجیما وجود دارد (واتانابه و همکاران، ۱۹۹۹).

شکل ۱-۱۴- آزولا ژاپونیکا (*A. japonica*)

(<http://fern.la.coocan.jp/Azollaceae/Azolla%20japonica/Azolla%20japonica.htm>)

۱-۵- تاریخچه آزولا در جهان

نام آزولا در سال ۱۷۸۳ توسط لامارک^۱ برای این جنس انتخاب گردید (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛

۱. ژان باتیست پیر آنتوان دو مونه شوالیه دو لامارک زیست‌شناس فرانسوی. او یک سرباز، زیست‌شناس، دانشگاهی و یکی از اولین کسانی بود که پیشنهاد کرد تکامل موجودات زنده بوقوع پیوسته‌است و بر مبنای قوانین طبیعی پیش رفته است. وی واضع دیدگاه لامارکیسم است.

قره‌یاضی، ۱۳۷۰). تاریخچه پیدایش آزولا در روی کره زمین به یکی از مراحل دوره سنوزوئیک^۱ و عصر پلی‌استوسن^۲ یعنی پیش از دو میلیون سال قبل بر می‌گردد. گونه‌های زیادی از آن در روی زمین وجود داشته که امروزه اکثر این گونه‌ها منقرض شده‌اند. فولر دانشمند انگلیسی در سال ۱۹۸۳ تعداد گونه‌های منقرض شده آزولا را تا حدود ۴۸ گونه ذکر کرده است. امروزه تنها ۷ گونه آزولا در سرتاسر جهان وجود دارند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹). در چین شالیکاران از ۱۵۰۰ سال پیش آزولا را در مزارع برنج خود پرورش داده و یکی از رموز موفقیت خود در تولید برنج با عملکرد بالای برنج با میانگین ۵/۳ تن در هکتار را مرهون استفاده از آزولا در مزارع برنج می‌دانند. امروزه حدود سه میلیون هکتار از اراضی شالی‌کاری چین که در مناطق معتدله واقع است به کشت آزولا اختصاص دارد. پیش از تولید کودهای شیمیایی، آزولا تنها منبع تأمین نیتروژن برای گیاه برنج محسوب می‌شد (نصیریان، ۱۳۶۷). آزولا سال‌ها پیش از آنکه به‌عنوان کود سبز مطرح شود، به‌عنوان خوراک دام جهت حیوانات اهلی مانند اردک و ماهی مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفته است. این گیاه در ویتنام نیز تاریخی طولانی داشته و برخی از محققان آغاز استفاده و کاربرد عملی از آزولا را به قرن یازدهم در ویتنام مربوط می‌دانند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). قرن‌هاست که در کشورهای چین و ویتنام از گیاه آزولا به‌عنوان کود سبز در جهت بهبود حاصل‌خیزی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین نیتروژن مورد نیاز زراعت برنج و سایر محصولات کشاورزی و همچنین تأمین و تهیه قسمتی از خوراک دام و طیور استفاده می‌شود (نصیریان، ۱۳۶۷). تکنولوژی استفاده از آزولا به‌عنوان کود بیولوژیکی برای تثبیت نیتروژن موجود در اتمسفر و تأمین آن برای برنج و افزایش محصول سال‌هاست که در کشورهای تولیدکننده برنج مثل چین، ژاپن، ویتنام، کره، اندونزی، فیلیپین و کشورهای آفریقایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حال حاضر ویتنام شمالی هر ساله حدود یک میلیون هکتار از اراضی شالی‌کاری خود را به‌طور همزمان از

1. Cenozoueik

2. Polistosen

آزولا و برنج مورد استفاده و بهره‌برداری قرار می‌دهد (نصیریان، ۱۳۶۶). بعد از استقلال ویتنام دولت این کشور در سال ۱۹۵۸ یک مرکز تحقیقاتی را برای آزولا سازماندهی کرد. در سال ۱۹۵۹ دولت چین تصمیم گرفت در مورد قابلیت‌های آزولا تحقیقات بیشتری را به عمل آورد. دولت چین معتقد بود که به ۴ دلیل باید آزولا را توسعه داد که این دلایل عبارتند از:

۱- به‌عنوان کود سبز: آزولا در زمین‌هایی که به‌دلیل ماندابی بودن قابلیت کشت گیاه به‌عنوان کود سبز را ندارند، به خوبی رشد کرده و جایگزین مناسبی برای کود سبز می‌باشد.

۲- رابطه بسیار خوبی که با جلبک سبز- آبی آنانبا داشته و از این راه نیتروژن مورد نیاز خود و گیاه را تثبیت می‌کند.

۳- در شرایط مساعد رشد آزولا به سرعت و در طی ۵-۲ روز به دو برابر می‌رسد.

۴- پوشش ضخیم ایجاد شده توسط آزولا به کنترل علف‌های هرز کمک زیادی می‌کند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

کمک به توسعه و گسترش استفاده از آزولا در اوایل دهه ۱۹۶۰ در چین و ویتنام آغاز و سپس به سایر کشورها که به استفاده از آن علاقمند شده بودند، منتقل گردید. در دهه ۱۹۷۰ استفاده از هورمون‌های رشد، اسپور^۱ به‌عنوان بذر، باکتری برای کنترل بیولوژیکی آفات، اکتینومیسست‌ها برای افزایش قابلیت استفاده از نیتروژن در آزولای پوسیده شده، تکنیک اندازه‌گیری کاهش اسیتیلن برای تعیین مقدار نیتروژن تثبیت شده، نقش قارچ‌ها در متلاشی کردن و اضمحلال پوشش آزولا و غیره توسط دانشمندان آمریکایی و انستیتوی بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI)^۲ و سازمان خواروبار جهانی (FAO) آغاز شد و سپس گسترش پیدا کرد. در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ مسئله اصلاح نژادهای آزولا مطرح و در سال ۱۹۸۶ در این گزارش تلاقی موفقیت‌آمیز دو گونه از آزولا توسط ون‌گزیونگ و همکارانش گزارش شده است. همچنین موفقیت‌هایی نیز در زمینه تهیه

1. Spores

2. International Rice Research Institute

آزولای فاقد آنابنا و همچنین جداسازی و نگهداری جلبک (اگر چه هنوز کاملاً موفق نیست) جابجا کردن جلبک‌های اختصاصی گونه‌های مختلف آزولا و ایجاد ترکیبات جدیدی از همزیستی سرخس- جلبک حاصل شده است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵؛ قره‌یاضی و همکاران، ۱۳۷۱). آزولا از سال ۱۸۷۲ وارد اروپا شد و در سال ۱۸۷۸ دباری آن را به عنوان یک آفت جدید آبی توصیف کرد. در سال ۱۸۸۵ در بن‌گیسن استراسبورگ و در سال ۱۸۸۷ در برلین آلمان یافت شد و سپس از آنجا به فرانسه (۱۸۷۹)، انگلیس (۱۸۸۳)، هلند (۱۸۸۵) و ایتالیا (۱۸۸۶) وارد شد و در این کشورها نیز گسترش پیدا کرد (قجاوند، ۱۳۷۵).

تحقیقات درباره آزولا از سال ۱۹۷۹ توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) و مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) انجام می‌شود. در این زمینه IRRI توانسته است ضمن جلب همکاری‌های تمام ملل جهان از جمله چین و ویتنام، کلکسیون عظیمی را فراهم آورده و متقابلاً به تمام کشورهای طالب آزولا کمک و همکاری نماید. در دنیا ۴۸۸ نژاد^۱ از ۸ گونه^۲ آزولا جمع‌آوری شده و در بانک ژن IRRI موجود است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

۱-۶- تاریخچه آزولا در ایران

خاستگاه اولیه سرخس آبی آزولا کالیفرنیا بوده. آزولا در اواخر سال ۱۳۶۳ به دلیل سازگاری مناسب با مناطق شالی‌کاری و با هدف تولید کود نیتروژنه به‌صورت طبیعی برای مناطق برنج‌خیز از کشور فیلیپین وارد ایران شد و مطالعات اولیه آن از سال ۱۳۶۶ خورشیدی با هدف تثبیت طبیعی نیتروژن در شالیزارهای استان شروع شد؛ اما پس از مدت کوتاهی همه متوجه مشکلی بزرگتر شدند که گریبان این مناطق را گرفته است. فقدان عامل کنترل‌کننده و عدم بوم‌شناسی مناسب باعث گردید تا سطح وسیعی از آبگیرهای طبیعی و شالیزارهای شمال در زمانی کوتاه به‌وسیله این گیاه اشغال گردد (خسروی، ۲۰۰۵؛ هاشم‌لوئیان، ۲۰۰۸).

1. Strain
2. Species

جلبک آزولا یکی از گونه‌های گیاهی وارداتی است که در دهه اخیر تمام و یا اکثر تالاب‌ها و شالیزارها و برکه‌های شمالی را به سلطه خود در آورده است. در مدت زمان بسیار کمی از طریق کانال‌های آبیاری، رودخانه‌ها، گسترش پیدا می‌کند. به‌طوری که یک توده کوچک آزولا در مدت ۳ روز به دو برابر افزایش پیدا می‌کند. این سرخس ظرف مدتی کوتاه از طریق کانال‌های آبیاری و رودخانه‌ها در محدوده‌ای وسیع پراکنده شده و به تمام آب‌های سطحی شمال کشور به خصوص گیلان، مازندران و گلستان راه پیدا کرد. این گیاه با برگ‌های ریز و رشد سریع، سطح آب‌ها را می‌پوشاند و مانع رسیدن نور خورشید و اکسیژن به درون آب می‌شود. علاوه بر این با مصرف اکسیژن و مواد غذایی و بالا بردن اسیدیته آب، این زیستگاه‌ها را تضعیف کرده تا جایی که رفته رفته تنوع گیاهی و جانوری زیستگاه به نابودی کشیده می‌شود. آزولا به خاطر نداشتن دشمن طبیعی و شرایط خوب زیستی منطقه به یک گیاه مهاجم و مرگ‌آور تبدیل شده است (سبک‌رو فومنی و سبک‌رو فومنی، ۱۳۸۸). با این وصف، به همین سادگی اکوسیستم منظم چندین هزار ساله موجود بهم ریخته و رو به نابودی خواهد رفت و ما هم در حال نظاره و تماشا نشسته‌ایم. این سرخس در شالیزارها علاوه بر مفید بودن از طریق تثبیت نیتروژن، می‌تواند به‌عنوان یک رقیب جدی برنج در استفاده از املاح معدنی و مواد مغذی آب قرار گرفته و از رشد مناسب برنج جلوگیری کند. قطعاً در صورت صحت این امر، هزینه کشت برنج را به‌خاطر استفاده بیشتری که باید از کود شیمیایی بشود، بالا می‌برد. علاوه بر آنکه روند افزایشی استفاده از کود شیمیایی در طولانی مدت هزینه‌های سرمایه‌ای فوق‌العاده‌ای را بر مهم‌ترین منبع حیات بشر یعنی خاک، تحمیل می‌کند که اصلاً جبران‌پذیر نمی‌باشد (سبک‌رو فومنی و سبک‌رو فومنی، ۱۳۸۸).

تا اوایل دهه ۱۳۶۰ هجری شمسی آزولا در ایران کاملاً ناشناخته بوده است. تنها تعدادی از کارشناسان وزارت کشاورزی که طبق قراردادهای موجود سالانه به مراکز بین‌المللی و به‌ویژه IRRI اعزام می‌شدند، با این گیاه آشنایی داشته و در گزارشات خود به‌عنوان یکی از عوامل دست

اندرکار تثبیت نیتروژن مولکولی هوا و مزارع برنج یاد می کردند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵؛ قره‌یاضی و همکاران، ۱۳۷۱). مهندس هادی نصیریان در سال ۱۳۵۸ در یک جزوه مفصل تحت عنوان تحلیلی پیرامون زراعت برنج در دنیا و ایران و تأثیر واریته‌های پاکوتاه در بالا بردن اقتصاد کشورهای برنج‌خیز دنیا از سرخس آبرزی آزولا نام برده و از آن به‌عنوان یکی از عوامل تثبیت نیتروژن در خاک‌های غرقاب برنج یاد می‌نماید. در سال ۱۳۶۳ مهندس هادی نصیریان در گزارش سفر خود به فیلیپین کشت آزولا را در اراضی باتلاقی ایران مفید توصیف می‌کند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در اواخر سال ۱۳۶۳ دکتر محمود اصفیاء که در سفری به هندوستان با این گیاه آشنایی پیدا کرده بود، طرحی را تحت عنوان «بررسی سازگاری ارقام آزولا با آب و هوای مناطق شالی‌کاری ایران» به بخش کشاورزی و منابع طبیعی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ارائه نمود. در سال ۱۳۶۴ این طرح به‌طور مشترک به تصویب سازمان پژوهش‌ها و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، وابسته به وزارت کشاورزی و منابع طبیعی رسید. تا اوایل سال ۱۳۶۶ گزارشات منتشره در ایران فقط به کشت آزولا در مناطق مختلف اشاره کرده ولی هیچگونه گزارش علمی مبتنی بر روش‌های تحقیقاتی ارائه نگردید است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در سال ۱۳۶۶ مهندس هادی نصیریان در ایستگاه بررسی برنج رشت اقدام به برنامه‌ریزی یک آزمایش سه ساله بر روی آزولا نمود و در گزارش نهایی ارائه شده بیان نمود که آزولا می‌تواند جایگزین نصف کود نیتروژنه شود. همچنین شمارش تعداد علف‌های هرز در تیمارهای مختلف کود توصیه شده و آزولا به همراه کود و تیمار شاهد نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها وجود داشته است. تعداد علف‌های هرز در کرت‌های مربوط به استفاده از آزولا حدود ۳۰ درصد کمتر از تعداد آنها در تیمار استفاده از کود توصیه شده بوده است. به عبارت دیگر کاربرد آزولا تعداد علف‌های هرز شالیزار را کاهش داده و عملکرد محصول برنج را افزایش داده است (نصیریان، ۱۳۶۷).

۱-۲- آزولا، علف هرز مهاجم یا گونه‌ای مفید؟

گیاه آزولا با اسامی عمومی سرخس آبی^۱ (اغلب گونه *A. filiculoides*)، خزّه آجنّه^۲ (اغلب گونه *A. caroliniana*)، سرخس شبه عدسک آبی^۳، سرخس پشه‌ها^۴ (اغلب گونه *A. pinnata*) و مخمل آبی^۵ (اغلب گونه *A. filiculoides*) نامیده شده و از جمله گیاهان آبی شناور با شاخه و برگ‌های جذاب و ظریف است. این نامها اغلب به دلایل متفاوتی برای آزولا به کار برده می‌شوند. به عنوان مثال بدلیل اینکه برخی پشه‌ها نمی‌توانند به داخل لایه‌های آزولا نفوذ یافته و در آنجا تخم‌ریزی می‌کنند، لذا گاهاً آنرا با عنوان سرخس پشه‌ها نیز می‌شناسند که بر گرفته از تاثیر این سرخس در کنترل پشه‌ها می‌باشد (آمریکن وتلند، ۲۰۱۹). آزولا تشابهی به سرخس‌های معمولی ندارد و از شکل و اندازه بسیار کوچکی برخوردار است به‌طوری‌که می‌توان آن را به عدسک آبی و برخی خزّه‌ها تشبیه نمود. آزولا از جمله گیاهان آبی با شاخه و برگ‌های بسیار ظریف و لطیف است. برخی از گونه‌ها مانند گونه *A. filiculoides* دارای منشأ آمریکایی است که در سال‌های ۱۹۴۰ میلادی به عنوان گیاه زینتی جهت بکارگیری در باغ‌های آبی به بریتانیا برده شد و لیکن این گیاه به زودی از تالاب‌های پرورش گریخت و به معضلی در محیط‌های گسترده به ویژه برای ماهیگیران و متولیان آب‌های سطحی تبدیل شد. آزولا امروزه از مهاجم‌ترین گیاهان بریتانیا محسوب می‌گردد (Ferentinos et al., 2002; CEH, 2004; Quinn, 2015; Wikipedia, 2015).

براساس منابع ارایه شده در پایگاه اطلاعاتی گونه‌های مهاجم در دنیا^۶ (ISC) آزولا در برخی مناطق دنیا به عنوان یک علف هرز جدی مطرح است به گونه‌ای که سطح آب را به‌طور کامل می‌پوشاند (شکل ۱-۱۵). اثرات اقتصادی *A. filiculoides* در آفریقای جنوبی توسط مک کوناچی و

-
1. Water fern
 2. Fairy moss
 3. Duckweed fern
 4. Mosquito fern
 5. Water velvet
 6. The Invasive Species Compendium= ISC

همکاران (۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفت. لایه‌های توده‌ای ضخیم ایجاد شده توسط این گونه آزو لا و همچنین جریان آرام آب باعث ایجاد زیان‌های اقتصادی در منطقه شد. به‌طوری که بخش کشاورزی ۷۱ درصد، تفریحی ۲۴ درصد و شهرداری ۵ درصد در اثر رشد زیاد آزو لا متحمل خسارت شدند و میزان خسارت ایجاد شده به میزان ۵۸۹ دلار آمریکا در هکتار در سال ارزیابی و برآورد گردید. ضخامت لایه‌ها در منطقه به ۲۰-۵ سانتی‌متر رسیده (مک کوناچی و همکاران، ۲۰۰۳) و چنین ضخامت ایجاد شده به شدت بر تنوع زیستی اکوسیستم‌های آبی تأثیر گذاشته و پیامدهای جدی و شدیدی را بر تنوع زیستی سایر آبزیان ایجاد کرده است (گرات‌ویک و مارشال، ۲۰۰۱).



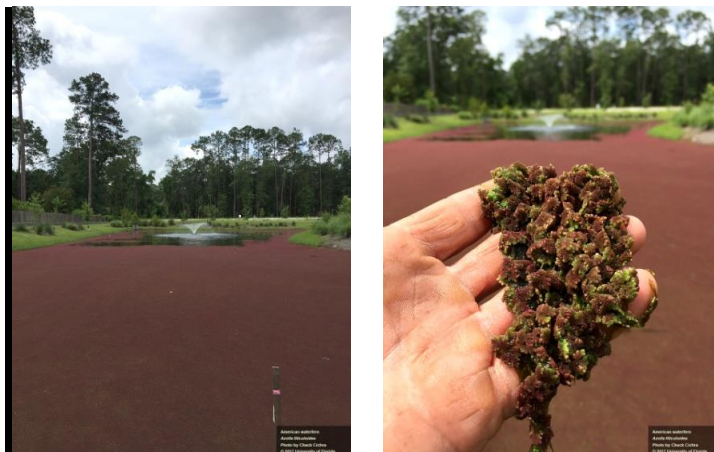
شکل ۱-۱۵- لایه ضخیم و یکپارچه‌ی آزو لا در سطح آب

سزینیاک و همکاران، ۲۰۰۹. & <https://www.nidirect.gov.uk/articles/invasive-aquatic-plants>

برخی از گونه‌های آزو لا در واکنش به تنش‌های گوناگون نظیر تابش شدید خورشید و دمای بالای آب به تولید مقادیر فراوانی از دیوکسی آنتوسیانین^۱ می‌پردازند به‌طوری که سطح آب با پوششی قرمز رنگ و متراکم مفروش می‌گردد (شکل ۱-۱۶). نوع تغذیه آزو لا می‌تواند باعث تجمع دیوکسی آنتوسیانین‌ها در گیاه شود و این امر باعث کاهش نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع در برگ‌شاخه‌ها می‌گردد که نهایتاً موجب کاهش ذائقه پسنندی و ارزش غذایی آزو لا می‌شود. آزو لا قادر به بقاء در زمستان‌های طولانی نیست. لذا غالباً به‌عنوان یک گیاه زینتی در عرض‌های

1. Deoxyanthocyanins

جغرافیایی بالا پرورش می‌یابد زیرا در چنین مناطقی قادر به تثبیت به عنوان یک علف هرز نمی‌باشد (ویکیپدیا، ۲۰۱۵).



شکل ۱-۱۶- لایه قرمز رنگ آزولا که در اثر تولید ترکیبات آنتوسیانین ایجاد می‌شود
(<https://plants.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/images/azocar/azocar12.jpg> & [azocar11.jpg](https://plants.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/images/azocar/azocar11.jpg))

در برخی از منابع آزولا به عنوان یک علف هرز در نظر گرفته نشده است. این گیاه می‌تواند همراه با برنج در شالیزارها رشد یابد و قادر است نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر را جذب کرده و در اختیار گیاه برنج قرار دهد و کود آلی مناسبی برای خاک شالیزار (واگنر، ۱۹۹۷) محسوب شود (شکل ۱-۱۷). همچنین آزولا غذای مناسبی برای ماهی‌ها از جمله ماهی قزل‌آلا می‌باشد (جینز و همکاران، ۱۹۹۶). آزولا با پوشش یکپارچه‌ای که در سطح آب ایجاد میکند از جوانه‌زنی بذر برخی از علف‌های هرز آبرزی در شالیزار جلوگیری می‌کند. تحقیقات زیادی در حال انجام است تا میزان سودمندی آزولا را در گیاهان مختلف ارزیابی کنند.



شکل - ۱-۱۷ - استفاده از آزولا در شالیزار

(<http://theazollafoundation.org/azollas-uses/in-rice-production> &
<https://www.feedipedia.org/node/565>)

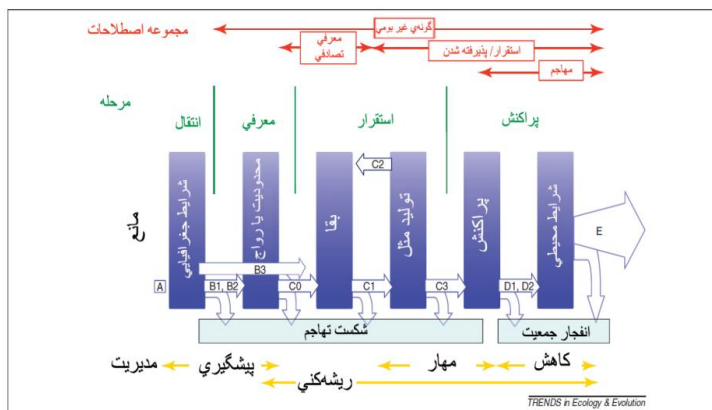
امروزه در دنیا به جلبک آزولا به چشم یک علف هرز نگریسته نمی‌شود، بلکه آن را یک گیاه مفید و منبع غذایی به حساب می‌آورند. دلیلی که باعث می‌شود از آزولا به عنوان یک علف هرز یاد شود، این است که در مدت زمان بسیار کمی از طریق کانال‌های آبیاری، رودخانه‌ها، گسترش پیدا می‌کند. به عنوان مثال بررسی‌ها نشان داده که گونه *A. rubra* در نیوزلند در آب‌های راکد سریعاً رشد کرده و توده متراکمی را در سطح آب ایجاد کند و در نتیجه مانع نفوذ اکسیژن و نور خورشید به عمق آب شده و زندگی گیاهان و دیگر موجودات آبی را در استفاده از اکسیژن و نور خورشید محدود می‌کند (اوئن، ۱۹۹۷). این گیاه در دهه اخیر تمام و یا اکثر تالاب‌ها و شالیزارها و برکه‌های شمالی را به سلطه خود در آورده است. حتماً کسانی که در تابستان به شمال ایران مسافرت نموده‌اند و سری به این مناطق زده‌اند، فرش زیبایی را مشاهده می‌کنند سبزرنگ که

اکوسیستم شمال را تحت اثر سوء قرار داده است. آژولا با هدف تولید کود نیتروژنه به صورت طبیعی برای مناطق برنج خیز از کشور فیلیپین وارد ایران شده است؛ اما پس از مدت کوتاهی همه متوجه مشکلی بزرگتر شدند که گریبان این مناطق را گرفته است. این سرخس ظرف مدتی کوتاه از طریق کانال‌های آبیاری و رودخانه‌ها در محدوده‌ای وسیع پراکنده شده و به تمام آب‌های سطحی شمال کشور به خصوص گیلان، مازندران و گلستان راه پیدا کرده است. این گیاه با برگ‌های ریز و رشد سریع، سطح آب‌ها را می‌پوشاند و مانع رسیدن نور خورشید و اکسیژن به درون آب می‌شود. ریشه‌های معلق جلبک، تمام و یا اکثر املاح آب را جذب و صرف رشد و تکثیر خود می‌کند. طبیعی است وقتی نور به درون آب نفوذ نکند و مواد مغذی هم که نباشد (یا کم باشد) دیگر از رشد گیاهان آبی دیگر و همچنین دیگر آبزیان مثل فیتوپلانکتون‌ها و سایر گیاهان آبی خبری نخواهد بود. با توقف و یا کُند شدن رشد این آبزیان مفید، در داخل آب اکسیژن تولید نخواهد شد و به همین دلیل جانوران آبی مثل ماهی‌ها و موجودات ذره‌بینی قادر به رشد و تکثیر نبوده و سیر نابودی را در پیش می‌گیرند. در عوض سیستم‌های غیروازی شروع به فعالیت کرده و تالاب یا برکه را تدریجاً به سیاهچاله‌هایی بد بو و غیر قابل زیست تبدیل می‌کنند (واگنر، ۱۹۹۷؛ هیل، ۱۹۹۸؛ آرورا و همکاران، ۲۰۰۶). از آن طرف هم موقعی که تالاب‌ها خالی از موجودات آبی گردند، دیگر مکان مناسبی برای پرندگان مهاجر وجود نخواهد داشت. با این وصف، به همین سادگی اکوسیستم منظم چندین هزار ساله موجود به هم ریخته و رو به نابودی خواهد رفت. علاوه بر این با مصرف اکسیژن و مواد غذایی و بالا بردن اسیدیته آب، این زیستگاه‌ها را تضعیف کرده تا جایی که رفته رفته تنوع گیاهی و جانوری زیستگاه به نابودی کشیده می‌شود. این گیاه در بدو ورود به دلیل عدم وجود دشمنان طبیعی تخصصی گیاه در منطقه جدید، شرایط خوب زیستی منطقه و عدم وجود اطلاعات کافی در زمینه دشمنان طبیعی و مدیریت گیاه در طول چند دهه به یک گیاه مهاجم و مرگ‌آور تبدیل شد. کارشناسان معتقدند رشد شناور و سرطانی

آزولا در سطح تالاب‌ها، مرداب‌ها و شالیزارهای شمال باعث شده است تا اکثر گیاهان بومی منطقه به دلیل خفگی نابود شوند و نفس زندگی این اکوسیستم چندین هزار ساله به شماره افتد. هر چه هست آزولا زیستگاه‌های آبی شمال کشور به خصوص گیلان و مازندران را شدیداً تحت فشار قرار داده است و اگر روند رشد این گیاه به همین صورت ادامه یابد، معلوم نیست بر سر این اکوسیستم منحصر به فرد جهانی چه خواهد آمد. به این ترتیب، آزولا در مدت زمانی اندک پوشش یکپارچه و در هم تنیده‌ای را روی منابع آبی شمال کشور گستراند (سبک‌رو فومنی، ۱۳۸۸).

۱-۸- گونه مهاجم چیست و چرا آزولا به عنوان گونه‌ای مهاجم در نظر گرفته شده است؟

گونه مهاجم گونه‌ای است که در خارج از زیستگاه بومی خود گسترش یافته و شرایط محیطی و زیستی ناحیه جدید را تحت تأثیر قرار دهد. معمولاً برای تبدیل یک گونه غیر بومی به گونه‌ای مهاجم شرایط ویژه‌ای باید فراهم شود که این مراحل توسط بلاک‌بورن و همکاران (۲۰۱۱) در یک دیاگرام به طور کامل تشریح شده‌اند (شکل ۱-۱۸).



شکل ۱-۸- دیاگرام مسیر تبدیل یک گونه غیر بومی به گونه مهاجم (بلاک‌بورن و همکاران، ۲۰۱۱)

براساس آنچه در دیاگرام فوق قابل مشاهده است موانع جغرافیایی مانند فاصله مکانی اولین سد محافظت کننده زیستگاه‌های طبیعی در برابر ورود یک گونه غیر بومی محسوب می‌شوند و گونه‌های غیر بومی تنها با انتقال^۱ می‌توانند به زیستگاه‌های جدید وارد شوند. روش‌های مختلفی برای ورود یک گونه غیر بومی به زیستگاه جدید وجود دارد. با توجه به اینکه انتقال اولین مرحله در ایجاد یک گونه مهاجم محسوب می‌شود در بسیاری از کشورهای دنیا این مرحله بسیار مورد توجه قرار گرفته و بررسی‌های متعددی در زمینه بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل به منظور جلوگیری از جابجایی ناخواسته گونه‌های گیاهی و جانوری انجام شده است (رویز و کارلتون، ۲۰۰۳، سیدبنز و همکاران، ۲۰۱۵؛ توریلین و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج این بررسی‌ها وضع قوانین دقیق و سخت گیرانه در سیستم‌های قرنطینه‌ای است که در صورت رعایت این قوانین در بسیاری از موارد می‌توان از ورود گونه‌های جدید به داخل یک منطقه جلوگیری کرد.

پس از ورود یک گونه غیر بومی به منطقه جدید، اگر گونه در منطقه‌ای با شرایط محدود کننده وارد شود به حالت قرنطینه‌ای و محدود گرفتار^۲ خواهد شد. با این ترتیب تنها زمانی گونه مذکور می‌تواند در منطقه رشد^۳ یابد که به باید به زیستگاه مناسب معرفی^۴ شود. به این ترتیب حتی پس از ورود یک گونه جدید این احتمال وجود دارد که این گونه در منطقه معرفی نشود. البته ورود یک گونه جدید همواره خطر ایجاد گونه مهاجم در منطقه را ایجاد می‌کند (هولمه، ۲۰۱۱؛ کاسی و هوگ، ۲۰۱۵)؛ اما برای تبدیل شدن یک گونه جدید به گونه‌ای مهاجم ضرورت دارد تا گونه جدید به منطقه دارای شرایط مناسب برای پذیرش آن معرفی شود (کاسی و هوگ، ۲۰۱۵). مرحله معرفی دارای اهمیت بسیار بالایی در مدیریت گونه‌های مهاجم است، با این وجود اطلاعات کافی در مورد این مرحله اغلب در دست نیست (کاسی و هوگ، ۲۰۱۸) و در برخی از موارد به دلایل

-
1. Transport
 2. Captivity
 3. Cultivation
 4. Introduction

محاسباتی یا تئوری این مرحله با مرحله ورود ترکیب می‌شود (لئونگو همکاران، ۲۰۱۲). در حالی که پس از ورود، معرفی می‌تواند یک مانع محدود کننده جدی برای استقرار یک گونه محسوب شود (هولمه، ۲۰۱۱؛ کاسی و هوگ، ۲۰۱۵). با این وجود حتی پس از معرفی یک گونه به زیستگاه جدید عوامل دیگری در ایجاد یک گونه مهاجم نقش دارند که می‌توانند به عنوان موانع ایجاد گونه‌های مهاجم در مناطق غیر بومی در نظر گرفته شوند. علی‌رغم این امر مشخص شده که افزایش ورود کالاها، همواره سبب افزایش احتمال معرفی خواهد شد (گارسیا-دیز و همکاران، ۲۰۱۷). استقرار^۱ سومین مرحله در ایجاد یک گونه مهاجم در زیستگاه‌های غیر بومی محسوب می‌شود. یک گونه غیر بومی پس از معرفی در یک زیستگاه مناسب باید با زیستگاه جدید سازگاری یابد تا بتواند در زیستگاه جدید تکثیر یافته و بقای خود را حفظ کند. در استقرار یک گونه در یک زیستگاه غیر بومی عوامل متعددی نقش دارند که صفات ذاتی گونه، شرایط محیطی و عوامل زنده مؤثر بر فعالیت گونه از جمله مهم‌ترین این عوامل محسوب می‌شوند. با این وجود پس از استقرار نیز در صورت عدم گسترده‌گی گونه فعالیت تهاجمی نخواهد یافت. گسترش^۲ آخرین مرحله در معرفی یک گونه مهاجم در ناحیه غیر بومی محسوب می‌شود. در این مرحله ابتدا گونه در منطقه پراکنش^۳ یافته و شرایط محیطی^۴ منطقه جدید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به این ترتیب یک گونه غیر بومی تنها زمانی حالت تهاجمی^۵ خواهد یافت که پس از ورود، معرفی، استقرار و پراکنش شرایط محیطی منطقه جدید را تحت تأثیر قرار دهد.

اغلب بررسی‌های انجام شده در زمینه گونه‌های مهاجم مربوط به مرحله استقرار بوده (کاسی و همکاران، ۲۰۱۸) و بسیاری از عوامل مؤثر در استقرار یک گونه جدید در یک منطقه شناسایی

1. Establishment

2. Spread

3. Dispersal

4. Environmental condition

5. Invasive

شده‌اند که از آنها می‌توان به نقش تعداد افراد معرفی شده و تعداد دفعات معرفی افراد^۱ و مرحله معرفی (لوک‌وود و همکاران، ۲۰۰۵؛ سیمبرلوف، ۲۰۰۹؛ بلاک‌بورن و همکاران، ۲۰۱۵)، ارتباط موجود بین سطح تحمل فرد نسبت به عوامل زنده و غیر زنده محیطی و رشد جمعیت دموگرافیک^۲ (کاسی و همکاران، ۲۰۱۴) اشاره کرد. حتی پس از استقرار نیز این امکان وجود دارد که گونه مستقر شده پراکنش گسترده‌ای در منطقه پیدا نکند (لوک‌وود و همکاران، ۲۰۱۳) یا فاصله زمانی زیادی بین استقرار و پراکنش گسترده ایجاد شود (کروکس، ۲۰۰۵؛ آآگارد و لوک‌وود، ۲۰۱۴). از سوی دیگر پس از پراکنش نیز عوامل متعددی در تأثیر گونه بر محیط و سایر گونه‌های مستقر در منطقه نقش دارند (پارکر و همکاران، ۱۹۹۹؛ تامسن و همکاران، ۲۰۱۱؛ ماگی و همکاران، ۲۰۱۵). تاکنون بالغ بر ۳۵ نظریه عمومی و پذیرفته شده (جدول ۱-۲) در زمینه ایجاد و استقرار گونه‌های مهاجم در یک منطقه ارایه شده است (ژسکه و هگر، ۲۰۱۸) که اغلب این نظریه‌ها به عنوان یک اصل توسط محققین پذیرفته شده‌اند. این نظریه‌ها شرایط و علل ایجاد گونه‌های مهاجم در یک منطقه را تشریح می‌کنند که اطلاع از این علل و شرایط زمینه‌ساز ابداع روش‌های کنترل بیولوژیکی و اکولوژیکی موجود برای مهار گونه‌های مهاجم و جلوگیری از ایجاد آنها در یک منطقه است.

جدول ۱-۲- رایج‌ترین نظریه‌های پذیرفته شده موجود در زمینه شرایط لازم در ایجاد گونه‌های مهاجم

منبع	مفهوم	نظریه	ردیف
Duncan & Williams, 2002	موفقیت گونه‌های غیر بومی مهاجم وابسته به سازگاری آنها با شرایط محیطی ناحیه جدید قبل یا بعد از معرفی است و گونه‌های غیر بومی که دارای قرابت با گونه‌های بومی هستند موفقیت بیشتری دارند.	Adaptation	۱
Stohlgren et al., 2006	اکوسیستم‌ها صرف‌نظر از وجود و پراکنش گونه‌های بومی اغلب استقرار گونه‌های غیربومی را مورد حمایت بیشتری قرار می‌دهند.	Biotic acceptance ^۲	۲
Callaway et al., 2004	گونه‌های غیر بومی از تأثیرات غیر مستقیم فرایندهای ایجاد شده	Biotic indirect effects	۳

1. Propagule pressure

2. Biotic and abiotic tolerance

منبع	مفهوم	نظریه	ردیف
	توسط گونه‌های بومی سود می‌برند.		
Elton, 1958; Levine & D'Antonio, 1999	اکوسیستم‌های دارای تنوع زیستی بالا دارای مقاومت بیشتری در برابر تهاجم گونه‌های غیر بومی نسبت به اکوسیستم‌های دارای تنوع زیستی کم هستند.	Biotic resistance	۴
Darwin, 1859	موفقیت گونه‌های غیر بومی در مناطقی که دارای تعداد کمی از گونه‌های دارای خویشاوندی نزدیک است بیشتر از مناطقی است که تعداد زیادی گونه‌های دارای خویشاندی نزدیک است.	Darwin's naturalization	۵
Elton, 1958; Hobbs & Huenneke, 1992	گونه‌های مهاجم غیر بومی در محیط‌های دارای آشفتگی زیاد موفق‌تر از محیط‌های دارای آشفتگی کم هستند.	Disturbance	۶
Hutson, 1979	استقرار گونه‌های مهاجم غیر بومی وابسته به نوسانات اکوسیستم است که رقابت گونه‌های بومی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.	Dynamic equilibrium	۷
MacArthur, 1970	موفقیت گونه‌های مهاجم غیر بومی با در دسترس بودن زیست‌خوان‌های خالی در نواحی غیر بومی افزایش می‌یابد.	Empty niche	۸
Colautti <i>et al.</i> , 2004	دشمنان طبیعی معرفی شده برای کنترل گونه‌های مهاجم غیر بومی در زیست‌گاه‌های غیر بومی به علت تأثیرات محیط جدید کارایی کمتری در مهار گونه‌های مهاجم هدف دارند.	Enemy inversion	۹
Eppinga <i>et al.</i> , 2006	دشمنان طبیعی معرفی شده برای مهار گونه‌های مهاجم غیر بومی برای گونه‌های بومی در مقایسه با گونه غیر بومی هدف خسارت‌زاتر است.	Enemy of my enemy	۱۰
Colautti <i>et al.</i> , 2004	رهاسازی و پراکنش ناقص دشمنان طبیعی سبب موفقیت گونه‌های مهاجم می‌شوند.	Enemy reduction	۱۱
Keane & Crawley, 2002	عدم حضور دشمنان طبیعی در نواحی غیر بومی عامل موفقیت گونه‌های مهاجم غیر بومی است.	Enemy release	۱۲
Melbourne <i>et al.</i> , 2007	موفقیت گونه‌های مهاجم غیر بومی در نواحی دارای ناهمخوانی بالا بیشتر است.	Environmental heterogeneity	۱۳
Blossey & Notzold, 1995	پس از رهایی از فشار دشمنان طبیعی گونه‌های مهاجم غیر بومی توان زیستی خود را صرف رشد و تولید مثل می‌کنند که سبب	Evolution of increased competitive ability	۱۴

منبع	مفهوم	نظریه	ردیف
	می شود قدرت رقابت آنها را افزایش یابد.		
Colautti <i>et al.</i> , 2006	تعداد زیادی از گونه های غیر بومی موفق تر از تعداد کمی از گونه های غیر بومی هستند.	Global competition	۱۵
Darwin, 1859	گونه های مهاجم غیر بومی در محیط هایی که از قبل با آنها سازگاری یافته اند موفقیت بیشتری دارند.	Habitat filtering	۱۶
Jeschke & Strayer, 2006	گونه های که نزدیک به جوامع انسانی زندگی می کنند دارای قدرت تهاجمی بیشتری در محیط های غیر بومی هستند.	Human commensalism	۱۷
Elton, 1958; Reimanek & Richardson, 1996	موفقیت گونه های غیر بومی مهاجم وابسته به پدیده های زیستی آنها (مثلا چرخه زندگی) است.	Ideal weed	۱۸
Sher & Hyatt, 1999	توانایی گونه های مهاجم غیر بومی با افزایش دسترسی به منابع افزایش می یابد.	Increased resource availability	۱۹
Colautti <i>et al.</i> , 2004	اگر گونه های غیر بومی مهاجم دارای تنوع ژنتیکی کمتری از گونه های بومی باشند توانایی استقرار در محیط جدید نخواهند داشت.	Increased susceptibility	۲۰
Simberloff & Von Holle, 1999; Sax <i>et al.</i> , 2007	حضور گونه های غیر بومی مهاجم در یک ناحیه شرایط را برای ورود گونه های دیگر مناسب کرده و احتمال بقا یا تأثیرات اکولوژیکی آنها را افزایش خواهد داد.	Invasional meltdown	۲۱
Jeschke, 2008	احتمال استقرار و ایجاد تأثیرات اکولوژیکی قوی توسط گونه های غیر بومی مهاجم در جزیره ها بیشتر از کشورها است.	Island susceptibility	۲۲
MacArthur & Levins, 1967	موفقیت گونه های غیر بومی مهاجم دارای تفاوت زیاد با گونه های بومی بیشتر از گونه های مهاجم غیر بومی دارای شباهت بالا با گونه های بومی است.	Limiting similarity	۲۳
Mitchell <i>et al.</i> , 2006	در نواحی غیر بومی گونه های مهاجم غیر بومی فاقد گونه های همسان خود هستند.	Missed mutualisms	۲۴
Colautti <i>et al.</i> , 2004	روابط جدید بین گونه های بومی و غیر بومی مهاجم می تواند در استقرار گونه های غیر بومی مهاجم تأثیر مثبت یا منفی داشته باشد.	New associations	۲۵
Callaway & Ridenour, 2004	در نواحی غیر بومی گونه های غیر بومی مهاجم به دلیل داشتن سلاحی جدید می توانند دارای یک مزیت بر گونه های بومی	Novel weapons	۲۶

منبع	مفهوم	نظریه	ردیف
	باشند به عنوان مثال وجود صفتی که در زیستگاه جدید تازه بوده و بر گونه‌های بومی تأثیر منفی داشته باشد.		
Johnstone, 1986	موفقیت گونه‌های غیر بومی با افزایش دسترسی به زیست خوان‌های خالی که دسترسی به آنها دارای تناوب‌های فضایی موقت است افزایش می‌یابد.	Opportunity windows	۲۷
Richards <i>et al.</i> , 2006	گونه‌های مهاجم دارای قدرت سازگاری و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به گونه‌های غیر مهاجم یا بومی هستند.	Plasticity	۲۸
Lonsdale, 1999; Lockwood <i>et al.</i> , 2013	فشار انشعابی (یک متغیر ترکیبی شامل تعداد افراد معرفی شده در هر مرحله معرفی و تعداد دفعات معرفی) بالا سبب افزایش موفقیت تهاجم می‌شود.	Propagule pressure	۲۹
Simberloff & Gibbons, 2004	یک گونه غیر بومی که در مدت کوتاهی پس از ورود بسیار موفق بوده است با گذشت زمان به دلایل متفاوت (مانند رقابت با گونه‌های تازه معرفی شده دیگر یا سازگاری با گونه‌های بومی) ممکن است کاهش جمعیت یافته یا حتی نابود شود.	Reckless invader	۳۰
Blumenthal, 2006	گونه‌های غیر بومی از دشمنان طبیعی خود رها شده و می‌توانند انرژی بیشتری صرف تولید مثل نمایند و موفقیت تهاجم با دسترسی به منابع افزایش خواهد یافت.	Resource-enemy release	۳۱
Crawley <i>et al.</i> , 1999	به دلیل رقابت درون گونه‌ها، احتمال تهاجمی شدن تعداد زیادی از گونه‌های غیر بومی متفاوت بیشتر از تعداد کمی از گونه‌های غیر بومی است. همچنین در زمینه تهاجم خصوصیت گونه مهم‌تر از تعداد است.	Sampling	۳۲
Doorduyn & Vrieling, 2011	پس از رهایی از دشمنان طبیعی تخصصی گونه‌های غیر بومی به جای سیستم‌های دفاعی پر هزینه (از نظر انرژی) در مقابل دشمنان طبیعی تخصصی، انرژی خود را صرف سیستم‌های دفاعی کم هزینه‌تر (از نظر انرژی) در مقابل دشمنان طبیعی عمومی می‌کنند و انرژی مازادی که از این شیوه به دست می‌آید صرف رشد یا تولید مثل گونه شده و قدرت رقابت گونه را افزایش می‌دهد.	Shifting defence	۳۳
Williamson	گونه‌های غیر بومی در مناطق جدیدی که در آن دشمنان طبیعی	Specialist-	۳۴

منبع	مفهوم	نظریه	ردیف
& Brown, 1986; Williamson, 1996	تخصصی بوده و گونه‌های مشابه گونه‌های بومی، غیر اختصاصی هستند موفقیت بیشتری خواهند داشت.	generalist	
Williamson & Brown, 1986; Williamson, 1996	حدود ۱۰٪ گونه‌ها موفق می‌شوند که به حالت تهاجمی نزدیک شوند.	Tens rule	۳۵

آزولا دارای قدرت سازگاری زیادی است و می‌تواند به راحتی با شرایط نامساعد محیطی سازگاری یابد (رابی و رابی، ۱۹۹۹؛ مسعود و همکاران، ۲۰۰۶؛ کاراپیکو، ۲۰۱۰). در بررسی‌های انجام شده در کشور پرتغال اکوتیپ‌هایی از گونه *A. filiculoides* مشاهده شد که به رویش در شرایط باتلاقی سازگاری یافته بودند (کاراپیکو، ۲۰۱۸) در حالی که گونه *A. filiculoides* از گونه‌های حساس به شرایط کم آبی و ضربه فیزیکی محسوب می‌شود (آشتون، ۱۹۷۴ و ۱۹۹۲). از سویی دیگر آزولا می‌تواند برخی از فلزات سنگین موجود در محیط را جذب نمایند و از این نظر دارای قدرت پاک‌کنندگی آلاینده‌های زیست‌محیطی است (استپ‌نیوسکا و همکاران، ۲۰۰۵؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ دایی و همکاران، ۲۰۱۲). این توانایی به این گیاه امکان می‌دهد در شرایطی که سایر گونه‌های گیاهی مشابه توانایی ادامه حیات ندارند بقای خود را حفظ کند. به این ترتیب بر اساس نظریه‌های پذیرفته شده در زمینه علل، شرایط و صفات گونه‌های مهاجم و به استناد به اصول سلاح خاص^۱، علف هرز مناسب^۲، سازگاری^۳ و انعطاف‌پذیری^۴ (ژسکه و هگر، ۲۰۱۸) آزولا به‌طور بالقوه دارای شرایط لازم برای تبدیل شدن به یک گونه مهاجم است (جدول ۱-۲). با این وجود تمام گونه‌های آزولا در دنیا به عنوان گونه‌های مهاجم شناخته نشده‌اند و از میان ۷ گونه زنده آزولا در دنیا تنها سه گونه *A. filiculoides*، *A. pinnata* و *A. mexicana* به عنوان گونه‌های

-
1. Novel weapons
 2. Ideal weed
 3. Adaptation
 4. Plasticity

مهاجم بسیار مهم در بسیاری از کشورها در سراسر دنیا شناخته می‌شوند و در پایگاه اطلاعاتی گونه‌های مهاجم در دنیا (ISC) که از زیر مجموعه‌های سازمان جهانی کشاورزی و علوم زیستی^۱ (CABI) است نیز این سه گونه به عنوان گونه‌های مهاجم آزولا نام برده شده‌اند (کابی، ۲۰۱۹).

۱-۹- عملکرد تهاجمی آزولا در شمال ایران و علل آن

آزولا به عنوان یک گونه مفید و به عنوان منبع تثبیت نیتروژن به ایران وارد شد؛ اما با توجه به شرایط دمایی مناسب و وجود زیست‌گاه‌های آبی زیاد در نواحی شمالی کشور و به علت عدم وجود دشمنان طبیعی اختصاصی و مؤثر در زمان ورود، این سرخس آبرزی در نواحی شمالی کشور به سرعت تکثیر یافت. از سوی دیگر با توجه به اینکه کشاورزان دارای اطلاعات کافی در زمینه شیوه مدیریت صحیح آزولا در مزارع نبودند، لذا پس از حدود چهار دهه به گونه‌ای مهاجم در منطقه تبدیل شد (شکل ۱-۱۹).



شکل ۱-۱۹- سطوح گسترده ای از نواحی آلوده به آزولا در زیستگاه‌های آبی شمال کشور (اصلی)

1. Centre for Agriculture & Bioscience International (CABI)

پوشش یکپارچه آزولا در تالاب‌ها با افزایش درجه سمیت و اسیدی نمودن مناطق آبی موجب مرگ ماهیان و موجودات دیگر این محدوده می‌شود. با توقف یا کُند شدن رشد آبزیان مفید مثل فیتوپلانکتون‌ها و سایر گونه‌های هوازی، سیستم‌های غیر هوازی شروع به فعالیت کرده و تالاب را تدریجاً به مردابی غیرقابل زیست تبدیل می‌کنند. از سوی دیگر، با از بین رفتن آبزیان، تالاب‌ها دیگر مکان مناسبی برای پرندگان مهاجر نخواهند بود. بر اساس مدارک و شواهد موجود پس از ورود آزولا گونه عدسک آبی (*Lemna minor* L.) در بسیاری از مناطق رویش قبلی از بین رفت و رشد و گسترش شاه بلوط آبی (*Trapa natans* L.) با مشکلات بسیاری مواجه شد (جائیکا، ۲۰۰۵؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۲a؛ ۲۰۱۲b؛ ۲۰۱۳a؛ ۲۰۱۳b) همچنین به دلیل گستردگی و رشد بسیار زیاد آزولا، این گیاه در مزارع برنج نیز به عنوان علف هرز درجه یک مطرح شده است، به طوری که در شالیزارهایی که شرایط از نظر عمق آب فراهم بوده و از نظر ترکیب خاک غنی از فسفر هستند، به سرعت رشد و تکثیر پیدا کرده و به صورت مشکلی برای کشاورزان در می‌آیند. توده متراکم آزولا با کاهش دادن نفوذ نور خورشید در آب به شکل محسوسی دمای آب را کاهش می‌دهد. این کاهش در مورد اکسیژن محلول و مواد غذایی معلق در آب نیز دیده می‌شود. این سرخس آبی در شالیزارهای ذکر شده به عنوان یک رقیب جدی برنج در استفاده از املاح معدنی و مواد مغذی آب از رشد مناسب برنج جلوگیری می‌کند و هزینه کشت برنج را بخاطر استفاده بیشتری که باید از کود شیمیایی بشود، بالا می‌برد. روند افزایشی استفاده از کودهای شیمیایی در طولانی مدت هزینه‌های سرمایه‌ای سنگینی بر مهم‌ترین منبع حیات بشر یعنی خاک تحمیل می‌کند که اصلاً جبران پذیر نیست. در این مزارع بخصوص در زمان انتقال نشاء، پوشش متراکم آزولا روی سطح آب سبب خمیدگی و غوطه‌ور کردن نشاء به داخل آب شده و باعث زردی و خفگی گیاه می‌شود که شالیکاران مجبور به واکاری مزرعه می‌شوند و در شرایط آلودگی شدید عملیات واکاری نشاء تا سه مرتبه تکرار می‌شود. این مشکل اغلب در مزارعی بیشتر است که زهکشی

ضعیفی دارند و آب در آنها حالت ماندابی دارد. علاوه بر آن، بالا بودن فسفر خاک و استفاده از نشاهای کوچک در هنگام نشاکاری، سبب افزایش خسارت وارده به نشاهای انتقالی می‌شود (محمد شریفی، ۱۳۸۰؛ پاداشت و همکاران، ۱۳۹۴).

همانطور که قبلاً نیز توضیح داده شد برخی از گونه‌های آزولا به‌طور بالقوه دارای شرایط لازم جهت فعالیت تهاجمی در مناطق غیر بومی می‌باشند. لذا اغلب از ورود این گونه‌ها به نواحی جدید قبل از انجام بررسی‌های دقیق و گسترده در زمینه شیوه‌های مدیریت صحیح گیاه، جلوگیری می‌شود. با این وجود در زمان ورود آزولا به ایران هیچگونه اطلاعات قابل استنادی در زمینه شرایط فعالیت این گیاه در شمال کشور یا مدیریت آن در دست نبود. شمال ایران منطقه‌ای است که در گذشته پوشیده از جنگل‌های هیرکانی^۱ بود و امروزه نیز این جنگل‌ها به‌طور پراکنده در منطقه وجود دارند (آخانی و همکاران، ۲۰۱۰). به علت وجود پوشش هیرکانی و وجود دریای خزر نواحی شمال ایران دارای شرایط اقلیمی ویژه‌ای است (کن‌درو، ۱۹۶۱؛ خلیلی، ۱۹۷۳؛ علیجانی و هارمن، ۱۹۸۵). نواحی دارای پوشش هیرکانی دارای درصد رطوبت و بارندگی بالای هستند (دامورس و همکاران، ۱۹۹۸) و تأثیرات دریای خزر نیز میزان رطوبت و بارندگی این نواحی را افزایش می‌دهد (رودول و هاوسکینز، ۱۹۹۶). این نواحی دارای آبگیرها، تالاب‌ها و آب‌بندان‌های متعدد است که سبب می‌شود شرایط محیطی برای رشد آزولا که گیاهی آبرزی است در این نواحی بسیار مناسب باشد. به این ترتیب، آزولا با ورود به شمال ایران به عنوان یک زیست‌خوان خالی دارای شرایط محیطی مناسب به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از شیوه مدیریت آن در شالیزارها، در زیستگاه‌های آبی طبیعی فرصت استقرار و گسترش یافت که از این نظر بر اساس سه نظریه زیست‌خوان‌های خالی^۲، افزایش منابع قابل دسترسی^۳ و زیست‌خوان‌های موقت^۴ (مک‌آرتور، ۱۹۷۰؛

1. Hyrcanian forests

2. Empty niches

3. Increased resource availability

4. Opportunity windows

جان استون، ۱۹۸۶؛ شر و هیئت، ۱۹۹۹) شرایط مناسب محیطی برای تهاجمی شدن آن در منطقه فراهم بود (جدول ۶-۱).

از سوی دیگر به دلیل عدم وجود دشمنان طبیعی تخصصی آزولا در ایران بر اساس نظریه‌های رهایی از دشمنان طبیعی^۱، عدم حضور دشمنان طبیعی و دسترسی به منابع^۲، افزایش قدرت رقابت در نبود دشمنان طبیعی^۳ و وجود دشمنان طبیعی اختصاصی برای گونه‌های رقیب^۴ (ژسکه و هگر، ۲۰۱۸) هیچ مانع مهارکننده زنده‌ای در مقابل گسترش آن در منطقه وجود نداشت (جدول ۶-۱). علاوه بر این شرایط زیست محیطی ناستوار منطقه که در اثر فعالیت‌های کشاورزی، آلودگی محیط به فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی و شهری و ساخت و ساز غیر قانونی و غیر اصولی بر نواحی شمالی کشور حاکم بود (جائیکا، ۲۰۰۵) با توجه به نظریه‌های سازگاری با جوامع انسانی^۵، ناهمخوانی محیط^۶، آشفته‌گی محیطی^۷ و تاثیر نوسانات اکوسیستم^۸ (ژسکه و هگر، ۲۰۱۸) شدت گسترش آن را افزایش داد (جدول ۱-۲) و افزایش شدت گسترش آزولا در زیستگاه‌های طبیعی سبب ورود نابهنگام آن به برخی از شالیزارهای مستعد شده و مشکل آفرینی آزولا در شالیزارها نیز آغاز شد. اولین علایم تهاجم آزولا به زیستگاه‌های آبی منطقه در اواخر دهه ۷۰ با ورود یک هیأت ژاپنی به منطقه آشکار شد و پس از آن گزارش‌های متعددی از مشکل آفرینی آزولا در زیستگاه‌های آبی و شالیزارها ثبت شد (محمد شریفی، ۱۳۸۰؛ یعقوبی، ۱۳۹۰؛ پاداشت و همکاران، ۱۳۹۴؛ جائیکا، ۲۰۰۵؛ دنواز و عزیزی، ۲۰۰۹).

-
1. Enemy release
 2. Resource-enemy release
 3. Evolution of increased competitive ability
 4. Specialist-generalist
 5. Human commensalism
 6. Environmental heterogeneity
 7. Environmental disturbance
 8. Dynamic equilibrium model

۲

خصوصیات آزولا

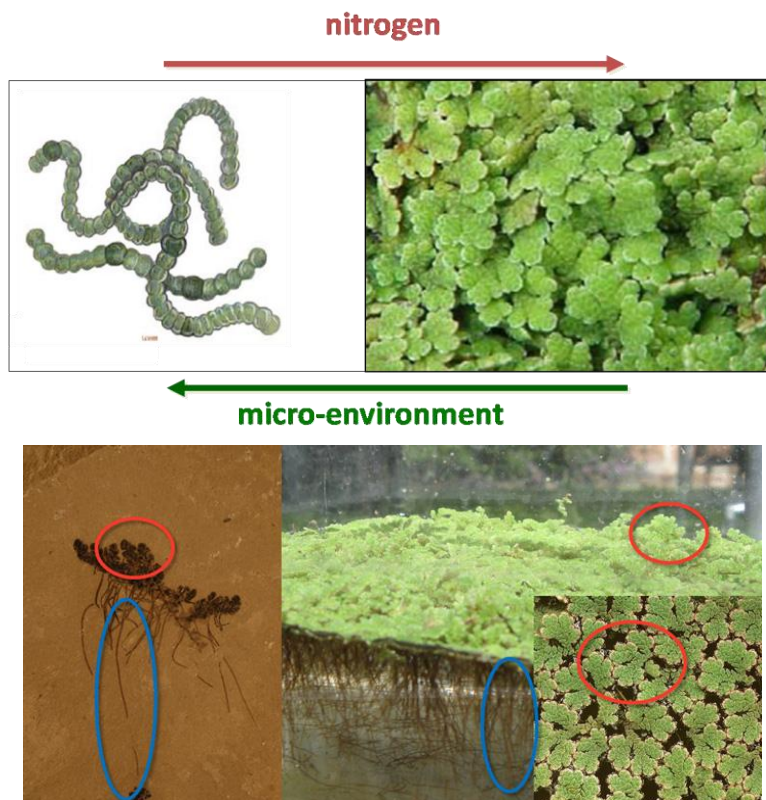
۲-۱- بیولوژی آزولا

ماکروفیت‌های آبی شناور به‌عنوان گیاهانی تعریف شده‌اند که در سطح آب شناور بوده و معمولاً ریشه‌های مخفی و فرورفته‌ای در آب دارند. گونه گیاهان شناور معمولاً و به‌طور کلی وابسته به خاک یا عمق آب نیستند. گیاه آزولا از گروه سرخس‌های چند هاگی وابسته به آب شیرین و معلق و آزاد بر روی آب می‌باشد که با جلبک سبز- آبی *A. azollae* به‌عنوان یک تثبیت کننده نیتروژن به‌طور همزیست مشاهده می‌شود. این گیاه به خاطر وابستگی به جلبک و به دلیل رشد سریع در مناطق دارای کمبود نیتروژن مورد توجه گیاه‌شناسان و کشاورزان آسیایی می‌باشد. تیره این گیاه شامل گونه‌های متعدد بوده و به‌طور وسیعی در سرتاسر مناطق معتدل، گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دنیا توزیع شده است. معلوم نیست که نوع همزیستی گونه‌های مختلف آزولا با جلبک سبز- آبی چگونه است ولی به‌طور قطع هر گونه از این گیاه با جلبک سبز- آبی خاصی همزیست است (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۰).

شماایل خاص گیاه آزولا به آن حالتی قایقی شکل می‌دهد که باعث شناوری با ثبات و حرکت بر سطح آب می‌شود. بخش فوقانی گیاه آزولا دارای یک فرورفتگی مرکزی نسبتاً بزرگی است که مأمونی برای زندگی تعداد زیادی از سیانوباکتری‌های^۱ همزیست موسوم به جلبک‌های سبز-آبی می‌باشد که با نام علمی *A. azollae*^۲ شناخته می‌شوند. سیانوباکتری‌ها یا به‌عبارتی سیانوفیتا^۳ گروهی از پروکاریوت‌ها^۴ یعنی موجوداتی با هسته سلولی نامشخص هستند که در سطوح آب‌ها زندگی می‌نمایند و انرژی مورد نیازشان را از طریق فتوسنتز کسب می‌کنند. زمانی که برگ شاخه‌ها یا سرخس‌چه‌های آزولا به اندازه کافی رشد کردند، آنگاه ساقه‌های قدیمی از ساقه اصلی جدا می‌گردند و این عمل به شکل‌گیری یک لایه جدید و مجزا می‌انجامد (فرنتینوس و همکاران،

-
1. Cyanobacteria
 2. Anabaena azollae
 3. Cyanophyta
 4. Prokaryotes

(۲۰۰۲) (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- رشد آزولا و همزیستی آن با آنابنا آزولانه (*A. azollae*)

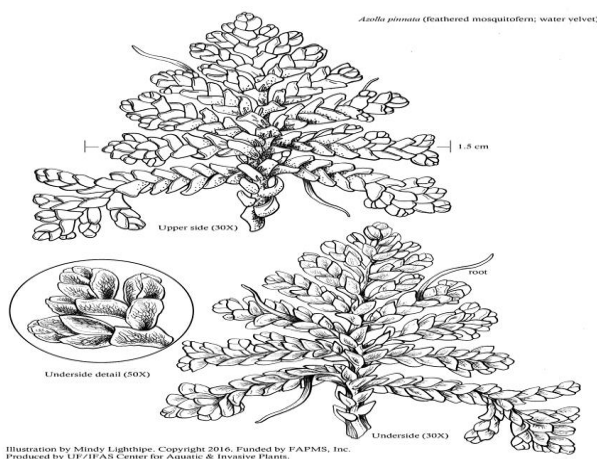
(<http://archive.fabacademy.org/2018/labs/fablabvigyanasharm/students/rohan-rege/documentation/project/final.html>)

۲-۲- مرفولوژی آزولا

آزولا یک نوع سرخس آبی شناور است که ارتباط همزیستی^۱ با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن برقرار می‌سازد. هر گیاه آزولا عموماً برگ شاخه^۲ خوانده می‌شود و شامل یک ساقه اصلی است که از سطح آب رشد می‌کند. برگ شاخه آزولا دارای برگ‌های متناوب و ریشه‌های نابجا در فواصل

1. Symbiotic
2. Frond

منظم بر روی ساقه اصلی می‌باشند و ساقه‌های ثانویه از محور برخی برگ‌ها توسعه می‌یابند. برگ‌شاخه‌های آزولا به شکل سه گوش^۱ یا چند وجهی^۲ هستند و به حالت منفرد یا جمعی به صورت شناور بر سطح آب قرار می‌گیرند (فرنٹینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲) (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- برگ‌شاخه آزولا دارای برگ‌های متناوب و ریشه‌های نابجا

(<https://cienciaybiologia.com/azolla-helecho-agua> & <https://gd.eppo.int/taxon/AZOFI/photos> & <https://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/azolla-pinnata/>)

برگ‌های آزولا دارای دو بخش متمایز (شکل ۲-۳) به شرح زیر می‌باشند:

۱. بخش پشتی^۳ که در مجاورت هوا قرار می‌گیرد.

1. Triangular
2. Polygonal
3. Dorsal lobe

۲. بخش شکمی^۱ نرم که همواره در تماس با آب است (فرنیتینوس و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۲-۳- بخش‌های اصلی آزولا

(http://phytoimages.siu.edu/imgs/pelserpb/r/Salviniaceae_Azolla_filiculoides_24457.html)

گیاه آزولا به صورت منفرد و یا توده‌ای در سطح آب شناور می‌باشد و گاهی تمام سطح آب را می‌پوشاند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵). آزولا به رنگ‌های مختلف دیده می‌شود که بسته به گونه‌های مختلف می‌تواند رنگ‌های بنفش، قرمز، آجری، زرد مایل به قهوه‌ای، قهوه‌ای روشن، سبز روشن تا سبز تیره را از خود بروز دهد. بروز این رنگ‌ها به دلیل وجود آنتوسیانین می‌باشد. برخی از گونه‌ها مانند *A. nilotica* تولید آنتوسیانین نکرده و رنگ قرمزی را از خود نشان نمی‌دهد. تولید آنتوسیانین به دلایل مختلف محیطی بستگی زیادی دارد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

آزولا شامل یک ساقه یا تنه اصلی در حال رشد در سطح آب با برگ‌های یک در میان و ریشه‌های نابجا و خارجی است که در فواصل منظم در امتداد تنه یا ساقه قرار دارند. این گیاه دارای ریزومه^۲ بوده و ریشه‌های آن به سه صورت مشاهده می‌شوند. ساقه‌های فرعی اغلب در گوشه برگ‌ها رشد می‌یابند. برگ‌ها در ساقه‌های آزولا به اشکال مثلثی یا چند ضلعی و به صورت شناور در سطح آب به‌طور مجزا یا به صورت در هم‌بافته شده قرار دارند. ظاهر درشت و بزرگ آنها کمی شبیه به آن چیزی است که به‌طور مرسوم به‌عنوان سرخس‌ها در نظر گرفته می‌شوند و در واقع با نام

1. Ventral lobe

2. Rhizome. ساقه زیر زمینی

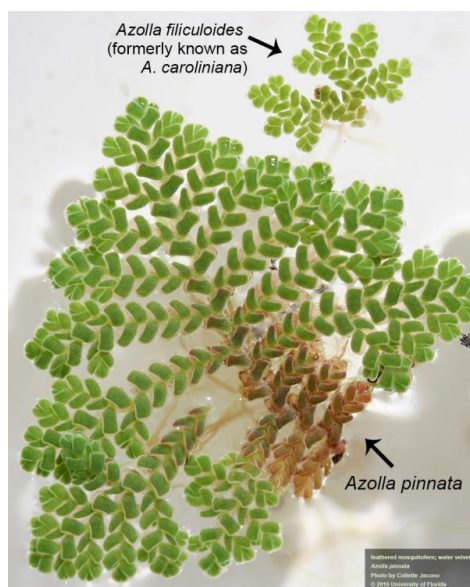
سرخس‌های خزه‌ای معروف می‌باشند. ضخامت گیاه برای گونه‌های کوچک و ریزتر مثل A. *pinnata* بین ۱- ۲/۵ سانتی‌متر و برای گونه‌های درشت‌تر مانند A. *nilotica* تا ۱۵ سانتی‌متر یا بیشتر نیز می‌باشد (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۰).

اندازه آزولا بیشتر از ۱/۵ سانتی‌متر است. ساقه گیاه به‌صورت ریزوم‌های (میخ‌چی، ۱۳۶۳) شاخه‌ای شناور و برگ‌های کوچک آن یک در میان (وان‌هوف، ۱۹۸۹) و روی هم قرار دارند. ریشه به‌صورت معلق در آب قرارداشته و طولش ۵-۲ سانتی‌متر می‌باشد. برگ‌های آزولا دو قسمتی (هاشمی، ۱۳۷۰) هستند. قسمت روئی (آزولانوت، ۱۹۸۵) برگ آزولا به رنگ سبز با صورتی، گوشتی، هوائی و کلروفیلی بوده و درحفره‌های مرکزی آنها جلبک همزیست زندگی می‌کند. قسمت زیرین (بصیرا، ۱۹۹۰) برگ، نازک‌تر، بدون کلروفیل، با بافت‌های اسفنجی، به رنگ سفید یا صورتی بوده و به‌صورت نیمه معلق در آب قراردارند. آزولا دارای سه نوع ریشه است: اول ریشه‌های جوان که رنگشان متمایل به سبزااست، دوم ریشه‌های فعال با تارهای کشنده و سوم ریشه‌های مسن به رنگ قهوه‌ای که در مراحل اولیه پوسیدگی قرار دارند. طبق تحقیقات انجام شده، رشد ریشه توسط الگ همزیست کنترل می‌شود؛ زیرا این رشد در سرخس‌های بدون همزیست بیشتر است.

۲-۲-۱- مرفولوژی ساقه

گیاه آزولا دارای یک ساقه اصلی است که توسط برخی از دانشمندان ریزوم نامیده می‌شود. علت نامیده شدن ساقه اصلی آزولا به ریزوم، این است که در اکثر قریب به اتفاق سرخس‌های جهان، ساقه اصلی از نظر گیاهشناسی نوعی ریزوم (ساقه افقی زیرزمینی) می‌باشد ولی در مورد آزولا صادق نبوده و اشتباهاً به ریزوم گفته می‌شود. بنابراین در آزولا ریزوم مترادف با ساقه اصلی می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). ساقه اصلی آزولا به‌صورت ریزوم‌های شاخه‌ای شناور بوده که دارای برگ‌های کوچک و متقابل دو قسمتی است (خدابنده، ۱۳۷۱). این ساقه اصلی در اغلب

گونه‌های آزولا کوتاه و دارای انشعابات جانبی می‌باشد. ساقه اصلی تعدادی ساقه‌های جانبی را بوجود می‌آورد که با برگ‌های کوچک یک در میان که روی هم قرار گرفته‌اند، پوشیده می‌شود (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸). این ساقه اصلی معمولاً بدون کلروفیل می‌باشد، ولی حاوی کلروپلاست‌ها و مواد رنگی می‌باشد (شکل ۲-۴). در قاعده هریک از شاخه‌ها یک لایه جداکننده به نام آبسزین^۱ وجود دارد که در تولید مثل رویشی بسیار مهم می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قیج‌اوند، ۱۳۷۵).



شکل ۲-۴ ساقه اصلی آزولا به همراه ساقه‌های جانبی

(<https://plants.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/images/azopin/azolla-comparison.jpg>)

ساقه اصلی از خارج به داخل شامل قسمت‌های زیر می‌باشد: پوست، آندودرم که فاقد حلقه کاسپارین بوده ولی دیواره بیرونی آن بسیار ضخیم می‌باشد، دیواره محیطی، آوندهای چوبی و آبکش. آوندهای آبکشی با سلول‌های غربالی از آوندهای چوبی با لایه‌هایی از سلول‌های پارانشیمی متمایز می‌شود (شکل ۲-۵). ساقه اصلی فاقد روزنه بوده ولی گاهگاهی در محل خروج

ریشه‌ها دارای کلروپلاست می‌باشد (متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵). شاخه‌ها از نظر ساختمانی فرقی اساسی چندانی با ساقه اصلی ندارند مگر آنکه شعاع استوانه مرکزی در ساقه اصلی بزرگ‌تر باشد (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قجاوند، ۱۳۷۵). ساقه اصلی ریشه‌ها از قسمت زیرین خارج می‌شوند در *A. pinnata* در دو ردیف ساقه اصلی در قسمت زیرین ظاهر می‌شوند (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

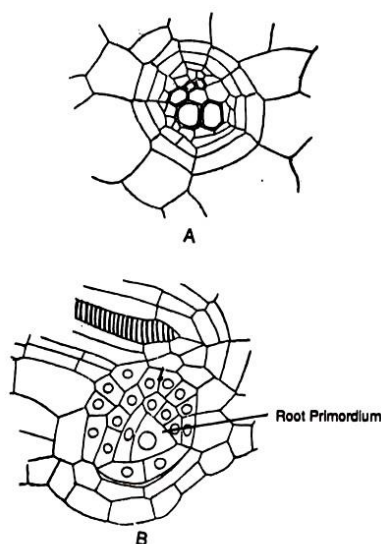


Fig. 193. *Azolla* : Anatomy of Stem of *A. filiculoides*
A. T.S. of Stele, B. L.S. of Stem with a Root Primordium

شکل ۲-۵- آناتومی ساقه آزولا

(<http://www.biologydiscussion.com/pteridophytes/azolla-gametophyte-and-phylogeny-botany/73913>)

۲-۲-۲- مرفولوژی برگ

برگ‌های آزولا به دو قسمت فوقانی^۱ و تحتانی^۲ تقسیم می‌شوند (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ فرنتنوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲). قسمت فوقانی هوایی بوده و به‌طور مایل نسبت به افق ایستاده و تنها یک لobe آن با آب تماس دارد (قره‌یاضی، ۱۳۷۰؛ قجاوند، ۱۳۷۵). برگ‌های آزولا

1. Dorsal lobe
2. Veortal lobe

به‌طور یک در میان قرار گرفته و به‌هم فشرده هستند و به‌طور کامل ساقه را پوشانده و تقریباً شبیه فلس‌های ماهی روی هم قرار گرفته‌اند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵) (شکل ۲-۶). بخش رویی یا هوایی دارای کلروفیل می‌باشد و اغلب دارای رنگ سبز تیره بوده و دارای کُرک‌های شفاف می‌باشد که به آن حالت مخمل مانند می‌دهند (شکل ۲-۷) (نصیریان، ۱۳۶۶؛ قجاوند، ۱۳۷۵).



شکل ۲-۶- برگ‌های فلس مانند آژولا

(http://phytoimages.siu.edu/cgi-bin/dol/dol_terminal.pl?taxon_name=Azolla&rank=genus)

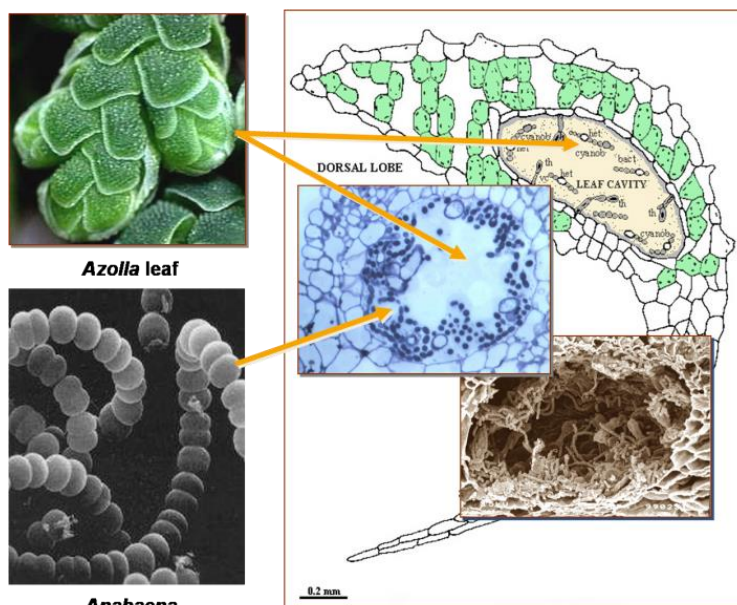


شکل ۲-۷- کُرک‌های شفاف سطح برگ

(<https://www.minnesotawildflowers.info/fern/mexican-mosquito-fern>)

قسمت زیرین یا قسمت آبی برگ فاقد کلروفیل بوده و بی‌رنگ، شفاف و گاهی قهوه‌ای مایل به قرمز می‌باشد. لب زیرین کمی بزرگ‌تر از لب فوقانی می‌باشد و برای شناور شدن گیاه سازگار شده‌اند به نحوی که آب تنها با قسمت زیرین آنها تماس دارد (نصیریان، ۱۳۶۶؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). لب فوقانی برگ‌ها مانند گیاهان دیگر فعالیت فتوسنتزی داشته، ضخیم‌تر از لب زیرین بوده و در قسمت مرکز برگ ضخامت آن بیشتر می‌شود. در حالی که در لبه‌های برگ یک حاشیه بی‌رنگ و شفاف که از لایه سلول‌های شفاف واضح تشکیل یافته، وجود دارد. برگ‌های آزولا دارای کوتیکول^۱ هستند. بدین معنی که با یک لایه غیرسلولزی پوشانده شده‌اند که از دفع بیش از حد آب و یا صدمات مکانیکی جلوگیری به عمل می‌آورد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵؛ فرنتینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲) در نزدیکی قاعده و بخش زیرین قسمت فوقانی برگ یک حفره نسبتاً بزرگی وجود دارد که از زمان ظاهر شدن برگ دوم به تدریج به وجود آمده و شکل می‌گیرد. این حفره جایگاهی برای جلبک سبز- آبی *A. azollae* می‌باشد. این حفره تخم‌مرغی شکل بوده و توسط سوراخی با اتمسفر خارج در ارتباط می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). این سوراخ در قسمت محوری برگ قرار گرفته است و هم‌زمان با بزرگ شدن برگ، حفره نیز بزرگ می‌شود و هم‌زمان با بزرگ شدن حفره، رشته‌های *A. azollae* در درون آن ازدیاد می‌یابند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). سلول‌های اپیدرمی که یک حفره را احاطه کرده، موهای ساده یا منشعبی را ایجاد می‌کند. شکل این موها نشان می‌دهد که احتمالاً آنها در عمل متابولیکی و تبادلات میان دو همزیست فعال می‌باشد و به همین دلیل آنها را موهای ناقل، نامگذاری کرده‌اند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸) (شکل ۲-۸).

۱. کوتیکول گیاهی به انگلیسی plant cuticle : غشا محافظی است که اپیدرم برگ، شاخه‌های جوان و دیگر اندام‌های گیاه را که فاقد پوست بیرونی هستند می‌پوشاند. کوتیکول شامل لیپید و هیدروکربنی است که با موم پوشیده شده است و منحصراً توسط سلول‌های اپیدرمی ساخته می‌شود.



شکل ۲-۸- حفره برگ در آزولا و باکتریهای همزیست موجود در این حفره (کاراپیکو، ۲۰۰۲؛ ۲۰۱۰).

هنگامی که جوانه اولیه برگ آزولا در حال شکل‌گیری می‌باشد، یک فرورفتگی کوچکی در نزدیکی قاعده لب فوقانی برگ شکل می‌گیرد. این فرورفتگی توسط توسعه رشد سلول‌های مریستم پوست کم‌کم تبدیل به یک حفره‌ای می‌شود که آنابنا را در درون خود اسیر کرده است و تنها یک منفذ در قسمت مرکزی و فوقانی حفره باقی می‌ماند. این منفذ امکان تبادلات گازی را فراهم می‌آورد (قجاوند، ۱۳۷۵). حفره دارای تعداد زیادی رشته‌های مویی می‌باشد که به نظر می‌رسد این سلول‌های مویی شکل برای تبادلات متابولیکی بین میزبان و همیار به کار می‌رود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸).

قسمت فوقانی برگ آزولا دارای یک اپیدرم بیرونی می‌باشد، این اپیدرم بیرونی دارای روزنه و گُرک‌های کوچک یک یا چند سلولی می‌باشد. این گُرک‌ها و تعداد سلول‌های تشکیل‌دهنده گُرک‌ها در رده‌بندی و شناسایی گونه‌ها به کار می‌رود. روزنه‌ها در ردیف‌های عمودی در هر دو

گب برگ آزولا وجود دارند. روزنه‌ها در ابتدا دارای دو سلول لوبیایی شکل محافظ روزنه هستند ولی بعداً با هم یکی شده و یک سلول محافظ حلقه‌ای شکل را تشکیل می‌دهند که دارای یک منفذ میانی می‌باشد (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی و همکاران، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵). البته تعداد سلول‌های محافظ در برخی گونه‌ها همچنان دو عدد باقی می‌مانند و از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت می‌باشد. البته *A. filiculoides* و *A. pinnata* دارای یک سلول محافظ روزنه می‌باشند. تعداد تقریبی روزنه‌های آزولا در حدود ۱۲ روزنه در میلی‌متر مربع شمارش شده است. قسمت زیرین برگ دارای تعداد اندکی روزنه و گُرک و بافت قسمت زیرین دارای تعدادی فضای خالی می‌باشد. بافت قسمت رویی شامل یک ردیف و دسته‌های آوندی و یک لایه پارانشیم نردبانی شکل کشیده با فضاهای مشخص بین سلولی و یک یا چند لایه از سلول‌های فاصله‌دار و منشعب اسفنجی مزوفیلی می‌باشد.

آوندهای برگ در استوانه مرکزی اولیه ساقه اصلی به وجود آمده و بلافاصله به دو قسمت برگ منشعب می‌شوند. آوندهای قسمت فوقانی برگ شامل گروهی از عناصر تراکئیدی (سلول‌های آوند چوبی) و پارانشیم آوندی است که به وسیله یک لایه از لوله‌های آبکشی قوسی شکل احاطه گردیده است که این لایه نیز به نوبه خود به وسیله یک آندودرم با نوارهای حلقه کاسپارین احاطه می‌شود. پارانشیم آوندی همراه با عناصر چوبی سلول‌های ناقل می‌باشد که دارای یک رابطه سیتوپلاسمی با هریک از آنها و با سلول‌های آندودرمی و لوله‌های آبکشی می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸) (شکل ۲-۹).

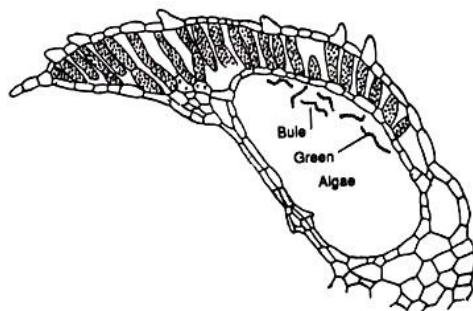


Fig. 194. Azolla : Anatomy of Leaf of *A. filiculoides* showing endophytic Blue Green Algae

شکل ۲-۹- آناتومی برگ در آزولا

(<http://www.biologydiscussion.com/pteridophytes/azolla-gametophyte-and-phylogeny-botany/73913>)

۲-۴- مرفولوژی ریشه

گیاه آزولا دارای ریشه‌هایی می‌باشد که به‌طور عمودی به طرف پایین آویزان هستند. ریشه‌ها از قسمت زیرین ساقه و معمولاً از قاعده شاخه ظاهر می‌شوند و از بالا به پایین رشد می‌کنند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

ریشه آزولا به حالت شناور در آب قرار داشته و معمولاً حدود ۵-۲ سانتی‌متر طول دارد. سرعت رشد ریشه خیلی زیاد بوده و به‌صورت لایه‌هایی روی هم قرار می‌گیرند. آزولا معمولاً دارای سه نوع ریشه است (شکل ۲-۱۰) که عبارتند از:

۱- ریشه‌های جوان به رنگ سبز

۲- ریشه‌های فعال که دارای تارهای کشنده هستند

۳- ریشه‌های مسن که به رنگ قهوه‌ای می‌باشند و در مراحل اولیه پوسیدگی قرار دارند (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ خدابنده، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵).



شکل ۲-۱۰- انواع ریشه در آزولا

(<https://weeds.brisbane.qld.gov.au/weeds/ferny-and-red-azolla> &
<https://www.minnesotawildflowers.info/fern/mexican-mosquito-fern>)

در آزولای جوانی که به تازگی از گیاه مادری جدا شده است یک ریشه استوانه‌ای شکل نازک بدون تارهای ریشه ظاهر می‌شود. ریشه جوان به وسیله یک کلاهک پوشیده می‌شود که در طول رشد تارهای قاعده و ریشه تشکیل می‌شود. تا وقتی که ریشه به اندازه نصف رشد نهایی خودش نرسیده است، تارهای ریشه به وجود نمی‌آیند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در گیاهان جوان‌تر، ریشه‌ها منفرد هستند. تارهای ریشه که به تعداد زیاد و شکلی شفاف هستند به آن حالت پُرمانند می‌دهند. ریشه‌های جوان دارای کلاهک هستند که بعد از مدتی از بین می‌رود (نصیریان، ۱۳۶۶؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). طول تارهای ریشه تا یک سانتی‌متر می‌رسد که از زیر کلاهک ریشه بیرون می‌آیند (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). ریشه‌ها ضعیف و شکننده بوده و دارای قابلیت ریزش و جدا شدن هستند، عمل ریشه‌ها کم و بیش همانند عمل ریشه‌های نابجا می‌باشد. کار اصلی آنها جذب مواد غذایی و آب می‌باشد؛ ولی هنگامی که ریشه‌ها با خاک تماس حاصل نمایند مثل ریشه‌های حقیقی عمل می‌کنند که در این حالت هم کار نگهداری گیاه بر روی خاک و هم وظیفه جذب آب و مواد غذایی را انجام می‌دهند. ریشه‌های ضخیم و قوی با تعداد زیاد و تارهای ریشه نشان دهنده سلامت آزولا هستند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

طول ریشه از ۱/۵ سانتی‌متر در *A. pinnata* تا ۱۱ سانتی‌متر و بلکه بیشتر در *A. nilotica* متفاوت می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). رشد ریشه‌ها توسط آنابنای همزیست که در حفره‌های برگ قرار می‌گیرند کنترل گردیده و در افزایش نیتروژن محیط زیست خود اثر بسیار زیادی خواهند داشت (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ خدابنده، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

در *A. pinnata* و *A. filiculoides* سلول‌های اولیه ریشه احتمالاً غلافی از یک لایه سلولی را روی کلاهک که خود متشکل از دو لایه سلول می‌باشد ایجاد می‌نمایند و سپس سلول‌های اپیدرمی، دولایه سلول‌های پوستی دارای کلروپلاست‌ها و مواد گرانوله‌ای و یک آندودرم و سپس دایره محیطیه که هریک شامل تقریباً شش سلول می‌باشند، به‌وجود می‌آید. دایره محیطیه تعدادی از سلول‌های آبکشی، تراکئیدها و گروهی از سلول‌های پارانشیمی را احاطه کرده است. لوله‌های ریز یا میکروتوبول‌ها^۱ در نوک ریشه و بسیاری از بافت‌های آزولا مشاهده شده‌اند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵) (شکل ۲-۱۱).

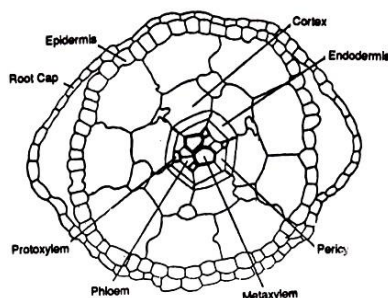


Fig. 195. Azolla : Anatomy of Root of *A. filiculoides*

شکل ۲-۱۱- آناتومی ریشه در آزولا

(<http://www.biologydiscussion.com/pteridophytes/azolla-gametophyte-and-phylogeny-botany/73913>)

۱. میکروتوبول Microtubules پلیمری از جنس توبولین (Tubulin) که قسمتی از ساختار سلولی موجودات پراسلولی را تشکیل داده و اجزا و اشکال متفاوت سلول را در این موجودات ایجاد می‌کند

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Microtubule>)

۲-۳- فیزیولوژی آزولا

آزولا مانند سایر گیاهان احتیاج به دو دسته مواد غذایی دارد:

اول مواد غذایی پرمصرف که عبارتند از: فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سولفور و آهن. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد آزولا، آهن جزو مواد غذایی پرمصرف محسوب شده و کمبود آن باعث کاهش میزان تثبیت نیتروژن و زرد شدن رنگ گیاه می‌گردد (کورپورال و همکاران، ۱۹۹۰). بهترین شکل فسفر مورد نیاز آزولا سوپرفسفات بوده و مقدار آن ۵-۱۰ کیلوگرم اسید فسفریک در هکتار برای هر دوره رشد است (دومین گوکز، ۱۹۹۷). کود گاوی تازه به مقدار یک تن در هکتار می‌تواند جای مصرف سوپرفسفات را بگیرد (سینگ و همکاران، ۱۹۹۰).

دوم، مواد غذایی کم مصرف (اوانگ‌لین و ساندووال، ۱۹۸۴) که عبارتند از: روی. منگنز، کبالت، مس، مولیبدن و بُر. استفاده از خاکستر بقایای گیاهی شالیزار به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تأمین کننده مواد غذایی کم مصرف مورد نیاز آزولا می‌باشد (سینگ و همکاران، ۱۹۹۰). دوره رشد آزولا بسته به شرایط آب و هوایی، وارسته، شرایط تغذیه‌ای و میزان بافت سبزی که در کاشت بکار رفته است، ۳۰-۲۵ روز می‌باشد. محصول هر دوره رشد ۱۵-۱۰ تن وزن تر بوده، که به‌طور معمول حاوی ۴۰-۳۰ کیلوگرم نیتروژن است (واتانابه و همکاران، ۱۹۷۷).

۲-۴- اکولوژی آزولا

آزولا به فراوانی در رودخانه‌های کم شیب و آب پشت سدها در آفریقا رشد می‌کند. در بعضی از نهرها لایه‌ای ضخیم از آزولا به‌طول بیشتر از یک کیلومتر سطح آب را می‌پوشاند و لایه‌های زیرین آن به‌طور دائم در حال پوسیده شدن است. آب این نهرها از نظر مواد غذایی به‌ویژه فسفر، منگنز، آهن و نیتروژن بسیار غنی است (سینگ، ۱۹۷۷). بهترین درجه حرارت برای رشد ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد است، اگرچه در شرایط ۴۰-۱۴ سانتی‌گراد هم آزولای بخوبی رشد می‌کند (واتانابه و همکاران، ۱۹۷۷). درجه حرارت بیشتر از ۴۰ و کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد باعث توقف رشد آزولا

می شود (سینگ و سابودهی، ۱۹۷۸).

گونه *A. pinnata* گونه مخصوص مناطق معتدله است. نژاد ویتنامی این گونه در تمام ایام سال سبز بوده و به آزولای سبز معروف است. این نژاد مقاوم ترین انواع آزولا به درجه حرارت های بالای آب، حتی ۳۸/۴-۳۰ درجه سانتی گراد می باشد. خصوصیت دیگر این نژاد این است که در مواردی که هیچگونه کود فسفره مصرف نشود. بهترین رشد را نسبت به سایر نژادها دارد. نژاد بنگلادشی این گونه نسبت به آفات مقاوم است (سینگ و سابودهی، ۱۹۷۸). بهترین pH برای *A. pinnata* خنثی تا کمی اسیدی بوده ولی در pH ۶/۵ تا ۶ هم بخوبی رشد می کند (سینگ، ۱۹۷۹).

گونه *A. filiculoides* اصلش از آمریکا بوده و مقاوم ترین گونه آزولا به سرما می باشد. سازگاری گونه های شش گانه آزولا به اسیدیته خاک متفاوت است که در فصل چهارم در این مورد توضیحات کافی ارائه خواهد شد. آزولا به غلظت زیاد یون های محلول در خاک بسیار حساس است. و اگر قابلیت هدایت الکتریکی خاک زیاد باشد این گیاه قادر به ادامه حیات نخواهد بود (سینگ، ۱۹۷۹).

گونه *A. filiculoides* (آزولای قرمز) تنها عضو این جنس و تیره Azolaceae در تاسمانی^۱ است. این سرخس یکی از پرترفدترین گیاهان آبرزی و بومی تاسمانی است. این جنس در اکثر مزارع و سایر اماکن آبی و برکه ها به وفور یافت می شود. با اینکه گیاه شناور کوچکی (معمولاً فقط چند سانتی متر) می باشد؛ اما رشد و تکثیر آن بسیار زیاد بوده و با رشد زیاد توده بسیار بزرگی را بر روی سطح آب تشکیل می دهد. این سرخس در حالت طبیعی معمولاً به رنگ قرمز بوده و دارای برگ های مقاوم در برابر آب هستند. به دلیل دارا بودن برگ های ریز ولی با تعداد زیادی که دارد ریشه های آن در داخل آب قرار می گیرند و برگ های آن سطح آب را به شدت و با تراکم زیاد

۱. Tasmania. جزیره ای واقع در ساحل جنوبی استرالیا که به دلیل مناطق وسیع و بی نظیر آن، دارای پارک ها و ذخایر حفاظت شده بوده و امروزه به عنوان یک موزه سرباز است.

می پوشانند.

این گونه نیز همانند سایر گونه‌ها یک رابطه همزیستی با سیانوباکتریوم تشکیل می‌دهند که نیتروژن موجود در اتمسفر را جذب کرده و دسترسی گیاه به مواد مغذی ضروری را فراهم می‌کند. این امر باعث شده است که گیاه به‌عنوان سوپر گیاه نامگذاری شود، زیرا می‌تواند به راحتی مناطق آب شیرین را اشغال کرده و با سرعت زیاد رشد و تکثیر یابد. فاکتور اصلی محدود کننده برای رشد آن فسفر است که در واقع یکی از مواد معدنی ضروری برای رشد می‌باشد. زمانی که فسفر به دلایل مختلف از جمله ایجاد شرایط ائوتروفیک یا از طریق حمل مواد شیمیایی به وسیله رواناب زیاد می‌شود اغلب منجر به شکوفا شدن و تکثیر سریع آزولا می‌شود. برخلاف سایر گیاهان شناخته شده، میکروارگانیزم‌های همزیست در این گیاه به‌طور مستقیم از یک نسل به بعد منتقل می‌شوند. این سبب شده است که جلبک کاملاً وابسته به میزبان آن باشد، زیرا در این عمل چندین ژن آن یا از بین رفته یا به هسته سلول‌های آزولای جدید منتقل می‌شوند (کوستا و همکاران، ۱۹۹۹؛ بوجاک، ۲۰۰۷؛ ۲۰۱۲).

۲-۵- ترکیبات شیمیایی آزولا

تجزیه شیمیایی آزولا (جداول ۲-۱ و ۲-۲) نشان می‌دهد که این گیاه از نظر مواد معدنی بسیار غنی می‌باشد. آزولا به علت داشتن ۳۰-۲۴ درصد پروتئین در جیره غذایی ماهی، مرغ و دام هم مصرف می‌شود. مصرف دیگر آزولا در تغذیه انسان است. در این صورت آب‌پز آن را مثل سایر سبزیجات مصرف می‌نماید (سینگ، ۱۹۸۰).

جدول ۲-۱- مواد معدنی موجود در آژولا (سینگ، ۱۹۸۰).

نام مواد	درصد در وزن خشک	نام مواد	درصد در وزن خشک
خاکستر	۱۰/۵	پتاسیم	۲/۵-۵
چربی خام	۳-۳/۳۶	منیزیم	۰/۵-۰/۶۵
پروتئین خام	۳۰-۳۴	منگنز	۰/۱۱-۰/۱۶
نیتروژن	۴-۵	آهن	۰/۰۶-۰/۲۶
فسفر	۰/۵-۰/۹	شکر محلول	۳/۴-۳/۵
کلسیم	۰/۹-۱	نشاسته	۶/۵-۶/۵۴
فیبر خام	۹/۱		

جدول ۲-۲- ترکیبات شیمیایی *A. pinnata* (اوانگ لین و ساندووال، ۱۹۸۴).

ماده مغذی	درصد در ماده خشک
خاکستر خام	۱۰/۵
الیاف خام	۹/۴
چربی خام	۳-۳/۳۳
پروتئین خام	۲۳-۳۰
نشاسته	۶/۵
فسفر	۰/۵-۰/۹
پتاسیم	۲-۴/۵
کلسیم	۰/۴-۱

با توجه به جداول مذکور میزان پروتئین خام در آژولا می تواند از علف یونجه نیز بالاتر باشد. البته بررسی ها نشان داده است که در دوره اولیه رشد، یعنی در سن یک هفتگی، بیش از ۷۵ درصد از پروتئین خام موجود در آژولا به صورت نیتروژن غیر پروتئینی خواهد بود. متغیر بودن میزان خاکستر در آژولا از دیگر جنبه های تغذیه ای می باشد که به دلیل قدرت جذب مواد معدنی زیاد و تحت شرایط محیطی، ممکن است درصد بالایی را به خود اختصاص دهد به نحوی که خود به عنوان عامل محدود کننده محسوب شود.

۳

تولید مثل و تکثیر آزولا

۳-۱- تولید مثل آزولا

همانطور که اشاره شد، آزولا می‌تواند به دو روش جنسی و غیرجنسی تکثیر یابد. البته تشکیل اندام‌های جنسی در این گیاه نامنظم بوده و غالباً ایجاد نمی‌گردد. روش معمول تکثیر آزولا سبزینه‌ای (بهویان و همکاران، ۱۹۹۸) است. برای این منظور کافیت بافت‌های سبز تازه برداشته شده را در کرت‌هائی که قبلاً آماده شده و ارتفاع آب در آنها ۴۰-۵ سانتی‌متر باشد، پخش شود. در ضمن آزولا از طریق جنسی هم تکثیر می‌شود. تکثیر جنسی (باکینگ‌هام و همکاران، ۱۹۷۸) از طریق اسپوروکارپ‌ها (کافری و همکاران، ۱۹۹۹) صورت می‌گیرد که در صورت عدم برداشت منظم به مقدار فراوان در محیط کشت پدیدار می‌شوند. درجه حرارت کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشتر تا ۳۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد محرک برای ظهور هرچه بیشتر اسپوروکارپ‌ها می‌باشد. انتشار آزولا از طریق آب‌های جاری، پرنده‌های دریائی و میکروسپورها انجام می‌شود (سینگ، ۱۹۷۹).

رویش و تکثیر آزولا بستگی به گونه سازگار با محیط و از طرف دیگر به عوامل محیطی متعددی مانند: میزان آب، درجه حرارت محیط و آب، حاصل‌خیزی خاک، میزان مواد موجود در خاک و بالاخص میزان فسفر موجود در آن، نور و غیره بستگی دارد. این عوامل محیطی توأم در رشد و نمو گیاه مؤثرند و بنابراین تعیین میزان تأثیر هریک از عوامل فوق به‌طور جداگانه بر رویش و تکثیر این گیاه مشکل به نظر می‌رسد. البته آزمایشات متعددی که در چین و انستیتوی بین‌المللی برنج (IRRI) انجام گرفته نشان می‌دهند که رشد و نمو و تکثیر آزولا بستگی به میزان فسفر قابل جذب در آب و خاکی دارد که آزولا در آن رشد می‌نماید. اگر فسفر به اندازه کافی در دسترس ریشه آزولا باشد، جذب و تثبیت نیتروژن توسط آن از هوا چند برابر خواهد شد. کودهای حیوانی نیز در رشد و تکثیر آزولا نقش اساسی دارند. آزمایشات متعدد نشان داده‌اند که گیاه آزولا در مراحل اولیه رشد خود حداقل به ۵ پی‌پی‌ام (ppm) فسفر قابل جذب نیاز دارد. دانشمندان چینی و فیلیپینی موفق شدند

روش‌هایی را برای برداشت هاگدان‌های آزولا و کشت آن در سطح وسیع به‌عنوان بذر آزولا ابداع نمایند ولی علیرغم موفقیت‌های حاصل هنوز به‌طور وسیع و گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

۳-۱-۱- تولید مثل غیر جنسی آزولا (تولید مثل رویشی)

آزولا به‌طور طبیعی از طریق قطعه قطعه شدن تکثیر می‌شود. بدین صورت که هرگاه بافت‌های سبز آن را در آب قرار دهند شروع به تکثیر خواهد نمود. سرعت رشد و تکثیر آن بسیار زیاد بوده و در مدت زمان کوتاهی می‌تواند سطح وسیعی از آب را اشغال نماید. در این صورت انشعابات ثانویه از شاخه‌های جانبی مسن‌تر به محل اتصال شاخه‌ها به ساقه اصلی فشار وارد می‌آورد. در قاعده هر یک از شاخه‌ها یک لایه ریزشی با قابلیت جدا شدن از آزولای اصلی وجود دارد که از تعدادی سلول‌های کوچک تشکیل شده است. در اثر فشارهای وارده، شاخه‌ها از این نقطه قطع شده و به‌صورت یک گیاه کامل در می‌آیند. شاخه‌های جدا شده از گیاه مادری فاصله گرفته و به‌صورت گیاهی مستقل در می‌آیند (لامپکین و پلاک‌نت، ۱۹۸۲؛ کاراپیکو و همکاران، ۲۰۰۰).

وجود آب و فضای کافی برای تکثیر رویشی آزولا کاملاً ضروری می‌باشد. وقتی آزولا در روی سطح خاک مرطوب و یا مواد متراکم دیگر قرار می‌گیرد، قطعه قطعه شدن برای آن غیر ممکن شده و موجب کاهش در میزان تولید زیست‌توده می‌شود. تکثیر آزولا از طریق رویشی بسیار سریع بوده و تحت شرایط مناسب^۱، وزن خود را طی ۲ تا ۳ روز به دو برابر می‌رساند (لامپکین و پلاک‌نت، ۱۹۸۲؛ کاراپیکو و همکاران، ۲۰۰۰).

۳-۱-۲- تولید مثل جنسی آزولا

تکثیر جنسی از طریق اسپورها^۲ انجام می‌شود. به‌طور کلی سرخس‌ها به دو گروه بزرگ تقسیم

1. Optimum

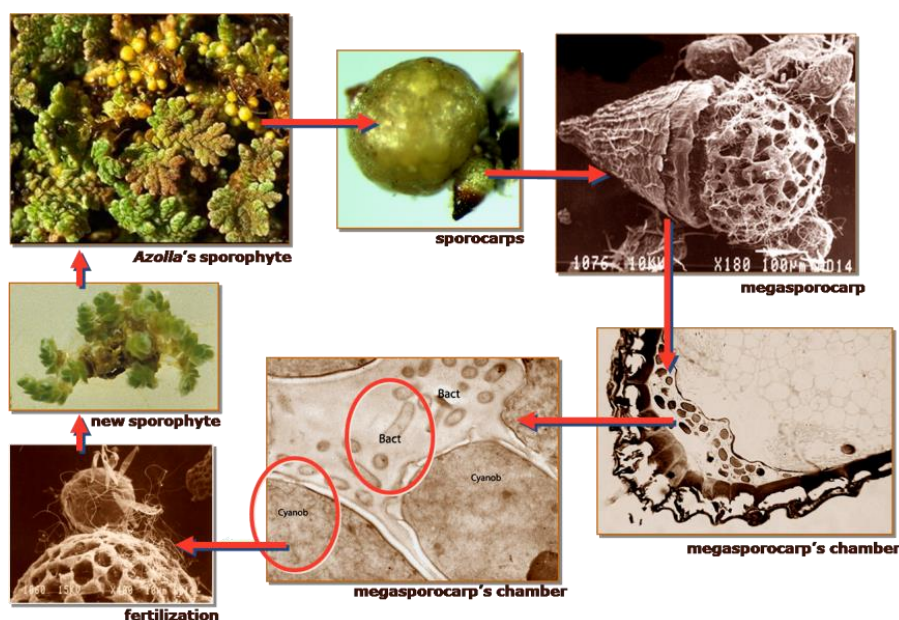
1. Spore

می شوند:

۱- سرخس هایی که فقط یک نوع اسپور تولید می کنند.

۲- سرخس هایی که دو نوع اسپور تولید می کنند.

گونه های آزولا دارای دو نوع اسپور به نام های ماکروسپور^۱ و میکروسپور^۲ هستند که در این حالت هتروسپوروس^۳ نامیده می شود. اندام های تشکیل دهنده اسپور یا اسپورکارپ ها^۴ در زیرشاخه های برگ های قدیمی رشد می کنند (هایده و همکاران، ۲۰۱۷) (شکل ۳-۱).



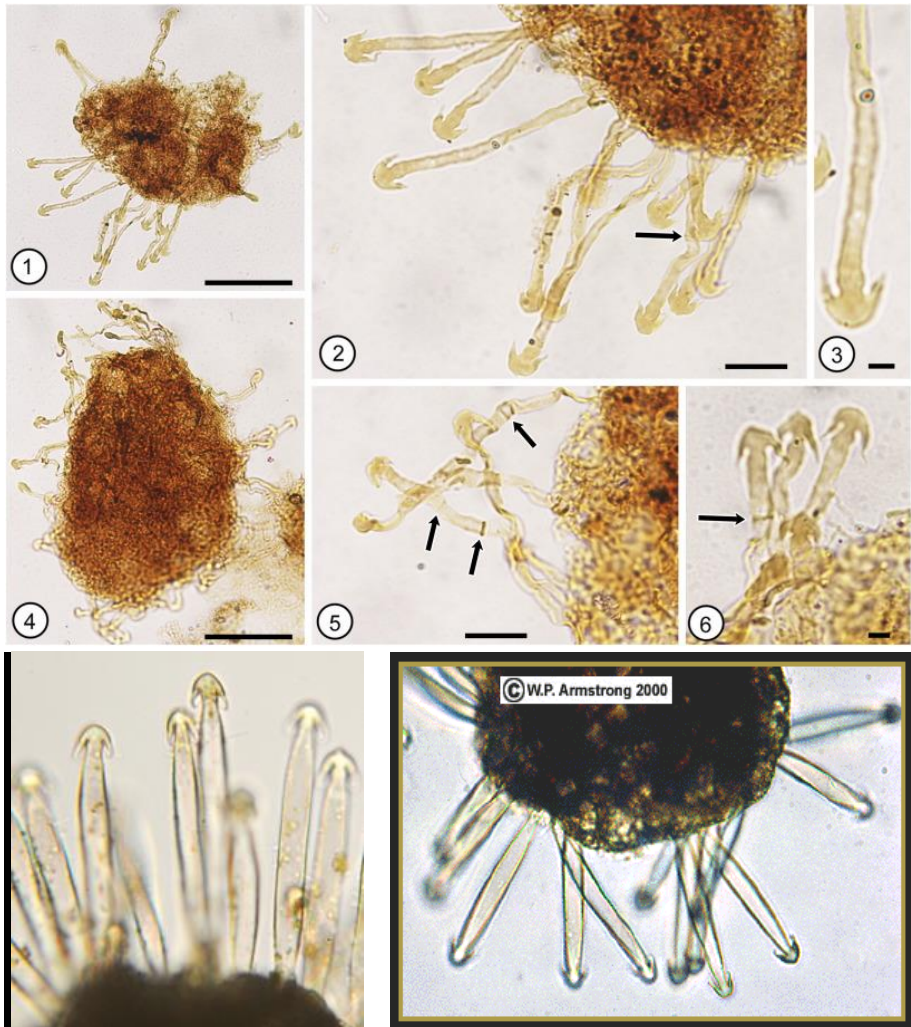
شکل ۳-۱- چرخه تولید مثل جنسی در آزولا (کاراپیکو، ۱۹۹۱؛ ۲۰۰۲؛ ۲۰۱۰).

تولید اسپوروکارپ های آزولا در اثر افزایش تراکم آن بیشتر می شود. همچنین درجه حرارت و شدت نور و برخی عوامل دیگر تولید اسپوروکارپ ها را تحت تأثیر قرار می دهند. وقتی گیاه بارور می شود، اسپوروکارپ ها به صورت جفت جفت و در گونه نیلوتیکا به صورت چهار تایی در قسمت

1. Macrospores
2. Mcrospores
3. Heterosporous
4. Sporocarp

زیرین اولین برگ در هر شاخه ظاهر می‌شوند. قسمت رویی برگ‌های بارور شکل و محل طبیعی خود را حفظ می‌نمایند. رشد هاگدان‌ها از یک سلول مادری سرچشمه می‌گیرند. هر جوانه در هاگدان‌ها نهایتاً تبدیل به دو هاگدان ماده می‌شوند که هر یک دارای ۳۲ سلول مادر مگاسپور می‌باشند که از تقسیمات میوزی حاصل گردیده‌اند. هنگامی که یک سلول مادر مگاسپور در درون هاگدان ماده شروع به رشد می‌نماید، بقیه ۳۲ سلول مادری عقیم مانده و از بین می‌روند. اگر تمام سلول‌های مادری مگاسپور از بین بروند، جوانه هاگدان‌ها از قاعده پایه هاگدان ماده بیرون می‌آید. در نتیجه زوج هاگدان‌ها ممکن است همه از یک جنس و یا از هر دو جنس باشند و در عرض یک یا دو هفته و یا بیشتر بر روی گیاه می‌رسند. قطر مگاسپوروکارپ از ۰/۴ تا ۰/۶ میلی‌متر بوده و ظاهر آن به شکل مخروط تیره رنگ است که در بالای جسم کُره‌مانندی قرار گرفته‌اند. مگاسپوروکارپ پس از رسیدن پاره شده و دیواره‌های آن تحلیل رفته و اسپورودرم‌ها که معمولاً توسط کُرک‌هایی پوشیده شده‌اند، ظاهر می‌شوند. تصور می‌شود که عمل این کُرک‌ها که بر روی مگاسپوروکارپ تمام گونه‌ها وجود دارد به دام انداختن ضمائم متصل به محفظه‌ای از اسپورهای نر می‌باشند. مگاسپوروکارپ تنها یک مگاسپورانژیوم و آن نیز تنها یک مگاسپور تولید می‌نماید. مگاسپور تولید پروتال ماده کرده و آرکگون را بوجود می‌آورد که تنها یک سلول تخم بوجود می‌آورد. شکل میکروسپوروکارپ‌های رسیده کروی بوده و به راحتی قابل رؤیت می‌باشند. قطر آنها ۱/۷ تا ۱/۵ میلی‌متر بوده و ۲ میلی‌متر بلندی دارند. یک میکروسپوروکارپ هنگامی که به صورت جفت‌های دوجنسی روی یک گیاه ظاهر می‌شوند ممکن است به‌طور کامل مگاسپوروکارپ را پنهان نماید. میکروسپوروکارپ حاوی بالغ بر ۱۳۰ هاگدان نر پایه‌دار می‌باشد که شبیه یک دسته بادکُنگ بوده که در درون هاگدان قرار گرفته‌اند. هاگدان نر دارای ۳۲ تا ۶۴ اسپور نر می‌باشد که در محفظه‌های ۳ تا ۱۰ خانه‌ای ماسولا تقسیم شده‌اند. ماسولا ممکن است بی‌مو (*A. nilitica*)، قسمتی پوشیده از زوائد بدون انشعاب یا تک انشعابی (*A. pinnata*)، یا به‌طور کامل پوشیده از زوائد پیکانی شکل

باشند (زیرجنس ائوآزولا) (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). زواید روی ماسولا گلوشیدیا نامیده می‌شود و یکی از صفات اختصاصی در گونه‌ها است که برای تفکیک گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- گلوشیدیا و اشکال متفاوت آن در گونه‌های آزولا

(کولینسون و همکاران، ۲۰۱۷؛

& <https://www2.palomar.edu/users/warmstrong/plnov98.htm>

<https://photomacrography.net/forum/viewtopic.php?p=47144&sid=e1aa14bbac3647702a36010a5fb51ca8>)

پس از رسیدن، ایندوزیوم^۱ میکروسپوروکارپ پاره شده و دیواره‌های داخلی از بین رفته و هاگدان‌های نر آزاد می‌شوند که آنها نیز به نوبه خود ماسولا را آزاد می‌کنند. ماسولاها با جریانات و حرکت‌های آب پراکنده شده و آنهایی که دارای زوائد گلوشیدیا می‌باشند در گُرک‌های پوسته مگاسپور مربوط به خود گیر می‌کنند و آنهایی که بدون زائده می‌باشند (*A. nilitica*) ممکن است در دام گُرک‌های ریز و زبری که پوسته اسپورهای ماده مربوطه را می‌پوشانند گرفتار گردند.

اسپورهای نر سبز شده، پروتال نر ایجاد و آنتروزیوها آزاد می‌گردند که از درون ماسولای ژلاتینی شده خارج گشته و یکی از آرکگون‌های تولید شده توسط گامتوفیت را بارور می‌نمایند. اولین علامت قابل مشاهده تلقیح موفقیت‌آمیز و یکرو شدن کلاهک ایندوزیوم می‌باشد که به دلیل خروج گیاهک عاری از جلبک می‌باشد. این پدیده بسته به درجه حرارت آب می‌تواند ۵ روز یا بیشتر، پس از اولین تماس گامتوفیت‌های بالغ اتفاق افتد. هنگامی که اسپوروفیت جوان در حال خروج از مگاسپوروکارپ می‌باشد جوانه انتهایی ضمن کنار زدن کلاهک مگاسپوروکارپ و در حین همین تماس فیزیکی با سطح پوشاننده جلبک آغشته می‌شود. سپس این جلبک‌ها به نوک برگ‌های حقیقی منتقل می‌شوند. هنگامی که ریشه‌ها ظاهر می‌شوند و اولین یا دومین برگ‌های حقیقی از گیاهک خارج می‌شوند گیاه جوان به سمت آب شناور می‌شود تا تولید مثل رویشی خود را آغاز نماید (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). با این وجود، بسیاری از گونه‌های آزولا به‌خصوص گونه‌هایی که در خارج از موطن اصلی خود کشت می‌شوند، به ندرت بارور می‌شوند.

۳-۲- روش تعویض آنبانای آزولا - هیبریداسیون غیرجنسی آزولا

وارته‌های جلبک آنبانها به‌طور اختصاصی متعلق به گونه‌های آزولا می‌باشند. چنانچه به‌طور مصنوعی آنبانای یک گونه را حذف و آنبانای دیگر را در درون حفره برگ آزولا جایگزین شود صفات فیزیولوژیک و مرفولوژیک آزولا به‌طور قابل توجهی تغییر می‌یابد، این عمل را

1. Endozeiom

هیبریداسیون غیرجنسی آزولا می‌نامند. به‌طور مثال با هیبریداسیون غیرجنسی آزولا توانسته‌اند مقاومت برخی از ارقام را نسبت به دماهای پایین و بالا افزایش دهند (نصیریان، ۱۳۶۹).

۳-۳- پرورش آزولا

سرعت رشد و تکثیر آزولا بسیار زیاد بوده و در مدت زمان کوتاهی می‌تواند سطح وسیعی از آب را اشغال نماید (نصیریان، ۱۳۶۶؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ خدابنده، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵). با توجه به اینکه تشکیل اندام‌های جنسی در این گیاه نامنظم می‌باشد و غالباً ایجاد نمی‌گردد و تاکنون روشی برای وادار کردن گیاه به تولید اندام‌های جنسی پیدا نشده است. لیکن در حال حاضر از طریق روشی می‌توان به راحتی آزولا را تکثیر کرد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). شریف و جیمز (۱۹۹۴) یک روش گلخانه‌ای ساده را برای تکثیر آزولا درمقیاس زیاد درصحرای وکشتزار برای کشاورزان هندی انجام دادند.

جدول ۳-۱- عناصر پر مصرف و کم مصرف مورد نیاز جهت کشت آزولا (پریرا و کاراپیکو، ۲۰۰۹).

عناصر	ماده	فرمول شیمیایی	غلظت مورد نیاز (مول بر لیتر)
پر مصرف	کلرید کلسیم	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۰/۱
	سولفات منیزیم	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	۰/۳۸
	سدیم فسفات	NaH_2PO_4	۰/۱
	سولفات پتاسیم	K_2SO_4	۰/۰۸
کم مصرف	سولفات مس	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	۰/۷۸
	سولفات منگنز	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	۴/۵۸
	بوریک اسید	H_3BO_3	۰/۱۹
	سدیم مولیبدات	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۰/۰۴
		$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	۰/۰۴
آهن	کلات آهن	$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$	۸/۶

با این وجود پرورش آزولا مشکلاتی نیز به همراه دارد که مهم ترین این موارد عبارتند از:

- (۱) فقط در اراضی مرطوب رشد می کند.
- (۲) مواد سبزینه ای آزولا ممکن است آلوده به حلزونی به نام حلزون سیب^۱ باشند.
- (۳) ممکن است نیازمند حوضچه پرورش^۲ شوند.
- (۴) استقرار آزولا در زمستان ها با دشواری همراه است.
- (۵) آزولا در شرایط آب و هوایی گرم به نابودی^۳ می گراید.
- (۶) سرخرطومی ها^۴ ممکن است در نابودی آزولا مشارکت جویند.
- (۷) امکان تبدیل شدن آزولا به علف هرز در آبراهه های آرام وجود دارد (فرنیتینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

جهت کشت باید آزولای اولیه را به مزرعه منتقل نمود که به این ماده اولیه اینوکولوم^۵ اطلاق می شود. جهت حفظ و نگه داری آزولا در فصولی که با خصوصیات حیاتی این سرخس انطباق ندارد، باید اینوکولوم را تحت شرایط مخصوص نگه داری نموده و پس از انقضای دوران نامساعد و آغاز فصل کشت، اینوکولوم به مزرعه منتقل و با روش پیش بینی شده کشت می شود (متقی طلب، ۱۳۶۹). منحنی رشد آزولا تا هنگامی که زیست توده به حداکثر خود برسد تقریباً افزایش خطی دارد. آزولا در عرض ۳ روز از نظر وزنی به ۷/۲ تا ۱۴/۲ برابر وزن ماده اولیه مصرف شده می رسد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در کشت تک محصولی آزولا می توان تحت شرایط مساعد ۲۲ تا ۳۶ برداشت در هر سال انجام داد و محصول کل تولید شده به ۲۰۰ تا ۳۰۰ تن در هکتار خواهد رسید که این مقدار یک تن^۶ اوره یا ۲/۵ تن^۷ سولفات آمونیوم دارد. همزیستی آزولا- آناپنا می تواند

1. Apple snail
2. Nursery pond
3. Die back
4. Weevils

۱. Inoculum یا ماده تلقیحی یک ماده است که برای تلقیح برخی مواد یا ماده دیگر مانند خاک یا کمپوست و غیره

استفاده می شود.

در هر روز یک تن زیست توده در هر هکتار تولید نماید که حاوی ۳ کیلوگرم نیتروژن تثبیت شده و معادل ۱۵ کیلوگرم سولفات آمونیوم یا ۷ کیلو اوره می باشد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). دوره رشد آزولا تابع شرایط جوی محیط، رقم و مقدار بافت سبزینه ای که برای کاشت مصرف شده در حدود ۲۵ تا ۳۰ روز است و در هر مرحله رشد حدود ۱۰ تا ۱۵ تن محصول تر تولید می گردد که در نتیجه حدود ۲۰ تا ۴۰ گرم نیتروژن نیز حاصل می شود و در هر سال می توان در محیط رشد آن حدود ۳۰۰ تا ۳۲۵ تن آزولای تر و حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم نیتروژن تولید نمود (نصیریان، ۱۳۶۶).

در برخی از منابع تولید سالیانه آزولا در کرت های تکثیر ۳۲۵-۳۰۰ تن وزن تر در هکتار و مقدار نیتروژن آن ۸۵۰-۸۰۰ کیلوگرم عنوان شده است (واتانابه و همکران، ۱۹۷۷). به طور نسبی آزولا به ازای مصرف یک کیلوگرم اسید فسفریک، سه کیلوگرم نیتروژن تولید می نماید (سها و همکاران، ۱۹۸۲). ویژگی نیتروژن تثبیت شده توسط آزولا این است که این نیتروژن به صورت تدریجی قابل مصرف است. مقدار آزاد سازی نیتروژن در صورت مخلوط کردن آزولا با خاک بسیار سریع بوده و مقدار آن طی ۳۵-۷ روز در حالت غرقاب ۷۶-۴۱ درصد می باشد (واتانابه و همکران، ۱۹۷۷). مخلوط کردن آزولا با خاک همچنین باعث افزایش قابلیت جذب فسفر می شود (سها و همکاران، ۱۹۸۲).

رویش و تکثیر آزولا بستگی به گونه سازگار با محیط و از طرف دیگر به عوامل محیطی متعددی مانند: درجه حرارت، آب، گازها، نور، pH، مواد غذایی، رطوبت نسبی، باد، موج و ... دارد (کاراپیکو و همکاران، ۲۰۰۰). آزولا یک موجود زنده بوده و برای زیست و ادامه حیات وظایفی دارد که برای هر گونه موجود زنده دیگری متصور است از جمله رشد، تولید مثل و تکثیر و غیره نیاز به شرایط محیطی مناسب دارد که به دو عامل اساسی قابل تقسیم است: اول شرایط محیطی مناسب از نظر محیط و دوم مواد مغذی لازم جهت رفع احتیاجات (متقی طلب، ۱۳۶۹).

۴-۱- درجه حرارت

همه گونه‌های گیاهی و حیوانی جهت رشد و نمو خود نیاز به یک حد متعادل درجه حرارت محیط دارند که در صورت گذر از حد پایین یا بالای آن موجود زنده با مشکل و خطر مواجه خواهد شد. طبیعتاً آزولا نیز از این قانون کلی مستثنی نیست.

اما تأثیر حرارت محیط روی آن از دو جنبه قابل بررسی است:

- ۱- اثر دمای محیط روی چگونگی زیست و تولید مثل گیاه
 - ۲- اثرات متقابل آن با سایر عوامل مانند pH که می‌تواند در تنظیم اعمال مختلف آزولا مؤثر باشد.
- تحقیقات نشان داد که گونه‌های آزولا می‌توانند سطوح مختلف درجه حرارت را تحمل نمایند. بر اساس منابع موجود اگرچه *A. filiculoides* سطح وسیع حرارت از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کند؛ اما درجه حرارت مطلوب برای آن ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد است (متقی طلب، ۱۳۶۹). و از طرف دیگر بررسی‌های انجام شده بر روی *A. pinnata* در ویتنام شمالی نشان داد که بهترین رشد در ماه ژانویه زمانی که درجه حرارت ۱۷ درجه سانتی‌گراد است به دست می‌آید. بخصوص زمانی که این گونه به عنوان کود سبز در مزارع به همراه برنج کشت می‌شود. مطلوب‌ترین زمان برای رشد و تکثیر آن در فواصل فوریه تا جولای است که میانگین درجه حرارت روزانه ۱۷-۱۶ درجه سانتی‌گراد است (متقی طلب، ۱۳۶۹). مناسب‌ترین درجه حرارت برای

رشد گونه‌های متفاوت آزولا ۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قجائوند، ۱۳۷۵). جدول (۴-۱) زیر عکس‌العمل گونه‌های آزولا نسبت به درجه حرارت را نشان می‌دهد (قجائوند، ۱۳۷۵).

جدول ۴-۱- عکس‌العمل گونه‌های آزولا نسبت به درجه حرارت (قجائوند، ۱۳۷۵).

نوع	گونه آزولا	مطلوب	پیشینه	کمینه
مقاوم به سرما و حساس به گرما	<i>A. filicoloides</i> & <i>A. rubra</i>	۲۰	۴۰-۳۸	۸-(-۵)
مقاوم به گرما و حساس به سرما	<i>A. microphylla</i> & <i>A. mexicana</i>	۳۰-۲۵	۴۵	۸-۵
نسبتاً سرما دوست و مقاوم به گرما	<i>A. caroliniana</i> & <i>A. imbracata</i>	۳۰-۲۵	۳۸	۸-۳
نه مقاوم به گرما و نه مقاوم به سرما	<i>A. pinnata</i> & <i>A. nilotica</i>	۲۵	۳۸	۸-۳

برخی از ارقام آزولا قادرند تا درجه حرارت ۴۵ درجه سانتی‌گراد را نیز تحمل کنند ولی در این درجه حرارت تولید زیست‌توده تقریباً صفر است (قره‌یاضی و همکاران، ۱۳۷۱). رشد آزولا در ۵ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود ولی آزولا فلیکلونیدس می‌تواند درجه حرارت ۵- درجه سانتی‌گراد را نیز بدون بروز اختلال آشکاری تحمل نماید، اگر چه مقاومت آن نسبت به درجه حرارت بالا در مقایسه با آزولا مکزیکانا کمتر می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجائوند، ۱۳۷۵). درجه حرارت‌های مختلف بر اعمال بیولوژیکی آزولا نیز تأثیر می‌گذارند. درجه حرارت در تأثیر متقابل با شدت نور و pH خاک، تولید هاگدان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حرارت کمتر از ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد و بیش از ۳۵ درجه سانتی‌گراد هاگدان تولید نمی‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجائوند، ۱۳۷۵).

گاهی علت تغییر رنگ آزولا و تولید آنتوسیانین را درجه حرارت بالای محیط ذکر کرده‌اند. درجه حرارت بالا یکی از مشکلات عمده محدود کننده کشت آزولا در مناطق گرمسیری و به‌ویژه در تابستان‌ها می‌باشد. به همین دلیل زارعین برای حفظ و نگه‌داری مقداری از آزولا به‌منظور تکثیر و پرورش در فصل بعدی روش‌هایی را برای تابستان‌گذرانی ابداع کرده‌اند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). درجه

حرارت در واقع نیتروژن و آب موجود در گیاه آزولا را توأماً تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال *Azolla pinnata* رشد یافته در درجه حرارت ۵ درجه سانتی‌گراد حاوی ۷۵ درصد نیتروژن (براساس وزن خشک) و ۸۴ درصد آب می‌باشد در حالیکه در حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد همین گونه حاوی ۴۵ درصد نیتروژن و ۶۴ درصد آب و در حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد مقدار نیتروژن ۲۵ درصد و مقدار آب ۹۰ درصد بوده است. از طرف دیگر بین درجه حرارت و pH و تأثیر متقابل آنها روی تبدیل نیترات و تثبیت نیتروژن یک رابطه عکس وجود دارد؛ به‌طوری که برای تبدیل نیترات pH و درجه حرارت مطلوب به ترتیب ۴/۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد است در حالیکه برای تثبیت نیتروژن این ارقام به ترتیب ۶ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

از روش‌های مقابله با گرما کاشت و پرورش ارقام مقاوم به گرما، کشت در مناطق سایه‌دار و ابری و در نهایت کاهش سطح آب و تماس ریشه با خاک در ساعات و روزهای بسیار گرم می‌باشد. آزولا میکروفیلا (موطن اصلی آن پاراگوئه است) مقاوم‌ترین گونه آزولا در برابر گرما می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). درجه حرارت محیط بر روی درصد رشد آزولا تأثیر داشته و این موضوع بر روی *A. pinnata* مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است که بر اساس جدول زیر می‌باشد (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

جدول ۴-۲- چگونگی تأثیر درجه حرارت بر روی رشد *Azolla pinnata*

درجه حرارت (°C)	درصد افزایش رشد
۱۰	۲۰
۱۵	۶۰
۲۰	۱۱۰
۲۵	۲۲۳
۳۰	۱۸۰
۳۵	۱۲۰
۴۳	توقف رشد
۴۵	تلف شدن ۹۰٪ از آزولا

مناسب‌ترین درجه حرارت رشد برای اغلب گونه‌های آزولا در حدود ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد است زیرا درجه حرارت بر میزان نیتروژن و آب تأثیر می‌گذارد. گونه آزولا فلیکولوئیدس نسبت به دمای ۵ درجه سانتی‌گراد متحمل است ولی در مقابل دماهای بالا تحمل کمتری دارد. امروزه دانشمندان در صدد اصلاح گونه‌هایی برای شرایط دمایی مختلف می‌باشند (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۲- گازها

ادامه حیات و رشد و تکثیر آزولا همانند سایر موجودات زنده بدون بهره‌گیری از گازهای موجود در اتمسفر امکان‌پذیر نمی‌باشد. مثلاً یک میزان ثابت از دی اکسید کربن (CO_2) برای انجام عمل فتوسنتز مورد نیاز است تا پس از انجام فرآیند مربوطه مواد غذایی حاصل در اختیار گیاه قرار گیرد. همچنین مولکول اکسیژن (O_2) برای تنفس ضروری است (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که برای رشد مطلوب و انجام فعالیت‌های متابولیکی آزولا یک مقدار ثابت اکسیژن، دی اکسید کربن و نیتروژن مورد نیاز است (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

۴-۳- آب

آب یک نیاز اساسی و تعیین‌کننده برای رشد این گیاه می‌باشد و این نقش زمانی حاصل می‌شود که مقدار و چگونگی و کیفیت آب موجود در محیط در حد مطلوب باشند. جهت رشد و تکثیر آزولا وجود سطحی از آب‌های راکد و عمیق و یا دارای عمق مناسب لازم است. اگر چه این گیاه قادر است در تالاب‌ها و اراضی باتلاقی نیز رشد نماید؛ اما سطوح آب‌های ایستاده و بدون تلاطم و موج‌های فراوان می‌توانند در تکثیر گیاه از طریق قطعه قطعه شدن مؤثر و مفید باشند. ضمن اینکه در صورت وجود وزش بادهای شدید و گسترده و امواج فراوان امکان پوشانده شدن سطح وسیعی از آب بوسیله آزولا وجود نخواهد داشت (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). آنچه که معلوم و مشخص است این

است که آزولا می‌تواند در آب زندگی کند؛ اما آنچه که کمتر به آن توجه شده، این است که آزولا به خوبی قادر به رشد و ادامه حیات در خاک مرطوب نیز می‌باشد و فقط تکثیر آن در این محیط دچار مشکل و وقفه می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). آزولا به هیچ وجه خشکی را تحمل نمی‌کند و چند ساعت تا چند روز ماندن در خشکی کامل باعث از بین رفتن آن خواهد شد. بهترین عمق آب برای رشد و تکثیر آزولا عمق ۵-۳ سانتی‌متر است چرا که در این حالت به غلظت مواد و عناصر غذایی در آب افزوده می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). بر اساس منابع موجود بهترین عمق آب برای محیط رشد و تکثیر آزولا در مزارع و آبگیرها عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر است (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). آزولا یک گیاه پر تولید است. با توجه به شرایط، میزان زیست‌توده آن در هر ۳ تا ۱۰ روز دو برابر می‌شود و عملکرد آن در قاره آسیا می‌تواند ۸-۱۰ تن وزن تازه در هکتار درشالزار برسد. میزان $37/8$ تن وزن تازه در هکتار ($2/78$ تن وزن خشک در هر هکتار) برای *A. pinnata* در هند گزارش شده است (حسن و همکاران، ۲۰۰۹).

آزولا به صورت جانبی گسترش می‌یابد و تا پوشاندن تمامی سطح آب به رشد ادامه می‌دهد. رشد سریع آزولا در بسیاری از مواقع به معضلات زیست محیطی تبدیل می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که گونه *A. pinnata* زیست‌توده خود را ضمن ۵-۳ روز در شرایط آزمایشگاهی به دو برابر می‌رساند؛ اما برای این منظور در شرایط مزرعه‌ای به ۱۰-۵ روز نیازمند است. ضخیم شدن لایه‌های آزولا موجب کاهش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی محلول می‌شود و ریشه‌های آزولا قادر به نفوذ به لایه‌های زیرین نخواهند بود. همچنین لایه‌های زیرین آزولا از نور کمتری برخوردار می‌گردند، لذا بدین طریق از رشد گیاه کاسته می‌شود (فرنیتینوس و همکاران، ۲۰۰۲). زمانی که سطح آب مملو از برگ‌شاخه‌هایی شد که به کندی رشد می‌کنند، آنگاه آزولا شروع به رشد کردن به صورت لایه‌هایی بر روی همدیگر تا ضخامت چند سانتی‌متر را می‌نماید. ریشه‌های

نابجای^۱ آزولا در آب آویزان هستند؛ اما در صورت کاهش شدید آب قادرند به داخل لجن نیز نفوذ یابند (فرنسینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

آزولای قرمز رنگ با نام علمی آزولا فیلیکولوئیدس تنها عضو جنس آزولا و تیره آزولاسه در تاسمانی است که در تالاب‌ها و آب‌بندان‌های منطقه به‌وفور یافت می‌شود. این گیاه می‌تواند در هر ۲-۳ روز به تولید دو برابری زیست‌توده دست یابد و تنها عامل محدود کننده رشد آنرا فسفر تشکیل می‌دهد (ویکیپدیا، ۲۰۱۵).

۴-۴- pH

محدوده وسیعی از pH جهت رشد آزولا توسط محققان مختلف گزارش شده است از جمله ۴/۲ تا ۹، ۳/۵ تا ۱۰ در بسیاری از گزارش‌ها آمده است. از طرف دیگر نتیجه تحقیقات دیگر حاکی از آن است که pH مناسب برای رشد مطلوب آزولا در حدود ۷ بوده و یا سطح تغییرات مناسب pH در فوصل ۴/۵-۷ است که این مقدار توسط موسسه بین‌المللی برنج (IRRI) نیز تأیید شده است. همچنین برخی آزمایشات انجام شده دیگر بر روی *A. pinnata* این فاصله را ۵/۵-۷ برآورد کرده‌اند (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

شدت نور با pH همبستگی مثبت در رشد آزولا دارد. یعنی شدت نور زیاد (۶۰۰۰ لوکس) با pH ۹-۱۰ و شدت نور کم (۱۵۰۰ لوکس) با pH ۵-۶ برای رشد ماکزیمم و حداکثر رشد آزولا مناسب می‌باشند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵). همچنین pH و درجه حرارت برای تولید هاگدان تأثیر متقابل دارند. در درجه حرارت اپتیمم ۲۷ درجه سانتی‌گراد و pH ۵/۸-۱۰ تولید هاگدان به حداکثر مقدار خود می‌رسد. تولید هاگدان در pH کمتر از ۵/۸ یا بیشتر از ۱۰ به حداقل مقدار خود می‌رسد. در درجه حرارت‌های بالای ۲۷ درجه سانتی‌گراد و زیر ۲۲ درجه سانتی‌گراد در تمام pH ها تولید هاگدان کاهش می‌یابد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). به‌واسطه

اینکه آزولا در سطح آب زیست می کند لذا وابستگی آن فقط به pH آب می باشد. آزولا می تواند در محدوده pH حدود ۳/۵-۱۰ دوام یابد؛ اما بهترین میزان رشد را در pH حدود ۴/۵-۷ بروز می دهد. سرعت رشد نسبی آزولا ارتباط مستقیمی به صورت توأمان با شدت نور و میزان pH دارد. در واقع آزولا بالاترین سرعت رشد را در pH حدود ۹-۱۰ و شدت نور زیاد و کمترین سرعت رشد در pH حدود ۵-۶ و شدت نور کم دارد. بیشترین تثبیت نیتروژن آزولا در pH حدود ۶ و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد بروز می کند. مشکلات کمبود آهن می تواند در آب های خنثی تا قلیایی ایجاد شود زیرا یون های آهن رسوب می یابند. در چنین مواقعی بین یون های منگنز و آهن موجود در آب های با pH خنثی رقابت ایجاد می شود و غلظت زیاد کلسیم موجب کاهش جذب منگنز و آهن می گردد. یون های آهن فریک در pH حدود ۴ به سادگی در دسترس گیاه قرار می گیرند و در این حالت غلظت بالایی از کلسیم برای ایجاد تعادل در جذب مازاد آهن ضرورت می یابد و بدین ترتیب آزولا دچار مسمومیت آهن می گردد (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۵- نور

از جمله اعمال مهم آزولا جهت تأمین اسکلت کربنی مورد نیاز برای ساخت مواد آلی، انجام فتوسنتز می باشد. در این راستا نور از عوامل ضروری غیرقابل انکار می باشد. این عامل همچنین قادر است بر روی تثبیت نیتروژن نیز اثر بگذارد (متقی طلب، ۱۳۶۹). نور یکی از عوامل مهم جهت تولید زیست توده و تثبیت نیتروژن توسط آزولا می باشد. در نور کم فتوسنتز دچار اختلال می شود و به دنبال آن تثبیت نیتروژن نیز مختل می شود. در تابش شدید آفتاب اغلب گونه های آزولا با تولید آنتوسیانین به رنگ قرمز، ارغوانی، بنفش و یا قهوه ای در می آیند. تولید آنتوسیانین در آزولا مانند نوعی عمل حفاظتی در جلوگیری از ورود بیش از حد نور در صدمه به کلروپلاست ها می باشد. رشد آزولا در شدت نورهای بالای ۶۰۰۰ لوکس به تأخیر می افتد (متقی طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛

قجاوند، ۱۳۷۵). در شدت نور بالای ۱۰۰ کیلولوکس و در عرض یک ساعت رشد آژولا مختل می‌شود. در چنین حالتی باید برنج بتواند تا حدی سایه ایجاد کرده باشد و آژولا را از صدمه زیاد محافظت نماید. سایه ایجاد شده توسط بوته‌های برنج همچنین باعث کاهش درجه حرارت شده و به این ترتیب کمک شایانی به رشد آژولا خواهد کرد (اصفیاء، ۱۳۶۶؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

آژولا همچنین به فتوپریودیسم^۱ نیز حساس بوده و تولید هاگدان در آن در کمتر از ۸ ساعت روشنائی صورت نمی‌گیرد. با افزایش طول روز، درصد گیاهانی که هاگدان تولید می‌نمایند افزایش یافته و این افزایش تا ۱۴ ساعت روشنائی روز ادامه می‌یابد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). برخی از ویژگی‌های نور از جمله شدت نور می‌توانند مفید باشند. آزمایشات نشان داده‌اند که رشد، تکثیر و سایر ویژگی‌ها در آژولا وقتی مطلوب و حداکثر خواهند بود که شدت نور مناسبی وجود داشته باشد. مثلاً نسبت رشد و فعالیت تثبیت نیتروژن در آژولا فلیکولوئیدس با افزایش شدت نور قابل تغییر است. به این ترتیب که با افزایش شدت نور سیر صعودی را طی نموده و تا زمانی که این شدت به ۵۰ درصد نور خورشید برسد، ادامه می‌یابد. شدت نور زیاد موجب کاهش رشد شده و در زمانی که شدت نور ۲۵ درصد باشد، بیشتر از زمانی خواهد بود که شدت کامل (۹۸۵۰۰ لوکس) بر آن تابیده باشد. بین شدت نور و فعالیت تثبیت نیتروژن نیز رابطه‌ای برقرار می‌باشد. این تأثیر شدت نور باید به احتمال زیاد مربوط به افزایش درجه حرارت نیز باشد (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

۴-۶- شوری

آژولا نسبت به شوری حساس بوده و ادامه حیات آن در آب‌های شور با مشکل مواجه می‌شود (اصفیاء، ۱۳۶۶؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که غلظت ۱/۳ درصد نمک در آب موجب توقف رشد در آژولا شده و غلظت بالاتر سبب از بین رفتن و مرگ آن می‌شود. برخی دیگر از محققان غلظت مطلوب نمک برای رشد این

۱. واکنش گیاه نسبت به مدت زمان تابش متوالی نور را فتوپریودیسم (Photoperiodism) گویند.

گیاه را ۱۵۰-۹۰ میلی گرم در هر لیتر برآورد نموده‌اند (متقی طلب، ۱۳۶۹). از بین گونه‌های موجود، *A. microphylla* مقاوم‌ترین گونه در مقابل شوری می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی طلب، ۱۳۶۹). با این وجود، اغلب گونه‌های آزولا معمولاً در شوری بیشتر از ۱/۶-۱ درصد دوام نمی‌یابند (متقی طلب، ۱۳۶۹). بدین ترتیب سرعت رشد آزولا به تدریج با افزایش شوری نزول می‌کند. رشد آزولا در شرایطی با حدود ۱/۳ درصد نمک (معادل ۳۳ درصد شوری آب دریا) (شوری آب دریا ۳۳-۳۷ گرم بر لیتر) (NWS, 2019)^۱ متوقف می‌گردد و لیکن غلظت‌های بیشتر موجب مرگ آزولا می‌شوند. در مزارع برنج هنگامی که غلظت نمک طی فصل خشک به ۱۸۷۲-۱۴۸۰ میلی گرم در لیتر برسد، موجبات پژمردگی آزولا را فراهم می‌سازد. شوری از عواملی است که نیازمند توجه خاص در مزارعی است که پرورش آزولا از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۷- باد و امواج

فعالیت زیاد باد و تلاطم بودن آب برای حیات آزولا مضر تشخیص داده شده است (متقی طلب، ۱۳۶۹). بررسی‌ها نشان داده که آزولا قادر به رشد و ادامه حیات در آب‌های متلاطم و خروشان نمی‌باشد چون در این حالت شاخه‌های آزولا شکسته شده و از بین می‌روند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸) باد در واقع با ایجاد تلاطم در سطح آب باعث شکسته شدن آزولا شده و تأثیر منفی در رشد آزولا برجای می‌گذارد. علاوه بر این باد باعث می‌شود تا تمامی آزولای شناور روی سطح آب به یک طرف رانده شده و متراکم گردند و در نتیجه قطعه قطعه شدن قبل از بلوغ اتفاق افتد و آزولا متلاشی شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی طلب، ۱۳۶۹). آزمایشات انجام شده نشان می‌دهند که تلاطم آب می‌تواند اندازه گیاه، نسبت رشد و عمل تثبیت نیتروژن را کاهش دهد (متقی طلب، ۱۳۶۹). تراکم آزولا در یک طرف نیز موجب افزایش تولید هاگدان می‌شود چون هر چه تراکم آزولا

1. Nationa weather service (NWS)

بیشتر باشد تولید هاگدان نیز بیشتر خواهد شد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). عمل باد و امواج می توانند موجب گلوله ای شدن و یا متلاشی شدن آذولا گردند که نهایتاً به مرگ گیاه می انجامند؛ لذا حفظ آب با عمق کم و شخم ناهموار^۱ می توانند از خسارات باد بکاهند. در آفریقا با ایجاد مرزها و پشته ها^۲، بادگیرها^۳ و کشت مخلوط با گیاهان زراعی از صدمات وزش باد جلوگیری می کنند (فرنیتوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۸- رطوبت نسبی

اثرات رطوبت نسبی به ویژه در مناطق گرمسیری از طریق تابش نور خورشید و درجه حرارت تحت تأثیر قرار می گیرد. بنابراین از جمله عواملی که در کنار درجه حرارت و شدت نور می تواند در کیفیت رشد این گیاه مؤثر باشد، رطوبت نسبی است. این عامل از یک طرف در میزان تولید آذولا اثر سوء گذاشته و از طرف دیگر به همراه اثرات شبنم ایجاد شده ناشی از تغییر درجه حرارت شب موجب می شود که میزان توانایی گیاه در ابتلاء به انواع بیماری ها کاهش یابد. مقدار رطوبت نسبی برای رشد مطلوب آذولا ۹۰-۸۵ درصد گزارش شده است (متقی طلب، ۱۳۶۹). در این رطوبت آذولا به رشد طبیعی خود ادامه داده و رطوبت زیر ۶۰ درصد باعث شکنندگی آذولا خواهد شد. رطوبت های نسبی بالای ۹۰ درصد نیز باعث حساسیت آن به آفات و بیماری ها شده و خسارت آن را افزایش می دهد (قره یاضی، ۱۳۶۸). کنترل آب برای بقای آذولا به ویژه در شرایط پرورش این سرخس آبی برای سراسر سال ضرورت دارد. سطح آب باید آنچنان باشد که ریشه های گیاه بتوانند با سطح خاک تماس یابند و بدینگونه از کمبود عناصر غذایی در امان بمانند (فرنیتوس و همکاران، ۲۰۰۲).

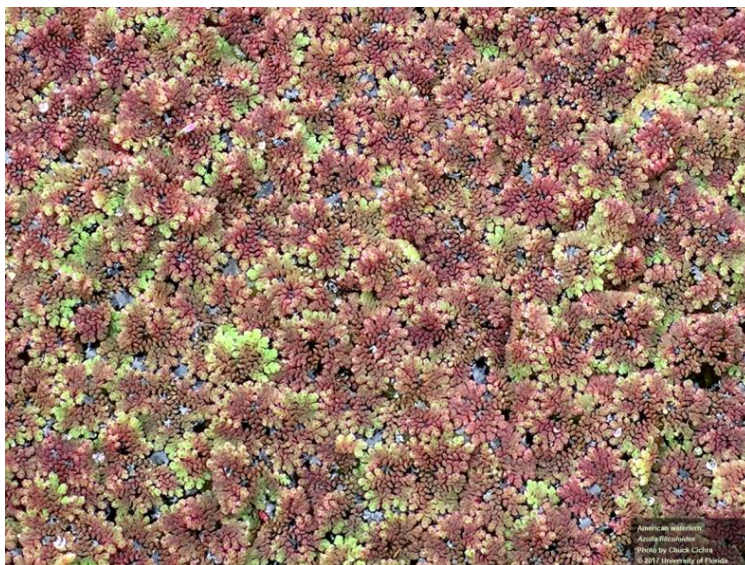
1. Rough plowing
2. Hedge
3. Bund

۴-۹- مواد معدنی مورد نیاز

آزولا همانند سایر گیاهان سبز برای رشد معمولی خود نیاز به انواع مواد معدنی اعم از عناصر پرمصرف و کم مصرف دارد. این گیاه برای انجام فعالیت تثبیت نیتروژن نیاز اختصاصی به عناصر مولیبدن (Mo)، کبالت (Co) و سدیم (Na) دارد (متقی طلب، ۱۳۶۹). آزولا می تواند در غیاب هر گونه منابع نیتروژن رشد نماید لیکن عنصر فسفر (P) بیشترین عامل محدود کننده رشد آزولا است. برگ شاخه هایی که در محلول های غذایی دارای کمبود فسفر قرار داده شوند، به کاهش یا توقف رشد دچار می گردند و کم کم به رنگ قرمز می گرایند و در آنها ریشه های تاب خورده و حلقه ای توسعه می یابند. حداقل فسفر مورد نیاز آزولا تعیین نشده است؛ اما علائم کمبود فسفر با ۱/۱ میلی گرم فسفر در لیتر تشدید می شود. مشکلات ناشی از کمبود یا بیش بود منجر به مسمومیت آهن (Fe) به وفور یافت می شوند. برگ شاخه های آزولا در شرایط کمبود آهن به رنگ زرد در می آیند. رشد سریع آزولا با دریافت ۱ پی پی ام آهن وقوع می یابد. عنصر مولیبدن حتی در مقادیر بسیار کم برای رشد آزولا ضرورت دارد ولی به هر حال ضرورتش برای آزولا بیشتر از بسیاری گیاهان دیگر است (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲).

مواد و عناصر غذایی مناسب از جمله فسفر، پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، آهن، روی (Zn)، منگنز (Mn)، کبالت (Co)، مس (Cu) و بُر (B) باید در محیط رشد آزولا به مقدار کافی وجود داشته باشند (خدا بنده، ۱۳۷۱). کمبود هر یک از این عناصر غیر از نیتروژن باعث کاهش تثبیت نیتروژن، کاهش فعالیت نیتروژناز و کاهش مقدار کلروفیل شده و تنفس را افزایش می دهد. نحوه جذب عناصر غذایی در آزولا تا اندازه ای با سایر گیاهان تفاوت دارد. قسمت اساسی نیتروژن مورد نیاز آزولا در اثر همزیستی بین جلبک آنابنا و سرخس از هوا تأمین می شود. قسمتی کمی از نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق ریشه های آزولا از محیط آبی یا خاک جذب می شود ولی این مقدار تقریباً کمتر از ۱۰ درصد از مقدار کل نیتروژن موجود در گیاه خواهد بود (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند،

۱۳۷۵). فسفر، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، آهن، مولیبدن و کبالت از طریق ریشه‌ها جذب می‌شوند. برخی از دانشمندان معتقدند که آزولا از طریق سطح زیرین برگ‌ها نیز قادر به جذب مواد غذایی از محیط آبی خود می‌باشد. معمولاً فسفر به عنوان اصلی‌ترین عنصری معرفی شده است که کاهش آن در محیط غذایی آزولا موجب کاهش رشد آن می‌شود. کمبود فسفر باعث کاهش کلروفیل و ایجاد رنگ قرمز در اغلب گونه‌ها همراه می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸) (شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲).



شکل ۴-۱- رنگ قرمز ناشی از کمبود فسفات در آزولا در زمستان و در بهار در اثر کاهش جذب فسفر به علت سرمای آب

(<https://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/azolla-ficuloides>)



شکل ۴-۲- پوشش کامل آزولا بر سطح آب و تغییر رنگ آن به رنگ قهوه‌ای در مرحله نهایی

<https://www.appropedia.org/File:Azolla2.jpg>

در برخی مناطق چین با مشاهده قرمزی رنگ آزولا اقدام به محلول پاشی با کود سوپر فسفات می‌کنند. رشد آزولا و درصد نیتروژن آن و همچنین درصد فسفر آن به شدت به فسفر قابل دسترس در خاک و آب بستگی دارد. حدود ۲۵ میلی گرم فسفر در دسترس در هر کیلوگرم خاک برای رشد بهتر آزولا مورد نیاز است. میزان تولید ماده خشک با درصد نیتروژن آن و میزان نیتروژن آزولا با میزان فسفر (تا ۸۵ درصد فسفر) آن متناسب است. بالاتر از این میزان، همبستگی مثبتی با افزایش در مقدار فسفر و همچنین نیتروژن موجود در آزولا ندارد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در آبی که مقدار فسفر آن در خاک کمتر از ۱۵ میلی گرم در هر کیلوگرم باشد، مقدار فسفر آب کمتر از ۰/۱۵ میلی گرم در لیتر خواهد بود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵). بنابراین خاک‌هایی برای رشد آزولا مناسب خواهند بود که دارای حداقل ۲۰ ppm فسفر باشند. در خاک‌هایی که دارای مقدار فسفر کمتری می‌باشند، افزایش فسفر

به صورت کود شیمیایی ضروری می باشد (قره یاضی، ۱۳۶۸). در بسیاری از مزارع فسفر به عنوان مهم ترین عامل محدود کننده رشد آزولا محسوب می شود و چنانچه مقدار فسفر در ماده خشک به کمتر از ۰/۲۳ درصد برسد، نسبت رشد و نیتروژن موجود در آزولا تحت تأثیر قرار می گیرد. تجزیه بیش از ۶۰ نمونه آزولای کشت شده در شرایط مزرعه ای و گلخانه ای حکایت از آن دارد که ماده خشک انواع گونه های آزولا در صورتی که فسفر موجود در آنها از ۰/۲۳ درصد بیشتر باشد حاوی ۳/۶ درصد یا بیشتر نیتروژن بوده و می تواند تا ۱/۵۹ درصد فسفر معدنی را جذب نماید. این بررسی نشان داد که آزولا می تواند غلظت فسفر زیاد و حتی تا ۶ برابر مقدار طبیعی را تحمل نماید (متقی طلب، ۱۳۶۹). گیاهانی که دارای کمبود فسفر هستند به رنگ قرمز مایل به قهوه ای و شکننده در می آیند و همچنین ریشه های آنها کشیده تر شده و به راحتی جدا می شوند. سلول های آنانبا نیز کم رنگ شده و سلول های رویشی و هتروسیست آنها تغییر شکل می دهند (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

کمبود سایر عناصر ضروری مانند آهن و منیزیم که در سنتز کلروفیل نقش دارند، رشد آزولا را در مزرعه محدود می نمایند. آهن و مولیبدن از اجزاء سیستم آنزیم نیتروژناز هستند و بنابراین برای کامل بودن سیستم تثبیت نیتروژن ضروری می باشند. از طرف دیگر پتاسیم برای پتانسیل تثبیت نیتروژن همیار *A. pinnata* ضروری نیست و کمبود پتاسیم تنها در ۴ گونه آزمایش شده کاهش زیست توده را نشان داده است. غلظت آستانه فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم برای رشد *A. pinnata* به ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۴۰ و ۰/۵۰ میلی مول در لیتر گزارش شده است. در کمبود کلسیم نیز برگ ها قرمز رنگ می شوند و این قرمزی بیش از کمبود فسفر می باشد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). به واسطه اینکه آزولا فقط در مزارع مرطوب و بُر آب زیست می نماید بنابراین شرایط آب ارتباط بیشتری با رشد این گیاه نسبت به نوع خاک دارد. به هر حال خاک هایی که توانایی ایجاد شرایط ماندابی را داشته باشند، ضرورت بیشتری برای رشد آزولا دارند. ماکریمم رشد نسبی آزولا

و فعالیت آنزیم نیتروژناز در شرایط ۵۰ درصد تابش معمولی نور خورشید حاصل می‌گردند؛ اگر چه تفاوت زیادی بین رشد آزولا در شرایط ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد نور خورشید وجود ندارد درحالیکه سایه زیاد موجب کاهش رشد آزولا تا نزدیک صفر می‌شود (فرنتینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجا و همکاران، ۲۰۱۲).

در کمبود شدید کلسیم آزولاهای شناور شکننده شده و سلول‌های جلبک در درون حفره ناپدید می‌شوند. در کمبود پتاسیم برگ‌ها زرد متمایل به قهوه‌ای می‌شوند و در کمبود آهن میزان کلروفیل برگ‌ها کاهش پیدا کرده و زردی برگ‌ها بروز می‌کند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). تغییر رنگ سبز آزولا به رنگ قرمز بدلیل کمبود فسفر مزرعه است که با دادن کود فسفره این علف هرز به رنگ سبز بر می‌گردد.

۵

فواید و مضرات آزولا

۵-۱- فواید آزولا

به دلیل اینکه آزولا یکی از گونه‌هایی است که دارای مزیت‌های فراوانی برای اکوسیستم آبی است، به‌طور خود به خود نمی‌توان آن را از بین برد. در مناطق ساحلی که میزان رشد گیاهان آبرزی در حد مطلوبی قرار دارد و نوسانات فصلی کم است، آزولا در این مناطق به خصوص در ماه‌های گرم سال که میزان نور خورشید زیاد است باعث باروری و حاصل‌خیزی خاک می‌شود که از بین بردن آزولا می‌تواند اثرات منفی بر روی اکوسیستم داشته باشد. اگر آزولا عمر زیادی نداشته باشد مواد زیادی را از آب جذب نمی‌کند؛ اما موادی را که در طول دوره رشد خود جذب می‌کند در دسترس جلبک‌های سبز آبی قرار می‌گیرند که می‌توانند باعث حفظ باروری اکوسیستم شوند. آزولا مزایای زیادی برای گیاهان و بخش کشاورزی دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش هزینه ناشی از مصرف کود نیتروژنه، افزایش باروری خاک و کاهش هزینه مبارزه با علف‌های هرز اشاره کرد. تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که آزولا عملکرد گیاه برنج را در صورتی که به درستی مدیریت شود افزایش می‌دهد که این عامل می‌تواند باعث خودکفایی در تولید برنج شود. پس لازم است توجه بیشتری به گیاه آزولا و مدیریت آن در بخش کشاورزی شود (سبک‌رو فومنی و سبک‌رو فومنی، ۱۳۸۸).

این سرخس در تغذیه دام‌های گوشتی و شیری به‌ویژه گوسفند و گاو، تغذیه مرغ گوشتی و تخم‌گذار و در تغذیه انسان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. قابلیت ارائه نیتروژن این گیاه به هر هکتار زمین روزانه ۲ تا ۴ کیلوگرم است. یعنی معادل ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم که نوعی کود شیمیایی نیتروژنه محسوب می‌شود. آزولا علوفه‌ای است که هر چه از آن بیشتر برداشته شود، بیشتر رشد می‌کند و در طول ۲۴ ساعت از هر هکتار در منطقه آبخیز می‌توان یک تُن برداشت کرد. این برداشت تا شش ماه به‌طور مداوم می‌تواند ادامه داشته باشد. مطالعات بر روی این سرخس در کشور ما نشان داده که جانشین کردن آزولا به میزان یک سوم در جیره غذایی گاوهای شیری

باعث بالا رفتن مقدار شیر و افزایش پروتئین‌های موجود در آن شده است. هم اکنون سطح زیر کشت این گیاه در ویتنام ۸۰۰ هزار هکتار و در چین ۳/۴ میلیون هکتار تخمین زده شده است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵). فواید آزولا را می‌توان به ترتیب زیر عنوان نمود:

۵-۱-۱- تولید آمونیاک توسط آزولا

وقتی جلبک همیار از حفره‌های برگ جدا شده و در محیط دارای نیتروژن قرار می‌گیرد، آمونیاک آزاد می‌نماید. همیار جدا شده وقتی در محیط دارای ۵ میلی‌مول کلرید آمونیوم قرار می‌گیرد در یک دوره بیش از ۱۲ ساعته کاهش خطی استیلن را نشان می‌دهد. معمولاً ۵ درصد یا کمتر از نیتروژن تثبیت شده به همیار برگردانده می‌شود (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی و همکاران، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

پترز در سال ۱۹۷۷ بر روی گلوتامین سنتتاز و گلوکاتات دهیدروژناز کار کرد و دریافت که گلوتامین سنتتاز آنزیم هضم کننده اصلی آمونیوم در جلبک سبز-آبی دارای هتروسیت می‌باشد. او مقادیر قابل توجهی از فعالیت گلوتامین سنتتاز را در همزیست پیدا کرد؛ اما مقادیر کمی در همیار ایزوله شده وجود داشت. او سیر هضم آمونیوم را چنین تشریح کرد که آمونیاک نیتروژن تثبیت شده توسط همیار، ممکن است در داخل حفره برگ آزاد شود و توسط آنزیم‌های هضم کننده آمونیاک به‌ویژه گلوتامین سنتتاز در میزبان جذب شود. به نظر می‌رسد سلول‌های مویی‌شکلی که حفره برگ را پوشانده‌اند محل تبادل مواد متابولیکی هضم آمونیاک باشند. واتانابه و برجا در سال ۱۹۸۳ دریافتند که حداکثر آمونیاک هنگامی تولید می‌شود که گیاه به مرحله ثابتی از رشد رسیده باشد و همچنین وقتی زیست توده بعد از این مرحله ثابت، شروع به کاهش نماید (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

۵-۱-۲- تثبیت نیتروژن در آزولا

آزولا یکی از مهم‌ترین سرخس‌های آبی‌تأمین‌کننده نیتروژن مورد نیاز برنج می‌باشد که از همزیستی جلبک سبز - آبی *A. azollae* برخوردار است و به واسطه همین زندگی مشترک، نیتروژن هوا را تثبیت می‌نماید (سابا راثو، ۱۹۸۸). با اینکه ورود آزولا به ایران برای افزایش نیتروژن و تثبیت نیتروژن در شالیزارها صورت گرفت؛ اما به دلیل عدم کاربرد صحیح، امروزه خود یک مشکل محسوب می‌شود. در حالی که در کشورهای آسیای جنوب شرقی سال‌هاست که این گیاه علاوه بر انتقال نیتروژن هوا به خاک، سبب جلوگیری از رشد علف‌های هرز، جلوگیری از تبخیر آب شالیزار و در نتیجه صرفه‌جویی آزولا در مصرف آب می‌شود (باغستانی و همکاران، ۱۳۸۵). با کاهش تبادلات گازی و نوری در شرایط غرقاب، جمعیت علف‌های هرز را کنترل می‌کند. در مطالعه‌ای بیان شده است که استفاده از آزولا به میزان ۵۰۰ گرم در هر مترمربع به صورت تازه و بلافاصله پس از نشاکاری برنج می‌تواند جمعیت علف‌های هرز را به میزان ۵۰-۷۲ درصد تا ۵۰ روز بعد از نشاکاری برنج کاهش دهد که علت این امر سایه‌اندازی روی سطح آب می‌باشد (احمدنیا و رفاهی، ۱۳۸۷؛ آله‌جار و آراگونز، ۱۹۸۹). نتایج آزمایشات نشان داد که در صورت استفاده از کود شیمیایی به همراه آزولا میزان عملکرد برنج نسبت به سایر روش‌های کشت بیشتر است. چون آزولا به همراه کود شیمیایی بیشتر رشد و نمو می‌کند و به دلیل فراوانی جلبک سبز-آبی همزیست با آن، نیتروژن هوا را بیشتر تثبیت کرده و آن را به صورت تدریجی و مداوم در اختیار گیاه برنج قرار می‌دهد (راجر و همکاران، ۱۹۹۰).

تخمین دقیق میزان تثبیت سالانه نیتروژن توسط آزولا بسیار متغیر است. گونه آزولا فلیکولوئیدس بر اساس برخی گزارشات به تولید ۵۲ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در طول ۳۵ روز در شالیزارهای کالیفرنیا پرداخته است که بیانگر سرعت رشد روزانه ۱/۲ کیلوگرم در هکتار ضمن ۳۵-۱۰ روز پس از تلقیح اراضی می‌باشد. بعلاوه مؤسسه تحقیقات کشاورزی ویتنام از پتانسیل

تولید سالانه حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار خبر داده است. نسبت $\frac{C}{N}$ برای گونه آزولا پیناتا به میزان $\frac{۱۵}{۱}$ گزارش شده است که نشان دهنده توانایی آزولا در افزودن نیتروژن خاک در صورت مخلوط کردن با خاک مزرعه در قیاس با تجزیه شدن در سطح آب شالیزار می باشد. آزولا نیتروژن را پس از دفن شدن در خاک به آرامی آزاد می سازد ولیکن فقط به میزان ۷۰ درصد سولفات آمونیوم قابلیت دستیابی دارد. بررسی ها نشان می دهند که $\frac{۲}{۳}$ نیتروژن آزولا بعد از ۶ هفته آزاد می گردند (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

محققان دیگری نیز در نتایج بررسی های خود اعلام نمودند که جلبک همزیست آزولا یعنی *A. azollae* این توانایی را دارد تا نیتروژن هوا را تثبیت نماید که این عمل از نظر اقتصاد کشاورزی اهمیت فراوان دارد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی طلب، ۱۳۶۹). در انجام عمل، نوعی آنزیم به نام نیتروژناز دخالت دارد که یک سیستم مولتی آنزیم است. از جهت دیگر برای برقراری رابطه همزیستی، فتوسنتز نقش مهمی را به عهده دارد چون تمام آدنوزین تری فسفات های مورد نیاز به عنوان یک منبع انرژی جهت فعالیت نیتروژناز را تأمین می نماید (متقی طلب، ۱۳۶۹). در زیر لب فوقانی برگ چه های آزولا، حفره ای تشکیل می شود که جلبک سبز- آبی *A. azollae* در آن زندگی می کند. سلول های آن در سراسر مراحل زندگی آزولا از مرحله گامتوفیتی تا مرحله اسپوروفیتی همراه آزولا هستند. نیتروژن تثبیت شده به وسیله آنابنا به شکل آمونیوم به آزولا منتقل و از آن آمینو اسید ساخته می شود. نیتروژن حاصل از طریق برداشت های مکرر آزولا در سال ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار برای *A. pinnata* و ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برای *A. filiculoides* بوده است (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲). آزولا می تواند قسمتی از نیتروژن مورد نیاز خود را از محیط آبی که در آن قرار دارد به دست آورد (در صورت وجود)، باقی مانده نیاز آزولا از محیط تأمین می شود و این عمل ارزش زراعی آزولا را برای کشت در خاک های دارای نیتروژن کاهش می دهد؛ چرا که ممکن است نیتروژن اضافه شده توسط آزولا همان نیتروژن مخلوط قدیمی باشد تا نیتروژن جدید

تثبیت شده اتمسفری توسط آنابنا (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). فعالیت آنزیم نیتروژناز در آزولا در یک هفته پس از تلقیح در حداکثر خود بوده است و پس از آن کاهش می‌یابد. در مقایسه با همزیست ریزوبیوم در بقولات، فعالیت نیتروژناز آنابنا با کشت طولانی مدت آن در محیط کشت که دارای مقادیر متناهی نیتروژن مخلوط باشد متوقف نمی‌شود. حتی افزایش مقداری نیتروژن آمونیاکی یا نترات، رشد آزولا را تا حدی سرعت می‌بخشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). میزان تثبیت نیتروژن در گونه‌های مختلف و تحت شرایط مختلف، متفاوت می‌باشد. مرحله رشد گیاه، درجه حرارت و سایر عوامل محیطی، میزان فسفر در دسترس به‌ویژه، بر میزان تثبیت نیتروژن در آزولا تأثیر اساسی برجای می‌گذارد. در بسیاری از شرایط محیطی *A. azollae* می‌تواند کل نیتروژن موردنیاز خود را از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفری تأمین کند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). تثبیت نیتروژن روزانه *A. filiculoides* ۷ کیلوگرم در هکتار و *A. pinnata* ۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. تولید سالانه نیتروژن در صورت برداشت مداوم برابر با ۵۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از طریق *A. pinnata* و ۱۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌وسیله *A. filiculoides* می‌باشد (جدول ۵-۱).

میزان تثبیت نیتروژن از طرق مختلفی برآورد می‌گردد. یکی از روش‌های تخمین میزان تثبیت نیتروژن با استفاده از میزان رشد نسبی و میزان نیتروژن موجود در سرخس می‌باشد (اصفیاء، ۱۳۶۴). همچنین میزان تثبیت نیتروژن از روش تخمین احیای استیلن^۱ (A.R.A) و با استفاده از ایزوتوپ N_2^{15} اندازه‌گیری می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

جدول ۵-۱- تولید نیتروژن و زیست توده در آژولا در زمان‌های مختلف (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

گونه آژولا	شرایط محیط	وزن خشک زیست توده (تن در هکتار)	محتوای نیتروژن (تن در هکتار)	روز	ذخیره نیتروژن (میانگین روزانه)
<i>A. filiculoides</i>	شالیزار نکاشته- آمریکا	۱/۷	۵۲	۳۵	۱/۵
	استخر کم عمق- آمریکا	۱/۸	۱۰۵	-	-
	شالیزار-	۳/۴	۱۴۲	۳۶	۳/۹
	چین	۵/۲	۱۲۸	۵۰	۲/۹
<i>A. mexicana</i>	آب‌بندان- آمریکا	۰/۸	۳۹	۳۹	۱/۰
	شالیزار نکاشته- آمریکا	۱/۱	۳۸	-	-
<i>A. carolinina</i>	شالیزار نکاشته- فیلیپین	-	۴۰	۲۶	۱/۵
	شالیزار نکاشته- چین	۲/۸	۱/۴	۳۹	۳/۲
	شالیزار نکاشته- هند	۲/۳	۱۰۴	۳۰	۳/۴
<i>A. pinnata</i>	شالیزار نکاشته- فیلیپین	۱/۱	۴۸	۳۰	۱/۶
	زیر کشت برنج- فیلیپین	-	۷۳	۲۱	۰/۸
	زیر کشت برنج- ویتنام	-	۲۵	۶۰	۰/۴
	زیر کشت برنج- چین	۲/۶	۱۱۱	۳۶	۳/۱

۵-۱-۳- جذب فلزات سنگین از خاک و آب

بسیاری از گونه‌های آژولا می‌توانند برخی از فلزات سنگین موجود در محیط را جذب نمایند و از این نظر دارای قدرت پاک‌کنندگی آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند (استپ‌نیوسکا و همکاران، ۲۰۰۵؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ دائی و همکاران، ۲۰۱۲). به عنوان مثال مطالعات نشان می‌دهند که *A. pinnata* در احیاء و تصفیه آلودگی‌های محیطی بسیار مفید می‌باشد. دو روش اصلی برای استفاده از *A. pinnata* برای تمیز کردن آلاینده‌های محیطی وجود دارد. روش اول توسط جذب، که در این عمل نیاز است تا برگ‌شاخه‌های آژولا ابتدا به پودر تبدیل شده و در طی مدت تصفیه کاملاً با فاضلاب مخلوط گردد. عملکرد *A. pinnata* در تصفیه فاضلاب‌های رنگی حاوی methyl acid blue 25 و acid red 88، rhodamine B، amalachite green، violet 2B (کوه و همکاران، ۲۰۱۵a & b؛ ۲۰۱۶a & b) بسیار مناسب گزارش شده است. دومین روش تصفیه به وسیله گیاه یا گیاه پالایی است، که در آن توده‌های زنده *A. pinnata* در سطح فاضلاب معلق می‌مانند (شکل ۵-۱). دلیل استفاده از *A. pinnata* در درجه اول به دلیل تحمل زیاد آن در برابر آلاینده‌های محیط زیست و دوم توانایی بسیار خوب در جذب فلزات سنگین بوده است (سرکار، ۱۹۸۶). گیاه پالایی فاضلاب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین مانند روی، سرب (جین و همکاران، ۱۹۹۰)، کروم (رائی، ۲۰۰۹)، جیوه و کادمیوم (رائی، ۲۰۰۸)، مس و آرسنیک (کوه و همکاران، ۲۰۱۶c) و همچنین رنگ‌های آلی مانند متیل بنفش 2B و مالاشیت سبز (کوه و همکاران، ۲۰۱۵c) در برخی نتایج تحقیقات گزارش شده است. همچنین گزارش شده است که *A. pinnata* برای تصفیه فاضلاب (حذف ضایعات نیتروژن و فسفر) در مزرعه مرغداری مفید است (یاماجی و همکاران، ۲۰۱۰).

بررسی‌های انجام شده در ایران نیز نشان داده که آژولا می‌تواند ترکیباتی مانند Acide blue 15 (AB15)، Acid green3 (AG3)، Bisphenol A، 2,4,6 Trichlorophenol (TCP)،

2. Chloriphenol و chloriphenol^۴. از آب جذب کرده و روی غلظت فلزاتی مانند کادمیم (Cd)، سرب (Pb)، مس (Cu)، روی (Zn) و نیکل (Ni) نیز موثر باشد (خسروی و همکاران، ۲۰۰۵؛ مشکانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ احمدی اسبچین و عمران، ۲۰۱۲؛ زازولی و همکاران، a&b، ۲۰۱۳؛ ۲۰۱۴؛ بلارک و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۵-۱ استفاده از آزولا در تصفیه آب

(<http://theazollafoundation.org/azollas-uses/waste-water-treatment/>)

۵-۱-۴- استفاده از آزولا در کشاورزی

سرخس سرشار از پروتئین آزولا به منظور انجام تحقیقات کشاورزی توسط سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی از کشور فیلیپین وارد ایران شد. مطالعات اولیه روی این سرخس نیز از تیر ماه سال ۱۳۶۵ در ایستگاه‌های تحقیقاتی برنج رشت، آمل و تنکابن آغاز گردید که نتایج جالبی را نیز در بر گرفت. در این تحقیقات مشخص شد محصول شلتوک برنج در کشت توأم با آزولا به مقدار ۱۴۷۴ کیلوگرم در هکتار یا به عبارتی ۶۷ درصد افزایش یافت. این گیاه جزو گیاهان نادری است که با

جذب نیتروژن هوا و انتقال آن به خاک، باعث غنی سازی خاک های زراعی فقیر می شود. آزولا گیاهی است سرشار از پروتئین به طوری که تا حدود ۲۴ درصد از ماده خشک آن را پروتئین تشکیل می دهد. ذرت سیلو شده شش درصد پروتئین دارد، در حالی که پروتئین سیلو شده آزولا ۱۲ درصد است. بتاکاروتن آن از هویج بیشتر بوده و عناصر غذایی کم مصرف و پُر مصرف در این گیاه یافت می شود. بیشترین مصرف کود نیتروژنه در شالیزارها از نوع کود اوره است که کارایی مصرف این کود پایین بوده و حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن آن جذب گیاه گردیده و بقیه به نحوی از بین می رود. زیادی کود نیتروژن در خاک فراوانی فعالیت های میکروبی خاک را در پی دارد. این عنصر غذایی به طور غیرمستقیم نیز به عنوان یک ماده شیمیایی اثرات سوئی بر تغذیه انسان دارد. این موضوع پژوهشگران را به فکر استفاده از منبع غنی و رایگان نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر انداخت که از طریق گیاه آزولا در مزارع تثبیت می شود. اگر به موقع از این گیاه استفاده شود از رشد گیاهان هرز در شالیزار جلوگیری می شود و هزینه وجین را کاهش می دهد. از مهم ترین کاربردهای گیاه آزولا برای تقویت شالیزارها (به علت تثبیت نیتروژن) جلوگیری از رشد علف های هرز و کنترل آنها می باشد چون با پوششی که در سطح آب به وجود می آورد مانع از رسیدن نور کافی به علف های هرز مزرعه برنج شده و آنها را از بین می برد. همچنین به علت تثبیت نیتروژن در خاک سبب تقویت شالیزار شده و در نتیجه نیاز به مصرف کود نیتروژنه نبوده و بدین طریق هزینه تولید نیز کاهش می یابد (خدابنده، ۱۳۷۱). آزولا باعث افزایش مواد آلی خاک شده در جهت بهبود ساختمان خاک و ترکیب شیمیایی (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ خدابنده، ۱۳۷۱) به ویژه در اصلاح خاک های شور و قلیایی آن نقش مثبتی را ایفا می کند (خدابنده، ۱۳۷۱). کمپوست آزولا به واسطه ریزبودن برگ های آن خیلی سریع در مدت ۱۲-۷ روز آماده شده و می تواند در سبزی کاری مورد استفاده قرار گیرد (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). پوشش ضخیم آزولا از تصعید اوره در مزارع برنج جلوگیری می کند (قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). باعث کاهش

مصرف مواد معدنی در شالیزار می‌گردد (خدابنده، ۱۳۷۱). از تبخیر آب داخل شالیزار جلوگیری کرده و در مصرف آب صرفه‌جویی می‌کند (خدابنده، ۱۳۷۱). از آزولا به‌عنوان ماده تقویت‌کننده برای سایر گیاهان زراعی، گل‌های زینتی و حتی درختان استفاده می‌شود (خدابنده، ۱۳۷۱).

کاربردهای آزولا در کشاورزی را می‌توان تحت عناوین زیر دسته‌بندی کرد:

۵-۱-۴-۱- نقش آزولا به‌عنوان کود سبز آلی

از مدت زمان بسیار دور آزولا به‌عنوان کود سبز در زراعت برنج مصرف شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. بیشتر گزارشات در مورد آزولا در رابطه با این جنبه از مصرف آزولا بوده است. امروزه روش‌های زراعت آزولا پیشرفت کرده و استفاده از آن را در کشت همزمان با برنج و نیز به‌عنوان کود سبز توسعه داده است (صفائی‌ان، ۱۳۷۴). در مزارع برنج استفاده از کود جهت تأمین عناصر مورد نیاز خاک امری رایج و مرسوم است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که با استفاده از آزولا می‌توان به صورتی رضایت‌بخش آن را جایگزین کودهای نیتروژن‌دار نمود که این امر موجب افزایش محصول نیز می‌شود (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). توانایی تثبیت نیتروژن توانسته است گیاه آزولا را به‌عنوان یک کود زیستی^۱ در بخش‌های وسیعی از جنوب شرقی آسیا مطرح سازد. از گیاه آزولا برای هزاران سال است که به‌عنوان تقویت‌کننده اراضی کشاورزی^۲ استفاده می‌نمایند. در این شیوه با غرقاب شدن شالیزارها در بهار به تلقیح اراضی با آزولا می‌پردازند تا سریعاً تکثیر یابد و با پوشاندن سطح آب از رشد علف‌های هرز جلوگیری کند. همچنین پوسیدن بقایای حاصل از آزولا موجب آزاد شدن نیتروژن در محیط رشد بوته‌های برنج می‌شود. آزولا بدین طریق می‌تواند سالانه تا ۹ تن پروتئین در هکتار فراهم سازد (ویکپدیا، ۲۰۱۵). میانگین ۱-۲ کیلوگرم تثبیت روزانه نیتروژن توسط همزیستی آزولا- آنابنا برای تأمین نیاز برنج به نیتروژن کافی می‌باشد. تثبیت نیتروژن تنها در همیار آنابنا رخ می‌دهد و سپس به سرخس آزولا منتقل می‌گردد. میزبان نیتروژن

1. Biofertilizer

2. Bolster agriculture

تثبیت شده را به اسیدهای آمینه تبدیل می‌نماید. احتمالاً اسیدهای آمینه همراه با مواد حاصل از فتوسنتز سپس به همیار منتقل می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). میزان نیتروژن آزولا بسته به گونه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. عملکرد آزولا نیز تحت تأثیر گونه و شرایط محیطی قرار دارد. میزان تولید نیتروژن توسط آزولا بیش از انواع بقولات می‌باشد. تثبیت نیتروژن روزانه A. *filiculoides* ۷ کیلوگرم در هکتار است و تولید سالانه آن ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در صورتی که آزولا ۶-۴ مرتبه در دوره رویش برنج به زیر خاک برگردانده شود، می‌تواند در حدود ۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار برای برنج تأمین نماید. عملکردی که با این میزان نیتروژن تولید می‌شود معادل با عملکردی است که از کاربرد ۱۰۰-۷۰ کیلوگرم نیتروژن شیمیایی حاصل می‌شود. اوره در عرض ۷ روز به‌طور کامل معدنی شده و از دسترس خارج می‌شود، حال آنکه آزولا در عرض ۸ هفته به‌طور کامل معدنی شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در سال ۱۹۷۵ محققان چینی پس از انجام آزمایش روی ۱۵۰۰ مزرعه دریافتند که بهره‌گیری از آزولا به‌صورت کود سبز سبب افزایش تولید برنج به میزان ۱۹-۱۸ درصد شده، ضمن اینکه مؤسسه تحقیقات برنج فیلیپین روی افزایش ۲۰ درصد مَهر تأیید زده است (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). نتایج تحقیقات انجام شده در سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۶ در ایران میزان افزایش تولید برنج با استفاده از آزولا به‌ترتیب ۱۹/۵، ۲۸/۲ و ۱۷ درصد بشرح جدول (۵-۲) به‌دست آمده است (نصیریان، ۱۳۶۹).

جدول ۵-۲- مقایسه میزان محصول تولید شده در هکتار در تیمارهای کود همراه با آزولا و بدون آزولا در سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۶ در ایستگاه بررسی برنج رشت (نصیریان، ۱۳۶۹).

سال	تیمار	شلتوک (کیلوگرم در هکتار)	درصد اضافه محصول نسبت به شاهد	درصد تفاوت
۱۳۶۶	کود+ آزولا	۳۷۷۰	۲۲۲	۱۷
	کود	۳۴۸۵	۲۰۵	
۱۳۶۷	کود+ آزولا	۳۹۸۳	۲۷۵/۵	۲۸/۲
	کود	۳۵۷۴	۲۴۷/۳	
۱۳۶۸	کود+ آزولا	۴۵۶۸	۱۶۸/۹	۱۹/۵
	کود	۴۰۴۰	۱۴۹/۴	

صرف نظر از اعداد و ارقام حاصل از تحقیقات مختلف، نتیجه کلی این است که استفاده از آزولا به عنوان کود سبز آلی می تواند سبب افزایش تولید برنج در واحد سطح گردد. دانشمندان خاکشناسی دلیل این افزایش را اولاً به داشتن سطح بالای نیتروژن و ثانیاً مناسب بودن نسبت کربن به نیتروژن این گیاه می دانند (نسبت کربن به نیتروژن ۱۷/۱ - ۸) که در نتیجه اجازه می دهد گیاه سریع تر تجزیه شود و یا اینکه در موقع مخلوط شدن آزولا با خاک این عمل کمک می کند تا هوموس و سطح نیتروژن آلی خاک در آن افزایش یافته، ضمن اینکه ممکن است موجب اصلاح ظرفیت و نگهداری آب موجود و حجم تبادلات کاتیونی خاک شود (متقی طلب، ۱۳۶۹). استفاده از آزولا به عنوان کودسبز تحت شرایط متفاوت، سیستم های کشت نسبتاً مختلفی را طلب می نماید. آزولا در شالیزارها به دو صورت استفاده می شود، یکی همزمان با کاشت برنج که در این حالت برای هر هکتار شالیزار نزدیک ۵۰۰ کیلوگرم از بافت آزولا را تقریباً یک هفته بعد از نشاکاری در مزرعه پخش می کنند؛ دیگری بعد از برداشت برنج که این گیاه را به عنوان کود سبز به خاک مزرعه اضافه کرده و سپس قبل از کاشت برنج در بهار سال بعد زیر خاک می کنند (رستگار، ۱۳۷۸؛ فرنتنوس و همکاران، ۲۰۰۲).

۵-۱-۴-۲- تک کشتی آژولا در مزارع برنج

در این سیستم، آژولا در همان مزرعه‌ای که برنج نشاء می‌گردد پخش می‌شود. سطح مزرعه در مدت ۲-۳ هفته بسته به میزان آژولای پاشیده شده و درجه حرارت و سایر عوامل اقلیمی کاملاً پوشیده می‌شود. سپس توده آژولا را قبل از نشاء برنج با خاک مخلوط می‌کنند. این سیستم برای اغلب شرایط مناسب است؛ اما به آب کافی و مزارع غرقاب نیاز دارد و همچنین باید درجه حرارت قبل از نشاء مناسب باشد. در این سیستم، نیتروژن آژولا برای شروع رشد برنج در دسترس می‌باشد ولی در خلال رسیدن کافی نخواهد بود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). ویتنامی‌ها معتقدند که مقدار پخش آژولای اولیه در شالیزار اراضی از ۰/۵ کیلوگرم در مترمربع تا ۱/۶ کیلوگرم در مترمربع در شرایط کمتر از حد آپتیمم نظیر نور کم و pH مناسب، برای رشد انفجارگونه آژولا بسیار مناسب می‌باشد. امروزه مقدار ۰/۵ کیلوگرم در هر مترمربع شالیزارهای ایالت کالیفرنیا بکار می‌رود (فرن‌تینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

آژولا بطور سنتی به سه روش به عنوان کود سبز در شالیزارهای مناطق استوایی آسیا پرورش می‌یابد:

A- در یک روش از ۱۰-۵ درصد اراضی زراعی در سراسر سال برای تولید آژولا بهره می‌گیرند و آژولای پرورشی را متعاقباً به عنوان کمپوست به مزارع کشت محصولات می‌افزایند.

B- در روش دیگر اقدام به پرورش آژولا در سطح شالیزار می‌نمایند و سپس آنها را قبل از کاشت برنج یا بعد از نشاء برنج و یا حتی قبل از کشت دوم با خاک شالیزار مخلوط می‌سازند (فرن‌تینوس و همکاران، ۲۰۰۲). ایده آل چنین است که آژولا را مدتی قبل از انتقال نشاهای برنج به شالیزار در خاک دفن نمایند. زمانی که از آژولا برای فشار بر علف‌های هرز مزارع برنج استفاده می‌شود، باید از ۰/۵ کیلوگرم در مترمربع به عنوان آژولای اولیه استفاده نمایند. آژولا را ۲-۴ هفته قبل از انتقال نشاهای برنج بستگی به سرعت رشد گیاه آژولا در شالیزارها پرورش می‌دهند. زمانی که آژولا را در

تراکم کم کشت می کنند، آنگاه همراه با جلبک ها و علف های هرز رشد می کند. لذا افزایش مقدار اسپور آزولا به کاهش تراکم علف های هرز و افزایش کارآیی برنج خواهد انجامید. در مناطقی که آزولا توسط باد و امواج و یا جریان آب پراکنده می گردد، باید آزولا را با کمک مرزها و یا چوب های شناور موقت محافظت نمود تا به تدریج به اطراف رشد یابند و تمامی سطح منطقه را پوشانند (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲). پخش اولیه آزولا را در بسیاری از مناطق معتدله و گرمسیری می توان در سرتاسر سال انجام داد لیکن سرعت رشد آزولا در ماه های زمستان کاهش می یابد. آزولا هیچگونه نیازی به تلقیح شدن با میکروارگانیسم های همزیست ندارد زیرا باکتری های تثبیت کننده نیتروژن همواره و در همه جا حضور دارند. در بسیاری از مناطق جهان نظیر هاوایی اقدام به جمع آوری آزولا از اراضی بایر و آبگیرها با استفاده از تورها می نمایند سپس آنها را در حوضچه ای برای تکثیر نگهداری می کنند تا به موقع به فروش برسند و یا در سطح مزارع پخش سازند (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

C- آزولا از طریق ازدیاد غیرجنسی^۱ به سرعت تکثیر یافته و در آبگیرها استقرار می یابد. در این راستا معمولاً از تالاب های تکثیر^۲ برای تدارک حجم کافی از آزولا جهت پاشیدن بر سطح خاک های مرطوب و اراضی غرقاب استفاده می گردد تا بدین طریق سریعاً رشد یابند و سطح منطقه را پوشانند و بتوانند از جوانه زنی بذور علف های هرز بکاهند. با این وجود برخی اراضی به ویژه در مواقعی که اراضی قبل از استقرار آزولا از علف های هرز چندساله برخوردار بوده اند، نیازمند وجین کردن هستند. در مزارع از کودهای فسفره به صورت قبل از کاشت بهره می گیرند تا نیاز آزولا را به عنصر فسفر جهت دستیابی به رشد سریع بر طرف سازند. توصیه شده است که آب باید دارای ۲۰ پی پی ام فسفر برای اُپتیمم رشد آزولا باشد. در بررسی هایی که در شالیزارهای کالیفرنیا انجام شده است، از پخش کود فسفره به میزان ۷/۲ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار به صورت ۴ بخش مساوی

1. Vegetative propagation
2. Nursery ponds

با فواصل زمانی ۷ روز توافق شده است (فرنٹینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

گاهاً ممکن است به صورت لکه‌ای به وجین علف‌های هرز در محوطه‌های پرورش آژولا پرداخت تا این علف‌های هرز فرصت تکثیر پیدا نکنند زیرا برخی گونه‌های علف هرز در شالیزارها قادر به نفوذ در لایه پوششی آژولا و استقرار یابی هستند و بدین طریق مانعی برای رشد و گسترش آژولا خواهند شد. زمانی که کمبود فسفر وجود دارد، با افزایش کود فسفره کافی می‌توان به تداوم رشد آژولا کمک نمود (فرنٹینوس و همکاران، ۲۰۰۲). آژولا را توسط توری‌های دستی یا توری‌های کششی از تالاب‌های پرورش جمع آوری و برداشت می‌کنند. سپس آنها را درون سبدها، کیسه‌های پارچه‌ای یا گونی‌های حمل پیاز می‌ریزند و به سایر نقاط انتقال می‌دهند. برای جمع آوری برگ‌شاخه‌های آژولا از تالاب‌های پرورش به وسایل زیر نیازمند می‌باشد:

A- سبدها^۱ یا کیسه‌های پارچه‌ای^۲

B- هُل دهنده‌ها^۳

C- ملاقه‌ها^۴

D- صفحات چنگالی^۵

E- گرمکن‌ها^۶ (فرنٹینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

۵-۱-۴-۳- کشت مخلوط آژولا در برنج

آژولا می‌تواند همراه با برنج در شالیزار پخش شده و تا جایی که رشد برنج اجازه دهد می‌تواند یک یا چند بار برداشت و با خاک مخلوط شود. در این سیستم نیتروژن موجود در آژولا در خلال رشد و مراحل رسیدگی برنج در دسترس می‌باشد ولی گیاه برنج در مراحل اولیه رشد خود از

-
1. Baskets
 2. Burlap sacks
 3. Pushers
 4. Scoopers
 5. Scrape board
 6. Heaters

نیتروژن آزولا بهره‌مند نمی‌شود. قنایان در سال ۱۹۸۱ با بکارگیری آزولا در چین سیستمی عملکرد برنج را تا ۲۶/۱ درصد افزایش داد (اصفیاء، ۱۳۶۶؛ قجاوند، ۱۳۷۵). آزولا از قرون گذشته در چین و ویتنام به عنوان یک محصول کود سبز^۱ کاربرد داشته و مورد استفاده قرار می‌گرفته است. آزولا از قابلیت سایه‌اندازی بر علف‌های هرز در شالیزارهای غرقابی برنج^۲ برخوردار است. این سرخس از اوایل قرن بیستم مورد توجه کشاورزان و پژوهندگان قرار گرفته است. تأثیرات آزولا بر عملکرد برنج از اولین موضوعاتی بود که توجه محققان را به خویش معطوف داشت. بر این منوال بسیاری از نتایج بررسی‌ها نشان دهنده افزایش ۱۴-۴۰ درصدی عملکرد برنج بوده‌اند که به واسطه افزودن معادل ۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به افق A پروفیل خاک در اثر پرورش آزولا در شالیزارهای غرقاب دائمی و در قالب زراعت مضاعف برنج-آزولا حاصل آمده‌اند. براساس نتایج برخی دیگر از بررسی‌های انجام شده مخلوط کردن لایه آزولا با خاک شالیزار می‌تواند موجب افزایش کارایی برنج به میزان ۱۱۲-۲۱۶ درصد در سال‌های بعدی گردد. نتایج حاصل از ۴۲۲ تحقیق مزرعه‌ای در کشور چین بیانگر آن است که کاشت همراه برنج-آزولا می‌تواند موجب افزایش محصول برنج به میزان ۰/۴ - ۱۵/۸ درصد با میانگین ۱۸/۶ درصد شود (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲). آزولا را در شالیزارهای آسیا به دو طریقه ذیل با خاک مخلوط^۳ می‌سازند درحالی‌که در مزارع تارو در هاوایی از طریقه سوّم سود می‌جویند:

a. لگدکوبی^۴

b. شخم زدن^۵

c. روتوتیلر^۶ (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

1. Green manure
2. Wetland rice
3. Incorporation
4. Trampling
5. Ploughing
6. Rototilled

۵-۱-۴-۴- سیستم ترکیبی مخلوط و تک کشتی

در این سیستم علاوه بر اینکه آژولا به عنوان کود سبز در مزارع برنج پرورش داده شده و قبل از نشای برنج به زیر خاک برگردانده می شود؛ بلکه همراه با برنج نیز به رشد خود ادامه می دهد. این سیستم نیتروژن مورد نیاز تمام مراحل رشد برنج را تأمین می نماید و افزایش عملکرد مشاهده شده توسط قنایان با بکارگیری این سیستم ۳۹/۷ درصد بوده است (اصفیاء، ۱۳۶۶؛ نصیریان، ۱۳۶۶؛ قره یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

۵-۱-۴-۵- تک کشتی آژولا خارج از مزارع برنج

در این سیستم، آژولا به طور مداوم در تمام طول سال در خارج از مزرعه برنج تولید و آژولای تازه و خشک یا کمپوست آن می تواند قبل از نشای برنج با خاک مخلوط شود. در این حالت آژولا می تواند به عنوان کود سبز و یا کود آلی برای هر نوع محصول دیگری نیز به مصرف برسد، با توجه به اینکه آژولای تازه حاوی ۹۴-۹۲ درصد آب می باشد، ممکن است نقل و انتقال مقادیر زیاد آژولا به ویژه برای زارعینی که دارای تسهیلات حمل و نقل نمی باشند مشکلاتی را فراهم آورد. این مشکل تا حدودی با خشک کردن آژولا در هوای آزاد حل می شود، لیکن باید توجه داشت که آزاد شدن نیتروژن از آژولای خشک هم کمتر و هم آهسته تر صورت می گیرد (اصفیاء، ۱۳۶۴؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

۵-۱-۴-۶- نقش آژولا در کنترل علف های هرز

آژولا در شالیزارهایی که نشاهای برنج از ارتفاع مناسبی برخوردارند، از رشد علف های هرز می کاهند. از لایه پوششی آژولا می توان به عنوان مالچ در جهت جلوگیری و کاهش رشد علف های هرز بهره گرفت. آژولا می تواند کف پوشی را بر سطح آب ایجاد کند که از عبور نور به سطوح زیرین جلوگیری نماید و بدین وسیله علف های هرز را در مضیقه قرار دهد که این موضوع از سال

۱۹۲۷ میلادی در مقالات علمی ذکر شده است. پژوهش‌های انجام گرفته در فیلیپین و هاوایی نشان می‌دهند که آزولا می‌تواند بر بسیاری از علف‌های هرز مزارع برنج فشار وارد سازد. در یک آزمایش در منطقه هاوایی اقدام به کاشت برخی علف‌های هرز در اراضی پرورش آزولا با دوره رشد سه هفته نمودند، به‌طوری‌که آزولا در طی این مدت توانسته بود پوشش کاملی در سطح آب ایجاد نماید. در این آزمایش نتیجه گرفتند که هیچگونه نیازی به وجین کردن در دوره سه ماه اولیه پس از کاشت علف‌های هرز احساس نگردید، درحالی‌که در اراضی شاهد بدون آزولا مجبور به سه مرتبه وجین دستی شدند. البته آزولا در چنین مزارعی در اثر برخی عوامل ناشناخته دچار خشکیدگی سطحی^۱ شد و این عارضه تا زمان مسدود شدن سایبان^۲ توسط علف‌های هرز ادامه یافت. فوسبرگ (۱۹۴۲) نوشته است که کشاورزان هاوایی از گیاه آزولا در مزارع تارو استفاده می‌کنند. همچنین دیفرانک (۱۹۹۵) نشان داد که آزولا قادر به رقابت با علف‌های هرز در مزارع برنج می‌باشد (فرنیتوس و همکاران، ۲۰۰۲).

در کشورهایی که کودهای شیمیایی ارزان بوده و به راحتی در دسترس زارعین می‌باشد، تحقیقات آزولا برای جنبه‌های دیگر از جمله فوائد آزولا به‌ویژه بر روی استفاده از آزولا به‌عنوان کنترل‌کننده علف‌های هرز مزارع برنج متمرکز گردیده است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). از جمله فوائد مهم آزولا در مزارع برنج، کنترل علف‌های هرز است که در کشت غرقاب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با عملیات صحیح زراعی، رقابت قابل توجهی بین آزولا و برنج اتفاق نمی‌افتد و در حقیقت این رقابت بین آزولا و علف‌های هرز است که به نفع برنج تمام می‌شود. آزولا از طریق رشد و تکثیر سریع پوشش متراکمی را بر سطح آب ایجاد کرده و از آن طریق علف‌های هرز را خفه می‌کند. در سال ۱۹۸۱ سری نیواسان مشاهده کرده است که هرچا آزولا وجود داشته، علف هرز *Marsilea spp.* که علف هرز غالب منطقه بوده است تراکم خیلی کمتری داشته است. نتایج

1. Die back

2. Canopy

نشان داد که هر جا آزولا بوده جمعیت علف هرز ۵۲/۰ کیلوگرم و هر جا که آزولا نبوده است ۲۶/۳۱ کیلوگرم در ۱۰ مترمربع رشد داشته است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). علت جلوگیری آزولا از رشد علف‌های هرز ایجاد پوشش سبز بر روی آب و در نتیجه جلوگیری از رسیدن نور و اکسیژن لازم جهت رشد و تکثیر علف‌های هرز ذکر شده است. آزولا پوششی از بافت سبز را بر روی آب ایجاد می‌نماید و این امر باعث کاهش شدت نور و درجه حرارت و میزان اکسیژن آب گردیده و باعث کاهش وزن و تعداد علف‌های هرز به میزان ۵۰ درصد می‌گردد. مقاومت مکانیکی آزولا در مقابل عبور علف‌های هرز که مانع دستیابی آنان به نور می‌گردد نیز مزید علت می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). منفعت حاصل از خاصیت کنترل‌کنندگی علف‌های هرز توسط آزولا ممکن است بیش از سود عایدی از تثبیت نیتروژن آن باشد. قنایان و همکاران در سال ۱۹۸۳ در گزارش آزمایش خود در مورد استفاده از آزولا به‌عنوان کنترل‌کننده علف‌های هرز مزارع برنج به‌ویژه سوروف ذکر کرده‌اند. در تیمارهایی که مقادیر بیشتر آزولا تلقیح شده بود رشد سریع آزولا باعث جلوگیری از رشد علف‌های هرز سوروف گردیده است (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قیج‌اوند، ۱۳۷۵). افزایش پوشش آزولا بر روی آب به‌طور تصاعدی شدت نور را در زیر آن کاهش می‌دهد. شدت نور در زیر یک پوشش کامل آزولا ۱۰ درصد می‌باشد که باعث کاهش میزان فتوسنتز علف‌های هرز که در زیر آب هستند، شده و غلظت اکسیژن آب آبیاری را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد و کل زیست‌توده علف‌های هرز در زیر پوشش آزولا به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

علف‌های هرزی که معمولاً ممکن است توسط آزولا کنترل شوند عبارتند از:

Echinochloa glabrescens, *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) C. Presl ex Kunth
Cyperus difformis L. و *Paspalum* Sp., Munro ex Hook.f. & Kossenko
 هرزی که آزولا عاجز از کنترل آنها بوده است عبارتند از: *Cyperus maritimus* Poir. و *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

آزمایش قنایان و همکاران در سال ۱۹۸۲ نیز توفیق آزولا در کنترل علف‌های هرز *E. glabrescens* و *E. stagnina* (Retz.) P. Beauv. را تأیید کرده است. هنگامی که آزولا به‌عنوان کنترل‌کننده علف‌های هرز در مزارع برنج بکار گرفته می‌شود باید به‌صورت همزمان و مخلوط با برنج کاشته شود. در این صورت آزولا نباید برداشت شده و به زیر خاک برگردانده شود؛ بلکه باید اجازه داده شود تا جایی که می‌تواند رشد کرده و پوشش ضخیم‌تری را تشکیل دهد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). در کاربرد آزولا برای کنترل علف‌های هرز نکات زیر باید مد نظر قرار داده شوند:

- ۱- در هنگام کاربرد آزولا، علف‌هرز هنوز جوانه نروده باشند و یا در صورت جوانه زدن هنوز از سطح آب خارج نشده باشند.
 - ۲- ریشه‌های آنها در محلی باشد که آزولا در آنجا کشت و توسعه می‌یابد.
 - ۳- دارای ریشه‌های بسیار قوی و اندوخته غذایی فراوان نباشند.
- با توجه به این مسئله آزولا در کنترل علف‌های سوروب، مرغ و بندواش عاجز است. ارقامی از آزولا که به‌منظور کنترل علف‌های هرز بکار می‌روند باید:
- ۱- دارای سرعت رشد اولیه زیادی باشند تا بتوانند مدت زمانی را که علف‌های هرز نور دریافت می‌دارند کاهش دهد.
 - ۲- دارای قابلیت تولید پوشش ضخیم‌تری باشند تا بتوانند در مقابل علف‌های هرز جوانه زده و مقاومت کرده و از عبور آنان جلوگیری نمایند.
 - ۳- دارای قدرت تحمل سایه زیادتری باشند تا بتوانند در زیر سایه برنج به رشد خود ادامه دهند.
- بتوانند مدت زمان هرچه بیشتری را در زیر سایه برنج باقی بمانند (اصفیاء، ۱۳۶۶؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

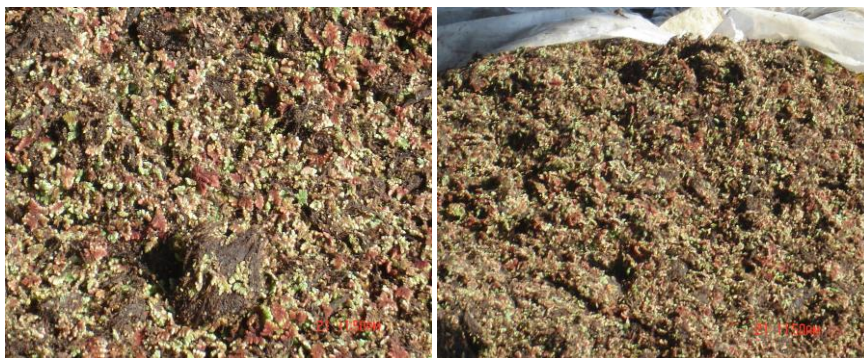
۵-۱-۴-۷- کمپوست آژولا

از جمله راه‌های استفاده از آژولا کمپوست کردن آن است که در چین از سالیان قبل عمل شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای کمپوست کردن آژولا مواد مختلف با درصدهای متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل‌های ۵-۲ تا ۵-۴) که از جمله می‌توان به ترکیب زیر اشاره کرد:

آژولا ۱۰ درصد، کاه برنج ۲/۷ درصد، فضولات خوک و خاک سیاه ۱۷ درصد، گون کتیرا ۸ درصد و گِل و لای ۶۲/۳ درصد را با هم مخلوط کرده که مخلوط حاصل به مدت ۶۰ روز نگهداری و پس از اتمام این مدت جهت حاصل‌خیزی مزارع استفاده می‌شود (اصفیاء، ۱۳۶۴). استفاده از آژولا به‌عنوان کمپوست و کود سبز از ۱۵۰۰ سال پیش ثبت شده است، به‌طوری‌که کتاب‌های نوشته شده توسط ژیا سیکو^۱ در سال ۵۴۰ میلادی و چیه‌مین تائوشو^۲ در قرن هفدهم از آن جمله‌اند (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ ویکیپدیا، ۲۰۱۵). گونه *A. pinnata* تحت شرایط شالیزارهای آسیا مقدار ۱۰-۸ تن در هکتار وزن تازه تولید می‌کند. همچنین تولید ۳-۱/۸ تن وزن خشک در هکتار توسط گونه *A. filiculoides* در شرایط مشابه گزارش شده است (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ ویکیپدیا، ۲۰۱۵). آژولا به‌عنوان یک کود سبز باعث افزایش مواد غیر آلی خاک نیز می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که گونه سبز فلیکولوئیدس حاوی ۰/۴۳ درصد فسفر و ۲/۵ درصد پتاسیم است درحالی‌که گونه قرمز فقط دارای ۱/۳ میزان فسفر گونه‌های سبز می‌باشند و مقدار پتاسیم آنها نیز تا ۲۰ درصد کمتر است (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

1. Jia sixue

2. Chih min tao shu



شکل ۵-۲- آزولای جمع‌آوری شده و تجمع یافته در یک محل برای تولید کمپوست (رضوی‌پور، ۱۳۷۸)



شکل ۵-۳- مخلوط کردن آزولا با کاه برنج برای تولید کمپوست برنج (رضوی‌پور، ۱۳۷۸)



شکل ۵-۴- مراحل تولید نوعی کمپوست بنام آزو کمپوست (رضوی‌پور، ۱۳۷۸)

۵-۱-۴-۸- تأثیر بر آب و خاک

مؤسسه تحقیقات خاک و کود کشور چین گزارش داده است که رشد آژولا از تبخیر آب به میزان ۱۱ درصد و اتلاف املاح آب به میزان ۰/۰۴۹-۰/۰۱۲ درصد می‌کاهد. آزمایشات انجام گرفته در هاوایی تفاوت دمای آب را به میزان یک درجه سانتی‌گراد در تالاب‌های دارای آژولا کمتر از تالاب‌های فاقد آن را نشان می‌دهند. مؤسسه تحقیقات خاک و کود چین همچنین اعلام نموده است که بکارگیری آژولا به‌عنوان کود سبز موجب کاهش وزن مخصوص، افزایش تخلخل (۴/۲- ۳/۷ درصد) و افزایش مواد آلی خاک می‌شود درحالی‌که مقدار املاح خاک به میزان ۰/۰۴۸- ۰/۰۱۴ درصد کاهش می‌یابد (فرن‌تینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

۵-۱-۴-۹- تأثیر بر آفات و بیماریهای گیاهی

حشراتی که به آژولا هجوم می‌برند، هیچگاه به بوته‌های برنج خسارت نمی‌زنند. آفات آژولا را در آسیا با آفت‌کش‌های مرسوم در برنجکاری کنترل می‌کنند. هجوم آفات به آژولا در تابستان‌ها به‌ویژه ایامی که دما به بالاتر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، افزایش می‌یابد. رشد آژولا در خاک به کاهش دمای آب کمک می‌کند، لذا ممکن است بدین طریق به کاهش بیماری‌های ریشه‌ای نظیر پیتیوم^۱ بیانجامد زیرا شیوع اینگونه بیماری‌ها با افزایش دما فزونی می‌یابد (فرن‌تینوس و همکاران، ۲۰۰۲).

۵-۱-۵- استفاده از آژولا در دامپروری

با توجه به اینکه گیاه آژی آژولا دارای رشد و تکثیر سریع است و هزینه‌چندانی جهت کاشت، داشت و برداشت نیاز ندارد، از جنبه اقتصادی دارای اهمیت بوده و می‌تواند به خوبی به‌صورت جایگزین ویا توأم در کنار گیاهان علوفه‌ای در جیره دام مورد استفاده قرار گیرد. آژولا در مقایسه با یونجه و شبدر دارای الیاف خام کمتر و پروتئین خام بیشتر می‌باشد که می‌تواند از نظر ارزش غذایی

1. Pythium

در ردیف علوفه مزبور قرار گرفته و به جای آنها در جیره غذایی مورد استفاده قرار گیرد (کیهان، ۱۳۷۰). در آزمایشی که سطوح متفاوت صفر، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد آزولای تر در جیره جوجه اردک پکین مورد استفاده قرار گرفت، گزارش شد که می‌توان تا ۴۵ درصد از احتیاجات غذایی اردک پکین را با این گیاه تأمین نمود (کیمیاگر، ۱۳۷۲). در مورد کاربرد آزولا در جیره غذایی گاو شیری نیز گزارش شده است که مصرف آزولای خشک تا میزان ۳۵ درصد در کنسانتره گاوهای شیرده هیچگونه عوارضی برسلامتی حیوان نداشته و کمیت و کیفیت شیر تولیدی را نیز تحت تأثیر قرار نداده است (متقی طلب، ۱۳۶۹). در یک آزمایش که آزولا پس از برداشت و چکیده شدن آب آن، در تغذیه گوساله‌های نر بومی گیلان به مدت ۶ ماه مورد استفاده قرار گرفت، عملکرد گوساله‌ها نسبت به جیره شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و چنین نتیجه‌گیری شد که می‌توان از این منبع خوراکی تا ۵۵ درصد از جیره غذایی گوساله‌های بومی استفاده نمود (معصوم‌پور، ۱۳۷۲). از کاه به‌عنوان ماده جذب‌کننده رطوبت، تفاله خشک چغندر قند به‌عنوان افزایش دهنده ماده خشک و نیز مواد قندی (فرانک و والتام، ۱۹۸۶)، مخلوط آرد و سبوس غلات برای بالا بردن کیفیت تخمیر و همچنین از ملاس به‌عنوان یک منبع کربوهیدراتی سهل‌التخمیر در هنگام سیلو کردن استفاده می‌شود (میخ‌چی، ۱۳۶۳؛ کورپورال و همکاران، ۱۹۹۰).

در آزمایشی که در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد معلوم گردید که از مخلوط کردن ۷۰ کیلوگرم آزولای تازه با ۳۰ کیلوگرم دانه جو آسیاب شده، سیلویی با ۶۸ درصد رطوبت به دست آمد که مصرف سیلوی تهیه شده در تغذیه گاوها و گوساله‌ها نشان از خوش خوراکی آن داشت (هاشمی، ۱۳۷۰). در تحقیقی که از سیلوی آزولا با فرمول (۸۷٪ آزولا + ۱۰٪ کاه برنج + ۳٪ ملاس) در تغذیه گوساله‌های نر بومی گیلان استفاده شد، مشخص گردید که مصرف آزولا با فرمول (۸۰٪ آزولا + ۷۵٪ کاه برنج + ۵٪ ملاس + ۷۵٪ سبوس برنج) نیز می‌تواند در اغذیه بره‌های نر بومی گیلان مورد بررسی قرار گیرد که می‌توان از سیلوی مزبور تا سطح ۴۰ درصد درجیره

غذایی بره‌های نر استفاده نمود (افضلی، ۱۳۷۶).

دریک پژوهش آزمایشگاهی، سیلو نمودن آزولا با استفاده از مواد افزودنی و با فرمول‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که از آن میان دو فرمول شامل:

۱- (۷۵٪ آزولا + ۲۵٪ تفاله خشک چغندر قند) و

۲- (۷۵٪ آزولا + ۲۰٪ تفاله خشک چغندر قند + ۵٪ ملاس) به عنوان تیمارهای برتر یعنی سیلوهای بسیار خوب شناخته شدند که ترکیبات شیمیایی و pH آنها در جدول ۵ ارایه شده است. گذشت زمان تا ۱۳۵ روز نیز تأثیر چندانی بر کیفیت و پایداری سیلوهای مزبور نداشت (محمدیان، ۱۳۷۵).

جدول ۲-۳- ترکیب آزولای سیلو شده بامواد افزودنی مزبور (محمدیان، ۱۳۷۵)

درصد ترکیبات شیمیایی و انرژی خام (کالری در گرم) درماه خشک						
ترکیب مواد غذایی	ماده خشک	پروتئین خام	خاکستر خام	الیاف خام	انرژی خام	pH
فرمول ۱	۲۷/۷۹	۱۳/۷۴	۱۰/۴۰	۱۷/۷۸	۴۰۶۰/۳	۳/۹۶
فرمول ۲	۲۶/۲۲	۱۳/۲۹	۱۰/۱۳	۱۵/۸۴	۴۰۴۱/۶	۳/۹۰

باتوجه به نتایج به دست آمده از فرمول‌های سیلوی مزبور (جدول ۵-۳) که در تکمیل و با هدف کاربردی نمودن آن انجام گرفت و در آن، علف آزولا همراه با تفاله خشک چغندر قند سیلو شد و در جیره غذایی گوساله‌های نر بومی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد تیمارهای مورد بررسی تأثیر چندانی بر کیفیت و پایداری سیلوهای مزبور نداشت (محمدیان، ۱۳۷۵).

همچنین از آزولا به سبب در برداشتن مقادیر قابل ملاحظه پروتئین، ویتامین، عناصر معدنی و اسیدهای آمینه ضروری جهت تغذیه پرندگان، ماهیان و خوک‌های پرورشی بهره می‌جویند. از یک گونه آزولا با نام آزولا پیناتا در ترکیبات جیره غذایی ماکیان^۱ استفاده می‌شود و برای این منظور آزولا را به صورت بلغور^۲ در می‌آورند. کاربرد آزولا در دامپروری جنبه‌های متفاوتی دارد

1. Broiler ration

2. AZM= Azolla meal

که این موارد را می‌توان در گروه‌های زیر دسته‌بندی نمود:

۵-۱-۵- خوراک طیور

طیور به‌ویژه اردک و مرغ می‌توانند با جیره غذایی شامل آزولا پرورش داده شوند. آزولا در آمریکا به‌عنوان غذای پرندگان وحشی شناخته شده و در چین به‌عنوان غذای اردک‌های اهلی و پرندگان اهلی و در ویتنام روزانه به‌طور متوسط ۰/۱ تا ۰/۳ کیلوگرم آزولا مصرف می‌نمایند. برای تهیه این مقدار آزولا به ۲-۱ متر زمین نیاز است.

در هندوستان ثبوتی و سینک نتیجه گرفتند که آزولای تازه می‌تواند تا ۲۰ درصد جانشین جیره غذایی جوجه‌های جوان شود. این محققان تخمین زده‌اند که برای جایگزینی این مقدار جیره غذایی، به روزانه ۹ کیلوگرم آزولا برای هر ۱۰۰ جوجه نیاز می‌باشد. این مقدار از یک حوضچه کم‌عمق به مساحت ۶۰ مترمربع به‌دست می‌آید. انستیتوی علوم دامی دانشگاه فیلیپین در ایالت لوس بانیوس مرکزی در یک آزمایش، آزولا را تا ۴۰ درصد در جیره‌های معمول اردک‌ها گنجانیده و نتیجه به‌دست آمده این گونه اعلام گردید که نه تنها هیچگونه اثرات سوء مشاهده نگردید؛ بلکه در میزان رشد آنها نیز تغییری بوجود نیامد (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). همچنین تحقیقات انجام شده توسط پروژه ملی آزولا در فیلیپین نشان دهنده این نکته است که آزولا می‌تواند تا ۴۵ درصد در جیره بومی جوجه اردک‌ها منظور گردد. لیدیای طی آزمایشاتی نتیجه گرفت که پودر آزولا می‌تواند تا ۱ درصد در جیره مرغ‌های تخم‌گذار وارد گردد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸). همچنین تعدادی از محققان در دانشگاه فیلیپین در ایالت لوس بانیوس طی آزمایشاتی دریافتند که جوجه‌های کبابی علاقه‌مندی بیشتری نسبت به آزولا نشان می‌دهند تا ذرت و این موضوع نشان دهنده خوش‌خوراک بودن آزولا می‌باشد. محققان مذکور معتقدند که در صورتی که آزولا به میزان کمتر از ۲۲ درصد در جیره جوجه‌ها وارد شود می‌تواند ارزش غذایی آن را بالا ببرد.

۵-۱-۲- خوراک ماهی

از جمله روش‌های رایج برای بهره‌گیری از آزولا کشت مخلوط آن با ماهیان علف‌خوار در استخرهای پرورش ماهی است؛ اما در این بین باید دقت شود که رشد سریع آزولا و پوشاندن تمام سطح آب از طریق آن مانع رسیدن اکسیژن به ماهیان نشده و از این جنبه مشکل به‌وجود نیارد (متقی‌طلب، ۱۳۶۹). وقتی آزولا جهت تغذیه ماهیان به‌کار برده می‌شود، باید مقداری فضای باز جهت رسیدن ماهیان به سطح آب در نظر گرفته شود تا ماهیان بدون ممانعت آزولا به سطح آب دسترسی داشته باشند. همچنین باید در هنگامی که رشد آزولا بیش از مصرف ماهیان می‌باشد اضافه آن برداشته شود تا از ته‌نشین شدن آن جلوگیری گردد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵). گونه‌های مختلف ماهیان علف‌خوار شامل کارپ علف‌خوار^۱، کارپ اسرائیلی^۲ و تیلاپیا موسامبیکا^۳ آزولا را بر سایر علف‌ها ترجیح می‌دهند (اصفیه، ۱۳۶۶؛ قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ خراسانی و ثابت‌رفتار، ۱۳۷۴؛ قجاوند، ۱۳۷۵). برخی کشورهای آسیایی از پرورش تلفیقی اُردک-برنج در شالیزارها بهره می‌گیرند و لیکن منابع مزرعه‌ای نظیر کود اُردکی و مازاد مواد غذایی آنان برای چرخه مواد غذایی سیستم کفایت نمی‌نمایند و نمی‌توانند سیستم را به حداکثر بازدهی برسانند. پرورش اُردک در قاره آسیا غالباً در وابستگی نزدیکی با شالیزارهای غرقابی می‌باشد، به‌طوری‌که پرورش توأمان اُردک-برنج به‌طور سنتی در چین، اندونزی، فیلیپین، تایوان، تایلند و ویتنام در کانال‌های اطراف شالیزارها انجام می‌گیرد و اُردک‌ها پس از برداشت برنج به داخل شالیزارها رانده می‌شوند تا ضمن تغذیه به کنترل علف‌های هرز و آفات بپردازند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پرورش تلفیقی ماهی-آزولا-اُردک در شالیزارها می‌تواند از طریق تثبیت نیتروژن، کنترل آفات و تدارک مواد غذایی مکمل بر پتانسیل تولیدات سیستم بیفزایند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). پرورش اُردک در شالیزارهای ژاپن

1. Grass carp (*Ctenopharynodon idella*)
 2. Israeli carp (*Cyprineas carpis*)
 3. Tilapia mossambica

و کره جنوبی در قالب روش کشاورزی آلی^۱ صورت می‌پذیرد و بدین طریق از بکارگیری آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی می‌کاهند. عملیات پرورش اردک در شالیزارهای آسیا غالباً به سُکنی دادن پرندگان مزبور در زیر پناهگاه‌های مجاور مزارع متکی است. کود اردکی حاصله و غذاهای خورده نشده بدین طریق در زیر پناهگاه‌ها تجمع می‌گردند و بوی نامطبوعی را متصاعد می‌سازند که منجر به جلب مگس‌ها می‌شوند و در نتیجه مخاطرات غیر بهداشتی برای سلامتی اردک‌ها و انسان را فراهم می‌سازند. بدین ترتیب برای رفع چنین معضلاتی به هزینه‌های کارگری نیاز می‌باشد. بعلاوه چنین بقایا و فضولاتی معمولاً قابل بازیافت نیستند و به‌عنوان منابع ضایعاتی در مزرعه مصرف می‌گردند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

در سیستم پرورش تلفیقی برنج- آزولا- اردک از توانایی سرخس آبی در تثبیت نیتروژن اتمسفر استفاده می‌شود. ماهی از منابع پروتئینی ارزان به‌حساب می‌آید که آن‌را می‌توان در مزارع تولید برنج- اردک پرورش داد. چرخه مواد در چنین سیستم‌هایی به‌خوبی صورت می‌پذیرد. کود اردکی^۲ به‌عنوان کود آلی در جهت تکثیر پلانکتون‌ها قرار می‌گیرند درحالی‌که باقی‌مانده غذای آنان می‌تواند به‌طور مستقیم توسط ماهیان مصرف شوند. کود اردکی حاوی مواد زیر می‌باشد:

۱- مواد آلی به میزان ۴ درصد

۲- نیتروژن کل به میزان ۲ درصد

۳- فسفر قابل دسترس به میزان ۴۴۶ پی پی ام (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

عناصر غذایی حاصل از پناهگاه اردک‌ها از طریق آبیاری و تحرکات اردک‌ها و ماهیان در سراسر شالیزار پخش می‌شوند. گله اردک‌ها را می‌توان پس از برداشت برنج به داخل شالیزار هدایت نمود. اردک‌ها در طی آماده سازی زمین و همچنین مادامی‌که ماهی‌ها کمتر از ۳ هفته عمر دارند، به‌صورت محبوس نگهداری می‌گردند. میزان خسارت بر گیاه برنج بستگی به اندازه و تراکم

1. Organic farming system

2. Duck manure

اُردک‌ها و واریته برنج دارد. اُردک‌ها در طی محبوس بودن با غذاهای تکمیلی اداره می‌شوند. البته تغذیه تکمیلی ممکن است حتی در طی آزادسازی اُردک‌ها در شالیزار جهت رشد بهینه پرندگان مزبور ضرورت یابد (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). پرورش ماهی در شالیزارها دارای سابقه‌ای نسبتاً طولانی در جنوب شرقی آسیا است. ماهیان در این سیستم درون شالیزارها محبوس می‌گردند و به رشد تا مرحله برداشت برنج ادامه می‌دهند. چنین سیستم‌هایی از جمله روش‌های آکواکالچر^۱ محسوب می‌شوند. پرورش ماهیان در شالیزار را می‌توان با منابع رشد طبیعی نظیر آزولا و مدفوع اُردک‌ها که مستقیماً درون شالیزارها ریخته می‌شوند، تقویت نمود. مدفوع اُردک‌ها به‌عنوان کود آلی به افزایش پلانکتون‌ها می‌انجامد که غذای اصلی ماهیان پرورشی را تشکیل می‌دهند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). برای بارورسازی^۲ شالیزار از تخم‌های^۳ ماهیانی نظیر تیلایپای رود نیل با نام علمی اورئوچ‌نومیس نیلوتیگوس^۴ با تراکم زیاد استفاده می‌شود تا ماهیان کوچک‌تری پس از برداشت برنج صید گردند. اُردک‌ها ممکن است به‌عنوان عامل کنترل بیولوژیک در تکثیر تیلایپا محسوب شوند لذا نباید از همان ابتدا اجازه ورود به شالیزارها را بیابند. آزولا نه تنها می‌تواند به عنوان کود سبز عمل نماید بلکه بسان غذای ماهیان و اُردک‌های پرورشی نیز محسوب می‌گردد. آزولا غذایی ارزان برای پرورش ماهی تیلایپا در شالیزارها است زیرا به‌عنوان غذای مکمل داخل مزرعه‌ای^۵ به افزایش تولید ماهیان گیاه‌خوار و محصول برنج کمک می‌کند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). آزولا می‌تواند جایگزین بخشی از جیره غذایی^۶ مرغابی‌های وحشی^۷ نظیر دانه‌های برنج، حلزون‌ها و میگوها گردد آنچنانکه گاه تا ۲۰ درصد جیره روزانه آنها را تشکیل می‌دهد. تغذیه از

-
1. Aquaculture
 2. Prolific
 3. Spawners
 4. Oreochromis niloticus
 5. In Situ
 6. Ration
 7. Mallard duck

آژولا می‌تواند به تقویت^۱ و کیفیت رنگ^۲ زرده تخم ماکیان^۳ کمک نماید زیرا بررسی‌ها نشان دهنده مقدار کاروتن آژولا به میزان ۳۶۶ میلی گرم در هر کیلوگرم ماده خشک آن است (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج یک پژوهش در مورد سیستم تلفیقی برنج- آژولا-ماهی- اردک در دانشگاه لیوزان فیلیپین با همکاری دانشگاه لایواین بلژیک طی سال‌های ۹۶-۱۹۹۵ میلادی نشان داد که در این شیوه با بکارگیری نوعی آژولای هیبرید بر عملکرد برنج لاین IR64 و ماهی تیلپا نژاد G1FT اضافه می‌گردد. در این آزمایش ابتدا آژولا به عنوان کشت اصلی^۴ پرورش یافت سپس به عنوان کود آلی مورد نیاز شالیزار قبل از نشای برنج با خاک مخلوط شد. بدین طریق آژولا توانست ۵۰ درصد از نیاز زراعت برنج به کود نیتروژنه را برطرف سازد درحالی که باقی مانده نیاز کودی با کاربرد کودهای شیمیایی جبران گردید. در این آزمایش لایه‌ای از آژولا در ضمن دوره رشد برنج بر سطح آب توسعه یافت تا علاوه بر تأمین مواد غذایی ماهیان تیلپا و اردک‌ها بتواند از رشد علف‌های هرز بکاهد. در این بررسی از اردک‌های وحشی اهلی شده نژاد فیلیپینی با نام علمی آناس پلات راین چوس^۵ به تعداد ۴۰۰ قطعه در هکتار و شامل ۳۶۷ پرنده ماده^۶ و ۳۳ پرنده نر^۷ استفاده شد. ماهیان از نوع تیلپای رودخانه نیل انتخاب شدند. اردک‌ها حدود ۲۰-۱۵ روز پس از نشای برنج (بعد از وجین اول) به داخل شالیزار رانده شدند و حداقل برای یک ماه در آنجا نگهداری شدند. این نکته را باید بخاطر داشت که آزادسازی اردک‌ها بلافاصله پس از نشای برنج می‌تواند به محصول آسیب برساند. برای استراحت اردک‌ها نیز پناهگاهی با مواد ارزان قیمت محلی تدارک گردید تا در مواقع نیاز به تجمع آنها در آنجا اقدام شود (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). بچه

1. Intensified

2. Coloration

3. Egg yolk

4. Monocrop

5. *Anas platyrhynchos*

6. Duck

7. Drake

ماهی‌های تیلایپا با اندازه ۲۰-۱۰ گرم موسوم به انگشت قد^۱ به تعداد ۱۰ هزار قطعه در هر هکتار رهاسازی شدند. میزان عملکرد دانه برنج در شیوه سنتی برنج- ماهی حدود ۳ تن در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری با عملکرد ۲/۷ تن در هکتار سیستم تک کشتی برنج در سطح احتمال پنج درصد نداشت. تغییر شیوه تولید برنج از سیستم تک کشتی به سیستم برنج- ماهی و سپس برنج- ماهی- آزولا- اردک سبب افزایش عملکرد دانه برنج گردید به‌طوری‌که مقدار افزایش در شیوه برنج- ماهی- آزولا^۲ (RFA) به میزان ۳۳ درصد، در سیستم برنج- ماهی- اردک^۳ (RFD) به میزان ۲۵ درصد و در سیستم برنج- ماهی- آزولا- اردک^۴ (RFAD) به میزان ۵۸ درصد بوده است (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

در بین ۱۰ سیستم کاشت تلفیقی برنج در قاره آسیا فقط سیستم‌های RFAD و RAD دارای بیشترین مقدار محصول دانه یعنی چهار تن در هکتار بوده‌اند. افزایش محصول دانه‌ای برنج در سیستم RFAD به میزان ۱/۳ تن در هکتار بیش از سیستم سنتی ماهی- برنج و به میزان ۱/۶ تن در هکتار بیش از سیستم تک کشتی برنج بوده‌اند. سیستم برنج- ماهی- آزولا- اردک به بیشترین مقدار عملکرد ماهی تیلایپای رودخانه نیل در مقایسه با سیستم سنتی برنج- ماهی شد. عملکرد ماهی تیلایپا در سیستم ماهی- برنج حدود ۱۹۵ کیلوگرم در هکتار بود که اضافه شدن منفرد آزولا به افزایش ۳۳ درصدی و اضافه شدن منفرد اردک باعث افزایش ۹۰ درصدی گردید؛ درحالی‌که اضافه شدن مشترک آزولا و اردک به سیستم سنتی باعث افزایش ۱۲۰ درصدی گردید (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). ماهیان پرورشی پس از ۸۳ روز به ۸۰ گرم در سیستم RFAD رسیدند، درحالی‌که وزن ماهیان در سیستم RFD به ۷۰ گرم و در سیستم RFA به ۴۰ گرم رسید. کمترین میزان وزن ماهیان در سیستم سنتی برنج- ماهی به میزان ۳۲ گرم اندازه‌گیری شدند و لیکن در سیستم زراعت

1. Fingerling

2. Rice- Fish- Azolla

3. Rice- Fish- Duck

4. Rice- Fish- Azolla- Duck

برنج ارگانیک بدون کاربرد علف کش ها و سموم ضد نرم تنان^۱ به ۳۱ گرم رسیدند در حالیکه ماهیان کوچک با وزن کمتر از ۵۰ گرم ارزش بازاری کمتری دارند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

اصولاً سیستم های پرخوردار از آزو لا و مازاد غذای اُردک ها که غذای بیشتری در اختیار ماهیان پرورشی قرار می دهند، به عملکرد ماهی بیشتری نائل می گردند. بعلاوه تکثیر پلانکتون ها از طریق کودهای اُردکی تشدید می شود و این موضوع به افزایش رشد ماهی تیلپا کمک می کند. میزان تخم گذاری اُردک ها از ۳۵ درصد که میانگین سیستم پرورش سنتی در کشور فیلیپین است به ۶۰ درصد افزایش یافت و اندازه تخم ها به متوسط تا بزرگ تغییر یافت. زیرا تخم گذاری اُردک ها همواره به تغییرات آب و هوایی و شرایط تغذیه ای آنان بستگی دارد. مقدار تغذیه تکمیلی اُردک ها بر اساس شرایط از ۰-۳۰ درصد رژیم غذایی عادی تغییر داشت؛ لذا عمده غذای اُردک ها را گیاهان آبی، حلزون ها، دانه های برنج ریزش یافته، میگوها و سایر منابع مزرعه ای تشکیل می دادند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

حضور اُردک ها در شالیزار بر کنترل حلزون ها مؤثر است و بدین طریق از هزینه کنترل حلزون ها و تغذیه اُردک ها کاسته می شود. گله اُردک ها به تعداد ۴۰۰ قطعه در هکتار برای مدت ۳۰ روز قبل از نشاء کردن می تواند از تراکم حلزون های آبی بشدت بکاهد. تراکم حلزون ها در این بررسی به ۱-۱/۵ عدد در مترمربع با اندازه پوسته ۲ سانتی متر ضمن اولین و دومین دوره کاشت تلفیقی رسیدند. بر طبق نظرات برخی محققان، حلزون های بزرگتر از ۱/۵ سانتی متر در تراکم کمتر از ۲ عدد در مترمربع به معنی بروز خسارت زایی کم در شالیزارها می باشند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

حضور ماهی تیلپا هیچگونه تأثیری بر تراکم حلزون های طلایی سب^۲ نداشت؛ اما نشانه هایی از کاهش تراکم حلزون های درشت با پوسته ۲/۹-۲ سانتی متر مشاهده شد. پرورش آزو لا در شالیزارها دارای جاذبه های بیولوژیکی برای حلزون ها است. بنابراین نتایج پژوهش ها نشان می دهند که حضور

1. Molluscicide

2. Golden apple snail

برخی شکارچیان حلزون‌ها نظیر ماهی تیلاپیا و اردک‌های وحشی می‌توانند به کاهش تراکم حلزون‌ها در مرحله برداشت برنج منجر گردند. نتایج برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهند که کاربرد سموم ضد نرم تنان در کاهش تراکم حلزون‌های داخل شالیزارها و تالاب‌ها پس از ۹۰ روز مؤثر نبوده‌اند (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰). ماهی تیلاپیا به‌نحو معنی‌داری از تراکم گراس‌ها (گندمیان یا پوآسه) کاسته است؛ اما تأثیر چندانی بر فراوانی کلی علف‌های هرز نداشت، درحالی که حضور آژولا و اردک‌ها تأثیر بیشتری بر کنترل علف‌های هرز شالیزار نسبت به ماهی تیلاپیا داشتند. مهم‌ترین علف‌های هرز ویژه شالیزارها که در اثر حضور آژولا دچار کاهش گردیدند عبارتند از:

۱- سوروف ریشک کوتاه (*Echinochloa glabrescens*)

۲- اوپارسلام یک‌ساله (*Cyperus difformis*)

۳- علف ارزنی (*Fimbristylis miliaceae*)

۴- ورت آبی یا علف غاز (*Sphenoclea zeylanica*)

۵- سوروف ریشک بلند (*Echinochloa crus_galli*)

البته یکی از مهم‌ترین علف‌های هرزی که در اثر حضور اردک‌ها دچار کاهش گردید عبارت از سوروف بدون ریشک (*Echinochloa colona*) بود زیرا ساقه‌ها و برگ‌هایش با زاویه باز در نزدیکی سطح زمین رشد می‌یابند و بدین طریق در دسترس اردک‌ها قرار می‌گیرند. مهم‌ترین گیاهان تیره گندمیان که توسط ماهی تیلاپیا کنترل می‌شوند عبارتند از:

۱- سوروف ریشک کوتاه (*Echinochloa glabrescens*)

۲- سوروف بدون ریشک (*Echinochloa colona*) (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

هزینه تولید در سیستم تلفیقی کاشت برنج- تیلاپیا نسبت به سیستم سنتی تک کشتی^۱ برنج حدود ۲۸ درصد افزایش داشت درحالی که افزودن آژولا به سیستم سنتی به افزایش ۴۲-۲۲ درصدی

هزینه‌ها منتهی گردید. افزودن اُردک‌ها به سیستم سنتی به افزایش ۵-۴ برابری هزینه‌ها انجامید ولی اضافه کردن آزولا به آنها باعث افزایش ۶-۴ برابری هزینه‌ها شد. سیستم برنج-ماهی از سودمندی بیشتری در قیاس با تک کشتی برنج برخوردار بود. سیستم RA نسبت به سیستم‌های RAD، RFA و RFAD سودمندی بیشتری را نشان داد. سیستم‌های دارای برنج-اُردک به بالاترین سودمندی از طریق تلفیق سایرین با برنج منتهی شد (کاگوان و همکاران، ۲۰۰۰).

۵-۱-۳-۵- مکمل پروتئینی ارزان برای ماهی

غذا از عوامل اکولوژیکی مهم و تأثیرگذار در پویایی جمعیت ماهیان پرورشی است. پرورش ماهیان اصولاً نیازمند بکارگیری مکمل‌های پروتئینی می‌باشد. یکی از نیازهای ضروری در مدیریت موفقیت آمیز برنامه‌های پرورش ماهیان^۱ عبارت از درک جامع و عمیق تغذیه آنان می‌باشد. افزایش تقاضا و هزینه پروتئین‌های غذایی ضروری پرورش ماهیان از منابع سنتی در کشورهای در حال توسعه به کاربرد ترکیبات ارزان و قابل دسترس منطقه‌ای منتهی شده است. اخیراً بهره‌گیری از گیاهان آبی حائز ارزش غذایی به عنوان مکمل غذایی ماهیان در راستای تولید پروتئین حیوانی با کمترین هزینه رواج یافته است. پرورش ماهیان به‌طور نسبی نیازمند رژیم غذایی سرشار از پروتئین در قیاس با پرورش سایر دام‌های تجارتي است. البته مواد پروتئینی رژیم‌های غذایی غالباً گران می‌باشند و ضرورتاً باید مناسب‌ترین میزان مصرف آنها را در جیره‌های غذایی برای نیل به بالاترین میزان رشد و بقاء تعیین نمود (سیتارا و کامالونی، ۲۰۰۸).

بررسی‌ها نشان دهنده ترکیبات آزولا شرح زیر (جدول‌های ۵-۴ و ۵-۵) می‌باشند:

جدول ۵-۴- ترکیبات شیمیایی موجود در آژولا (آلالاده و ایایی، ۲۰۰۶).

% DM	Nutrient	مواد و عناصر غذایی
۲۱/۴	Crude protein	پروتئین خام
۱۲/۷	Crude fibre	فیبر خام
۲/۷	Ether extract	عصاره اتر
۱۶/۲	Ash	خاکستر
۴۷/۰	NFE- Nitrogen-free extract	نیتروژن آزاد قابل استخراج
	Cell wall fraction	مواد موجود در دیواره سلولی
۳۶/۸۸	Neutral detergent fibre	
۴۷/۰۸	Acid detergent fibre	
۱۰/۲۰	Hemicellulose	همی سلولز
۱۲/۷۶	Cellulose	سلولز
۲۸/۲۴	Lignin	لیگنین
	Minerals	عناصر معدنی
۱/۱۶	Calcium	کلسیم
۱/۲۹	Total phosphorus	فسفر کل
۱/۲۵	Potassium	پتاسیم
۰/۳۵	Magnesium	منیزیم
ppmDM	Trace minerals	عناصر کم مصرف
۱۷۴/۴۲	Manganese	منگنز
۸۷/۵۹	Zinc	روی
۱۶/۷۴	Copper	مس
۷۵۵	Iron	آهن
۲۳/۷۹	Sodium	سدیم

جدول ۵-۵- آمینواسیدهای موجود در آزولا (آلالاده و ایایی، ۲۰۰۶).

آمینو اسید	ماده خشک (%)	گرم در ۱۰۰ گرم پروتئین	ماده شیمیایی (%)
لیزین	۰/۹۸	۴/۵۸	۱۳۰/۹
متیونین	۰/۳۴	۱/۵۹	۴۵/۴
سیستین	۰/۱۸	۰/۸۴	۲۴
ترئونین	۰/۸۷	۴/۰۷	۱۱۶/۳
تریپتوفان	۰/۳۹	۱/۸۲	۵۲
آرژنین	۱/۱۵	۵/۳۷	۱۵۳/۴
ایزولوسین	۰/۹۳	۴/۳۵	۱۲۴/۳
لوسین	۱/۶۵	۷/۷۱	۲۲۰/۳
فنیل آلانین	۱/۰۱	۴/۷۲	۱۳۴/۹
تیروزین	۰/۶۸	۳/۱۸	۹۰/۹
گلیسین	۱/۰۰	۴/۶۰	۱۳۱/۴
سرین	۰/۹۰	۴/۲۱	۱۲۰/۳
والین	۱/۱۸	۵/۵۱	۱۵۷/۴

الگوی رشد ماهیان پرورشی متأثر از نوع و کیفیت تغذیه آنها می‌باشد. در یک آزمایش با کاربرد آزولا به عنوان مکمل پروتئینی در ترکیب جیره غذایی ماهیان پرورشی با نام علمی تالاپا موزامبیکا^۱ در طی یک دوره ۹۰ روزه اجرا شد و پارامترهای بیوشیمیایی و بیوانرژی ارزیابی گردیدند. نتایج نشان دادند که جیره آزمایشی دارای اثرات افزایشی معنی دار بر معیارهای تحقیق بوده است. بعلاوه استفاده از آزولا موجب کاهش هزینه‌های تولید و افزایش عناصر غذایی در جیره ماهیان شد (سیتارا و کامالاونی، ۲۰۰۸).

1. Tilapia mossambica

در آزمایش دیگری نیز شاخص‌های بیوانرژی^۱ نظیر:

۱- مقدار تغذیه^۲

۲- مقدار جذب^۳

۳- مقدار رشد^۴

برای دوره‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ روزه بررسی شدند. واکنش‌های رشد تیلاپیا در قیاس با نمونه‌های شاهد به میزان روزانه ۶۲/۵۰ تا ۷۳/۰۵ میلی گرم در گرم بوده است که به میزان ۹/۳۳- ۱/۸۶ درصد افزایش داشتند (سیتارا و کامالاونی، ۲۰۰۸).

مقدار تغذیه بستگی به ظرفیت معده^۵ و میزان تخلیه شکم^۶ حیوان دارد که این موضوع با ویژگی‌های طبیعی هر ارگانیزم ارتباط می‌یابد. مطالعات بیوشیمیایی که برای درک تغییرات سطوح پروتئین، کربوهیدرات و چربی در بافت کبد و ماهیچه‌ها بعد از تغذیه با آژولا انجام پذیرفت، نشان داد که تغییرات قابل تأملی در این بافت‌ها صورت گرفته است. مقدار پروتئین کبد ماهیانی که با آژولا تغذیه شدند از ۱/۴۵ به ۲/۶۵ میلی گرم در گرم وزن تر افزایش داشتند. همچنین مقدار پروتئین ماهیچه‌ای اینگونه ماهیان از ۱/۴۱ به ۲/۳۸ میلی گرم در گرم وزن تر افزایش یافت. چنین نتایج افزایش معنی‌داری در مقدار پروتئین بافت‌های مختلف ماهیان پرورشی آشکار ساخت که نسبت تبدیل در ماهیان تحت رژیم آژولا بسیار بالاتر بوده است (سیتارا و کامالاونی، ۲۰۰۸).

مقدار کربوهیدرات‌های کبد و ماهیچه ماهیان تحت رژیم آژولا از ۰/۹۰ به ۲/۳۰ و از ۰/۶۵۲ به ۷۶/۱ میلی گرم در گرم وزن تر بترتیب افزایش یافتند که چنین افزایشی مبین تحرک و کارآیی آمینواسیدهای گلیکوژنه^۶ برای شکل‌گیری کربوهیدرات‌ها در کبد و ماهیچه‌ها بوده‌اند. مقدار

1. Bioenergetic

2. Feeding rate

3. Absorption rate

4. Growth rate

5. Stomach

6. Gastric evacuation

6. Glycogenic

چربی در کبد و ماهیچه ماهیان تحت رژیم آژولا از ۰/۲۱۲ به ۰/۸۱۰ و از ۰/۲۹۲ به ۲/۰ میلی گرم در گرم وزن تر به ترتیب افزایش داشت. افزایش میزان چربی نشانگر کمتر شدن میزان جذب چربی‌ها به منظور بهره‌گیری در بافت‌ها بود. باید توجه داشت که ارزیابی پارامترهای بیولوژیک به عنوان یک ابزار تشخیص در تعیین ارزش تغذیه‌ای^۱ جهت پرورش ماهیان حائز اهمیت است. اطلاعات موجود در زمینه رژیم غذایی گیاهی برای ماهیان همه‌چیزخوار^۲ آشکار ساخت که رژیم غذایی منفرد قادر به تأمین مواد غذایی کافی برای رشد بهینه ماهیان پرورشی نیستند؛ لذا برای نیل به نتایج مطلوب‌تر باید از غذاهای مکمل بهره گرفت. مطالعات اخیر در زمینه تغذیه ماهیان همه چیزخوار و گیاه‌خواران^۳ یا فیتوفاگوس‌ها^۴ نظیر تیلپیا در سیستم‌های پرورش فشرده نشان دادند که کاربرد آژولا و برخی تولیدات جانبی کشاورزی مثل سبوس برنج و سبوس گندم در جیره غذایی ماهیان می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید بر کیفیت مواد تغذیه‌ای و قابلیت هضمی آنها بیفزاید و بر سودمندی فعالیت‌های کشاورزی اضافه سازد ((سیتارا و کامالاونی، ۲۰۰۸).

۵-۱-۵- آژولا به عنوان بخشی از جیره غذایی ماکیان

هزینه تغذیه جوجه‌ها در حدود ۶۵-۶۰ درصد کل هزینه‌های پرورش ماکیان را تشکیل می‌دهد. بدین ترتیب دستیابی به مواد غذایی دارای کیفیت با هزینه‌های قابل قبول می‌تواند رمز موفقیت فعالیت‌های مرغداری‌ها باشد. عاملی که باعث پایداری تولید و موفقیت در بازار رقابتی تولید ماکیان خواهد شد این است که از منابع غذایی باصرفه و غیر مرسوم جهت کاهش هزینه‌های تولید بهره گیرند. امروزه برنامه‌های سازمان خوار و بار جهانی (FAO) بر افزایش سیستم‌های تولید مواد غذایی ماکیان بر منابع قابل دسترس منطقه‌ای در کشورهای در حال توسعه متمرکز شده است. در این میان اساساً گیاهان تولید کننده پروتئین هزینه کمتری در قبال پروتئین‌های حیوانی طلب

1. Nutritive value
2. Omnivorous
3. Plantophagous
4. Phytophagous

می‌کنند آنچنان‌که سرخس آبری آزولا گونه آزولا پیناتا جزو ترکیبات غذایی غیر مرسوم ماکیان بشمار می‌آید (باساک و همکاران، ۲۰۰۲). در بسیاری دیگر از کشورها آزولا به‌عنوان غذای دام و طیور ماهی استفاده می‌شود (سابودهی و سینگ، ۱۹۷۸). آزولا به‌عنوان غذا در برخی کشورها از جمله چین مصرف می‌شود. از آزولا در سوپ‌ها، کوفته‌های گوشتی، املت‌ها، برگرها، به شکل پختنی و سرخ کردنی استفاده می‌شود، چون میزان پروتئین ماده خشک این گیاه در حدود ۲۰ درصد است که در مقایسه با سویا که ۳۰ - ۴۰ درصد است، بسیار مناسب می‌باشد (سینگ، ۱۹۸۹).

برخی نتایج تحقیقاتی (مائوریس، ۱۹۸۴) نشان داده است که افزودن مقادیر اندکی از گیاهان آبری به جیره غذایی ماکیان می‌تواند به نتایج بهتری بیانجامد. به‌ویژه اینکه دارای مقادیر قابل توجهی پروتئین و رنگ‌دانه‌ها برای افزایش کیفیت تخم مرغ‌ها هستند (باساک و همکاران، ۲۰۰۲). در یک آزمایش از ۱۲۰ قطعه نژاد تجاری مرغ ونکوب^۱ هفت روزه استفاده شد تا طی ۴۲ روز به امکان جایگزینی آزولا به‌عنوان بخشی از جیره غذایی اینگونه ماکیان پرداخته شود. جوجه‌ها بر سطح مملو از مواد پوششی پرورش یافتند و از نظر تغذیه، آبدهی، واکسیناسیون و تجویز دارو به‌خوبی مدیریت گردیدند. ماکیان مزبور به‌طور تصادفی در ۴ تیمار غذایی بشرح زیر دسته بندی شدند:

۱- گروه شاهد که فاقد آزولا در جیره غذایی بودند.

۲- گروه دوم با ۵ درصد بلغور آزولا

۳- گروه سوم با ۱۰ درصد بلغور آزولا

۴- گروه چهارم با ۱۵ درصد بلغور آزولا (باساک و همکاران، ۲۰۰۲).

در این آزمایش از بلغور آزولا بجای بلغور کنجد^۲ استفاده شد. ترکیب بلغور آزولا حاوی مواد زیر بر اساس ماده هوا-خشک بوده است:

1. Vencobb

2. Sesame meal

۱- پروتئین خام به میزان ۲۵/۷۸ درصد

۲- فیبر خام به میزان ۱۵/۷۱ درصد

۳- عصاره اتری^۱ یا چربی خام به میزان ۳/۴۷ درصد

۴- خاکستر به میزان ۱۵/۷۶ درصد

۵- عصاره عاری از نیتروژن به میزان ۳۰/۰۸ درصد (باساک و همکاران، ۲۰۰۲).

نهایتاً اینکه وزن زنده، مقدار کل تولید و کارایی پروتئین با جیره غذایی حاوی ۵ درصد بلغور آذولا با احتمال یک درصد به نحو معنی داری بهبود یافت. هزینه تولید کل (TK/kg) به ازای هر کیلوگرم ماکیان با جیره حاوی ۵ درصد بلغور آذولا با احتمال ۵ درصد کاهش داشت. درصد پوشش^۲ با جیره حاوی ۵ درصد آذولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید. درصد گیبلت^۳ با جیره حاوی ۱۵ درصد آذولا در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به سایر تیمارها افزایش یافت. این تحقیق نشان داد که قرار دادن آذولا تا میزان بیش از ۵ درصد در جیره غذایی طیور باعث بهبود پرورش آنها می گردد و کاملاً بی خطر است. بلغور آذولا هیچ گونه تأثیر زیان آوری بر ذائقه پسندی جیره غذایی مرسوم ماکیان نداشت. متوسط وزن بازاری جوجه ها طبق تیمارهای مزبور به ترتیب عبارت از ۱۵۷۹، ۱۶۳۷، ۱۴۶۲ و ۱۳۹۴ گرم گردید و بدین ترتیب مشخص شد که بیشترین وزن بدن در اثر تیمار ۵ درصد آذولا در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردیده است.

خلاصه نتایج تحقیق به صورت زیر بیان می شوند:

الف) آذولا منبع پروتئینی مناسبی است و از آن می توان به میزان ۵ درصد در جیره غذایی ماکیان بهره گرفت.

ب) آذولا هیچگونه مواد سمی ندارد و تأثیر نامطلوبی بر ذائقه پسندی جیره های مرسوم نمی گذارد.

پ) بلغور آذولا از ترکیبات غذایی غیر مرسوم برای پرورش ماکیان می باشد که به واسطه بهای

1. Ether extract

2. Dressing percentage

3. Giblet percentage

کمی که دارد می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های تولید گردد (باساک و همکاران، ۲۰۰۲).

۵-۱-۵-۵- تغذیه احشام

یکی از مهم‌ترین مسائل یک دامداری، چگونگی تأمین خوراک دام‌هاست. چون خوراک دام یک ماده حیاتی است که باید به‌صورت دائمی (روزانه و به‌موقع) در اختیار دام قرار گیرد. بنابراین تأمین غذای دام به‌عنوان یک اصل مهم اهمیت زیادی دارد. یک دامدار باید برای تأمین غذای سالیانه دام و جلوگیری از خطر کمبود غذای دام یا افزایش هزینه آن در فصل تابستان با جمع‌آوری علوفه یا سیلو کردن، توشه زمستانه را برای دام‌ها مهیا کند.

در این کتاب ضمن معرفی آزولا، چگونگی و راه‌های عمل‌آوری و استفاده از این گیاه توضیحاتی ارائه می‌گردد. این در حالی است که علف تولیدی از گیاه آزولا دارای ارزش غذایی قابل توجهی بوده (باکینگ‌هام و همکاران، ۱۹۷۸) که می‌توان از آن در تغذیه دام‌ها استفاده نمود. بنابراین با برداشت به‌موقع آزولا از سطح تالاب و نیز دیگر آبگیرها ضمن کمک به تأمین بخشی از نیازهای غذایی دام‌های منطقه، مشکلات زیست‌محیطی را نیز می‌توان برطرف نمود (کیهان، ۱۳۷۰؛ کیمیاگر، ۱۳۷۲؛ گروه تغذیه دام معاونت دامپروری سازمان جهاد سازندگی گیلان، ۱۳۷۲). آزولا می‌تواند به‌صورت تازه، خشک و یا سیلو شده در تغذیه دام مصرف شود (برادران نویری، ۱۳۷۰؛ هاشمی، ۱۳۷۰). تحقیقات انجام شده درباره مواد مغذی آزولا نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف آن ارزش‌های متفاوتی دارند. حتی در یک گونه، تحت شرایط مختلف کشت، ممکن است غلظت مواد مغذی متفاوت باشد؛ ولی با وجود اختلاف بین گونه‌ها و یا داخل یک گونه، این گیاه از جنبه مواد مغذی، با ارزش و قابل توجه بوده به نحوی که قادر است با بسیاری از مواد خوراکی رایج در تغذیه دام رقابت کند (برادران نویری، ۱۳۷۰؛ هاشمی، ۱۳۷۰). نشخوارکنندگان با توجه به وضعیت خاص دستگاه گوارشی می‌توانند در زمره بهترین استفاده‌کنندگان این سرخس آبرزی محسوب شده و آن را با بازده مناسب به‌عنوان یک مکمل پروتئینی مصرف نمایند (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).

آزولا به طور سنتی در آسیا و قسمت‌هایی از آفریقا به صورت تازه و خشک و یا تخمیر شده به مصرف خوراک دام می‌رسد. آزولا براساس وزن تر حدود ۱۳ درصد و براساس وزن خشک در حدود ۲۴-۱۲ درصد یا بیشتر پروتئین خام می‌باشد. میزان پروتئین و چربی آزولا از بسیاری از سایر علوفه‌های دیگر بیشتر می‌باشد، حال آنکه میزان سلولز آن خیلی کمتر است که باعث بالا بودن کیفیت آن به عنوان علوفه دام می‌باشد (جدول ۵-۶).

جدول ۵-۶- ترکیبات شیمیایی آزولا (براساس ماده خشک) (مهدی‌زاده تکلمی و همکاران، ۱۳۷۶)

نوع آزولا	انرژی خام (کیلوکالری در کیلوگرم)	ماده خشک	پروتئین خام	الیاف خام	چربی خام (درصد)	خاکستر	کلسیم	فسفر
تازه	۳۹۴۹	۸۸/۸۱	۱۷/۶۷	۲۱/۵	۲/۴۹	۳۰	۳/۲	۰/۱۷
انبار شده	۳۵۳۲	۸۸/۶۵	۱۴/۱۲	۳۱/۳۲	۲/۴۱	۳۳	۱/۵	۰/۱۳

هرهکتار آزولا می‌تواند روزانه ۱ تا ۲ تن علوفه تازه برابر با ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم پروتئین خام در هر روز تأمین نماید. در تولید آزولا به عنوان غذای دام نکات مثبتی وجود دارد از جمله:

- ۱- آزولا دارای یک ترکیب نسبتاً غنی از مواد غذایی می‌باشد.
- ۲- آزولا می‌تواند در سطح آب‌بندان‌های طبیعی کشت شده و در نتیجه نیاز به اراضی کشاورزی ندارد.
- ۳- آزولا می‌تواند به صورت تازه به مصرف دام برسد.
- ۴- به خاطر اندازه مناسب آن نیاز به آسیاب کردن، خرد کردن و یا اعمال دیگر ندارد.
- ۵- آزولا می‌تواند در قسمت اعظم سال به عنوان یک منبع غذایی قابل دسترس محسوب شده ولذا به تعادل در تأمین علوفه در زمان‌های مختلف کمک می‌کند.
- ۶- آزولا خیلی سریع‌الرشد بوده و عملکرد بالایی دارد.

۵-۱-۵-۶- سیلو کردن آژولا

در دامداری‌های ایران معمولاً نیاز غذایی دام را کنسانتره و دیگر علوفه‌ها تشکیل می‌دهند. در استان گیلان باتوجه به شرایط جغرافیایی منطقه، انواع علوفه‌هایی را که به دام‌های شیری یا گوشتی می‌دهند عبارت از کاه گندم، کاه جو، سیلوی ذرت، ذرت علوفه‌ای، علف باغات، پَس چَر مزارع، برگ درختان، یونجه، شبدر و کاه برنج می‌باشند که در این میان کاه برنج بیشترین مواد در تغذیه دام‌ها را تشکیل می‌دهد. با این حال جمعیت دامی استان آنقدر زیاد است که انواع علوفه گفته شده نمی‌توانند نیاز غذایی دام‌های منطقه گیلان را تأمین کنند. بنابراین برای تأمین خوراک دام می‌توان از سایر منابع موجود استفاده کرد که یکی از این منابع مهم گیاه آژولا است (متقی طلب، ۱۳۶۹، نیکخواه و متقی طلب، ۱۳۷۱).

در پرورش حیوانات اهلی آماده داشتن خوراک در همه فصول و تحت هر شرایطی امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر به این نکته واقف هستیم که تولید محصولات زراعی با شرایط طبیعی فقط در ایام خاص از سال امکان‌پذیر می‌باشد. با توجه به این دو عامل ذکر شده لازم است که علوفه و مواد خوراکی به‌دست آمده در فصول مناسب نگهداری شده تا در موقع لزوم مورد استفاده قرار گیرد که سیلو کردن از جمله روش‌های مناسب در این راستا می‌باشد. اگرچه سیلو کردن به‌عنوان راهی مناسب برای نگهداری علوفه معرفی می‌گردد؛ اما باید در نظر داشته باشیم که رعایت اصول و ضوابطی در این عمل ضروری است که مناسب بودن ترکیبات علوفه مورد مصرف از نظر میزان پروتئین، انرژی و املاح مصرفی از جمله آنها می‌باشد.

دانشکده کشاورزی دانشگاه فیلیپین در ایالت لوس بانیوس طی یک نشریه با عنوان سیلوی آژولا برای خوراک خوک‌های در حال رشد، دو روش را برای سیلو کردن آژولا پیشنهاد نموده که به شرح زیر می‌باشد (متقی طلب، ۱۳۶۹):

۱- مخلوط کردن ۷۰ درصد آژولای تازه برداشت شده با ۳۰ درصد ذرت یا سبوس برنج و سیلو

کردن آنها.

۲- تهیه سیلو با ترکیبی از ۷۰ درصد آژولای تازه، ۲۵ درصد سبوس برنج و ذرت و ۵ درصد ملاس چغندر قند.

دستورالعمل تهیه شده در هر دو مورد به این ترتیب است که پس از برداشت از مزرعه، ابتدا باید آژولا را در یک سطح باز که دارای دو طبقه باشد به نحوی پهن نمود که آب آن به مدت ۴۸ ساعت خارج گردد. پس از اتمام این مدت زمان میزان رطوبت آژولا از ۹۵ درصد به حدود ۷۰-۶۵ درصد می‌رسد که در این حالت می‌توان با استفاده از هریک از دو روش بالا به تهیه سیلو اقدام نمود.

در دستورالعمل مورد اشاره توصیه شده بود که باید مواد تهیه شده مورد نظر را داخل بشکه‌های ۲۲۰ لیتری به نحوی وارد نمود که پس از هر سطل آژولا تا حد امکان هوای آن را خارج نموده و راه کلی به این گونه ارائه گردید که در هر بشکه در روش اول $\frac{4}{5}$ گالن ذرت و در روش دوم در هر بشکه ۴ گالن ذرت و $\frac{1}{3}$ ملاس وارد و پس از اطمینان از پر کردن بشکه و خارج کردن هوا، روی آن را با دو لایه پلاستیک کاملاً پوشانده و اطراف آن را با چسب یا هر وسیله مناسب دیگر کاملاً مسدود نمود. جهت انجام شدن سیلو و انجام مراحل تخمیر باید مخلوط با همان وضعیت حداقل برای مدت یک هفته باقی بماند. پس از طی این زمان سیلو آماده بوده و می‌توان از آن جهت مصرف با رعایت شرایط مربوطه برای جبران مورد استفاده نمود.

۵-۱-۶- آژولا به عنوان منبع غذایی برای انسان

آژولا می‌تواند منبع غذایی خوبی برای تغذیه انسان در نظر گرفته شود. تغذیه با آژولا هیچگونه ناراحتی گوارشی و مسمومیتی برای انسان ایجاد نکرده است و هم اکنون در تعدادی از رستوران‌های چین و هند به مشتریان عرضه می‌شود. آژولا می‌تواند به صورت سبزی تازه، سالاد، کُنتلت آژولا، آژولای سرخ کرده و به صورت‌های دیگر برای تغذیه انسان استفاده شود. در تجزیه

شیمیایی آژولا هیچگونه اثری از سرب، جیوه، آرسنیک و سایر مواد مشاهده نشده است. آژولا دارای ویتامین‌های B کاروتن، A، B و پروویتامین A می‌باشد، ولی اسکوربیک اسید آن کم است. میزان کاروتن آژولا بیش از هویج می‌باشد (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ متقی‌طلب، ۱۳۶۹؛ قجاوند، ۱۳۷۵). آنالیز آژولا از نظر اسیدهای آمینه نشان می‌دهد که از نظر وجود اسیدهای آمینه لیزین، متیونین و هیستامین احتمالاً با محدودیت‌هایی مواجه هستند گوا اینکه میزان پروتئین وزن خشک آژولا بالاتر از ۱۳ درصد می‌باشد. تاکنون هیچ یک از بازدارنده‌های رشد و یا مواد سمی در آزمایشاتی که بر روی موش‌ها صورت پذیرفته است، اثبات نگردیده‌اند. البته گروهی از محققان عنوان می‌کنند که آژولا ممکن است حاوی ماده بتا متیل آمینو آل آلانین یا BMAA^۱ باشد که می‌تواند موجب بروز عارضه دژنره شدن سلول‌های عصبی^۲ در برخی از مصرف کنندگان از جمله انسان گردد (فرننینوس و همکاران، ۲۰۰۲؛ توتال، ۲۰۱۱؛ ویکیپدیا، ۲۰۱۵؛ کابی، ۲۰۱۹).

۵-۱-۷- جایگزین سموم ضد لارو پشه

یکی از فواید آژولا علاوه بر استفاده به عنوان کود زیستی در شالیزارهای غرقابی این است که می‌تواند برای کنترل لاروهای پشه^۳ در مزارع برنج بکار گرفته شود (هیو و همکاران، ۱۹۸۹؛ اسماعیلی و همکاران، ۲۰۰۷؛ بایجی و همکاران، ۲۰۱۳؛ رضوی‌پور و همکاران، ۲۰۱۸). در این حالت آژولا به صورت لایه‌ای ضخیم بر سطح آب رشد می‌کند و دسترسی لاروهای پشه‌ها را به سطح آب جهت تنفس با دشواری همراه می‌سازد و به آنها شوک وارد می‌نماید (ویکیپدیا، ۲۰۱۵). آژولا با پوشش متراکم خود مانع خروج پشه از سطح آب گردیده و به همین دلیل این گیاه می‌تواند در کنترل حشرات آبی ناقل بیماری‌های خطرناک مثل پشه آنوفل نقش بسیار مهمی را بازی کند (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ خدابنده، ۱۳۷۱؛ متقی‌طلب و نیکخواه، ۱۳۷۱؛ قجاوند، ۱۳۷۵).

1. Beta-methyl amino-L-alanine
2. Neurodegenerative
3. Larvicide

۵-۱-۸- جهت کاوش‌های اقلیم‌شناسی

مطالعات اقلیم‌شناسی باستانی قطب‌ها مبین آن هستند که آزولا ممکن است نقش بارزی در کاهش اثرات گلخانه‌ای دنیای قدیم داشته باشد که در ۵۵ میلیون سال پیش در منطقه قطب شمال وقوع یافته و موجب گرم شدن زمین گردیده است. یک پژوهش که توسط مؤسسه بیولوژی محیطی دانشگاه اوتریخت انجام پذیرفت، نشان داد که توده‌های آزولای رشد یافته در آب‌های شیرین قطبی موجب جذب CO_2 اتمسفر می‌شوند و بدین طریق اثرات گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند. این موضوع در میلیون‌ها سال قبل باعث شکل‌گیری توده‌های یخ در قاره قطب جنوب گردیده و دوره جدیدی از یخبندان را در قطبین آغاز نمود که همچنان ادامه دارد. این تئوری تماماً مبتنی بر آثار باستان‌شناسی برجا مانده از گیاه آزولا می‌باشد (ویکیپدیا، ۲۰۱۵).

۵-۱-۹- سایر مصارف آزولا

آزولا می‌تواند در تولید سوخت‌های گیاهی مورد استفاده قرار گیرد (صالح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴؛ صالح‌زاده و نائمی، ۲۰۱۷). امروزه نوعی روغن هیدرولیک ترکیبی با نام Azolla ZS68 از گیاه آزولا حاصل می‌گردد. این روغن به رنگ زرد است و نقطه شعله‌وری^۱ حدود ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد معادل ۴۱۰ درجه فارنهایت دارد. درجه دانسیته این روغن در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد معادل ۸۸۵ کیلوگرم در مترمکعب است. همچنین ویسکوزیته آن در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۶۸ میلی‌مترمربع در ثانیه می‌باشد. این روغن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به حالت مایع در می‌آید (توتال، ۲۰۱۱). همچنین از آزولا در داروسازی، جهت ساخت داروهای آنتی‌بیوتیک استفاده نیز می‌شود (قره‌یاضی، ۱۳۶۸؛ قجاوند، ۱۳۷۵) و به‌عنوان گیاهی زینتی در پارک‌ها و آب‌بندها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (قجاوند، ۱۳۷۵).

1. Flash point

۵-۲- معايب آژولا

با توجه به مطالب ذکر شده، آژولا می‌تواند از جهات متفاوتی مورد استفاده قرار گیرد و به عنوان گونه‌ای مفید در نظر گرفته شود با این وجود باید این نکته مهم را مد نظر قرار داد که سرخس آبری آژولا *Azolla spp.* یکی از گونه‌های مهاجم محسوب می‌شود و برخی از گونه‌های این سرخس آبری از سوی پایگاه اطلاعاتی گونه‌های مهاجم در دنیا (ISC) به عنوان گونه‌های مهاجم درجه یک شناخته شده‌اند. در ایران نیز آژولا پس از ورد در طی چند دهه گذشته مشکلات متعددی را در زیستگاه‌های آبی شمال کشور ایجاد کرد. در ادامه برخی از مضرات آژولا عنوان خواهد شد:

۵-۲-۱- آژولا به عنوان یک گیاه مهاجم

سرخس آبری آژولا گاهی به عنوان یک علف هرز مهاجم و مهلك مطرح می‌گردد. آژولا توانایی قابل توجهی در تکثیر دارد، به‌طوری‌که برگ‌شاخه‌هایش سریعاً رشد کرده و طویل می‌شوند تا اینکه سرانجام از طریق تقسیم شدن به تولید گیاهان جدید مبادرت می‌ورزند. لایه‌ای که در اثر رشد آژولا موسوم به فرشینه^۱ بر سطح آب شکل می‌گیرد تا ضخامت ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد و می‌تواند آن‌را در شرایط آب و هوایی گرم در طی ۴-۵ ماه به دو برابر برساند. این لایه باعث اثرات زیر در سطح آب می‌گردد:

- ۱- مانع رسیدن نور خورشید به بخش‌های زیرین می‌شود و بدین طریق رشد گیاهان هرز و غیرهرز آبری را متوقف می‌سازد.
- ۲- موجب کاهش اکسیژن محلول در آب می‌شود و در نتیجه مرگ ماهیان و بی‌مهرگان آبری را به همراه دارد.

۳- می‌تواند از کارکرد صحیح سازه‌های آبی در برابر سیلاب‌ها جلوگیری نماید و پمپ‌های

آبیاری را دچار مشکل سازد.

۴- با پوشاندن سطح آب بندان‌ها می‌تواند باعث افتادن بچه‌ها و دام‌ها و نهایتاً مرگ آنها شود (کابی، ۲۰۱۴).

آژولا می‌تواند از باغ‌های مزارع و اراضی پرورشی خود خارج شده و در محیط اطراف پراکنده گردد و بدین طریق به معضلی در تالاب‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، کانال‌ها و مناطق حفاظت شده تبدیل شود. اخیراً با وجود هشدارهایی که در جهت تبدیل شدن آژولا به یک علف هرز انجام می‌گیرد، لیکن همچنان به پرورش آن در مزارع دارای آب انگلستان اقدام می‌ورزند. این موضوع تا به آنجا ادامه یافته است که در سال ۲۰۱۴ میلادی اقدام به وضع قانون منع فروش آژولا و ۴ گیاه آبی دیگر توسط مجلس قانون‌گذاری انگلستان شده است.

در ایران نیز پوشش یکپارچه‌ای که به دلیل رشد و تکثیر سریع این گیاه در تالاب‌ها ایجاد شد با افزایش درجه سمیت و اسیدی نمودن مناطق آبی شرایطی را ایجاد کرد که منجر به مرگ ماهیان و موجودات دیگر این محدوده می‌شود. علاوه بر این به علت گسترش این گیاه بسیاری از گونه‌های گیاهی آبی با ارزش شناور و غوطه‌ور مانند عدسک آبی (*Lemna spp.*)، اسپرودلا (*Spirodela*) spp. و لاله تالابی (*Nelumbo spp.*) در زیستگاه‌های آبی گیلان و مازندران تحت فشار قرار گرفته‌اند (پاداشت و همکاران، ۱۳۹۴).

از سوی دیگر با توجه به گستردگی و رشد بسیار زیاد آژولا، این گیاه در برخی از مزارع برنج نیز به عنوان علف هرز درجه یک مطرح شد است، به‌طوری‌که در شالیزارهایی که در آنها شرایط از نظر عمق آب فراهم بوده و از نظر ترکیب خاک غنی از فسفر بودند، آژولا به سرعت رشد و تکثیر پیدا کرده و در زمان انتقال نشاء، پوشش متراکم آن روی سطح آب سبب خمیدگی و غوطه‌ور کردن نشاءها به داخل آب شده و شالیکاران مجبور به واکاری مزرعه می‌شوند و در شرایط آلودگی شدید عملیات واکاری نشاء تا سه مرتبه تکرار می‌شود (محمد شریفی، ۱۳۸۰؛ پاداشت و همکاران،

گونه *A. filiculoides* به عنوان یک گونه گیاهی مهاجم دارای اثرات منفی زیست محیطی و با تنوع زیاد در اکوسیستم های آبی است. گونه مذکور که شباهت زیادی به خزه ها دارد از برگ هایی به رنگ سبز درخشان با حواشی قرمز روشن برخوردار است که با فرارسیدن فصل سرما و یا مواجهه با تنش ها به رنگ قرمز کثیف^۱ در می آید. آژولا شامل ساقه های منشعب با برگ های متصل به هم است که به میزان ۱/۵-۱ میلی متر بر همدیگر هم پوشانی دارند؛ لذا بدین طریق ساقه ها را پنهان می سازند. بخش تحتانی آژولا نسبتاً بزرگتر است؛ اما هیچگونه هم پوشانی در آن بوجود نمی آید و بنابراین ساقه گیاه کاملاً مشهود و آشکار است.

تولید اسپور حاصل مواجهه آژولا با شرایط تنش از جمله تشکیل شدن لایه متراکم و ضخیم بر سطح آب می باشد زیرا بدین طریق از امکان تولید غیر جنسی گیاه به شدت کاسته می گردد. اسپورهای تولیدی بلافاصله به داخل آب رها می گردند، لذا برداشت آژولا پس از این زمان نمی تواند به کنترل این سرخس آبی منجر گردد. حرکت آزاد آژولا باعث می شود که در بخش هایی از اراضی، استخرها و تالاب ها در اثر وزش باد تجمع یابند و لایه های ضخیم تری را به وجود آورند. آژولا می تواند بر سطح آب های آرام با اعماق مختلف رشد کند ولیکن تحمل امواج و آشفستگی ها را ندارد. لذا در آب های جاری به سرعت از هم پاشیده و پراکنده می شود مگر اینکه توسط آب بندها و توری ها نگه داری شود.

۵-۲-۲- کاهش سرعت جریان آب

علف هرز شناور آزاد^۲ آژولا باعث می شود که از سرعت آب در کانال ها کاسته گردد تا جاییکه گاه ها به راکد شدن آبها می انجامد. آژولا می تواند موجب معضلاتی در سیستم زهکشی اراضی شود زیرا مقاومت بسیار کمی در برابر جریان یافتن و شسته شدن دارد. از این نظر مانند سایر گونه های

1. Rusty red

2. Free-floating

مهاجم آبرزی در شبکه‌های آبرسانی وجود آژولا به عنوان یک عامل مخرب در نظر گرفته می‌شود

۵-۲-۳- تخریب زیستگاه‌های آبی توسط آژولا

هر اکوسیستم حاصل تجربه میلیون‌ها عملکرد طبیعت است. هر گونه گیاهی و یا جانوری رقیب و دشمنانی دارد که در واقع کنترل کننده جمعیت آن گونه هستند و از سوی دیگر خود گونه هم در برابر دیگر گونه‌ها همین وضعیت را دارد (رستگار، ۱۳۷۸). آژولا گونه غیر بومی است که از کشور فیلیپین به ایران آورده شده است و گونه‌ای غیر متعارفی است که اکوسیستم منطقه هیچگونه آشنایی با آن را نداشت و در واقع یک گونه وارداتی بدون رقیب و شرایط زیستی بسیار مناسب بود. وجود شرایط اقلیمی مناسب منطقه باعث شد که آژولا شتابان رو به تکثیر گذاشت. آژولا دارای خصوصیتی منحصر به فرد بوده، به طوری که توانایی سازگاری آن با محیط بسیار اعجاب‌آور است و به راحتی با سرعت زیاد با هر محیطی مأنوس می‌شود. ریشه‌های آویزان و معلق در آب این گیاه، به راحتی این امکان را به آن می‌دهد که تغییر مکان داده و با جریان آب به سهولت جا به جا شود که یکی از علل پراکندگی سریع آن نیز همین موضوع است (www.iran-newspaper.com). آژولا به مجرد ثابت شدن در یک مکان شروع به تکثیر می‌کند و ظرف مدت کوتاهی، تمام سطح آب را می‌پوشاند، به طوری که هیچ روزه‌ای برای ورود نور خورشید به درون آب وجود نخواهد داشت. ریشه‌های معلق آژولا تمام و یا اکثر املاح آب را جذب و صرف رشد و تکثیر خود می‌کند. طبیعی است وقتی نور به درون آب نفوذ نکند و مواد مغذی هم که نباشد (یا کم باشد) از رشد گیاهان آبرزی دیگر مثل فیتوپلانکتون‌ها و دیگر گیاهان و جانوران آبرزی خبری نیست. به طور خلاصه می‌توان گفت فرآیند کشت و نمو آژولا زمانی صورت مشکل به خود گرفت که این سرخس کوچک به تدریج از راه رودخانه‌ها و کانال‌های آبیاری به قسمت‌های مختلفی از منطقه گسترش داده است (www.hamshahri.net). سرعت رشد آژولا به حدی است که یک توده کوچک آن در عرض ۳ تا ۵ روز به دو برابر افزایش می‌یابد و به این ترتیب آژولا موفق شد در

مدت زمان اندکی پوشش یکپارچه‌ای را بر روی منابع آبی مناطق مورد تهاجم خود تشکیل دهد و زیست‌بوم این مناطق را دستخوش دگرگونی‌های قابل ملاحظه‌ای نماید. توده متراکم آژولا با کاهش دادن نفوذ نور خورشید در آب به شکل محسوسی درجه حرارت آب را کاهش می‌دهد. این کاهش در مورد اکسیژن محلول و مواد غذایی معلق در آب نیز مشاهده می‌گردد. همچنین پوشش یکپارچه آژولا با افزایش درجه سمیت و اسیدی نمودن مناطق آبی موجودات مرگ ماهیان و ارگانسیم‌های دیگر این محدوده را باعث شده است و در عوض سیستم‌های غیر هوازی شروع به فعالیت کرده و تالاب یا برکه را تدریجاً به سیاه‌چاله‌های بدبو و غیر قابل زیست تبدیل کرده است. هم‌اکنون ۹۰ درصد تالاب انزلی از گیاهان آبی پوشیده شده و سالانه میلیون‌ها ماهی و بچه ماهی در این تالاب تلف می‌شوند. در حال حاضر بخش شرقی و میانی تالاب ارزش شیلاتی خود را از دست داده است. از هفت گونه آژولای شناخته شده، دو گونه نسبت به آب و هوایی ایران سازگاری نشان داده‌اند و با تولید اسپور فراوان که دیگر از بین رفتنی نیستند، موجبات تکثیر و گسترش سریع این گونه را فراهم آورده است (نیکخواه و متقی‌طلب، ۱۳۷۱).

۵-۲-۴- سایر معایب آژولا

ایجاد لایه‌ای ضخیم از آژولا بر سطح آب باعث بروز خطراتی برای کودکان، دام‌های اهلی و حیوانات خانگی می‌شود زیرا ممکن است بدون اطلاع از عمق آب به قدم زدن بر سطح لایه ضخیم آژولا تمایل یابند (چه، ۲۰۰۴).

۵-۳- برداشت آژولا

در کشور ما روش برداشت فعلی در مزرعه این است که ابتدا حلقه یا کلاف مربع شکلی از میله گرد یا چوب ساخته و اطراف آن بجز دهانه را با توری می‌پوشانند و برای اجتناب از خم شدن دائمی شخص جمع‌آوری‌کننده، دسته‌ای نیز روی حلقه یا کلاف نصب می‌کنند تا از خستگی و ناراحتی

فرد تا حد امکان جلوگیری شود. راه حل دیگر این است که با یک قطعه تخته یا چوب پهن که قابلیت قرارگرفتن در روی آب را داشته باشد، آزولای موجود در سطح آب را به گوشه‌ای از مزرعه هدایت و پس از جمع‌آوری کامل آن با وسایل در دسترس به مناطق و محل‌های مورد استفاده منتقل می‌کنند (شکل ۵-۵) (متقی‌طلب، ۱۳۶۹).



شکل ۵-۵- روش جمع‌آوری آزولا (رضوی‌پور، ۱۳۷۸)

۶-۱- ضرورت مدیریت صحیح آژولا در ایران

در فصل‌های قبل عنوان شد که آژولا بومی ایران نیست و پیشینه حضور آن در ایران به حدود چهار دهه گذشته باز می‌گردد که برای اولین بار به عنوان عامل تثبیت نیتروژن در شالیزارها به ایران آورده شد. با توجه به اینکه شرایط محیطی نواحی شمالی ایران برای رشد و تکثیر این سرخس آبی بسیار مناسب بود، این گیاه در زیستگاه‌های طبیعی به سرعت تکثیر یافت و به دلیل عدم مدیریت صحیح پس از حدود چهار دهه به گونه‌ای مهاجم در منطقه تبدیل شد که اکوسیستم‌های آبی شمال کشور از جمله تالاب انزلی و امیرکلايه را مورد تهاجم قرار داده است (دلنواز و عظیمی، ۲۰۰۹؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۲ a & b؛ ۲۰۱۳ a & b؛ فرچپور و همکاران، ۲۰۱۶a). استفاده از سرخرطومی آبی *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Coleoptera: Eirrhinidae) به عنوان عامل کنترل بیولوژیک، موفق‌ترین روش کنترل آژولا در دنیا می‌باشد که کارآیی بسیار چشم‌گیری داشته و به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد (هیل، ۱۹۹۸؛ مک‌کوناچی و همکاران، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴؛ مک‌کوناچی، ۲۰۰۴؛ پمبرتون و بودله، ۲۰۰۹؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴؛ هیل و کوئنتزی، ۲۰۱۷). با این وجود در ایران روش‌های مکانیکی، زراعی و شیمیایی برای کنترل آژولا مورد استفاده قرار گرفته و هنوز هیچ روش کنترل اختصاصی برای از بین بردن و یا کاهش این سرخس آبی در تالاب‌ها و شالیزارهای ایران مورد استفاده قرار نمی‌گیرد (پاداشت و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به اینکه آژولا به عنوان یک گونه مهاجم در دنیا شناخته می‌شود، در مدیریت صحیح این گیاه ضرورت دارد تا شیوه‌های مدیریت گونه‌های مهاجم به‌طور دقیق مورد استفاده قرار گیرند و مبانی این شیوه‌های مدیریتی به‌خوبی برای افراد مرتبط تشریح شوند. در مدیریت صحیح گونه‌های مهاجم داشتن اطلاعات کافی در مورد عوامل زنده و غیر زنده مؤثر بر گونه مهاجم بسیار حایز اهمیت است. در فصول قبل عوامل غیر زنده مؤثر بر رشد گیاه به‌طور کامل تشریح شد. با توجه به

این که تاکنون بررسی‌های متعددی به منظور یافتن عوامل زنده مؤثر روی آژولا در دنیا و ایران انجام شده و طی این بررسی‌ها تمامی حشرات فعال روی آژولا شناسایی شده‌اند، در این فصل پس از ارایه توضیحات مختصری در مورد روش‌های مبارزه با آژولا، گونه‌های زنده فعال روی آژولا معرفی شده و توضیحاتی در مورد گونه‌های فعال در ایران ارایه می‌شود. سپس شیوه‌های مدیریت آژولا در زیستگاه‌های آبی با استناد به توضیحات ارایه شده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۶-۲- روش‌های مبارزه با آژولا در دنیا و ایران

با توجه به مشکلات مربوط به تهاجم آژولا به زیستگاه‌های آبی در دنیا روش‌های متعددی برای کنترل آژولا مورد آزمایش قرار گرفته است و برخی از این روش‌ها به عنوان روش‌های مدیریت آژولا در مزارع یا سطوح کوچک امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی از مناطق از آژولا برای تغذیه دام و طیور استفاده می‌شود (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۲).

همچنین بررسی‌ها نشان داده که آژولا غذای ترجیحی برخی از ماهی‌های گیاهخوار محسوب می‌شود (ادواردز، ۱۹۷۴). جمع‌آوری آژولا با تورهای مخصوص یکی دیگر از روش‌های کنترل این سرخس آبی در دنیا محسوب می‌شود (هیل، ۱۹۹۷). علاوه بر این برخی از بررسی‌ها نشان داده‌اند که گونه *A. filiculoides* به شوک‌های فیزیکی مانند ضربه حساس بوده و به راحتی شکسته می‌شود و این قطعات شکسته شده به شدت در مقابل نور حساس هستند. به این ترتیب وجود نور کافی به دنبال ایجاد استرس فیزیکی مناسب که سبب شکسته شدن لایه پوشاننده شود، می‌تواند در کنترل این گونه مؤثر باشد (آشتون، ۱۹۹۲). با این وجود استفاده از اغلب روش‌های مکانیکی اشاره شده در بالا مستلزم صرف هزینه‌های بالایی است که سبب می‌شود این روش‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشند. همچنین با توجه به سرعت تکثیر آژولا که در شرایط مناسب سبب می‌شود حجم گیاه در مدت ۴-۵ روز دو برابر شود، لایه پاکسازی شده در مدت کوتاهی جایگزین می‌شود (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۲) و اسپورهای باقی مانده در محیط سبب می‌شود

حتی پس از پاکسازی کامل نیز آلودگی مجدد ایجاد شود.

در مدیریت شیمیایی آزولا برخی از علف کش‌های عمومی مانند گلایفوسیت^۱ (استن و همکاران، ۱۹۷۹؛ آشتون، ۱۹۹۲)، پاراکوات^۲ و دیکوات^۳ (آلکسن و ژولین، ۱۹۸۸) و روغن کروسن^۴ به همراه سورفاکتانت^۵ (دیات‌لوف و لی، ۱۹۷۹) در برخی موارد برای کنترل شیمیایی گونه‌های *A. pinnata* و *filiculoides* توصیه شده است. همچنین در برخی از منابع علاوه بر ترکیبات یاد شده علف کش تربوترین^۶ نیز برای کنترل گونه *A. pinnata* توصیه شده است (وال، ۱۹۹۴). علاوه بر این بررسی‌ها نشان داده که علف کش آسولام^۷ نیز بر اغلب سرخس‌ها از جمله آزولا مؤثر است (بریت و همکاران، ۲۰۰۳). از بین علف کش‌های نام برده شده علف کش پاراکوات از جمله ترکیبات بسیار سمی بوده و استفاده از آن در ۳۲ کشور دنیا از جمله ۲۷ کشور عضو اتحادیه اروپا ممنوع شده است (واتس، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶). همچنین تمام علف کش‌های نام برده شده توسط سامانه جهانی عملکرد آفت کش‌ها^۸ (PAN) به عنوان ترکیبات دارای تأثیرات آلاینده‌گی احتمالی بر آب‌های زیرزمینی شناخته شده‌اند و علف کش تربوترین نیز یک ترکیب با سمیت نسبی برای ماهی‌ها معرفی شده است. در مورد علف کش آسولام نیز این ترکیب برای استفاده در زیستگاه‌های آبی ثبت نشده است (بریت و همکاران، ۲۰۰۳).

کنترل بیولوژیک آزولا اولین بار در سال ۱۹۹۷ در آفریقای جنوبی با رهاسازی سرخرطومی‌های آبی *S. rufinasus* انجام شد. این سرخرطومی بومی آمریکای شمالی بوده و رهاسازی آن به وسیله موسسه تحقیقات گیاهپزشکی و انجمن تحقیقات کشاورزی آفریقای جنوبی^۹ (ARC-PPRI)

1. Glyphosate

2. Paraquat

3. Diquat

4. kerosene

5. Surfactant

6. Terbutryn

7. Asulam

8. Pesticide Action Network (PAN)

9. Agricultural Research Council-Plant Protection Research Institute, Republic of South Africa (ARC-PPRI)

انجام شد (مک کوناچی و همکاران، ۲۰۰۴؛ هیل و همکاران، ۲۰۰۸؛ کوئتری و همکاران، ۲۰۱۱؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). پس از اولین رهاسازی انبوه در آفریقای جنوبی این سرخرطومی در سال ۱۹۹۹ به زیمبابوه برده شد (مک کوناچی و همکاران، ۲۰۰۴؛ هیل و ژولتن، ۲۰۰۴؛ هیل و مک کوناچی، ۲۰۰۹؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه این سرخرطومی در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله بلژیک، انگلستان، فرانسه، آلمان، مجارستان، ایتالیا، اسلوواکی، اوکراین، موزامبیک، هلند، ایرلند شمالی، پرتغال، جمهوری ایرلند و اسپانیا گزارش شده است که بر اساس این گزارش‌ها در این مناطق مستقر بوده و رهاسازی مجدد انجام نشده است (وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این در سال ۱۳۹۶ فعالیت این گونه در ایران نیز تأیید شد (فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۸b). استفاده از روش‌های کنترل بیولوژیک موفق‌ترین روش به کاربرده شده در کنترل آزوла در دنیا محسوب می‌شود که در اغلب کشورهای دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد (وینستون و همکاران، ۲۰۱۴).

در ایران روش‌های کنترل بیولوژیک این علف هرز تا کنون مورد استفاده قرار نگرفته (فرحپورحقانی، ۱۳۹۷) و با توجه به اینکه تمامی علف‌کش‌های توصیه شده برای کنترل این سرخس از جمله علف‌کش‌های غیرانتخابی هستند، امکان کاربرد آنها در شالیزارها وجود ندارد. به این ترتیب در شالیزارها کاهش فاصله زمانی بین شخم تا نشاکاری، مدیریت مصرف کودهای نیتروژنه و فسفات در مناطق آلوده، استفاده از نشاهای بلند و کاهش آب مزرعه به حالت اشباع به نحوی که سبب چسبیدن گیاهچه‌های آزولا به سطح خاک شود، جمع‌آوری آزولا به وسیله پمپ‌های مکند و توری و رهاسازی اُردک به عنوان روش‌های زراعی و مکانیکی کنترل آزولا مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از علف‌کش‌هایی مانند 2-4-D و گلایفوسیت در کانال‌های آبی از دیگر روش‌های کنترل آزولا در زیستگاه‌های آبی می‌باشد (پاداشت و همکاران، ۱۳۹۴).

۶-۳- کنترل بیولوژیک علف‌های هرز به عنوان یک راهکار کارآمد و نوین

کنترل بیولوژیک علف‌های هرز در دنیا دارای سابقه طولانی بوده و اولین مورد کنترل بیولوژیک علف‌های هرز مربوط کنترل اتفاقی کاکتوس‌های (*Opuntia monacantha* (Wildenow) (Cactaceae) Haworth در سال ۱۷۹۵ به وسیله شپشک‌های گونه (*Dactylopius ceylonicus* (Dactylopiidae) (Green) در هند است (مانیپان و همکاران، ۲۰۰۹؛ رابیندرا و بومانانوار، ۲۰۰۹). اولین مورد استفاده از کنترل بیولوژیک علف‌های هرز با رهاسازی عوامل کنترل بیولوژیک در سال ۱۹۰۲ در جزایر هاوایی برای کنترل علف هرز (*Lantana camara* L. sens. lat. (Verbenaceae) انجام شد (ژولتن، ۱۹۹۲؛ ژولتن و همکاران، ۲۰۰۷؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). تا سال ۲۰۱۴ حدود ۲۰۴۲ مورد رهاسازی عوامل کنترل بیولوژیک علف‌های هرز در ۱۳۰ کشور دنیا ثبت شد. امروزه کنترل بیولوژیک علف‌های هرز در بسیاری از نواحی به عنوان یک روش اقتصادی و مؤثر به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (وینستون و همکاران، ۲۰۱۴).

در منابع کنترل بیولوژیک اغلب به عنوان عملکرد پارازیتوئیدها، شکارگرها و عوامل بیماری‌زا در کاهش تراکم جمعیت یک موجود (آفت) به سطحی پایین‌تر از سطح تراکم آن در شرایط عدم حضور این عوامل در نظر گرفته شده است که بر اساس این تعریف سه راهبرد مشخص در کنترل بیولوژیک ارایه می‌شود (مک‌فادین، ۱۹۹۸).

راهبرد اول شامل حفاظت عوامل کنترل بیولوژیک^۱ است. در این راهبرد تراکم جمعیت عوامل کنترل بیولوژیک موجود در محیط نگهداری و محافظت می‌شود.

راهبرد دوم افزایش تراکم جمعیت عوامل کنترل بیولوژیک داخلی موجود در محیط^۲ را در بر می‌گیرد که در این راهبرد به منظور تنظیم جمعیت عوامل کنترل بیولوژیک این عوامل به‌طور دوره‌ای رهاسازی می‌شوند یا شرایط محیطی برای افزایش تراکم جمعیت آنها مدیریت می‌شود.

1. Protection
2. Increasing

راهبرد سوم، کنترل بیولوژیک کلاسیک را توصیف می‌کند که در آن عوامل کنترل بیولوژیک غیر بومی از زیستگاه اصلی گونه مهاجم به منطقه آورده می‌شوند^۱ که اغلب انتظار می‌رود رهاسازی مجدد عامل کنترل بیولوژیک پس از استقرار ضرورتی نداشته باشد.

از میان سه راهبرد فوق اغلب کنترل بیولوژیک کلاسیک (راهبرد سوم) به عنوان روش اصلی کنترل بیولوژیک علف‌های هرز در نظر گرفته می‌شود. از میان دو راهبرد حفاظت و افزایش تراکم، راهبرد حفاظت (راهبرد اول) به ندرت در کنترل بیولوژیک علف‌های هرز مورد استفاده قرار گرفته (هاریس، ۱۹۹۳؛ مک‌فادین، ۱۹۹۸؛ وان‌دریسچه و همکاران، ۲۰۱۰).

و راهبرد افزایش تراکم (راهبرد دوم) اغلب برای برخی از حشرات و چهارپایان به منظور افزایش شدت تغذیه^۲ در کنترل علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرد (پوپای و فیلد، ۱۹۹۶؛ مک‌فادین، ۱۹۹۸).

لازم به ذکر است که در استفاده از روش‌های کنترل بیولوژیک پایش^۳ پایه اصلی تمامی فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری‌های اصلی در کاربرد هریک از سه راهکار فوق محسوب می‌شود. به طوریکه حتی پس از رهاسازی عمومی نیز ضرورت دارد پایش‌های منظم منطقه ادامه یابد و جمعیت عامل کنترل بیولوژیک در منطقه به‌طور منظم مورد بررسی قرار داده شود تا در صورت نیاز با رهاسازی مجدد تراکم جمعیت عامل کنترل بیولوژیک در منطقه یکنواخت شده و در سطح مؤثر حفظ شود (وان‌دریسچه و همکاران، ۲۰۰۹؛ مورین و همکاران، ۲۰۰۹).

در کنترل بیولوژیک علف‌های هرز انتخاب و ارزیابی عوامل کنترل بیولوژیک اغلب مانند انتخاب و ارزیابی عوامل کنترل بیولوژیک آفات انجام می‌شود؛ اما تفاوت‌های مشخصی بین کنترل بیولوژیک علف‌های هرز و آفت وجود دارد که قابل توجه هستند. انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک

1. Releasing
2. Grazing pressure
3. Monitoring

آفات اغلب بر مبنای تأثیرات کشنده حاد^۱ انجام می‌شود در حالی که در انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک علف‌های هرز علاوه بر تأثیرات کشنده حاد، تأثیرات تجمعی غیر کشنده^۲ نیز مورد توجه قرار می‌گیرند. علاوه بر این در کنترل بیولوژیک آفات به منظور کارآیی مناسب، اغلب یک یا تعداد معدودی از عوامل کنترل بیولوژیک رهاسازی می‌شوند در حالی که این روش تنها در کنترل علف‌های هرز ساده با تولید مثل نادر مانند گونه‌های *Azolla spp.* و *Salvinia spp.* کارآیی خوبی داشته و در مورد علف‌های هرز پیشرفته با قدرت تولید مثل جنسی بالا مانند گونه‌های *Lantana spp.* رهاسازی چندین عامل کنترل بیولوژیک ضرورت دارد. همچنین در مقایسه زمان لازم برای انتخاب و مشاهده تأثیر معمولاً در مورد عوامل کنترل بیولوژیک علف‌های هرز مدت زمان زیادتری لازم است که این مدت زمان در مورد گونه‌های دارای قدرت تولید مثل جنسی بالا و قدرتمند به ۲۰ سال نیز خواهد رسید (هاریس، ۱۹۸۵؛ وان‌دریسچه و همکاران، ۲۰۰۹).

به این ترتیب علی‌رغم تشابهات موجود، کنترل بیولوژیک علف‌های هرز بسیار پیچیده‌تر از کنترل بیولوژیک آفت بوده و نیاز به دانش پایه بیشتری دارد.

به این ترتیب به منظور انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک مناسب در کنترل علف‌های هرز، عوامل متعددی باید در نظر گرفته شود. با توجه به عمومیت عوامل در یک یادداشت علمی چاپ شده توسط آلبرتا، مانیتوبا و ساسکاچیون در سال ۲۰۰۰ که بر اساس تحقیقات مک فادین (۱۹۹۱)؛ مک فادین و ماروهاشی (۱۹۹۰a؛ ۱۹۹۰b)، مک فادین و مک کالی (۱۹۸۱)، مک کلاهی (۱۹۹۵؛ ۱۹۹۶a؛ ۱۹۹۶b)، مک کلاهی و همکاران (۱۹۹۵)، مک اوئی و همکاران (۱۹۹۱) و بسیاری دیگر از تحقیقات انجام شده روی علف‌های هرز تا آن زمان تهیه شده بود، مراحل انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک علف‌های هرز به صورت زیر خلاصه شده است:

۱- شناسایی علف هرز هدف و گونه‌های مشابه آن از نظر خاستگاه، میزان خسارت، مشخصات

1. Lethal effects

2. Cumulative stress from non-lethal effects

گیاه‌شناسی و غیره.

- ۲- شناسایی عامل کنترل بیولوژیک و تعیین ترجیح میزبانی و میزان تخصصی بودن رفتار تغذیه‌ای.
- ۲- رهاسازی کنترل شده و بررسی میزان کارآیی آن در شرایط محیطی.
- ۳- رهاسازی عمومی و تعیین مناطق مناسب و شرایط بهینه برای رهاسازی.
- ۴- بررسی و نظارت بر مناطق رهاسازی شده به منظور تعیین کارآیی.
- ۵- یکنواخت نمودن تراکم جمعیت یا تجدید پراکنش که در این حالت حشره از مناطق با تراکم بالا به مناطق با تراکم پایین انتقال داده می‌شود تا تراکم حشره در منطقه مورد نظر یکنواخت شود.
- ۶- حفظ تراکم جمعیت مناسب برای کنترل علف هرز هدف.
- ۷- این مراحل امروزه در انتخاب و رهاسازی عوامل کنترل بیولوژیک علف‌های هرز در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۶-۴- شیوه تمایز آزولا از گونه‌های مشابه فعال در زیستگاه‌های آبی

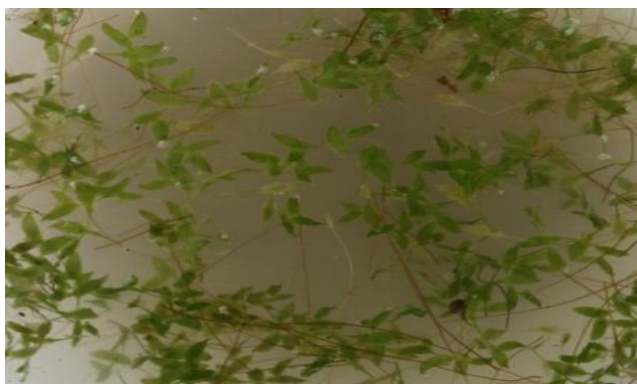
همانطور که در قسمت قبل اشاره شد شناسایی دقیق و تفکیک گونه هدف از گونه‌های مشابه از گام‌های نخستین در کنترل بیولوژیک و به‌ویژه کنترل بیولوژیک علف‌های هرز محسوب می‌شود. آزولا از جمله گیاهان آبی محسوب می‌شود که اغلب به دلیل مشخصات ظاهری مشخص و ایجاد پوشش یکپارچه مخمل‌مانند در سطح آب به خوبی از بسیاری از گیاهان آبی دیگر قابل تمایز است. با این وجود، در زیستگاه‌های آبی شمال ایران گونه‌های متفاوتی از گیاهان آبی یافت می‌شوند که برخی از آنها از نظر شکل ظاهری دارای رفتار رویشی بسیار شبیه به آزولا هستند. تفکیک و تمایز گونه‌های فوق از آزولا دارای اهمیت زیادی است. در بررسی‌های میدانی به دفعات مشاهده شده که برخی از گزارشات موجود در زمینه پوشش آزولا در بعضی از مناطق در واقع مربوط به گونه‌های مشابه می‌باشد که اغلب بومی بوده و خسارت‌زا محسوب نمی‌شوند. از بین گونه‌های مشابه آزولا که در زیستگاه‌های آبی شمال ایران یافت می‌شوند، گونه‌های مربوط

به تیره لمناسه^۱ از نظر شکل ظاهری، شیوه رویش و پوشش ایجاد شده در سطح آب دارای بیشترین شباهت به آژولا هستند (شکل ۶-۱) و در صورت عدم آگاهی از صفات اختصاصی این گونه‌ها به سهولت با آژولا اشتباه گرفته خواهند شد. اغلب این گونه‌ها به‌طور همزمان با آژولا در زیستگاه‌های آبی وجود دارند؛ اما به دلیل عدم توانایی رقابت با آژولا به صورت پراکنده و لکه‌ای در تراکم‌های بسیار اندک در کنار آژولا باقی مانده‌اند. در ادامه گونه‌های فوق معرفی شده و روش‌های ساده‌ای برای تفکیک و شناسایی آنها ارائه می‌شود.



شکل ۶-۱- لایه پوشاننده ایجاد شده توسط گونه‌های تیره *Lemnaceae* (۱) در مقایسه با لایه پوشاننده ایجاد شده توسط آژولا (۲) (اصلی)

گونه‌های *Lemna minor* L. یا عدسک آبی^۱، *L. gibba* L. یا عدسک آبی غوزدار^۲، *L. trisulca* L. یا عدسک آبی ستاره‌ای^۳ و *Spirodela polyrrhiza* Schleiden یا عدسک آبی بزرگ^۴ گونه‌های گزارش شده تیره Lemnaceae در شمال ایران محسوب می‌شوند (مظفریان، ۱۳۸۸). از بین گونه‌های یادشده گونه *L. trisulca* (شکل ۶-۲) اغلب به صورت غوطه‌ور رویش یافته و دارای برگ‌های نیزه‌ای بلند به طول حدود ۱۴ میلی‌متر و دم‌برگ دُم مانند بوده و دارای حاشیه صاف هستند (Parnell and Curtis, 2012). با توجه به اینکه این گونه از نظر شکل ظاهری و محل رویش بسیار با آزولا تفاوت دارد، لذا امکان اشتباه گرفته شدن این گونه با آزولا بسیار کم است.



شکل ۶-۲- عدسک آبی ستاره‌ای *L. trisulca* (اصلی)

گونه *S. polyrrhiza* (شکل ۶-۳) گونه‌ای است که بیشترین شباهت را به آزولا دارد. این گونه دارای برگ‌های گرد و صاف به قطر ۵ تا ۱۰ میلی‌متر بوده و در مقایسه با سایر گونه‌های تیره Lemnaceae رنگ تیره‌تری دارد. این گونه قادر است پوشش یکپارچه‌ای مشابه آزولا در سطح آب ایجاد کند که با توجه به بزرگ بودن برگ‌ها و رنگ تیره بسیار شبیه پوشش ایجاد شده توسط آزولا می‌باشد؛ اما ضخامت لایه پوشاننده ایجاد شده توسط این گونه بسیار کمتر از لایه ایجاد شده

-
- 1.Common duckweed
 - 2.Gibbous duckweed
 - 3.Star duckweed
 - 4.Common duckmeat

توسط آژولا بوده و استحکام آن نیز بسیار کمتر است. این گونه اغلب در بهار و تابستان رشد می‌کند و با توجه به گسترش آژولا در سال‌های اخیر دارای تراکم و پراکنش بسیار محدود می‌باشد (فرچپور و همکاران، ۲۰۱۸b).



شکل ۶-۳- *Spirodela polyrrhiza* عدسک آبی بزرگ

(<https://www.flowgrow.de/db/aquaticplants/spirodela-polyrrhiza>)

دو گونه *L. minor* و *L. gibba* نیز می‌توانند پوشش یکپارچه‌ای مانند گونه *S. polyrrhiza* در سطح آب ایجاد کنند که از جهاتی شبیه به پوشش ایجاد شده توسط آژولا می‌باشد؛ اما در مقایسه با آژولا رنگ پوشش ایجاد شده به وسیله این دو گونه بسیار روشن‌تر است و اغلب به رنگ سبز روشن مشاهده می‌شوند. برگ‌های این دو گونه در مقایسه با گونه *S. polyrrhiza* کوچک‌تر بوده و اغلب رنگ روشن‌تری دارند. در گونه *L. gibba* برگ‌ها دایره‌ای شکل به قطر حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر بوده (پارنل و کورتیس، ۲۰۱۲)، در پشت برگ سلول‌های بزرگی وجود دارد که سبب می‌شود برگ برجسته و غوزدار به نظر آید (شکل ۶-۴) در حالی که در گونه *L. minor* برگ‌ها بیضی شکل به طول ۱ تا ۸ میلی‌متر و عرض ۰/۶ تا ۵ میلی‌متر بوده و برگ‌ها متورم و غوزدار نیست (شکل ۶-۵).



شکل ۶-۴- عدسک آبی غوزدار *L. gibba*

(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LemnaGibbaProfil.jpg>)



شکل ۶-۵- عدسک آبی *L. minor*

(http://www.maltawildplants.com/ARAC/Lemna_minor.php)

شکل (۶-۶) لایه پوشاننده ایجاد شده توسط سه گونه عدسک آبی را در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر نیز مشخص است تیره‌ترین لایه پوشاننده توسط گونه *S. polyrriza* و روشن‌ترین لایه پوشاننده توسط گونه *L. gibba* ایجاد می‌شود. با این وجود با توجه به مقدار مواد غذایی لازم برای رشد گیاه، شدت نور و سایر شرایط محیطی این اختلاف رنگ همیشه مشخص نیست.



شکل ۶-۶- مقایسه رنگ لایه پوشاننده ایجاد شده توسط سه گونه عدسک

1- *S. polyrriza*; 2- *L. minor*; 3- *L. gibba*

([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spirodela_polyrrhiza_marais_poitevin.jp](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spirodela_polyrrhiza_marais_poitevin.jpg)g;

[https://en.wikipedia.org/wiki/Lemna_minor#/media/File:Eendekroos_dicht_bijeen.J](https://en.wikipedia.org/wiki/Lemna_minor#/media/File:Eendekroos_dicht_bijeen.JPG)PG; <https://www.feedipedia.org/content/duckweeds-lemna-gibba>)

به این ترتیب در تفکیک سه گونه، بهتر است از اندازه گیاه و شکل برگ استفاده شود. با توجه به اندازه بزرگ گونه *S. polyrriza*، این گونه به راحتی از سایر گونه‌ها قابل تفکیک است (شکل ۶-۷)؛ اما دو گونه *L. minor* و *L. gibba* از نظر اندازه مشابه یکدیگر هستند و در تفکیک این دو گونه، شکل برگ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود این سه گونه در اغلب زیستگاه‌های آبی در کنار یکدیگر به همراه آژولا رویش می‌یابند و زمانی که شرایط محیطی برای رشد آژولا نامناسب شود این گونه‌ها با غلبه بر آژولا سطح آب را می‌پوشانند (شکل ۶-۸).



شکل ۶-۷- مقایسه اندازه گونه *S. polyrriza* با گونه *L. minor* (اصلی)



شکل ۶-۸- رویش گونه‌های مختلف عدسک آبی و آزولا در کنار یکدیگر در محیط (اصلی)

۶-۵- کنترل بیولوژیک آزولا در دنیا

آزولا در بسیاری از کشورهای دنیا به عنوان یک گونه مهاجم شناخته می‌شود و از آنجایی که کنترل بیولوژیک یک روش مؤثر و کم هزینه برای مدیریت گونه‌های مهاجم در نظر گرفته می‌شود، بررسی‌های بسیاری در زمینه عوامل کنترل بیولوژیک و گونه‌های فعال روی آزولا در دنیا

انجام شده است. در این بررسی ها مشخص شده است که گونه‌هایی مختلفی از حشرات، نرم‌تنان و بندپایان از راسته‌ها و خانواده‌های متفاوت در زیستگاه‌های آبی در سراسر دنیا روی آزولا فعال هستند که اغلب حشرات به عنوان عوامل کنترل بیولوژیک آزولا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بر اساس برخی از منابع تا سال ۱۹۸۵ بالغ بر ۳۱ گونه حشره در سراسر دنیا از آزولا گزارش شده بود که شامل ۱۳ گونه دوبالان از خانواده Chironomidae، ۱۰ گونه بالپولک‌داران از خانواده Pyralidae، چهار گونه قاب‌بالان از دو خانواده Chrysomelidae و Curculionidae، دو گونه جوربالان از خانواده Aphididae و دو گونه راست‌بالان از دو خانواده Paulinidae و Tetrigidae بود (Mochida et al., 1985). با این وجود اطلاعات کافی یا منابع معتبر در زمینه برخی از این گونه‌ها و شیوه فعالیت آنها روی آزولا در دست نیست و نام برخی از گونه‌ها نیز در منابع جدید مشخص نشده یا تغییر یافته است. در جدول (۶-۱) نام تمامی حشرات گزارش شده که به نحوی نام جنس یا گونه آنها مشخص شده ارایه شده است.

جدول ۶-۱- حشرات فعال روی آزولا در سراسر دنیا بر اساس گزارش‌های موجود

ردیف	نام گونه	خانواده	راسته	مرجع
۱	<i>Elophila enixalis</i> Swinhoe	Crambidae: Acentropinae	Lepidoptera	Mochida et al., 1985, 1987
۲	<i>E. nigrabalis</i> Caradja			
۳	<i>E. responsalis</i> Walker			
۴	<i>E. turbata</i> Butler			
۵	<i>E. melagynalis</i> Agassiz			
۶	<i>E. manilensis</i> Hampson			Roberts et al., 1998
۷	<i>E. africalis</i> Hampson			
۸	<i>Synclita oblitalis</i> Walker			
۹	<i>Cataclysta lemnata</i> Linnaeus			Farahpour-Haghani et al., 2017
۱۰	<i>Ephestiopsis vishnu</i> Roesler and Kupperts	Pyralidae: Phycitinae		Mochida et al., 1985, 1987
۱۱	<i>Cryptoblades gnidiella</i> Millière			Sasmal and Kulshreshtha, 1984

ردیف	نام گونه	خانواده	راسته	مرجع
۱۲	<i>Samea multiplicalis</i> Guenée	Crambidae: Spilomelinae		Knopf & Habeck, 1976
۱۳	<i>Diasemiopsis ramburialis</i> Duponchel			Farahpour-Haghani <i>et al.</i> , 2016
۱۴	<i>Nomophila noctuella</i> Denis & Schiffermüller			فرچپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵
۱۵	<i>Pseudolampsis guttata</i> LeConte	Chrysomelidae	Coleoptera	Buckingham & Buckingham, 1981
۱۶	<i>Stenopelmus rufinasus</i> Gyllenhal	Erirhinidae		Richerson & Grigarick, 1967
۱۷	<i>Cyrtobagous singularis</i> Hustache	Curculionidae		Forno <i>et al.</i> , 1983
۱۸	<i>Bagous</i> sp.			Takara, 1981
۱۹	<i>Nanophyes</i> sp.			
۲۰	<i>Chironomus crassiforceps</i> Kieffer	Chironomidae	Diptera	IRRI, 1983
۲۱	<i>C. javanus</i> Kieffer			
۲۲	<i>C. kiensis</i> Tokunaga			
۲۳	<i>Polypedilum johannseni</i> Sublette & Sublett			Takara, 1981
۲۴	<i>Criotettix</i> sp.	Tetrigidae	Orthopetra	
۲۵	<i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	Aphididae	Homoptera	Lumpkin and Plunkett, 1980

همانطور که مشاهده می‌شود تا کنون گزارش‌های متعددی از فعالیت حشرات مختلف در روی آژولا به ثبت رسیده است. با این وجود، بسیاری از این گونه‌ها پس از بررسی به عنوان عوامل کنترل بیولوژیک آژولا مناسب نبودند و برخی از گونه‌ها نیز به تازگی شناسایی شده و هنوز مورد بررسی قرار نگرفته‌اند.

کنترل بیولوژیک آژولا اولین بار در سال ۱۹۹۷ در آفریقای جنوبی با رهاسازی سرخرطومی‌های آبری (*S. rufinasus* (Coleoptera: Erirhinidae) انجام شد. این سرخرطومی بومی آمریکای شمالی بوده و رهاسازی آن به وسیله موسسه تحقیقات گیاهپزشکی و انجمن تحقیقات کشاورزی

آفریقای جنوبی (ARC-PPRI) انجام شد (مک کوناچی و همکاران، ۲۰۰۴b؛ کوئتری و همکاران، ۲۰۱۱؛ هیل، ۲۰۱۳؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). گونه *S. rufinasus* اولین بار به وسیله گایلین هال در سال ۱۸۳۶ توصیف شد که این توصیف در کتاب اسکونر و همکاران (۱۸۳۷) به چاپ رسید و در سال ۱۹۶۷ ریچاردسون و گریگاریک این گونه را از روی آزولا در نواحی غربی و جنوبی آمریکا گزارش کردند (پمبرتون و بودله، ۲۰۰۹؛ کاراپیکو و همکاران، ۲۰۱۱؛ فلورتسیو و همکاران، ۲۰۱۵). گونه *S. rufinasus* ابتدا در آفریقای جنوبی رهاسازی انبوه شد و در سال ۱۹۹۹ از آفریقای جنوبی به زیمبابوه برده شد (مک کوناچی و همکاران، ۲۰۰۴a؛ ۲۰۰۴b؛ هیل و مک کوناچی، ۲۰۰۹؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). این گونه در سال ۱۹۲۱ از بلژیک و انگلستان گزارش شد و در سال ۲۰۰۲ به منظور کنترل بیولوژیک آزولا در انگلستان رهاسازی مجدد انجام گرفت (وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین این گونه از فرانسه (۱۹۰۱)، آلمان (۱۹۲۷)، مجارستان (۱۹۹۷)، ایتالیا (۲۰۰۴)، اسلواکی (۲۰۱۱)، اوکراین (۲۰۱۱) (استجس کال، ۲۰۱۲)، موزامبیک (۲۰۰۳) (هیل و ژولین، ۲۰۰۴)، هلند (۱۹۲۱)، ایرلند شمالی (۲۰۰۷)، پرتغال (۲۰۱۱)، جمهوری ایرلند (۲۰۰۷) و اسپانیا (۲۰۰۲) نیز گزارش شده که بر اساس این گزارش‌ها در این مناطق مستقر بوده و رهاسازی مجدد انجام نشده است. با این وجود، از شیوه پراکنش و تراکم جمعیت در اغلب این مناطق اطلاعاتی در دست نیست (وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). گونه *S. rufinasus* تنها گونه‌ای است که به‌طور تجاری به عنوان عامل کنترل بیولوژیک آزولا در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج نشان داده است که توانایی بالایی در کنترل آزولا دارد (وینستون و همکاران، ۲۰۱۴).

۶-۶- گونه‌های فعال روی آزولا در ایران

در شمال ایران گونه‌های متفاوتی از بندپایان روی آزولا فعال هستند (علی‌نیا، ۱۳۹۶) که بر اساس شیوه فعالیت می‌توان آنها را به سه گروه گونه‌های گیاهخوار دارای خسارت مستقیم، گونه‌های

پوسیده‌خوار و گونه‌های دارای تأثیر نامشخص تقسیم کرد. زیست‌شناسی و شیوه فعالیت تمامی گونه‌های گیاهخوار دارای خسارت مستقیم به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و مشخص است (فرچپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرچپورحقانی، ۱۳۹۷؛ فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ فرچپورحقانی، ۲۰۱۶a؛ ۲۰۱۷؛ ۲۰۱۸a؛ ۲۰۱۸b)؛ اما گونه‌های پوسیده‌خوار و گونه‌های دیگر هنوز به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته‌اند (علی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶؛ فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۶b). بررسی‌ها مشخص کرده است که از میان گونه‌های گیاهخوار جمع‌آوری شده سه گونه شب‌پره به نام‌های *Cataclysta lemnata* L. (شکل ۶-۹)، *Nomophila noctuella* Denis and Schifferrmüller (شکل ۶-۱۰) و *Diasemiopsis ramburialis* Duponchel (شکل ۶-۱۱) از خانواده Crambidae دارای خسارت محسوس و بیشترین تراکم جمعیت لارو روی آذولا هستند. بر اساس مدارک موجود تا کنون گزارشی از فعالیت هیچ یک از گونه‌های فوق روی آذولا در دنیا ثبت نشده است و فعالیت هر سه گونه روی آذولا از ایران ثبت شد.



شکل ۶-۹- حشرات کامل نر و ماده شب‌پره *Cataclysta lemnata* (سمت راست حشره نر و سمت چپ حشره ماده) (فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۶-۱۰- حشرات کامل نر و ماده شب‌پره *Nomophila noctuella* (سمت راست حشره نر و سمت چپ حشره ماده) (فرحپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۶-۱۱- حشرات کامل نر و ماده شب‌پره *Diasemiopsis ramburialis* (سمت راست حشره نر و سمت چپ حشره ماده) (فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۶a).

بررسی‌ها مشخص کردند که از بین گونه‌های یافت شده، گونه *C. lemnata* (شکل ۶-۹) دارای بالاترین تراکم و بیشترین طول دوره فعالیت روی آژولا بوده و با توجه به قدرت خسارت‌زایی قابل توجه این شب‌پره، تأثیرات فعالیت آن به عنوان گونه‌ای با بالاترین تراکم جمعیت و بیشترین تأثیر روی آژولا در منطقه به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است (فرحپورحقانی، ۱۳۹۷؛ فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ ۲۰۱۸a). بر اساس بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص شده که در

تراکم مناسب این شب‌پره قادر است سطح پوشاننده آزولا را در مدت زمانی کمتر از ۱۰ روز به‌طور کامل پاک‌سازی نماید (فرچپورحقانی، ۱۳۹۷). شب‌پره *C. lemnata* از زیرخانواده Acentropinae است.

به سبب اینکه لارو شب‌پره‌های این زیرخانواده کاملاً آبرزی یا نیمه آبرزی هستند به آنها شب‌پره‌های آبرزی نیز گفته می‌شود و در میان بال‌پولک‌داران، تنها جنس‌های مربوط به این زیرخانواده توانایی زندگی در محیط‌های آبی را دارند. لاروهای این زیرخانواده اغلب از نوعی اندام تنفسی خاص به نام پلاسترون برای تنفس در زیر آب استفاده می‌کنند. پلاسترون در واقع نوعی موهای آبگریز است که هوا را در سطح بدن ذخیره کرده و به لارو اجازه می‌دهد تا در زیر آب تنفس کند. برخی از گونه‌ها نیز مانند *Parapoynx stratiotata* L. دارای آبشش هستند (آگاسیز، ۲۰۱۲). در بعضی از گونه‌های این زیرخانواده حشرات بالغ ماده نیز اغلب آبرزی هستند که از این گروه می‌توان به گونه‌های جنس *Acentria ephemerella* Denis & Schiffermüller اشاره کرد (باترا، ۱۹۹۷).

فعالیت این گونه قبلاً از ایران گزارش شده بود (اسپیدل، ۲۰۰۵)؛ اما هیچ گزارش ثبت شده‌ای از فعالیت این شب‌پره روی آزولا از ایران یا سایر کشورها در سراسر دنیا وجود نداشت. به این ترتیب اولین گزارش فعالیت این شب‌پره روی آزولا در دنیا از ایران ثبت شد. حشرات ماده این شب‌پره در سطح زیرین آزولا تخم‌گذاری می‌کنند. لاروهای تازه تفریخ شده روی سایر گیاهان میزبان به داخل بافت‌های برگ نفوذ کرده و به صورت مینوز به تغذیه ادامه می‌دهند؛ اما روی آزولا با توجه به کوچک بودن برگ‌ها لاروها در جوانه‌های انتهایی که دارای برگ‌های فشرده و مجتمع هستند نفوذ کرده و داخل این جوانه‌ها به تغذیه می‌پردازند. پس از گذشت ۳-۵ روز لاروهای کوچک، آزولا را تکه تکه کرده و اولین لانه‌های لاروی با چسباندن برگ‌های آزولا آشکار می‌شوند. از این مرحله به بعد کلیه مراحل زندگی تا تبدیل شدن به حشره کامل در داخل لانه‌های لاروی طی می‌شود (شکل ۶-۱۲).



شکل ۶-۱۲- مراحل نابالغ شب پره *C. lemnae*: a: تخم، b: لارو سن ۱، c: لارو سن آخر، d: شفیره ((فرحپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۷)

طول یک نسل کامل از تخم تا حشره کامل در شرایط آزمایشگاهی حدود ۲۵-۴۷ روز است. حشرات کامل، طول دوره زندگی کوتاهی داشته و تغذیه نمی کنند. در مزارع حشرات کامل اغلب از نیمه دوم فروردین قابل مشاهده هستند و تا پایان فصل زراعی و بعد از آن تا حدود اواخر آبان ماه به فعالیت در حوزه های آبی ادامه می دهند. این حشره فاقد دیپوز اجباری است و فعالیت حشرات بالغ و لاروها بشدت تحت تأثیر شرایط دمایی منطقه قرار دارد و در صورت وجود دمای مناسب قبل یا بعد از دوره یاد شده و حتی در کل طول سال نیز می توانند به فعالیت در مزارع ادامه دهند. زمستان گذرانی به صورت لارو یا شفیره است و لاروها در سراسر طول سال در روی آژولا باقی می مانند. لاروها از آژولا برای لانه سازی و تغذیه استفاده می کنند و تمامی اندام های هوایی و حتی ریشه ها را مورد استفاده قرار می دهند. در شرایط آزمایشگاهی، لاروها در تراکم بالا به طور کامل سطح پوشاننده آژولا را از بین برده و سطح آب را از آژولا پاکسازی کردند (فرحپور حقانی،

۱۳۹۷؛ فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۷).

شب‌پره *C. lemnata* در دنیا ابتدا به عنوان یک گونه با دامنه میزبانی محدود^۱ روی گونه‌های عدسک آبی از خانواده Lemnaceae معرفی شده بود (ووجتوسیاک و ووجتوسیاک، ۱۹۶۰)؛ اما تحقیقات بیشتر نشان داد که این شب‌پره می‌تواند از برخی از گونه‌های دیگر گیاهان آبرزی نیز تغذیه نماید (واندر و ولده، ۱۹۷۹؛ ۱۹۸۸؛ پاپیس، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۸). با این وجود بررسی‌های به عمل آمده در سال‌های اخیر نشان داده که این حشره قادر به تکمیل نسل روی بسیاری از میزبان‌های معرفی شده نیست (فرحپورحقانی، ۱۳۹۷). در بررسی‌های به عمل آمده در زمینه فعالیت این شب‌پره روی گونه‌های متفاوت عدسک آبی و گونه‌های نزدیک به آنها مشخص شده بود که این حشره عملکرد یکسانی روی تمامی گونه‌های عدسک آبی نداشته و روی برخی از گونه‌های بهتر فعالیت می‌کند (پاپیس، ۲۰۱۴). همچنین مشخص شده بود که افزایش دما تنها تا حد مشخصی سبب افزایش فعالیت این گونه می‌شود و پس از آن کاهش فعالیت حشره را به همراه خواهد داشت (واندر هیده و همکاران، ۲۰۰۶). با این وجود بررسی‌های اخیر در منطقه نشان داده که در شرایط محیطی منطقه مورد بررسی این حشره نمی‌تواند جمعیت‌های با تراکم بالا روی میزبان اصلی نیز ایجاد نماید و تغذیه از میزبان‌های اصلی مانند *Lemna minor* در منطقه باعث ایجاد مرگ و میر شدید در مراحل پایان دوره رشدی حشره خواهد شد (فرحپورحقانی، ۱۳۹۷؛ فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۸a). به این ترتیب جمعیت‌های اصلی حشره روی گونه‌های آزولا ایجاد می‌شود (فرحپورحقانی، ۱۳۹۷).

پس از گونه فوق گونه *N. noctuella* (شکل ۶-۱۰) دارای بالاترین تراکم و بیشترین طول دوره فعالیت روی آزولا در منطقه است (علی‌نیا، ۱۳۹۶). این شب‌پره از زیرخانواده Spilomelinae و خانواده Crambidae است. گونه‌های متعلق به این زیرخانواده لاروهای خشکی‌زی دارند و نسبت به سایر زیرخانواده‌های خانواده Crambidae دارای بیشترین تنوع زیستی و ظاهری هستند (رجیئر و

همکاران، ۲۰۱۲). این شب‌پره یک گونه پلی‌فاژ وابسته به میزبان‌های متعدد از جمله *Polygonum* spp و *Trifolium* sp. از تیره *Polygonaceae*، *Medicago* sp. از تیره *Fabaceae*، *Zea* و *Triticum* sp. از تیره *Poaceae* و *Myriophyllum* spp. از تیره *Haloragaceae* بوده و به عنوان آفت یونجه و چمن در آمریکا گزارش شده و گزارشی‌هایی از فعالیت این شب‌پره در سویای کشت شده در توالی با شبدر نیز وجود دارد (فلینت، ۱۹۲۲؛ درک و دکر، ۱۹۲۷؛ اسمیت، ۱۹۴۲). همچنین گزارش‌های متعددی از خسارت این گونه روی گیاهچه‌های اوکالپتوس *Eucalyptus* sp. از تیره *Myrtaceae* نیز وجود دارد (آنجوس و همکاران، ۱۹۸۶؛ تیکسیرا و همکاران، ۱۹۹۹؛ زانان‌سیو و همکاران، ۲۰۰۱) و در سال ۲۰۱۶ این حشره به عنوان آفت یونجه از ترکیه نیز گزارش شد (گوزاچیک و ارول، ۲۰۱۶). در ایران، این گونه از کرج، چابهار، آذربایجان شرقی و شیراز گزارش شده بود (کوهنورد و همکاران، ۱۳۹۰) با این وجود فعالیت این شب‌پره نیز روی آزولا برای اولین بار در دنیا ثبت شد (فرحپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵).

تخم‌گذاری روی برگ‌های آزولا یا سطوح صاف حاشیه آبگیرها و مزارع انجام می‌شود. لاروهای تازه ظاهر شده بسیار فعال بوده و بلافاصله پس از تفریخ شروع به تغذیه از برگ‌های آزولا می‌کنند. لاروهای سن آخر دارای صفحات کیتینی و موهای پراکنده در سطح بدن هستند. شفیره داخل پناهگاه‌های لاروی یا در سطوح مرتفع کناری محل فعالیت لارو تشکیل می‌شود (شکل ۶-۱۳). حشرات کامل از نیمه دوم اردیبهشت در مزارع قابل مشاهده هستند و تا پایان فصل زراعی به فعالیت خود در مزرعه ادامه می‌دهند. زمستان‌گذرانی به صورت تخم می‌باشد و لاروها در سراسر تابستان در روی آزولا مشاهده می‌شوند. طول یک نسل کامل این حشره حدود ۲۰ - ۲۲ روز است. لاروها از برگ‌های آزولا تغذیه می‌کنند و در تراکم بالا می‌توانند خسارت شدید روی آزولا ایجاد کنند. با توجه به اینکه لاروهای این شب‌پره آبرزی نیستند، به منظور باقی ماندن در سطح آب با

چسباندن برگ‌های آزولا به یکدیگر اقدام به ساخت پناهگاه می‌کنند. این پناهگاه‌ها به وسیله برگ‌های آزولا و رشته‌های ابریشمی ساخته می‌شوند و اغلب انباشته از فضولات لاروی هستند. وجود فضولات لاروی در پناهگاه‌های ایجاد شده روی سطح پوشاننده، با ایجاد شرایط مناسب برای رشد قارچ‌ها و باکتری‌ها سبب ایجاد گندیدگی و بروز خسارت ثانویه روی آزولا می‌شود. در شرایط تراکم بالا و تجمع زیاد فضولات لاروی سطح رویی آزولا به‌طور کامل پوشیده و سیاه رنگ می‌شود (فرحپور حقانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ علی‌نیا، ۱۳۹۶).



شکل ۶-۱۳- مراحل نابالغ شب‌پره *N. noctuella*: a: تخم، b: لارو سن ۱، c: لارو سن آخر، d: شفیره ((فرحپور حقانی و همکاران، ۱۳۹۵)

شب‌پره *D. ramburialis* (شکل ۶-۱۳) سومین گونه دارای تراکم بالا و خسارت محسوس روی آزولا محسوب می‌شود. این شب‌پره نیز از زیرخانواده Spilomelinae و خانواده Crambidae است. بر اساس بررسی‌های انجام شده جنس *Diasemiopsis* تنها دو گونه توصیف شده به نام‌های *D. leodocusalis* و *D. ramburialis* دارد که چرخه زندگی هیچ یک مشخص نبود و میزبان

مشخصی برای این دو گونه در دنیا ثبت نشده بود. گزارش‌های پراکنده‌ای از مشاهده لاروهای سنین آخر منتصب به این گونه روی برخی از گونه‌های Brassicaceae بدون اشاره به نام جنس یا گونه میزبان بود (مواس و کورور، ۲۰۱۹) که این گزارش‌ها نیز از سوی منابع معتبر تأیید نشده بودند (د پرینس و د پرینس، ۲۰۱۸؛ ناس و همکاران، ۲۰۱۹). این گونه یک گونه مهاجر دارای پراکنش جهانی^۱ محسوب می‌شود و آزولا اولین میزبان تأیید شده این گونه در دنیا است (فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۶a).

حشرات ماده روی سطح آزولا تخم‌گذاری می‌کنند. لاروهای تازه تفریخ شده بلافاصله پس از تفریخ، تغذیه از برگ‌های آزولا را آغاز می‌کنند. لاروهای این شب‌پره غیر آبرزی هستند و توانایی تنفس در زیر آب را ندارند. به همین دلیل بلافاصله پس از تفریخ با تنیدن تار و چسباندن برگ‌های آزولا به یکدیگر پناهگاه‌هایی روی سطح آزولا ایجاد می‌کنند که لاروها داخل این پناهگاه‌ها به تغذیه ادامه می‌دهند. این پناهگاه‌ها در ابتدا شکل مشخص ندارند؛ اما با افزایش سن لارو به صورت دالان‌هایی که با استفاده از رشته‌های ابریشمی و چسباندن برگ‌های آزولا ایجاد شده‌اند، روی سطح آزولا به خوبی قابل تشخیص هستند. شفیره در داخل دالان‌های لاروی روی سطح آزولا تشکیل می‌شود. شفیره این شب‌پره نیمه آزاد بوده داخل پناهگاه‌های لاروی تشکیل می‌شود (شکل ۶-۱۴). حشرات کامل اغلب از نیمه دوم خرداد در مزارع مشاهده شده و تا پایان فصل زراعی و پس از آن تا اواخر آبان ماه به فعالیت در محیط ادامه می‌دهند. زمستان‌گذرانی به صورت تخم می‌باشد و لاروها از اواسط تابستان در روی آزولا مشاهده می‌شوند و تا اوایل آبان به فعالیت خود در روی آزولا ادامه می‌دهند. لاروها از برگ‌های آزولا تغذیه می‌کنند و در تراکم بالا تمامی سطح آزولا به وسیله دالان‌های لاروی پوشانده می‌شود. این دالان‌ها اغلب انباشته از فضولات لاروی هستند که محیط مناسبی برای رشد عوامل گندروی مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها ایجاد می‌کند و با

ایجاد پوسیدگی و شرایط تخمیری خسارت ثانویه به صورت گندیده گی ایجاد می‌شود (فرحپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۶a).

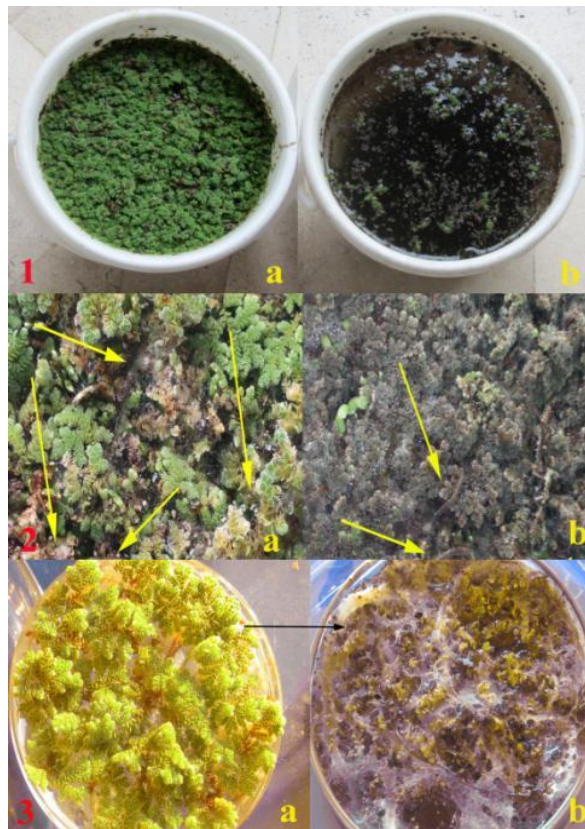


شکل ۶-۱۴- مراحل نابالغ شب پره *D. ramburialis*

(a: تخم، b: لارو سن ۱، c: لارو سن آخر، d: شفیره) (فرحپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۶a)

در مقایسه شیوه فعالیت سه گونه فوق با توجه به اینکه گونه *C. lemnata* دارای لاروهای کاملاً آبی است، پاکسازی کامل سطح برای لارو مشکل آفرین نخواهد بود و در بررسی‌های آزمایشگاهی نیز به دفعات پاکسازی کامل سطح در تراکم‌های بالای لارو در این حشره مشاهده شد. (فرحپور حقانی، ۱۳۹۷؛ فرحپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۷). (شکل ۶-۱۵-۱). در دو گونه *N. noctuella* و *D. ramburialis* با توجه به غیر آبی بودن لاروها پاکسازی کامل سطح سبب غرق شدن لارو در آب و خفگی آن خواهد بود. در این دو گونه لاروها به منظور اجتناب از تماس با آب با تنیدن تار و چسباندن برگ‌های آزولا به یکدیگر اغلب پوشش یکپارچه‌ای در سطح آب ایجاد می‌کنند که مانند یک پناهگاه شناور لارو را از تماس با آب محافظت می‌کند. این پوشش

یکپارچه پس از خروج حشرات کامل به دلیل آلودگی بالا به فضولات لاروی پوسیده شده و ته نشین خواهد شد (فرچپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ (فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۶a). (شکل ۶-۱۵ و ۳). به این ترتیب، به علت تراکم بالای فضولات و تارهای تولید شده میزان رسوبات تولید شده در اثر فعالیت لاروها به شدت افزایش خواهد یافت که می تواند یک جنبه منفی در نظر گرفته شود. به این ترتیب، با توجه به شیوه فعالیت، گونه *C. lemnata* که رسوبات کمتری تولید می کند بر دو گونه دیگر برتری دارد.

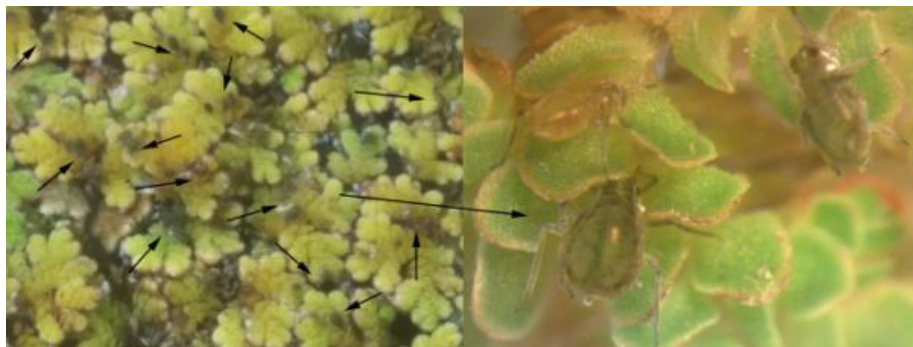


شکل ۶-۱۵- مقایسه شیوه فعالیت سه گونه شب پره فعال روی آزولا در شمال کشور (a: ابتدای فعالیت لارو، b:

مراحل پایانی فعالیت لارو) (۱- شب پره *C. lemnata*، ۲- شب پره *N. noctuella*، ۳- شب پره *D.*

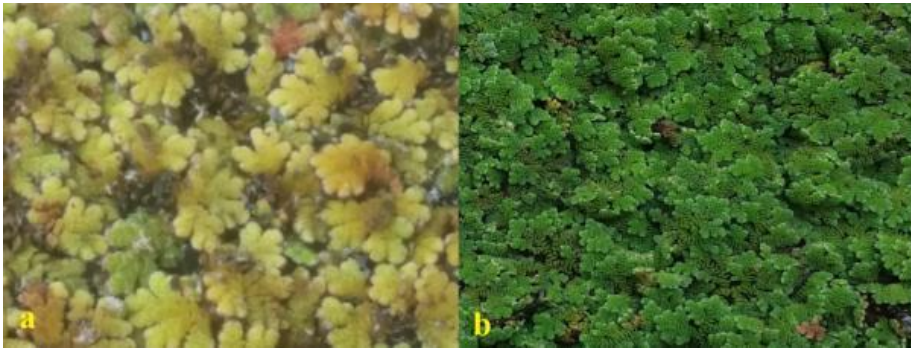
ramburialis) (اصلی)

علاوه بر سه گونه فوق مشخص شده که شته *Rhopalosiphum nymphaeae* L. از خانواده Aphididae نیز در نواحی شمالی کشور دارای تراکم بسیار بالایی روی آژولا می‌باشد (فرچپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۵). (شکل ۶-۱۶). این شته یک گونه پلی‌فاژ دارای تناوب میزبانی با چرخه زندگی کامل است که بسیاری از گیاهان آبی را مورد استفاده قرار می‌دهد و می‌تواند زیر آب زنده بماند (هولمن، ۲۰۰۹؛ بلاک من و استوپ، ۲۰۱۵). فرم جنسی حشره روی تیره‌ها و گونه‌های مختلف گیلاس تشکیل می‌شود و کلنی‌های بهاره شاخه‌های تازه، برگ‌ها و دُم میوه‌ها را آلوده می‌کنند که باعث پیچیدگی برگ‌ها در گیاه میزبان می‌شود (بلاک من و استوپ، ۱۹۹۴؛ ۲۰۰۶). فعالیت این شته در ایران روی برخی از گونه‌های گیلاس و قاشق‌واش گزارش شده بود (مختاری و همکاران، ۲۰۱۲). در کلنی‌هایی که روی گیاهان پهن‌برگ آبی دارای پهنک بزرگ تشکیل می‌شود، شته‌ها معمولاً در راستای رگبرگ‌ها گروه‌های مجتمعی را تشکیل می‌دهند؛ اما روی آژولا و گیاهان مانند آن که برگ‌های کوچکی دارند، شته‌ها به‌طور پراکنده در جمعیت‌های بالا روی سطح شناور گیاه فعالیت می‌کنند (شکل ۶-۱۸).



شکل ۶-۱۶- شته *Rhopalosiphum nymphaeae* روی آژولا (اصلی)

حشرات بالغ از شیر گیاهی تغذیه می‌کنند. در تراکم بالا باعث ایجاد زردی و ضعف برگ‌ها در آژولا می‌شوند (شکل ۶-۱۷). در چنین شرایطی فرم‌های مختلف بالدار و بدون بال در نواحی اطراف به سهولت قابل مشاهده هستند (شکل ۶-۱۸).



شکل ۶-۱۷- علائم فعالیت شته *R. nymphaeae* روی آزولا
(a: آزولای آلوده به شته با تراکم بالا، b: آزولای سالم) (اصلی)



شکل ۶-۱۸- تراکم جمعیت بالای شته *R. nymphaeae* روی آزولا و مشاهده جمعیت‌های بالای شته از فرم‌ها و مراحل مختلف چرخه زندگی (اصلی)

براساس منابع موجود فرم‌های غیر جنسی بالدار در اواخر بهار به سوی میزبان‌های آبی می‌مهاجرت می‌کنند (لامپکین و پلاکنت، ۱۹۸۰)؛ اما بررسی‌های انجام شده در شمال ایران نشان داده که این شته قادر است تمام طول سال روی آزولا باقی مانده و حتی فرم جنسی را نیز روی آزولا تشکیل دهد که اولین گزارش ایجاد فرم جنسی این شته روی میزبان‌های زمستانی آن در دنیا محسوب

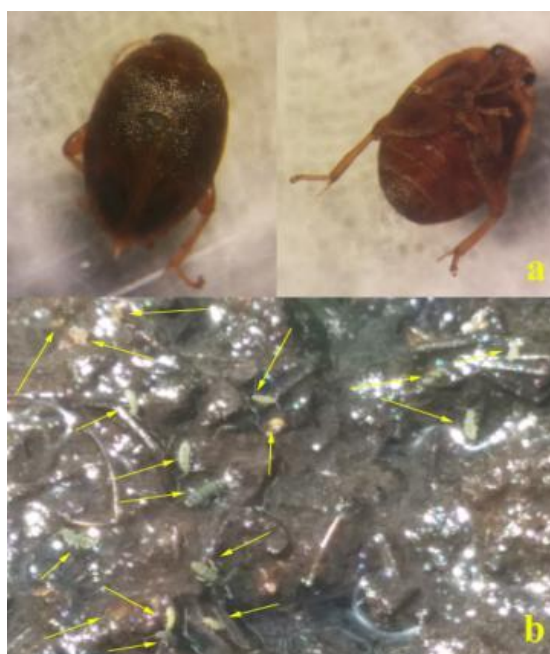
می‌شود (فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۵). اگرچه این شته قادر است جمعیت‌های با تراکم بالا روی آذولا ایجاد کند و در تمام سال روی آذولا فعال باشد؛ اما خسارت آن روی آذولا اغلب محسوس نیست و شرایط محیطی می‌تواند علایم ایجاد شده روی آذولا را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر در بررسی‌های به عمل آمده در سال‌های اخیر علاوه بر گونه‌های توصیف شده سرخرطومی *S. rufinasus* (شکل ۶-۱۹) نیز در استان گیلان از روی آذولا جمع‌آوری شده است (فرحپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۸b). بررسی‌ها نشان داده که این سرخرطومی که عامل اصلی کنترل بیولوژیک آذولا در دنیا می‌باشد به تازگی وارد کشور شده است. طی بررسی‌های انجام شده شیوه فعالیت حشره و مراحل مختلف زیستی آن روی آذولا به‌طور مقدماتی مشخص شده است؛ اما هنوز اطلاعات کافی در زمینه بیولوژی حشره و پراکنش آن در شمال کشور در دست نیست و بررسی‌ها در این زمینه ادامه دارد.



شکل ۶-۱۹- سرخرطومی *Stenopelmus rufinasus* (اصلی)

علاوه بر گونه‌های گیاهخوار فوق، تعدادی از حشرات متعلق به راسته‌ها و خانواده‌های متفاوت از روی آذولا جمع‌آوری شدند که به‌طور مستقیم آذولای تازه را مورد استفاده قرار نمی‌دهند. برخی از این حشرات مانند قاب‌بالانی از خانواده Scirtidae (شکل ۶-۲۰-a) و یا راسته دُم‌فتری‌ها (شکل

۶-۲۰-b) از آژولای پوسیده تغذیه می‌کنند. نام عمومی سوسک‌های خانواده Scirtidae سوسک‌های باتلاق^۱ است. حشرات بالغ نیمه‌آبزی هستند و لاروها از گیاهان آوندی و مواد پوسیده تغذیه می‌کنند (واتس، ۲۰۱۴). بر اساس منابع موجود گونه‌های راسته پادمان اغلب پوسیده‌خوار هستند؛ اما برخی از آنها به عنوان آفت محصولات زراعی شناخته می‌شوند. با این وجود گونه‌های این راسته در شمال فقط روی آژولا پوسیده فعال هستند. حشرات پوسیده‌خوار به عنوان عوامل کنترل بیولوژیک شناخته نمی‌شوند؛ اما چون از آژولای پوسیده تغذیه می‌کنند می‌توانند در کاهش حجم رسوبات تولید شده مؤثر باشند. با توجه به اینکه رسوبات ناشی از پوسیدگی آژولا یکی از عوامل قابل توجه در کاهش عمق تالاب‌ها و کانال‌های آبی است، وجود این حشرات می‌تواند در کندتر نمودن روند کاهش عمق این اکوسیستم‌های آبی مؤثر باشند (علی‌نیا، ۱۳۹۶).



۶-۲۰- حشرات پوسیده‌خوار فعال روی آژولا

(a: سوسک‌های خانواده Scirtidae, b: دُم‌فتری‌های فعال روی آژولا) (اصلی)

همچنین برخی از گونه‌های دیگر حشرات در ارتباط با آزولا جمع‌آوری شده‌اند که که امکان پرورش آنها در آزمایشگاه تاکنون میسر نشده است. به عنوان مثال لاروهای برزگی به طول تقریبی ۱۵ تا ۳۰ میلی‌متر که شبیه لارو شب‌پره‌های Noctuidae هستند در برخی از مناطق روی آزولا مشاهده می‌شود (شکل ۶-۲۱). این لاروها جمعیت‌های پائینی روی آزولا دارند و پرورش آنها در شرایط آزمایشگاهی روی آزولا امکان پذیر نشد.



شکل ۶-۲۱- لارو بالپولکداران نامشخص جمع‌آوری شده از روی آزولا (اصلی)

همچنین در برخی از مناطق حشرات بالغ نوعی سرخرطومی آبی با نام علمی *Tanysphyrus lemnae* Fabricius (Coleoptera: Eirrhinidae) از روی آزولا جمع‌آوری شده است (شکل ۶-۲۲). این سرخرطومی روی برخی از گونه‌های تیره Lemnaceae فعال است و اغلب در مناطقی مشاهده می‌شود که آزولا به صورت مخلوط با عدسک آبی وجود دارد. این سرخرطومی به دلیل شباهت بسیار بالا به سرخرطومی *S. rufinasus* باید مورد توجه قرار گیرد تا به عنوان سرخرطومی

آزولا به اشتباه مورد استفاده قرار نگیرد. اگرچه این گونه از عدسک آبی تغذیه می کند و گونه های عدسک آبی بومی نواحی شمالی ایران هستند. آزولا در محل فعالیت این گونه اغلب بسیار خرد شده و دارای شکستگی زیاد است و حشرات بالغ می توانند تا چندین هفته روی آزولا در آزمایشگاه به فعالیت ادامه دهند؛ اما روی آزولا تخم گذاری نمی کنند (فرچپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۶b).



شکل ۶-۲۲- سرخرطومی عدسک آبی

با نام علمی *Tanysphyrus lemnae* (فرچپور حقانی و همکاران، ۲۰۱۶b)

علاوه بر این تعدادی از کنه های Oribatidae نیز از روی آزولا جمع آوری شده اند که میزبان غذایی آنها در آزمایشگاه مشخص نشد (شکل ۶-۲۳). این کنه ها نیز اغلب از روی آزولای در حال پوسیدگی جمع آوری شده اند؛ اما تعیین خسارت زایی آنها در آزمایشگاه تاکنون امکان پذیر نشده است.



شکل ۶-۲۳- کنه *Oribatidae* جمع آوری شده از روی آزولا (اصلی)

۶-۲- راهکارهای مدیریت آزولا در شمال کشور بر اساس منابع موجود

همانطور که در فصل‌های گذشته عنوان شد، آزولا به عنوان گونه‌ای مفید برای شالیزارها به ایران معرفی شد. لذا، اغلب بررسی‌های به عمل آمده در مورد آزولا در ایران در زمینه جنبه‌های مثبت این سرخس آبی از جمله تأثیر آن بر جذب فلزات سنگین و ترکیبات آلاینده آب، تأثیرات مثبت آن در رشد برنج و کنترل پشه، کاربرد آن در رژیم غذایی دام و طیور و ماهی‌ها و حتی تولید سوخت‌های گیاهی متمرکز شده و از بین عناوین یاد شده بیشتر تحقیقات روی تأثیر آزولا در جذب آلاینده‌های آب بوده است. تأثیرات مثبت آزولا در شالیزارها و جیره غذایی دام و طیور و ماهی‌ها در دنیا مورد تأیید قرار دارد اما اغلب در کشورهایی مانند چین، هند و کشورهای آسیای جنوب شرقی مطرح است که گونه‌های آزولا در آنها به عنوان گونه‌های بومی شناخته می‌شود (کابی، ۲۰۱۹). در این کشورها وجود دشمنان طبیعی بومی روی آزولا که با گذشت زمان به همراه میزبان خود به تکامل و تعادل رسیده‌اند، آزولا را در محیط‌های طبیعی به حالت متعادل حفظ می‌کند. به عنوان مثال در کشور چین و برخی از کشورهای اطراف آن برخی از گونه‌های دو جنس *Elophila* spp., *Ephestiopsis* spp. (Crambidae) روی آزولا فعال بوده و به عنوان عوامل ایجاد

خسارت روی آژولا در منطقه شناخته می‌شوند (موچیدا، ۱۹۸۵؛ موچیدا و همکاران، ۱۹۸۷). در کشور هند و برخی از مناطق دیگر نیز برخی از گونه‌های جنس *Cryptoblabes* spp. (Pyralidae) (ساسمال و کول‌شرشتا، ۱۹۸۴) به عنوان گونه‌های آفت برای آژولا شناخته می‌شوند و در این مناطق بعضی از گونه‌های یاد شده مانند *Cryptoblabes gnidiella* Millière اغلب به عنوان آفات مشترک برخی از گیاهان زراعی و آژولا شناخته می‌شوند (مولت، ۲۰۱۳).

اولین علائم تهاجم آژولا به زیستگاه‌های آبی منطقه در اواخر دهه ۷۰ آشکار شد. با این وجود علی‌رغم اهمیت آژولا در شمال کشور هنوز نقشه دقیقی از پراکنش آژولا در منطقه در دست نیست که این امر نیز مشکلات زیادی در بررسی روش‌های مدیریت آژولا در منطقه ایجاد کرد. مدل‌های پراکنش آژولا در برخی از مناطق نواحی شمالی کشور قبلاً مورد بررسی قرار گرفته است و مهم‌ترین عوامل غیر زنده^۱ مؤثر در گسترش آژولا در منطقه مشخص شده‌اند (صادقی و همکاران، ۲۰۱۲a؛ ۲۰۱۲b؛ ۲۰۱۳a؛ ۲۰۱۳b؛ صادقی، ۲۰۱۶) و طی سال‌های اخیر اغلب عوامل زنده فعال روی آژولا نیز در منطقه شناسایی شده‌اند (فرچپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ علی‌نیا، ۱۳۹۶؛ فرچپورحقانی، ۱۳۹۷؛ فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ ۲۰۱۶a؛ ۲۰۱۶b؛ ۲۰۱۷؛ ۲۰۱۸a؛ ۲۰۱۸b) با این وجود، هنوز راهکارهای مناسب مدیریت آژولا در منطقه به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته و کشاورزان به ناچار از روش‌های سنتی مبارزه با سایر علف‌های هرز برای کنترل این سرخس آبرزی در نواحی دچار مشکل استفاده می‌کنند.

در اجرای برنامه‌های کنترل بیولوژیک علف‌های هرز، شناسایی گام نخست محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که برخی از گونه‌های فعال روی آژولا در نواحی شمالی کشور برای اولین بار در دنیا از روی آژولا گزارش شده‌اند (فرچپورحقانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۶a؛ ۲۰۱۷) که این امر نشان می‌دهد شرایط محیطی خاص سبب شده تا این گونه‌ها

فعالیت روی آزولا را آغاز نمایند. این گونه‌ها که عموماً مهاجر یا بومی منطقه هستند به خوبی با فعالیت روی آزولا سازگاری یافته‌اند. البته همانطور که قبلاً نیز اشاره شد کنترل بیولوژیک علف‌های هرز اغلب به روش کلاسیک انجام می‌شود. با این وجود، موارد موفقی از استفاده از عوامل کنترل بیولوژیک بومی به منظور کنترل علف‌های هرز مهاجم غیر بومی نیز وجود دارد. به عنوان مثال، گونه *Euhrychiopsis lecontei* (Dietz) (Curculionidae) که بومی آمریکای شمالی است به منظور کنترل علف هرز *Myriophyllum spicatum* L. (Haloragaceae) که یک گونه غیر بومی در این مناطق می‌باشد مورد استفاده قرار گرفت (شلدون و کرید، ۱۹۹۵؛ وینستون و همکاران، ۲۰۱۴). بررسی‌ها نشان داده است که از میان گونه‌های فعال روی آزولا در شمال گونه *C. lemnata* از این نظر می‌تواند به عنوان یک گونه کارآمد در نظر گرفته شود. این گونه بومی دارای جمعیت‌های طبیعی خوبی روی آزولا است و کارایی خوبی دارد (فرچپورحقانی، ۱۳۹۷). همچنین مشخص شده که از نظر خسارت‌زایی روی گونه‌های غیر هدف نیز کم خطر است (فرچپورحقانی، ۱۳۹۷؛ فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۸b). به این ترتیب، افزایش جمعیت آن در منطقه و حمایت از جمعیت‌های طبیعی آن می‌تواند در مهار آزولا مؤثر باشد (راهکارهای افزایش جمعیت و حمایت) (مک‌فادین، ۱۹۹۸). در مورد دو گونه *N. noctuella* و *D. ramburialis* با توجه به اینکه گونه اول یک گونه آفت است و دامنه میزبانی گونه دوم نیز مشخص نیست راهکار افزایش جمعیت مناسب نیست؛ اما حمایت از جمعیت‌های طبیعی این دو گونه در مناطق مشخص می‌تواند تا حدودی مفید باشد. البته در مورد گونه *N. noctuella* پرهیز از کشت میزبان‌های زراعی این حشره در نواحی نزدیک به آبگیرها می‌تواند سبب تمرکز جمعیت‌های طبیعی حشره روی آزولا شود که با این کار نه تنها از بروز خسارت در روی سایر میزبان‌های این گونه جلوگیری می‌شود بلکه بدون افزایش تراکم جمعیت‌های طبیعی حشره در منطقه می‌توان از آن در مهار آزولا استفاده نمود (مدیریت علف هرز با افزایش شدت تغذیه. با توجه به اینکه سموم مختلفی در

شالیزارها جهت کنترل آفات مورد استفاده قرار می‌گیرد، تأثیر منفی کاربرد این ترکیبات روی گونه‌های یاد شده با توجه به نظریه‌های اثرات غیر مستقیم بیوتیکی^۱ و کاهش دشمن^۲ (کولایوتی و همکاران، ۲۰۰۴؛ جیسکه و هگر، ۲۰۱۸) می‌تواند یکی از علل عدم کارآیی آنها در شرایط کنونی محسوب شود. از سوی دیگر به تازگی فعالیت سرخرطومی *S. rufinasus* نیز در شمال کشور اثبات شده است (فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۸b). بنابراین شرایط کنترل بیولوژیک کلاسیک آزولا نیز در منطقه وجود دارد که با تکمیل بررسی‌های ضروری می‌توان این حشره را نیز برای کنترل بیولوژیک آزولا در منطقه مورد استفاده قرار داد.

لازم به ذکر است که بر اساس منابع موجود تا چندی قبل گونه *A. filiculoides* به عنوان تنها گونه معرفی شده‌ی آزولا در ایران شناخته می‌شد (صادقی و همکاران، ۲۰۱۳a؛ کابی، ۲۰۱۸). با این وجود، گزارش‌های پراکنده‌ای از وجود گونه *A. pinnata* در ایران در برخی از منابع وجود دارد (یعقوبی، ۱۳۹۰؛ دلنواز و عظیمی، ۲۰۰۹). از سوی دیگر در بررسی‌های میدانی صفات ظاهری و اکولوژیکی متفاوتی در آزولا در نواحی شمالی کشور مشاهده شده که می‌تواند ناشی از وجود بیوتیپ‌ها یا گونه‌های متفاوت آزولا در منطقه باشد (شکل ۶-۲۴).



شکل ۶-۲۴- مشخصات ظاهری متفاوت در آزوای موجود در منطقه (فرچپورحقانی و همکاران، ۲۰۱۷).

بررسی‌ها نشان دادند که حشرات در واکنش به تغذیه از گونه‌های مختلف یا حتی واریته‌های متفاوت یک گونه عملکرد و واکنش متفاوتی نشان می‌دهند (پرات و همکاران، ۲۰۱۳؛ مانریکو و همکاران، ۲۰۱۴؛ دیاز و همکاران، ۲۰۱۵؛ ویلر و همکاران، ۲۰۱۶) و بررسی‌های متعددی نشان داده‌اند که فاکتورهای جدول زندگی حشرات تحت تأثیر تغذیه از میزبان‌های مختلف تفاوت یافته است (اوماک و لیذر، ۲۰۰۲؛ آماراسکاره و همکاران، ۲۰۰۸؛ مجیدو و همکاران، ۲۰۱۳؛ ریگادا و همکاران، ۲۰۱۶؛ چائودری و قادره، ۲۰۱۷). لذا وجود بیش از یک گونه آزولا در شمال کشور نیز می‌تواند عملکرد دشمنان طبیعی یافت شده در منطقه را تحت تأثیر قرار دهد.

به این ترتیب بر اساس توضیحات ارائه شده به منظور مهار آزولا در کشور ضرورت دارد نکات زیر

مد نظر قرار داده شود:

- ۱- نقشه مناطق پراکنش آژولا در منطقه به‌طور دقیق تهیه شود.
- ۲- گونه‌های آژولای موجود در کشور باید با استفاده از روش‌های ملکولی یا استفاده از اسپورهای جنسی به‌طور دقیق شناسایی شوند.
- ۳- نقشه پراکنش و تراکم گونه‌های فعال روی آژولا به‌ویژه سرخرطومی *S. rufinasus* به‌طور دقیق در منطقه تهیه شود.
- ۴- کاربرد سموم و ترکیبات شیمیایی در شالیزارها باید با مدیریت دقیق انجام شود تا از آسیب دیدن گونه‌های مفید فعال روی آژولا جلوگیری شود (جلوگیری از سمپاشی خارج از فصل، خودداری از کاربرد دُزهای بسیار بالا و کاربرد سم در کانال‌های آبرسانی).
- ۵- سرخرطومی *S. rufinasus* در منطقه باید به‌طور دقیق مورد بررسی و پایش قرار گیرد.
- ۶- در مناطقی که سرخرطومی کارآیی کافی ندارد با تکثیر انبوه، رهاسازی مجدد سرخرطومی انجام شود و به‌طور همزمان گونه‌هایی مانند *C. lemnata* نیز مورد استفاده قرار گیرند.
- ۷- در زیستگاه‌هایی که دو گونه *N. noctuella* و *D. ramburialis* تراکم مناسبی دارند، به منظور افزایش شدت تغذیه سایر میزبان‌های دو گونه حذف شده و از کاربرد سموم آفت‌کش در این مناطق خودداری شود.
- ۸- آژولای فعال در شالیزارها باید به‌خوبی مهار شده و از ورود آن به آبراه‌ها جلوگیری شود. لازم به ذکر است که وجود آژولا در شالیزارها پس از استقرار نشاء (حدود دو هفته پس از نشاکاری) تا پایان فصل در تراکم کم می‌تواند برای رشد برنج مفید باشد، لذا مدیریت صحیح و مهار آژولا در شالیزارها اهمیت بسیاری دارد.

منابع مورد استفاده

- احمدنیا، حمیدرضا، رفیعی، غلامرضا. ۱۳۸۷. معرفی گیاه آزولا و کنترل آن به عنوان یک گیاه مهاجم. در: اولین کنفرانس منطقه‌ای اکوسیستم‌های آبرزی محلی در ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر. صفحه ۱۱۳-۱۱۷.
- اصفیاء، محمود. ۱۳۶۴. استفاده از آزولا در شالیکاری و نقش آن در کاهش مصرف کودهای نیتروژنه و افزایش محصول. انتشارات سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی.
- اصفیاء، محمود. ۱۳۶۶. گزارش مراحل پیشرفت اجرای طرح بررسی سازگاری ارقام آزولا با آب و هوای مناطق شالیکاری شمال کشور. انتشارات سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی.
- افتخاری، طاهره. ۱۳۸۲. گیاه آزولا و اثرات آن بر روی اکوسیستم‌های آبی ایران. فصل‌نامه علمی سازمان حفاظت از محیط زیست. شماره ۳۹. ۸۰ صفحه.
- افضلی، مسعود. ۱۳۷۶. استفاده از سطوح مختلف سیلوی آزولا در گوسفند بومی گیلان. گزارش طرح تحقیقاتی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان.
- باغستانی محمدعلی؛ زند، اسکندر؛ توسلی، راحله سادات؛ بنا کاشانی، فاطمه. ۱۳۸۵. آزولا (گیاه سودمند یا یک علف هرز). مجله زیتون. شماره ۱۶۷، صفحه ۱-۳.
- برادران نویری. ۱۳۷۰. آزولا و کاربردهای گوناگون آن بخصوص در آفریقا F.A.O. (ترجمه). مرکز تحقیقات شیلات گیلان.
- پاداشت دهکایی، فریدون، تجددی طلب، کبری، حسینی چالشتی، مریم، ربیعی، محمد، شرفی، ناصر، شکری واحد، حسن،، عزیزاده، محمد رضا، علی‌نیا، فرامرز، عمرانی، محسن،، کاووسی،

- مسعود، مجیدی شیل سر، فرزاد، نحوی، مجید، یزدانی، محمد رضا، افشار، امیرحسن، صیدی، داوود، علیجانی، میثم، محمدی، مراد، ناصری ملکی، زهید. ۱۳۹۴. راهنمای برنج (کاشت، داشت، برداشت). سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، نشر آموزش
- خدابنده، ناصر. ۱۳۷۱. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۳۲۷ تا ۳۳۱.
- خراسانی، نعمت اله و ثابت رفتار، کریم. ۱۳۷۴. آثار زیست محیطی گیاه آزولا در اکوسیستم آبی تالاب انزلی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۲۶.
- رستگار، محمدعلی. ۱۳۷۸. علف های هرز و روش های کنترل آنها، مرکز نشر دانشگاهی تهران.
- رضوی پور، تیمور. ۱۳۸۶. تهیه کمپوست از آزولا و کاه برنج. نشریه شماره ۸۶/۶۱۸ مورخ ۸۶/۶/۱۱ مرکز اطلاعات علمی کشاورزی.
- رضوی پور، تیمور. ۱۳۸۷. اثر استفاده از آزولای تازه و کمپوست شده بر عملکرد دانه و جذب عناصر در دانه و ساقه برنج، سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، دانشکده کشاورزی.
- سبک‌رو فومنی، کاوه. و سبک‌رو فومنی، کامیار. ۱۳۸۸. مزایا و معایب حضور آزولا در ایران. دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی.
- صفائیان، نصرت‌اله. ۱۳۷۴. آزولا. مجله دامدار، شماره ۱۵.
- علیزاده شایق، جمیل. ۱۳۶۴. با توسعه از کشت ارقام پرمحصول برنج وابستگی ها را کم کنیم. نشریه زیتون، شماره ۴۹.
- علی‌نیا، فرامرز. ۱۳۹۶. بررسی عوامل بیوکنترل حشره‌ای آزولا و گوشاب در استان گیلان. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات برنج کشور.

- فرچپور حقانی، آتوسا. ۱۳۹۷. بررسی امکان کاربرد یک گونه شب پره آبی در مزارع برنج در کنترل بیولوژیک علف های هرز آبی *Azolla filiculoides* Lamarck و *Azolla pinnata* R. Brown در شالیزارهای شمال ایران، رساله دکتری دانشگاه محقق اردبیلی.
- فرچپور حقانی، آتوسا، جلائیان، مهدی، علی نیا، فرامرز، مجیدی، فرزاد. ۱۳۹۵. اولین گزارش شب پره بوریا پوشان (*Nomophila noctuella* (Lepidoptera: Crambidae: Spilomelinae) از آزولا در تالاب ها و مزارع برنج، بیست و دومین همایش گیاه پزشکی ایران.
- قجاوند، محمود. ۱۳۷۵. آزولا. دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد رامسر.
- قره یاضی، بهزاد. ۱۳۶۸. آزولا تأمین کننده نیتروژن مزارع برنج و نقش آن در کنترل علف های هرز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- قره یاضی، بهزاد. ۱۳۷۰. کاربرد جلبک سبز- آبی و همزیست در زراعت برنج. (ترجمه). مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۱۳.
- قره یاضی، بهزاد، میرحسینی، سیدضیاءالدین. و روزبهان، محمدولی. ۱۳۷۱. سیستم کشت توأم برنج- آزولا- ماهی. مجله آبزیان، شماره ۲۰.
- کوهنورد، فهیمه، پاشایی راد، شاهرخ، عالی پناه، هلن، کهن سال، اردشیر. ۱۳۹۰. بررسی فنوسیتیک شب پره های زیر خانواده های *odontiinae* و *crambinae*, *cybalominae* در شهرستان های فسا و جهرم از استان فارس. مجله زیست شناسی ایران، ۲۴(۱)، ۱۴۳-۱۵۴.
- کیمیاگر، محمد. ۱۳۷۲. بررسی امکان استفاده از آزولا در اردک گوشتی (پکن). گزارش طرح تحقیقاتی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان.
- کیهان، ح. ۱۳۷۰. گیاه آبی و آزولا و کاربرد آن. فصلنامه کشاورزی و دام. شماره ۱۱، سال سوم. وزارت جهاد سازندگی. ص ۱۲-۱۵.

- گروه تغذیه دام معاونت دامپروری سازمان جهادسازندگی گیلان. ۱۳۷۲. کاربرد آزولا در تغذیه دام. نشریه تغذیه دام و طیور. شماره ۷، ۲۴-۲۷.
- متقی طلب، مجید. ۱۳۶۹. استفاده از آزولا در تغذیه گاوهای هلشتین شیرده. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
- متقی طلب، مجید. ۱۳۶۹. استفاده از آزولا در تغذیه گاوهای شیرده. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- محمد شریفی، مسلم. ۱۳۸۰. راهنمای کاربردی علف‌های هرز مزارع برنج ایران، انتشارات جهاد کشاورزی.
- محمدیان تبریزی، حمیدرضا. ۱۳۷۵. بررسی روش‌های مناسب سیلوکردن آزولا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان.
- مظفریان، ولی‌اله. ۱۳۸۸. فرهنگ نام‌های گیاهان ایران، انتشارات فرهنگ معاصر، تهران.
- مهدی‌زاده تکلیمی، سیدمظفر، منوچهری اردکانی، حمید، نوروزیان، حسین. و شیوازاد، محمود. ۱۳۷۶. بررسی استفاده از آزولا فلیکولوئیدس در جیره جوجه‌های گوشتی. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۳۴، ص ۱۵۱-۱۴۸.
- میخ‌چی، محمدحسین. ۱۳۶۳. طرز تهیه سیلو از گیاهان تغذیه دام. حوزه امور دام. وزارت کشاورزی.
- نصیریان، محمدهادی. ۱۳۶۶. بررسی و جستجوی آزولا در طبیعت و مقایسه ارقام مختلف آن. مرکز تحقیقات برنج رشت.
- نصیریان، محمدهادی. ۱۳۶۷. گزارش طرح تحقیقاتی آزولا در سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۶۸. مرکز تحقیقات برنج رشت.

- نصیریان، محمدهادی. ۱۳۶۹. گزارش سیمینار کاربرد گیاه آزولا در جمهوری خلق چین (استان فرزیان). ۱۱ تیر تا ۲۸ مرداد ۱۳۶۹. مرکز تحقیقات برنج رشت.
- نیکخواه، علی. و متقی طلب، مجید. ۱۳۷۱. استفاده از آزولا در تغذیه گاوهای شیرده. مجله علوم کشاورزی ایران. شماره ۱.
- هاشمی، مسعود. ۱۳۷۰. تغذیه دام، طیور و آبزیان (خوراک ها و خوراک دادن و جیره نویسی). انتشارات فرهنگ جامع.
- یعقوبی، بیژن. ۱۳۹۰. بررسی اثر برخی علف کش ها در ایجاد عارضه کوتولگی برنج. رساله دوره دکتری علوم علف های هرز، دانشگاه تهران، گروه زراعت و اصلاح نباتات.
- Aagaard, K. and Lockwood, J. 2014. Exotic birds show lags in population growth. *Diversity and Distributions*, 20(5): 547-554.
- Agassiz, D. 2012. The Acentropinae (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae) of Africa. *Zootaxa*, 3494(1), pp.1-73.
- Ahmady-Asbchin, S. and Omran, A. N. 2012. Potential of *Azolla filiculoides* in the removal of Ni & Cu from wastewaters. *African Journal of Biotechnology*, 11(95): 16158-16164.
- Akhani, H., Djamali, M., Ghorbanalizadeh, A. and Ramezani, E. 2010. Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, N Iran: an overview of the flora, vegetation, palaeoecology & conservation. *Pakistan Journal of Botany*, 42(Special Issue): 231-258.
- Alejar, A. S. and Aragones, M. 1989. *Azolla microphylla* as partial replacement for palay- snail-shrimp-based ration for mallared duck. In: National *Azolla* Action Program. Philippines. p. 221-239.
- Alijani, B. and Harman, J. R. 1985. Synoptic climatology of precipitation in Iran. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(3): 404-416.
- Amarasekare, K. G., Mannion, C. M., Osborne, L.S. and Epsky, N. D. 2008. Life history of *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) on four host plant species under laboratory conditions. *Environmental Entomology*, 37(3): 630-635.
- America's Wetland. 2019. http://www.americaswetlandresources.com/wildlife_ecology/plants_animals_ecology/plants/mosquitofern.html

- Anjos, N., Santos, G. P. and Zanuncio, J. C. 1986. Pragas do eucalipto e seu controle. Informe Agropecuario, Belo Horizonte, 12(141): 50-58.
- Arora, A., Saxena, S. and Kumar Sharma, D. 2006. Tolerance and phytoaccumulation of Chromium by three *Azolla* species. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 22, 97-100.
- Ashton, P. J. 1982. The autecology of *Azolla filiculoides* Lamarck with special reference to its occurrence in the Hendrik Verword Dam catchment area. PhD thesis, Rhodes University, South Africa.
- Ashton, P. J. and Walmsley, R. D. 1976. The aquatic fern *Azolla* and *Anabaena* symbiot. Journal of Endeavour, Vol. (35) pp39- 45.
- Ashton, P. J. 1974. The effects of some environmental factors on the growth of *Azolla filiculoides* Lamarck pp. 123-138. The orange river progress report. Institute for Environmental Sciences, University of the O.F.S. Bloemfontein, South Africa.
- Ashton, P. J. 1992. *Azolla* infestations in South Africa: History of the introduction, scope of the problem and prospects for management. Water quality information sheet. Pretoria, South Africa: Department of Water Affairs and Forestry.
- Awmack, C. S. and Leather, S.R. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47(1), pp.817-844.
- Awodan, M. A. 2008. Effect of *Azolla* on physiochemical properties of the soil. World Journal of Agriculture Science, 4(2): 157-160.
- Axelsen, S. and Julian, C. 1988. Weed control in small dams. Part II control of *Salvinia*, *Azolla* and of water hyacinth. Queensland Agricultural Journal, 114(5): 291-298.
- Azolla* notes. 1985. from searching on www.google.com.
- Baigi, M. G., Pirdashti, H., Abbasian, A. and Mazandarani, G.A. 2013. Combined effect of duck & *Azolla* on dry matter partitioning of rice (*Oryza sativa* L.) in the integrated rice-duck farming.
- Balarak, D., Bazrafshan, E. and Kord Mostafapour, F. 2016. Equilibrium, kinetic studies on the adsorption of acid green 3 (Ag3) dye onto *Azolla filiculoides* as adsorbent. American Chemical Science Journal, 11(1): 1-10.
- Basak, B., Pramanik, M. A. H., Rahman, M. S., Tarafdar, S. U. and Roy, B. C. 2002. *Azolla (Azolla pinnata)* as a feed ingredient in broiler ration. Int. J. Poult. Sci, 1(1), pp.29-34.
- Batra S. W. 1977. Bionomics of the Aquatic Moth, *Acentropus niveus* (Oliver), a Potential Biological Control Agent for Eurasian Watermilfoil and Hydrilla. New York Entomological Society LXXXV(3) pp. 143-152.

- Becera, M. 1990. *Azolla fihiculoides* as partial replacement for traditional protein supplements in pig diets based on sugar cane juice. *Livestock Research for Rural Development*. 2(2): <http://www.cipav.org.Co/lrrd/lrrd2/2/marice I.html>.
- Bhuyan, M., Ii, A., Hasanat, M. R., Au, M. A. and Rahman, M. A. 1998. Effect of feeding *Azolla (Azolla pinnata)* on the performance of broiler. *Bangladesh J. Anim. Sci.*, 27: 77- 82.
- Blackburn, T. M., Dyer, E., Su, S. and Cassey, P. 2015. Long after the event, or four things we (should) know about bird invasions. *Journal of Ornithology*, 156(1): 15-25.
- Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., Wilson, J. R. and Richardson, D. M. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in ecology & evolution*, 26(7): 333-339.
- Blackman, R. L. and Eastop, V. F. 2015. *Aphids on the World's Plants: An online identification & information guide*. Available from: <http://www.aphidsonworldsplants.info/> Access Date: 2015.04.19.
- Blackman, R. L. and Eastop, V. F. 1994. *Aphids on the World's Trees*. CAB International with the Natural History Museum, London. Viii + 987 pages, 135 figures, 16 plates.
- Blackman, R. L. and Eastop, V. F. 2006. *Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. Volume 2 the Aphids*. John Wiley and Sons with the Natural History Museum, London. Viii + pages 1025-1439.
- Bocchi, S. and Malgioglio, A. 2010. *Azolla-Anabaena* as a biofertilizer for rice paddy fields in the Po Valley, a temperate rice area in Northern Italy. *International Journal of Agronomy*.
- Braun-Howland, E. B. and Nierzwicki-Bauer, S. A. 1990. *Azolla-Anabaena Symbiosis: Biochemistry, Physiology, Ultrastructure, and Molecular Biology*", CRC Handbook of Symbiotic Cyanobacteria, A. N. Rai, ed., CRC Press, Boca Raton, 65-117.
- Briese, D. T. 2005. Translating host-specificity test results into the real world: the need to harmonize the yin & yang of current testing procedures. *Biological Control*, 35(3): 208-214.
- Britt, C., Mole, A., Kirkham, F. and Terry, A. 2003. The herbicide handbook: guidance on the use of herbicides on nature conservation sites. *English Nature in association with FACT*. Wetherby, pp.61-62.
- Brownsey, P. J. and Perrie, L. R. 2013: *Azolla rubra* revisited. *New Zealand Botanical Society Newsletter* 111: 6-7.

- Buckingham, G. R. and Buckingham, M. 1981. A laboratory biology of *Pseudolampsis guttata* (LeConte) (Coleoptera: Chrysomelidae) on waterfern, *Azolla caroliniana* Willd. (Pteridophyta: Azollaceae). *Coleopterists' Bulletin* 35:181–188.
- Buckingham, K. W., Morris, J. C. and Goldman, C. R. 1978. Nutritive value of the nitrogen- fixing aquatic fern *Azolla filiculoides*. *J. Agric. Food Chem.* 26: 1230-1234.
- Bujak, A. A. 2012. Optimum harvesting times of *Azolla filiculoides* to maximize CO₂ sequestration in a controlled environment. Unpublished undergraduate dissertation, Manchester University, pp. 1-49.
- Bujak, J. P. 2007. The *Azolla* Story: climate change and Arctic hydrocarbons. *GeoExPro Magazine*, September 2007, pp. 66-72..
- CABI: The Centre for Agriculture & Bioscience International, 2019. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8119> & <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8120>, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/112634>.
- Caffrey, J. M., Barrett, P. R. F., Ferreira, M.T., Moreira, I. S., Murphy, K. J. and Wade, P. M. 1999. Biomass characterization of *Azolla filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater. *Hydrobiology*, 415: 323-327.
- Cagauan, A. G., Branckaert, R. D. and Van Hove, C. 2000. Integrating fish and azolla into rice-duck farming in Asia. *Naga, The ICLARM Quarterly*, 23(1), pp.4-10.
- Carrapiço. 2018. (personal communication). University of Lisbon, Faculty of Sciences, Portugal.
- Carrapiço, F. 1991. Are Bacteria the Third Partner of the *Azolla*-*Anabaena* Symbiosis? *Plant and Soil*, 137, 157-160.
- Carrapico, F. 2010. *Azolla* as a Superorganism. Its Implication in Symbiotic Studies. *Symbioses and Stress Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, 17:225-241.
- Carrapiço, F., Santos, R. and Serrano, A. 2011. First occurrence of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1835 (Coleoptera: Eirirhinidae) in Portugal. *The Coleopterists Bulletin*, 65(4): 436-437.
- Carrapico, F., Teixeira, G. and Diniz, A. 2000. *Azolla* as biofertilizer for future. *Revista de ciencias* 23(3-4): 120-138.
- Cassey, P. and Hogg, C. J. 2015. Escaping captivity: the biological invasion risk from vertebrate species in zoos. *Biological Conservation*, 181: 18-26.

- Cassey, P., García-Díaz, P., Lockwood, J. L. and Blackburn, T. M. 2018. Invasion Biology: Searching for Predictions & Prevention, & Avoiding Lost Causes. *Invasion Biology: Hypotheses & Evidence*, 9: 1-11.
- Cassey, P., Prowse, T. A. and Blackburn, T. M. 2014. A population model for predicting the successful establishment of introduced bird species. *Oecologia*, 175(1): 417-428.
- CEH. 2004. Centre for Aquatic Plant Management. Information sheet 22: *Azolla filiculoides* water fern. Center for Ecology & Hydrology. Web: www.capm.org.uk
- Center, T. D., Dray, Jr. F. A., Jubinsky, G. P. and Grodowitz, M. J. 2002. Insects and other arthropods that feed on aquatic and wetland plants. U. S. Department of agriculture, Agricultural research service, Technical Bulletin No. 1870. pp 209.
- Chatterjee, A., Sharma, P., Ghosh, M. K., M&al, M. and Roy, P. K. 2013. Utilization of *Azolla microphylla* as feed supplement for crossbred cattle. *The International Journal of Agriculture Food Science & Technology*, 4(3): 207-214.
- Chaudhuri, N. and Gharde, S. K. 2017. Host-based life cycle traits of polyphagous defoliator *Cricula trifenestrata* Helfer (Lepidoptera: Saturniidae) from Terai region of West Bengal, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1): 797-802.
- Choudhury, A. T. M. A. and Kennedy, I. R. 2004. Prospects & potentials for systems of biological nitrogen fixation in sustainable rice production. *Biology & Fertility of Soils*, 39(4): 219-227.
- Coetzee, J. A., Hill, M. P., Byrne, M. J. and Bownes, A. 2011. A review of the biological control programmes on *Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms (Pontederiaceae), *Salvinia molesta* DS Mitch. (Salviniaceae), *Pistia stratiotes* L. (Araceae), *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. (Haloragaceae) and *Azolla filiculoides* Lamarck (Azollaceae) in South Africa. *African Entomology*, 19(2): 451-468.
- Coetzee, J. A., Hill, M. P., Byrne, M. J. and Bownes, A. 2011. A review of the biological control programmes on *Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms (Pontederiaceae), *Salvinia molesta* DS Mitch. (Salviniaceae), *Pistia stratiotes* L. (Araceae), *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. (Haloragaceae) and *Azolla filiculoides* Lamarck (Azollaceae) in South Africa. *African Entomology*, 19(2): 451-468.
- Colautti, R. I., Ricciardi, A., Grigorovich, I. A. and MacIsaac, H. J. 2004. Is invasion success explained by the enemy release hypothesis? *Ecology Letters*, 7(8): 721-733.
- Collinson, M. E., Van Konijnenburg-Van Cittert, J. H., Marone, F. and Brain, A. P. 2017. Reinterpretation of *Azolla primaeva* (Azollaceae, Eocene, Canada) using

- electron microscopy and X-ray tomographic microscopy. *Review of palaeobotany and palynology*, 240, pp.33-48.
- Corporal, J., Schooten, F. and Spoclastra, S. F. 1990. Effect of different harvesters and molasses on the quality of poorly wilted silage. *Herb. Abst.* V: 60 NO: 12 N: 3613.
- Costa, M. M., Conceição Santos, M. and Carrapiço, F. 1999. Biomass characterization of *Azolla filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater. *Hydrobiologia*, vol. 415, pp. 323–327.
- Crooks, J. A. 2005. Lag times and exotic species: The ecology and management of biological invasions in slow-motion1. *Ecoscience*, 12(3): 316-329.
- Dai, L. P., Dong, X. J. and Ma, H. H. 2012. Antioxidative & chelating properties of anthocyanins in *Azolla imbricata* induced by cadmium. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(4).
- De Prins, J. and De Prins, W. 2018. Afromoths, online database of Afrotropical moth species (Lepidoptera). World Wide Web electronic publication (www.afromoths.net) [accession date]
- DeFrank, J. 1995. *Azolla* for Weed Control in Wetland Taro Production. Video. University of Hawai'i at Manoa, College of Tropical Agriculture. 19 min. This video documents an experiment using *Azolla*, an aquatic fern, to reduce weeds in wetland taro. Available for purchase at <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/forsale>.
- Delnavaz Hashemloian, B. and Azimi, A. 2009. Alien & exotic *Azolla* in northern Iran. *African Journal of Biotechnology*, 8 (2): 187-190.
- Diatloff, G. and Lee, A. N. 1979. A new approach for control of *Azolla filiculoides*. *Proceedings of the 7th Asian-Pacific Weed Science Society Conference*, Sydney, Australia, 253-255.
- Diaz, R., Manrique, V., Munyaneza, J. E., Sengoda, V. G., Adkins, S., Hendricks, K., Roberts, P. D. and Overholt, W. A. 2015. Host specificity testing and examination for plant pathogens reveals that the gall inducing psyllid *Calophya latiforceps* is safe to release for biological control of Brazilian peppertree. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 154(1): 1-14.
- Domingucz, P. L. and Ly, J. 1997. Balance of N and energy in pigs fed diets based on sugar cane molasses and *Azolla* meal (*Azolla* spp). *Cuban Journal of Agricultural Science* 31:75-82.
- Domroes, M., Kaviani, M. and Schaefer, D. 1998. An analysis of regional & intra-annual precipitation variability over Iran using multivariate statistical methods. *Theoretical & Applied Climatology*, 61(3-4): 151-159.

- Doorduyn, L. J. and Vrieling, K. 2011. A review of the phytochemical support for the shifting defence hypothesis. *Phytochemistry Reviews*, 10(1): 99-106.
- Drake, C. I. and Decker, G. C. 1927. Some caterpillars frequently mistaken for European corn borer. Iowa State College of Agriculture & Mechanic Arts. Agricultural Experiment Station Circular, 16 pp.
- Dunham, D. G. and Fowler, K. 1987. Megaspore germination, embryo development and maintenance of the symbiotic association in *Azolla filiculoides* Lamarck. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 95(1): 43-53.
- Edwards, D. J. 1974. Weed preference and growth of young grass carp in New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 8(2): 341-350.
- El-Sayed, A. F. 1992. Effects of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling & adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research*, 23(2): 167-173.
- Encyclopedia of Life (elo): <http://eol.org/pages/72876/names?all=1>
- Entwisle, T. J. 1994. Ferns and allied plants (Psilophyta, Lycopodiophyta, Polypodiophyta). In: Walsh, N. G., Entwisle, T. J. (eds). *Flora of Victoria Vol. 2, Ferns and Allied Plants, Conifers and Monocotyledons*. Inkata Press, Melbourne (as *Azolla filiculoides* Lam.). Updated by: Niels Klazenga, 2015-08-27.
- Esmaili, M., Mobaser, H. R., Heydari, S. H., Akbarpour, R. N. and Eftekhari, A. 2007. The study on the effect of plant residue management methods, azolla and duck on weed characteristics, yield and harvest index in integrated culture of rice ratoon (*Oryza sativa*).
- Evangline, M. A. and Sandoval, C. 1984 *Azolla (Azolla pinnata)*. As a possible human food source. University of the Philippines.
- Farahpour-Haghani, A., Hassanpour, M., Alinia, F., Nouri Ganbalani, G. and Razmjou, J. 2018b. *Cataglyphis lemnae* Linnaeus, 1758 (Lepidoptera: Crambidae) expanded its host range feeding on invasive aquatic ferns, species of *Azolla* Lamarck, 1783 (Hydropteridales: Azollaceae): fitness factors & costs. *Aquatic Insects*, 40(1): 1-22.
- Farahpour-Haghani, A., Hassanpour, M., Alinia, F., Nouri-Ganbalani, G., Razmjou, J. and Agassiz, D. 2017. Water ferns *Azolla* spp. (Azollaceae) as new host plants for the small China-mark moth, *Cataglyphis lemnae* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera, Crambidae, Acentropinae). *Nota Lepidopterologica*, 40:1-13.
- Farahpour-Haghani, A., Jalaeian, M. and Landry, B. 2016a. *Diasemiopsis ramburialis* (Duponchel) (Lepidoptera, Pyralidae sl, Spilomelinae) in Iran: first record for the country & first host plant report on water fern (*Azolla filiculoides* Lam., Azollaceae). *Nota lepidopterologica*, 39(1), pp.1-11.

- Farahpour-Haghani, A., Jalaeian, M. and Mehrparvar, M. 2015. First report of *Rhopalosiphum nymphaeae* (L.)(Hem.: Aphididae) on *Azolla filiculoides* from Iran & its male formation on secondary host plant. *Journal of Crop Protection*, 4(4): 557-561.
- Farahpour-haghani, A., Jalaeian, M. and Tosiveski, I. 2016b. First report of *Tanysphyrus lemnae* Fabricius (Coleoptera: Erihrinidae) on Duckweed in Guilan Province, Iran. 3rd national meeting on biocontrol in agriculture & natural resources in Iran. Mashhad.
- Farahpour-Haghani, A., Tosiveski I., Yaghoubi, B., Jalaeia, M. and Pouramir, F. 2018a. First report of the exotic weevil *Stenopelmus rufinasus* (Coleoptera: Curculionidae) occurrence in Iran. *Journal of Crop Protection*, 7(2): 243-246.
- Fazaeli, H., Mohammadian, T. H., Ghorbani, A., Asadpour, Y. and Afzali, M. 2008. Effect of diets containing azolla (*Azolla filiculoides*) sugar beet pulp silage on the fattening performance of guilani native male calves.
- Ferdoushi, Z., Haque, F., Khan, S. and Haque, M. 2008. The effects of two aquatic floating macrophytes (Lemna & Azolla) as biofilters of nitrogen & phosphate in fish ponds. *Turkish Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 8(2): 253-258.
- Ferentinos, L., Smith, J. and Valenzuela, H. 2002. Azolla, sustainable agriculture green manure crops, SA-GM-2.
- Fiogbé, E. D., Micha, J. C. and Van Hove, C. 2004. Use of a natural aquatic fern, *Azolla microphylla*, as a main component in food for the omnivorous–phytoplanktonophagous Tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Journal of Applied Ichthyology*, 20(6): 517-520.
- Flint, W. 1922. Studies of the life history of *Nomophila noctuella*. *Annals of the Entomological Society of America*, 15(2): 154-156.
- Florencio, M., R. Fernández-Zamudio, D. T. Bilton and Díaz-Paniagua, C. 2015. The exotic weevil *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1835 (Coleoptera: Curculionidae) across a “host-free” pond network. *Limnetica*, 34(1): 79-84.
- Forno, I. W., Sands, D. P. A. and Sexton, W. 1983. Distribution, biology and host specificity of *Cyrtobagous singularis* Hustache (Coleoptera: Curculionidae) for the biological control of *Salvinia molesta*. *Bulletin of Entomological Research*, 73(1): 85-95.
- Fosberg, F. R. 1942. Uses of Hawaiian ferns. *Am. Fern J.* 32: 15- 23.
- Fowler, K. 1975. An escape mechanism for spermatozoids in *Azolla massulae*. *American Fern Journal*, 65(1): 7-10.

- Frank, R. and Waltham, R. 1986. Forge conservation and feeding. Forming Press ILTD. P: 24-27.
- García-Díaz, P., Ross, J. V., Woolnough, A. P. and Cassey, P. 2017. Managing the risk of wildlife disease introduction: pathway-level biosecurity for preventing the introduction of alien ranaviruses. *Journal of Applied Ecology*, 54(1): 234-241.
- Gözüaçık, C. and Erol, A. T. A. Y. 2016. A new pest: Rush veneer, *Nomophila noctuella* Denis & Schiffermüller, 1775 (Lepidoptera: Crambidae) on alfalfa (*Medicago sativa* L.) & its larval parasitoids in Iğdır province of Turkey. *Türkiye Entomoloji Bülteni*. 6 (4):321-326.
- Gratwicke, B. and Marshall, B. E. 2001. The impact of *Azolla filiculoides* Lam. On animal biodiversity in streams in Zimbabwe. *African Journal of Ecology*, 38:1-4.
- Habeck, D. H. 1991. *Synclita oblitalis* (Walker), the Waterlily Leaf cutter: (Lepidoptera: Pyralidae: Nymphulinae). Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, Gainesville Florida, United States of America.
- Haines, M. L., Syrett, P., Emberson, R. M., Withers, T. M., Fowler, S. V. and Worner, S. P. 2004. Ruling out a host-range expansion as the cause of the unpredicted non-target attack on tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*) by *Bruchidius villosus*. *Proceedings of the XI International Symposium on Biological Control of Weeds: Canberra, Australia*, 2: 271-276.
- Harris, P. 1985. Biocontrol of weeds: bureaucrats, botanists, beekeepers & other bottlenecks. In *Proceedings of the VI International Symposium on Biological Control of Weeds*/edited by Ernest S. Delfosse. Ottawa: Agriculture Canada, 1985, c1986.
- Harris, P. 1993. Effects, constraints and the future of weed biocontrol. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46(1-4): 289-303.
- Hasan, M. R. and Chakrabarti, R. 2009. Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review. *FAO Fisheries and Aquaculture technical paper*, 531. FAO, Rome, Italy". fao.org/. Retrieved 18 August 2014.
- Hashemloian, B. D. 2008. Alien and exotic *Azolla* in northern Iran. *Biotechnology*, 8, 187- 190.
- Hill, M. P. 1998. Life history & laboratory host range of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) a natural enemy for *Azolla filiculoides* Lamarck (Azollaceae) in South Africa. *BioControl*, 43: 215-24.
- Hill, J. H. and McConnachie, A.J. 2009. *Azolla filiculoides* Lamarck (Azollaceae). *Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

- Hill, J. H. and McConnachie, A. J. 2009. *Azolla filiculoides* Lamarck (Azollaceae). *Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Hill, M. P. 1997. The Potential for the Biological Control of the Floating Aquatic Fern, *Azolla filiculoides* Lamarck (red water fern / rooivaring) in South Africa. Report No. KV 100/97. Pretoria, South Africa: Water Research Commission.
- Hill, M. P. and Coetzee, J. 2017. The biological control of aquatic weeds in South Africa: Current status and future challenges. *Bothalia-African Biodiversity and Conservation*, 47(2): 1-12.
- Hill, M. P. and Julien, M. H. 2004. The transfer of appropriate technology; key to the successful biological control of five aquatic weeds in Africa. In *XI International Symposium on Biological Control of Weeds* (p. 370).
- Hill, M. P. 1997. The potential for the biological control of the floating aquatic fern, *Azolla filiculoides* Lamarck (red water fern/rooivaring) in South Africa. WRC.
- Hill, M. P. 2013. (Personal communication) Rhodes University, Zoology and Entomology, P.O. Box 94 Grahamstown 6140 South Africa.
- Hill, M. P. and Julien, M. H. 2004. The transfer of appropriate technology; key to the successful biological control of five aquatic weeds in Africa. In *XI International Symposium on Biological Control of Weeds* (p. 370).
- Hill, M. P., McConnachie, A. J. and Byrne, M. J. 2008. *Azolla filiculoides* Lamarck (Pteridophyta: Azollaceae) control in South Africa: a 10-year review. *Proceedings of the XII International Symposium on Biological Control of Weeds*, 566-568. CAB International.
- Holman, J. 2009. Host Plant Catalog of Aphids, Palaearctic Region. Springer Science and Business Media B. V. 1216 pp.
- Hossain, S. T., Ahmed, G. J. U., Islam, M. R. and Mahabub, A. A. 2002. Role of ducks in controlling weeds and insects in integrated rice-duck farming. *Bangladesh Journal Environment Sciences* 6(2): 424-427.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Azolla_caroliniana.
- <http://forum.niksalehi.com/showthread.php?t=77690>.
- Hu, Y. F, Li, H. M., Guo, S. Z., Xu, R. M. and Lu, B. L. 1989. Cultivation of a fern, *Azolla filiculoides*, in rice fields for mosquito control. *Chinese Journal of Biological Control* 5, 104-106.
- Hulme, P. E. 2011. Addressing the threat to biodiversity from botanic gardens. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(4): 168-174.
- Hyde, M., Wursten, B. and Ballings, P. 2017. *Azolla nilotica*. *Encyclopedia of Life*. Retrieved, 08-22.

- International Rice Research Institute. 1983. Insect pests of Azolla. IRRI research highlights for 1982. P.O. Box 933, Manila, Philippines. p. 99-100.
- Jacot-Guillarmod, A. 1979. Water weeds in southern Africa. Aquatic Botany, 6:377-391.
- Jain, S. K., Vasudevan, P. and Jha, N. K. 1990. *Azolla pinnata* rabra and *lemna* minor l. for removal of lead and zinc from polluted water". Water Research. 24 (2): 177-183.
- Janes, R. 1998. Growth and survival of *Azolla filiculoides* in Britain. I. Vegetative reproduction. New Phytologist, 138(2):367-375.
- Janes, R. A., Eaton, J. W. and Hardwick, K. 1996. The effects of floating mats of *Azolla filiculoides* Lam. and *Lemna minuta* Kunth on the growth of submerged macrophytes. Hydrobiologia, 340(1/3):23-26.
- Jeschke J. M. and Heger T. 2018. Invasion Biology: Hypotheses & Evidence. CABI.
- JICA (Japan International Cooperation Agency). 2005. The study on integrated management of Anzali Wetland in the Islamic Republic of Iran, Final report 2.
- Johnstone, I. M. 1986. Plant invasion windows: a time-based classification of invasion potential. *Biological Reviews*, 61(4):.369-394.
- Julien, M. H. 1992. Biological Control of Weeds: A World Catalogue of Agents and Their Target Weeds. Wallingford, Oxford: CAB International. 3rd ed.
- Julien, M. H., Scott, J. K., Orapa, W. and Paynter, Q. 2007. History, opportunities and challenges for biological control in Australia, New Zealand and the Pacific islands. Crop Protection, 26(3): 255-265.
- Kendrew Jensen, K. M., Kendrew, W. G. 1961. The Climates of the Continents. Oxford University Press, Oxford 1961. 610 s. 15 X 23 cm. 55 sh. Geografisk Tidsskrift.
- Kannaiyan, S. and Kumar, K. 2006. Biodiversity of *Azolla* & its algal symbiont *Anabaena azollae*". NBA Scientific Bulletin, 2: 1-31.
- Kaur, H. 2000. Biomass production of *Azolla pinnata* in contaminate soils. Department of botany. S. D college Barnala -148-101.
- Kelly, J. and Maguire, C. M. 2009. Hottentot Fig (*Carpobrotus edulis*). Invasive Species Action Plan. Prepared for NIEA and NPWS as part of Invasive Species Ireland.
- Khalighi, A. and Padasht-Dehkaee, M. N. 2000. Effect of media produced by tree bark, tea waste, rice hull & azolla as a substitute for peat, on growth & flowering of

- marigold (*Tagetes patula* "Golden Boy"). Iranian Journal of Agricultural Sciences, 31(3): 557-565.
- Khalili, A. 1973. Precipitation patterns of central Elburz. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 21(2-3): 215-232.
- Khosravi, M. 2005. Biosorption of Pb, Cd, Cu and Zn from the wastewater by treated *Azolla filiculoides* with $H_2O_2/MgCl_2$. International Journal of Environmental Science & Technology, 1, 265-271.
- Khosravi, M., Ganji, M. T. and Rakhshae, R. 2005. Toxic effect of Pb, Cd, Ni and Zn on *Azolla filiculoides* in the international Anzali wetl&. International Journal of Environmental Science & Technology, 2(1): 35-40.
- Knopf, K., Habeck, D. 1976. Life history and biology of *Samea multiplicalis*. Environmental Entomology 5(3): 539–542. <https://doi.org/10.1093/ee/5.3.539>
- Konar, R. N. and Kapoor, R. K. 1972. Anatomical studies on *Azolla pinnata*. Phytomorphology, 22: 211-223.
- Kooh, M. R. R., Dahri, M. Kh., Lim Linda, B. L. and Lim, L. H. 2015c. Batch Adsorption Studies on the Removal of Acid Blue 25 from Aqueous Solution Using *Azolla pinnata* and Soya Bean Waste". Arabian Journal for Science and Engineering. 41 (7): 2453–2464.
- Kooh, M. R. R., Lim Linda, B. L., Dahri, M. Kh., Lim, L. H., Bandara, J. M. R. 2015a. *Azolla pinnata*: An Efficient Low Cost Material for Removal of Methyl Violet 2B by Using Adsorption Method. Waste and Biomass Valorization. 6 (4): 547– 559.
- Kooh, M. R. R., Lim Linda, B. L., Lim, H., Lee, K. and Dhari, K. M. 2016c. Phytoremediation capability of *Azolla pinnata* for the removal of malachite green from aqueous solution". Journal of Environment & Biotechnology Research. 5 (1).
- Kooh, M. R. R., Lim Linda, B. L., Lim, L. H. 2015b. Batch Adsorption Studies on the Removal of Acid Blue 25 from Aqueous Solution Using *Azolla pinnata* and Soya Bean Waste. Arabian Journal for Science and Engineering. 41 (7): 2453–2464.
- Kooh, M. R. R., Lim Linda, B. L., Lim, L. H., Bandara, J. M. R. S. 2016a. Batch adsorption studies on the removal of malachite green from water by chemically modified *Azolla pinnata*. Desalination and Water Treatment. 57 (31): 14632–14646.
- Kooh, M. R. R., Lim Linda, B. L., Lim, L. H., Dahri, M. Kh. 2016b. Separation of toxic rhodamine B from aqueous solution using an efficient low-cost material, *Azolla pinnata*, by adsorption method". Environmental Monitoring and Assessment. 188 (2): 108.

- Ladha, J. K. and Watanabe, I. 1982. Antigenic similarity among *Anabaena azollae* separated from different species of Azolla. Biochemical and Biophysical Research Communications, 109 (3), pp.675-682.
- Leung, B., Roura-Pascual, N., Bacher, S., Heikkilä, J., Brotons, L., Burgman, M. A., Dehnen-Schmutz, K., Essl, F., Hulme, P. E., Richardson, D. M. and Sol, D. 2012. TEASIng apart alien species risk assessments: a framework for best practices. Ecology Letters, 15(12): 1475-1493.
- Lockwood, J. L., Cassey, P. and Blackburn, T. 2005. The role of propagule pressure in explaining species invasions. Trends in ecology & evolution, 20(5): 223-228.
- Lockwood, J. L., Hoopes, M. F. and Marchetti, M. P. 2013. Invasion ecology. John Wiley & Sons.
- Lumpkin, T. A. and Plucknett, D. L. 1982. Azolla as a green manure: use & management in crop production. Westview Press.
- Lumpkin, T. A. 1981. An Introduction to Azolla nilotica. Acta Botanica Sinica. 23 (6): 492–495.
- Lumpkin, T. A. and Plucknet, T. L. 1982. Azolla as a green manure: use and management in crop production. Westview Tropical Agriculture, Series, 15: 230p.
- Lumpkin, T. A. and Plucknett, D. L. 1980. Azolla: Botany, Physiology, and use as a green manure. Economic Botany Journal, Vol. 34, No. 2. pp. 111- 153.
- Lumpkin, T. A. and Plucknett, D. L. 1980. Azolla: botany, physiology, and use as a green manure. Economic Botany, 34(2):111-153.
- Lumpkin, T. A. Plucknett, D. L. 1982. Azolla as a green manure: use and management in crop production. Azolla as a green manure: use and management in crop production. Westview Press Boulder, Colorado, 230 pp.
- Lumpkin, T. A. and Plucknett, D. L. 1980. Azolla: Botany, physiology, & use as a green manure. Economic Botany, 34(2): 111-153.
- Lumpkin, T. A. 1993. Azollaceae Wettstein: Azolla family. *Flora of North America North of Mexico*, 2: 338-342.
- MacArthur, R. 1970. Species packing & competitive equilibrium for many species. Theoretical population biology, 1(1): 1-11.
- Maggi, E., Benedetti-Cecchi, L., Castelli, A., Chatzinikolaou, E., Crowe, T. P., Ghedini, G., Kotta, J., Lyons, D. A., Ravaglioli, C., Rilov, G. and Rindi, L. 2015. Ecological impacts of invading seaweeds: a meta-analysis of their effects at different trophic levels. Diversity & distributions, 21(1): 1-12.
- Mandal, B., Vlek, P. L. G. and Mandal, L. N. 1999. Beneficial effects of blue-green algae & Azolla, excluding supplying nitrogen, on wetl& rice fields: a review. Biology & Fertility of Soils, 28(4): 329-342.

- Manrique, V., Diaz, R., Condon, T. and Overholt, W. A. 2014. Host range tests reveal *Paectes longiformis* is not a suitable biological control agent for the invasive plant *Schinus terebinthifolia*. *BioControl*, 59(6): 761-770.
- Martin, A. R. H. 1976. Some structures in *Azolla* megaspores, and an anomalous form. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 21(2): 41-169.
- Mashkani, S. G. and Ghazvini, P. T. M. 2009. Biotechnological potential of *Azolla filiculoides* for biosorption of Cs & Sr: Application of micro-PIXE for measurement of biosorption. *Bioresource technology*, 100(6): 1915-1921.
- Masood, A., Shah, N. A., Zeeshan, M. and Abraham, G. 2006. Differential response of antioxidant enzymes to salinity stress in two varieties of *Azolla* (*Azolla pinnata* & *Azolla filiculoides*). *Environmental & Experimental Botany*, 58(1-3): 216-222.
- Maurice, D. V., Jones, J. E., Dillon, C. R. and Weber, J. M. 1984. Chemical composition of Nutritional value of Brazilian Elodea (*Egeria densa*) for chick. *Poult. Sci.*, 63: 317-323.
- McClay A. S. 1996b. Biological control in a cold climate: temperature responses and climatic adaptation of weed biocontrol agents. *Proceedings of the IX International Symposium on Biological Control of Weeds*, University of Capetown, Stellenbosch, University of Capetown, Stellenbosch, pp. 377-83.
- McClay, A. S. 1995. Beyond II Before-and-After: II experimental design and evaluation in Classical weed biological control. *Proceedings of the Eighth International Symposium on Biological Control of Weeds*, Lincoln University, Canterbury, New Zealand, pp. 213-219.
- McClay, A. S. 1996a. Host range, specificity and recruitment: synthesis of session 2. *Proceedings of the IX International Symposium on Biological Control of Weeds*, University of Capetown, Stellenbosch, pp. 105-112.
- McClay, A. S., Palmer, W.A. Bennett, F. D. and Pullen, K. R. 1995. Phytophagous arthropods associated with *Parthenium hysterophorus* (Asteraceae) in North America. *Environmental Entomology*, 24(4): 796-809.
- McConnachie, A. J., de Wit, M. P., Hill, M. P. and Byrne, M. J. 2003 Economic evaluation of the successful biological control of *Azolla filiculoides* in South Africa. *Biological Control*, 28: 25-32.
- McConnachie, A. J. 2004. Post release evaluation of *Stenopelmus Rufinasus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae): a natural enemy released against the red

water fern, *Azolla filiculoids* Lamarck (Azollaceae) in South Africa. PhD thesis, Rhodes University.

McConnachie, A. J., Hill, M. P. and Byrne, M. J. 2004b. Field assessment of a frond-feeding weevil, a successful biological control agent of red waterfern, *Azolla filiculoides*, in southern Africa. *Biological Control*, 29(3): 326-331.

McConnachie, A. J., Hill, M. P., Byrne, M. J. and De Wit, M. P. 2004a. The successful biological control of *Azolla filiculoides* in South Africa: an economic perspective. *XI International Symposium on Biological Control of Weeds*, 576-583.

McEvoy, P., Cox, C. and Coombs, E. 1991. Successful biological control of ragwort, *Senecio jacobaea*, by introduced insects in Oregon. *Ecological Applications*, 1(4): 430-442.

McFadyen, R. E. and McClay, A. S. 1981. Two new insects for the biological control of parthenium weed in Queensland. In *Proceedings of the Sixth Australian Weeds Conference*, 1: 145-149.

McFadyen, R. E. and Marohasy, J. J. 1990a. A leaf feeding moth, *Euclasta whalleyi* [Lep.: Pyralidae] for the biological control of *Cryptostegia grandiflora* [Asclepiadaceae] in Queensland, Australia. *BioControl*, 35(3): 431-435.

McFadyen, R. E. and Marohasy, J. J. 1990b. Biology and host plant range of the soft scale, *Steatococcus* new species [Hem.: Margarodidae] for the biological control of the weed *Cryptostegia grandiflora* [Asclepiadaceae]. *BioControl*, 35(3): 437-439.

McFadyen, R. E. C. 1998. Biological control of weeds. *Annual review of entomology*, 43(1): 369-393.

McFayden, R. E. C. 1991. Climate modelling and the biological control of weeds-one view. *Plant Protection Quarterly* (Australia).

Megido, R. C., Brostaux, Y., Haubruge, E. and Verheggen, F. J. 2013. Propensity of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), to develop on four potato plant varieties. *American Journal of Potato Research*, 90(3): 255-260.

Mettenius, G. 1865. *Azolla nilotica* De Caisne. *Plantis Tinneanis*.

Mochida, O. 1985. Taxonomic & biological studies on pyralid moths on *Azolla* (Lepidoptera). International Rice research institute (IRRI)

Mochida, O., Yoshiyasu, Y. and Dimaano, D. 1987. Insect pests of *Azolla* in the Philippines. In *Azolla Utilization: Proceedings of the Workshop on Azolla Use*,

- Fuzhou, Fujian, China, 31 March-5 April 1985 (p. 207). Int. Rice Research Institute.
- Mokhtari, A., Nozari, J., Rezwani, A., Rasolian, G., Petrović-Obradović, O. and Rakhshani, E. 2012. Aphids (Hemiptera: Aphididae) associated with grassl&s of central Alborz, Iran. *Acta Entomologica Serbica*, 17 (1/2): 1-22.
- Molet, T. 2013. *CPHST pest datasheet for Oryctes rhinoceros*. USDA-APHIS-PPQCPHST. Available from https://caps.ceris.purdue.edu/webfm_send/2206 (accessed 2015).
- More, A. W. 1969. Azolla: biology and agronomic significance. *Bet. Rev.*, 35, 17.
- Morin, L., Reid, A. M., Sims-Chilton, N. M., Buckley, Y. M., Dhileepan, K., Hastwell, G. T., Nordblom, T. L. and Raghu, S. 2009. Review of approaches to evaluate the effectiveness of weed biological control agents. *Biological control*, 51(1): 1-15.
- Muniappan, R., Reddy, G. V. and Raman, A. 2009. Biological control of tropical weeds using arthropods. Cambridge University Press.
- Murthy, T. N. K., Ashok, M., Thirumalesh, T., Umesh, B. U. and Nataraju, O. R. 2013. Effect of partial replacement of Azolla for concentrate supplement on lactating crossbred cows. *Environment & Ecology*, 31(2): 415-417.
- Muus, T. S. T. and Corver, S. C. 2019. *Microlepidoptera.nl*, atlas van de kleine vlinders in Nederl&. <http://www.microlepidoptera.nl>
- Nekoubin, H. and Sudagar, M. 2013. Effect of Different Types of Plants (*Lemna* sp., *Azolla filiculoides* & Alfalfa) & Artificial Diet (With Two Protein Levels) on Growth Performance, Survival Rate, Biochemical Parameters & Body Composition of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Journal of Aquaculture & Research Development*, 4(2).
- Nuss, M., Landry, B., Mally, R., Vegliante, F., Tränkner, A., Bauer, F., Hayden, J., Segerer, A., Schouten, R., Li, H., Trofimova, T., Solis, M. A., De Prins, J. and Speidel, W. 2003–2019: Global Information System on Pyraloidea. - www.pyraloidea.org
- NWS, 2019. NWS jetstream: National weather service. <https://www.weather.gov/jetstream/seawater>
- Oosthuizen, G. J. and Walters, M. M. 1961. Control of water fern with diesoline. *Farming in South Africa*, 37:35-37.
- Owen, S. J. 1997. Ecological weeds on conservation land in New Zealand: a database. Wellington, New Zealand: Department of Conservation.

- Pabis, K. 2014. Life cycle, host plants & abundance of caterpillars of the aquatic moth *Cataglyphis lemnae* (Lepidoptera: Crambidae) in the post-glacial lake in central Poland. *North-Western Journal of Zoology*, 10(2): 441-444.
- Pabis, K. 2018. What is a moth doing under water? Ecology of aquatic & semi-aquatic Lepidoptera. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, (419), p.42.
- Parker, I. M., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Goodell, K., Wonham, M., Kareiva, P. M., Williamson, M. H., Von Holle, B.M., Moyle, P. B., Byers, J. E. and Goldwasser, L. 1999. Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. *Biological invasions*, 1(1): 3-19.
- Parnell, J. and Curtis, T. 2012. *Webb's an Irish Flora*. Cork University Press. ISBN 978-185918-4783
- Pemberton, R. W. and Bodle, J. M. 2009. Native North American *Azolla* weevil, *Stenopelmus rufinus* (Coleoptera: Curculionidae), uses the invasive old world *Azolla pinnata* as a host plant. *Florida Entomologist*, 92(1): 153-155.
- Pemberton, R. W. and Bodle, J. M. 2009. Native North American *Azolla* weevil, *Stenopelmus rufinus* (Coleoptera: Curculionidae), uses the invasive old world *Azolla pinnata* as a host plant. *Florida Entomologist*, 92(1): 153-155.
- Pereira, A. L. and Carrapico, F. 2009. Culture of *Azolla filiculoides* in artificial conditions, *Plant Biosystems*, 1, 37-41.
- Pereira, A. L. and Vasconcelos, V. 2014. Classification and phylogeny of the cyanobiont *Anabaena azollae* Strasburger: an answered question? *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 64(6), pp.1830-1840.
- Popay, I. and Field, R. 1996. Grazing animals as weed control agents. *Weed Technology*, 10(1): 217-231.
- Pratt, P. D., Rayamajhi, M. B., Tipping, P. W., Center, T. D., Wright, S.A. and Purcell, M. 2013. Establishment, population increase, spread, and ecological host range of *Lophodiplosis trifida* (Diptera: Cecidomyiidae), a biological control agent of the invasive tree *Melaleuca quinquenervia* (Myrtales: Myrtaceae). *Environmental Entomology*, 42(5): 925-935.
- Quinn, L. D., Matlaga, D. and Barney, J. N. 2015. *Bioenergy and Biological Invasions. Ecological, Agronomic and Policy Perspectives on Minimizing Risk*, CABI Invasives Series. University of Illinois, USA.
- Rabindra, J. and Bhumannavar, B. S. 2009. *Biological control of weeds in India. Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods*. Cambridge University Press.

- Rai, P. K. 2008. Technical Note: Phytoremediation of Hg and Cd from Industrial Effluents using an Aquatic Free Floating Macrophyte *Azolla Pinnata*. International Journal of Phytoremediation. 10 (5): 430–439.
- Rai, P. K. 2009. Microcosm Investigation on Phytoremediation of Cr Using *Azolla Pinnata*". International Journal of Phytoremediation. 12 (1): 96–104.
- Rai, V. and Rai, A. K. 1999. Growth behaviour of *Azolla pinnata* at various salinity levels & induction of high salt tolerance. *Plant & Soil*, 206(1), pp.79-84.
- Raja, W., Rathaur P., John, S. A. and Ramteke, P. W. 2012. Azolla: an aquatic pteridophyte with great potential. International Journal of Research in Biological Sciences, 2 (2): 68-72.
- Razavipour, T., Moghaddam, S. S., Doaei, S., Noorhosseini, S. A. and Damalas, C. A. 2018. Azolla (*Azolla filiculoides*) compost improves grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different irrigation regimes. Agricultural water management, 209: 1-10.
- Regier, J. C., Mitter, C., Solis, M. A., Hayden, J. E., Landry, B., Nuss, M., Simonsen, T. J., Yen, S. H., Zwick, A. and Cummings, M. P. 2012. A molecular phylogeny for the pyraloid moths (Lepidoptera: Pyraloidea) & its implications for higher-level classification. Systematic Entomology, 37(4): 635-656. Doi: 10.1111/j.1365- 3113.2012.00641.x
- Reid, J. D., Plunkett, G. M. and Peters, G. A. 2006. Phylogenetic Relationships in the heterosporous fern genus *Azolla* (Azollaceae) based on DNA sequence data from three noncoding regions. International Journal of Plant Sciences, 167(3): 529-538.
- Reigada, C., Guimarães K. F. and Parra, J. R. P. 2016. Relative fitness of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on seven host plants: a perspective for IPM in Brazil. *Journal of Insect Science*, 16(1): 1-5.
- Richerson, P. J. and Grigarick, A. A. 1967. The life history of *Stenopelmus rufinasus* (Coleoptera: Curculionidae). Annals of the Entomological Society of America 60:351–354.
- Roberts, J. M. F., Hance, Th. and Hove, Cv.1998. Fecundity and ovipositional preference of *Elophila africalis* on *Azolla*: test for host plant susceptibility. African Zoology 112(3): 215–222.
- Rodwell, M. J. and Hoskins, B. J. 1996. Monsoons & the dynamics of deserts, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 122: 1385–1404.
- Roger, P. A. and Ladha, K. J. 1990. Estimation of biological N₂ fixation and its contribution to nitrogen balance in wetland fields. 14th International Congress Soil Science. p. 2-10.

- Rostron, J. C. 1983. The distribution of *A. filiculoides* in Britain. Department of Human Sciences, Loughborough University.
- Ruiz, G. M. and Carlton, J. T. 2003. Invasion vectors: a conceptual framework for management. *Invasive species: vectors & management strategies*, pp.459-504.
- Sadeghi Pasvisheh, R. 2016. *Azolla*: an invasive fern in wetlands (Iran). LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K. and Van Damme, P. 2012a. Application of classification trees to model the distribution pattern of a new exotic species *Azolla filiculoides* (Lamarck) at Selkeh Wildlife Refuge, Anzali wetland, Iran. *Ecological Modelling*, 243: 8-17.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K., and Van Damme, P. 2012b. Use of support vector machines (SVMs) to predict distribution of an invasive water fern *Azolla filiculoides* (Lamarck) in Anzali wetland, southern Caspian Sea, Iran. *Ecological Modelling*, 244: 117-126.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K. and Van Damme, P. 2013a. A review of some ecological factors affecting the growth of *Azolla* spp. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 11(1): 65-76.
- Sadeghi, R., Zarkami, R., Sabetraftar, K. and Van Damme, P. 2013b. Application of genetic algorithm and greedy stepwise to select input variables in classification tree models for the prediction of habitat requirements of *Azolla filiculoides* (Lamarck) in Anzali wetland, Iran. *Ecological Modelling*, 251: 44-53.
- Salehzadeh, A. and Naeemi, A. S. 2017. Biodiesel production from *Anabaena variabilis* cyanobacterium.
- Salehzadeh, A., Naeemi, A. S. and Arasteh, A. 2014. Biodiesel Production from *Azolla filiculoides* (water fern). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(6): 957-960.
- Sarkar, A. and Jana, S. 1986. Heavy metal pollutant tolerance of *Azolla pinnata*. *Water, Air, and Soil Pollution*. 27 (1-2): 15-18.
- Sasmal, N. and Kulshreshtha, J. 1984. *Cryptoblabes gnidiella* (Mill.), a pest of 'Azolla' infests rice. *Rice Research*
- Schiebinger, L. 2003. Jeanne Baret: the first woman to circumnavigate the globe. *Endeavour*, 27(1): 22-25.
- Seebens, H., Essl, F., Dawson, W., Fuentes, N., Moser, D., Pergl, J., Pyšek, P., Van Kleunen, M., Weber, E., Winter, M. and Blasius, B. 2015. Global trade will accelerate plant invasions in emerging economies under climate change. *Global Change Biology*, 21(11): 4128-4140.

- Serrano, R., Carrapiço, F. and Vidal, R. 1999. The Presence of Lectins in Bacteria Associated with the Azolla-Anabaena Symbiosis, *Symbiosis*, 27, 169-178.
- Sheldon, S. P. and Creed, Jr, R. P. 1995. Use of a native insect as a biological control for an introduced weed. *Ecological Applications*, 5(4): 1122-1132.
- Sher, A. A. and Hyatt, L. A. 1999. The disturbed resource-flux invasion matrix: a new framework for patterns of plant invasion. *Biological Invasions*, 1(2-3): 107-114.
- Sherief, P. M. and James, T. 1994. Nutritive value of the water fern Azolla for fish. *Fishing Chimes*, 14, p.14.
- Simberloff, D. and Stiling, P. 1996. How risky is biological control? *Ecology*, 77(7): 1965-1974.
- Simberloff, D. 2009. The role of propagule pressure in biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, & Systematics*, 40: 81-102.
- Singh, P. K. 1977. Effect of Azolla on the yield of paddy with and without application of N fertilizer. *Current Science*, 46(18), pp.642-644.
- Singh, P. K. 1979. Use of Azolla in rice production in India. *Nitrogen and rice*.
- Singh, P. K. 1980. Introduction of green Azolla biofertilizer in India. *Current Science*, 49(4), pp.155-156.
- Singh, P. K. 1989. Use of Azolla in Asian agriculture. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 4, 149–161.
- Singh, P. K. and Subudhi, B. P. R. 1978. Utilization of Azolla in poultry feed. *Indian Farming*, 27:37-39.
- Singh, P. K., Bisoyi, R. N. and Singh, R. P. 1990. Collection and germination of sporocarps of Azolla caroliniana. *Annals of Botany*, 66(1), pp.51-56.
- Sithara, K. and Kamalaveni, K. 2008. Formulation of low-cost feed using azolla as a protein supplement and its influence on feed utilization in fishes. *Current Biotical*, 2(2), pp.212-219.
- Sjödin, E. 2012. The Azolla Cooking and Cultivation Project.
- Smith, R. C. 1942. *Nomophila Noctuella* as a Grass & Alfalfa Pest in Kansas (Lepidoptera. Pyralididae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 15(1): 25-34.
- Sood, A., Ahluwalia, A. S. and Dua, S. 2005. Indicators of phosphorus deficiency in *Azolla pinnata* (Salviniales, Pteridophyta). *Acta Botanica Hungarica*, 47(1-2), pp.197-205.
- Stejskal, R. 2012. First record of *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1835 (Coleoptera: Eirrhinidae) for Slovakia, with distribution and binomic notes. *Weevil News*, 74, pp.5.

- Stepniewska, Z., Bennicelli, R. P., Balakhina, T. I., Szajnocha, K., Banach, A. M. and Wolinska, A. 2005. Potential of *Azolla caroliniana* for the removal of Pb & Cd from wastewaters.
- Stejn, D. J., Scott, W. E. Ashton, P. J. and Vivier, F. S. 1979. Guide to the use of herbicides on aquatic plants. Technical Report.
- Strayer, D. L., Eviner, V. T., Jeschke, J. M. and Pace, M. L. 2006. Understanding the long-term effects of species invasions. *Trends in ecology & evolution*, 21(11): 645-651.
- Subba Rao, N. S. 1988. Biofertilizers in agriculture. Second edition. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi. 208 pp.
- Subudhi, B. P. R. and Singh, P. K. 1978. Nutritive value of water fern *Azolla pinnata* for chicks. *Poultry Science*, 57, 378-380.
- Svenson, H. K. 1944. The New World species of *Azolla*. *American Fern Journal* 34: 69-84.
- Szczesniak, E., Blachuta, J., Krukowski, M. and Picinska-Faltynowicz, J. 2009. Distribution of *Azolla filiculoides* Lam. (Azollaceae) in Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 78(3):241-246.
- Takara, J. 1981. Insect pests on *Azolla pinnata* at Bangkok, Thailand. *International Rice Research Newsletter*, 6(4), pp.12-13.
- Talley, S. N., Talley, B. J. and Rains, D. W. 1977. Nitrogen fixation by *Azolla* in rice fields. In *Genetic engineering for nitrogen fixation*, 259-281.
- Teixeira, C. A. D., Zanoncio, J. C., Sossai, M. F. and Pratisoli, D. 1999. Biologia da lagarta-rosca *Nomophila* sp. (Lepidoptera: Pyralidae) em mudas de *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae): fases do ovo e larva. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 23(1): 65-68.
- The International Union for the Conservation of Nature (IUCN) Redlist of Threatened Species. 2010. *Azolla nilotica*. Retrieved 2017-10-19.
- Thomsen, M. S., Wernberg, T., Olden, J. D., Griffin, J. N. and Silliman, B. R. 2011. A framework to study the context-dependent impacts of marine invasions. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 400(1-2): 322-327.
- Thorsen, M. J., Dickinson, K. J. M. and Seddon, P. J. 2009. Seed dispersal systems in the New Zealand flora. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2009. Vol. 11 No. 4 pp. 285-309.
- Turbelin, A. J., Malamud, B. D. and Francis, R. A. 2017. Mapping the global state of invasive alien species: patterns of invasion & policy responses. *Global Ecology & Biogeography*, 26(1): 78-92.

- USDA. 2016. *Azolla mexicana*. Natural Resources Conservation Service. Plants Database. Retrieved 11 August 2016.
- USDA-NRCS. 2004. The Plants Database, Version 3.5. Baton Rouge, USA: National Plant Data Center. <http://plants.usda.gov>.
- Van Der Heide, T., R. M. Roijackers, E. T. Peeters and Nes, E. H. 2006. Experiments with duckweed–moth systems suggest that global warming may reduce rather than promote herbivory. *Freshwater Biology*, 51(1): 110-116.
- Van Der Velde, G. 1979. *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze (Menyanthaceae) as a food plant for *Cataglyphis lemnae* (L.) (Lepidoptera, pyralidae). *Aquatic Botany*, 7: 301-304.
- Van Der Velde, G. 1988. *Cataglyphis lemnae* L. (Lepidoptera, Pyralidae) can survive for several years consuming macrophytes other than Lemnaceae. *Aquatic Botany*, 31(1-2): 183-189.
- Van Driesche et al. 2010. Classical biological control for the protection of natural ecosystems, Review. *Biological Control*, 54: 2-33.
- Van Driesche, R. and Hoddle, M. 2009. Control of pests & weeds by natural enemies: an introduction to biological control. John Wiley and Sons.
- Van Hove, C. 1989. *Azolla* and its Multipurpose Uses with Emphasis on Africa. Rome, FAO. 53 pp.
- Van Hove, C. 1989. *Azolla* and its multiple use with emphasis on Africa, Food and Agriculture Organization, Rome, 21, 112-116.
- Wagner, G. M. 1997. *Azolla*: A Review of Its Biology and Utilization. *Department of Zoology and Marine Biology*, 63, 1-26.
- Wagner, G. M. 1997. *Azolla*: A review of its biology and utilization. *The Botanical Review*, 63(1):1-25.
- Wall, H. 1994. *Water Facts—Control of Azolla (Red Water Fern)*. Queensland, Australia: Rural Water Advisory Services, Department of Natural Resources.
- Watanabe, I., Espinas, C. R., Berja, N. S. and Alimagno, B. V. 1977. The utilization of the *Azolla-Anabaena* complex as a nitrogen fertilizer for rice.
- Watanabe, I., Sawamoto, M., Nakagawa, A., Kowiyama, Y. and Suzuki, T. 1999. Diversity of *Azolla japonica* in Japan, analyzed by random amplified polymorphic DNA. *Journal of Japanese Botany* 74(3):142-149.
- Watanabe, I., Espinas, C. R., Berja, N. S. and Alimagno, B. V. 1977. The utilization of the *Azolla anabaena* complex as a nitrogen fertilizer for rice. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

- Watts C. H. 2014. The larvae of some Australian Scirtidae (Coleoptera) with a key to known genera. Transactions of the Royal Society of South Australia. 2014 Jan 1; 138 (1):1-91.
- Watts, M. 2010. Paraquat. Pesticide Action Network Asia and the Pacific.
- Watts, M. 2016. Highly Hazardous Pesticides in the Pacific. National Toxics Network (NTN). Australia
- Wheeler, G. S., Mattison, E. D., Metz, M.A., Pratt, P. D. and Purcell, M. F. 2016. Host range of the defoliator *Strepsicrates* sp. is too broad for biological control of the invasive weed *Rhodomyrtus tomentosa*. *Biocontrol Science and Technology*, 26(6): 861-865.
- Whitton, B. and Roger, P. 1989. Use blue-green algae and *Azolla* In rice culture. Society for general microbiology, vol. 25.
- Wikipedia. 2015. *Azolla*. <http://en.wikipedia.org>.
- Winston, R. L., Schwarzländer, M., Hinz, H. L., Day, M. D., Cock, M. J. and Julien, M. H. 2014. Biological control of weeds: a world catalogue of agents and their target weeds. (Ed. 5).
- Wojtusiak, H. and Wojtusiak, R. J. 1960. Biologia, występowanie i użyteczność motyli wodnych z podrodziny Hydrocampinae w stawach doświadczalnych PAN Ochaby. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 8: 253-260.
- www.hamshahri.net
- www.iran-newspaper.com
- Yadav, R.K., Abraham, G., Singh, Y.V. and Singh, P.K., 2014, June. Advancements in the utilization of *Azolla*-*Anabaena* system in relation to sustainable agricultural practices. In Proc. Indian Natl. Sci. Acad (Vol. 80, No. 2, pp. 301-316).
- Yamaji et al. 2010. Using *Azolla pinnata* for wastewater treatment from poultry farm. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 1-2.
- Zanuncio, J. C., Sossai, M. F., Zanuncio, T. V. and Teixeira, C. A. D. 2001. Influência da idade da muda de *Eucalyptus gr&is* no desenvolvimento da lagarta-rosca *Nomophila* sp. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(5): 743-750.
- Zazouli, M. A., Balarak, D. and Mahdavi, Y. 2013a. Effect of *Azolla filiculoides* on removal of reactive red 198 in aqueous solution. *Journal of advances in environmental health research*, 1(1): 44-50.
- Zazouli, M. A., Balarak, D. and Mahdavi, Y. 2013b. Application of *Azolla* for 2-chlorophenol & 4-chlorophenol removal from aqueous solutions. *Iranian journal of health sciences*, 1(2): 43-55.

- Zazouli, M. A., Mahvi, A. H., Dobaradaran, S., Barafrashtehpour, M., Mahdavi, Y. and Balarak, D. 2014. Adsorption of fluoride from aqueous solution by modified *Azolla filiculoides*. Research report Fluoride, 47(4): 349–358
- Zhang, X., Lin, A. J., Zhao, F. J., Xu, G. Z., Duan, G. L. and Zhu, Y. G. 2008. Arsenic accumulation by the aquatic fern *Azolla*: comparison of arsenate uptake, speciation & efflux by *A. caroliniana* & *A. filiculoides*. Environmental Pollution, 156(3); 1149-1155.
- Zimmerman, W. J., Lumpkin, T. A. and Watanabe, I. 1989. Classification of *Azolla* spp., section *Azolla*. Euphytica 43: 223--232.
- Zimmerman, W. J., Watanabe, I., Lumpkin, T. A. 1991. The Anabaena- *Azolla* symbiosis: diversity and relatedness of Neotropical host taxa. In Nitrogen Fixation (pp. 463- 466). Springer Netherlands.

شماره ثبت اختراع ۴۷۴۴۹
تاریخ ثبت اختراع ۱۳۸۷/۰۲/۰۴
شماره ثبت اختراع ۳۸۶۱۱۵۹۹
تاریخ ثبت اختراع ۱۳۸۶/۱۱/۱۷

قوه قضائیه
اداره کل ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی

۶۰۰
ریال

۰۰۶۰۰۲
سری الف/۸۵

کد (۳۰) الف (۸۵-۱) ت
کواهی نامه ثبت اختراع

طبق قانون ثبت اختراعات کواهی می شود اختراع راجع به تهیه نوعی کمپوست

(کود آلی گیاهی) بنام ازو کمپوست

که در تاریخ در کشور به شماره قاتلای ثبت شده است
نام تیمور رضوی پور کومله

تابعیت: جمهوری اسلامی ایران

مقام ثبت جنب بیمارستان رسول اکرم (ص) کوی سازمانی موسسه تحقیقات برنج کشور
که نشانی خود را در ایران به شرح فوق تعیین نموده است

برای مدت بیست سال ماه روز
به ثبت رسیده است این درود که یک نماز توصیف و نقش اختراع راجع به پست دارد با لک ثبت

رئیس اداره مالکیت صنعتی

شماره دفتر ثبت اختراع ۴۷۴۴۰ تاریخ ثبت اختراع ۱۳۸۷/۰۳/۰۴
شماره دفتر ثبت اختراع ۳۸۶۱۱۶۰۰ تاریخ ثبت اختراع ۱۳۸۶/۱۱/۱۷

قوه قضائیه
اداره کل ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی

شماره ثبت اختراع ۶۰۰
سری الف/ ۸۵

کد (۳۰) الف (۱-۸۵) ت
کواهی نامه ثبت اختراع

طبق قانون ثبت اختراعات کواهی می شود اختراع راجع به تهیه نوعی کمپوست

(کود آلی گیاهی) بنام رایس کمپوست

که در تاریخ در کشور شماره بشارت نام تایید شده است

نام تیمور رضوی پور کومله

تابعیت: جمهوری اسلامی ایران

مقیم دشت جنب بیمارستان رسول اکرم (ص) کوی سازمانی موسسه تحقیقات برنج کشور

که نشانی خود را در ایران به شرح فوق تعیین نموده است

برای مدت بیست سال ماه روز

به ثبت رسیده است این در وجه یک نسخه از توصیف و نقشه اختراع را به پست دارد مالک این اختراع

رئیس اداره مالکیت صنعتی

۵۷۳۸

قوه قضائیه

شماره ثبت اختراع: ۶۶۴۹۴ / تاریخ ثبت اختراع: ۱۳۸۹/۰۷/۲۳
 شماره ثبت اختراع: ۳۸۹۰۳۰۵۴۲ / تاریخ ثبت اختراع: ۱۳۸۹/۰۷/۲۳

اداره کل ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی

کوبای نامه ثبت اختراع

* ۰۰۶۱۰۰ (سری الف / ۸۷)

کد (۳۰) الف (۱-۸۵) ت

طبق قانون ثبت اختراعات کوبای می شود اختراع راجع به:

سیستم جمع آوری و آبکشی آزولا و زباله های شناور در رودخانه ها ، تالاب ها

استخرها با قابلیت استفاده بصورت ثابت و متحرک .

کد در تاریخ: در کشور: شماره: تقاضای ثبت شده است

نام: حسین آقایی پور پس بجار گفشه - محمدهادی حسینی زاده - تیمور رضوی پور کومله

تابعیت: جمهوری اسلامی ایران

مقیم: گیلان جاده رشت به انزلی محله اشکیک ایستگاه هاشمی ک رسول اکرم پ ۱۶

که نشانی خود را در ایران: به شرح فوق: تعیین نموده ام

برای مدت: بیست سال: ماه: روز:

به ثبت رسیده است این درود که یک نفر از توصیف و نقش اختراع را به پست دارد

رئیس اداره کل مالکیت صنعتی

۱۳۸۹/۰۷/۲۸

اداره کل مالکیت صنعتی
 اختراعات
 برابر با اصل است

ثبت اختراع سوم



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



سازمان ثبت اختراعات و ابداعات ایران



جمهوری اسلامی ایران

شماره ثبت اختراع: ۰۰۷۶۶۵ - ۸۹/۴۸

کتابخانه ملی ایران

مخترع: حسین آقای پور پس بجار گلشنه - محمدحادی حسین زاده - تیمور رضوی پور کومله - علیرضا حسن زاده گشتی		
آدرس: گیلان جاده رشت به انزلی لشکرک ایستگاه هاشمی کوچه رسول اکرم پ ۱۶		
مخترع: حسین آقای پور پس بجار گلشنه - محمدحادی حسین زاده		
عنوان اختراع: شناور جمع آوری سرخس ازولا و زیاده های شناور		
طبقه بندی بین المللی:		
طبقه بندی اختراع:		
تاریخ ثبت اختراع:		
شماره ثبت اختراع:		
شماره ثبت اختراع: ۱۳۹۰/۵۱۶۸۱۳۶۳۱-۵۱۶۸	شماره ثبت اختراع: ۱۳۹۰/۵۱۶۸۱۳۶۳۱-۵۱۶۸	شماره ثبت اختراع: ۱۳۹۰/۵۱۶۸۱۳۶۳۱-۵۱۶۸
نام مخترع:	نام مخترع:	نام مخترع:
نام مخترع:	نام مخترع:	نام مخترع:



مخترع



نماینده



نماینده

تاریخ ثبت اختراع: ۱۳۹۰/۵/۱۶