نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هشتم/ شماره اول / بهار ۱۴۰۳/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۲۳ تا ۳۳

ارزیابی اثرات متقابل تنش خشکی و هیدروژل تهیه‌شده برمبنای بیوچار بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی

مینا بکی* و جهانگیر عابدی کوپایی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۱۴)

چکیده

بهبود راندمان مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت بسیار زیادی دارد. در این پژوهش اثر سه سطح هیدروژل (صفر، ۱۰ و ۵۰ تن در هکتار) و سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، ۵۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه) بر رشد، عملکرد و تولید اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی در لایسیمتر مورد بررسی قرار گرفت. فرایند ساخت هیدروژل با استفاده از سدیم آلژینات به‌عنوان شاخه اصلی پلیمر و همچنین اکریلیک اسید و اکریلامید به‌عنوان مونومرها و با استفاده از بیوچار تهیه شده از کنجاله کلزا در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نتایج نشان داد که میزان عملکرد و اسانس تولید شده توسط گیاه تحت‌تأثیر مصرف هیدروژل قرار گرفت. همین‌طور با افزایش شدت تنش، محتوای اسانس بیشتر شده اما عملکرد اسانس در تیمارهای حاوی تنش آبی نسبت به تیمار بدون تنش کاهش نشان داد. از طرف دیگر مصرف ۵۰ تن در هکتار هیدروژل منجر به ۱۷ درصد افزایش در وزن خشک گیاه و ۱۲ درصد افزایش در میانگین ارتفاع گیاه شد. بر اساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد، استفاده از هیدروژل باعث بهبود اکثر ویژگی‌های گیاه آویشن دنایی در شرایط تنش آبی شود.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، تنش خشکی، هیدروژل، پلیمریزاسیون پیوندی، بیوچار

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mina.bagi@yahoo.com

مقدمه

بخش وسیعی از کشور ایران تحت‌تأثیر اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و محدودیت آب در اغلب مناطق کشور منجر به صرف هزینه‌های فراوان در فراهم‌کردن آب برای آبیاری شده است. آب و کود دو عامل کلیدی و تعیین‌کننده هستند که رشد و عملکرد محصولات زراعی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند؛ بنابراین بهبود راندمان مصرف کود نیز علاوه بر آب به‌عنوان نکته مهم در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی، منجر به افزایش هزینه تولید محصولات کشاورزی و آلودگی محیط‌زیست به‌ویژه آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (۱).

در تهیه کودهای با رهش کنترل شده که به‌منظور آزادسازی تدریجی مواد مغذی به‌ویژه در زمان نیاز بیشینه گیاهان تولید می‌شوند، باید از موادی غیرقابل‌حل در آب به‌عنوان جداره خارجی استفاده کرد و مواد پلیمری سوپرجاذب در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک پتانسیل زیادی برای پوشش‌دهی این کودها دارند (۱۱، ۲۶ و ۳۱). این ترکیبات، پلیمرهای سه‌بعدی آب‌دوستی هستند که توانایی زیادی در جذب آب به مقدار چندین برابر وزن خود دارند (۳، ۲۱ و ۳۱). مزیت کودهای کنترل رهش تهیه شده از این سوپرجاذب‌ها، این است که باعث بهبود وضعیت تهویه خاک شده، مقدار تلفات آب خاک به‌واسطه وقوع فرایند تبخیر را کاهش داده، زیان‌های زیست‌محیطی دررابطه‌با تبخیر و نشت آلاینده‌ها را کم کرده و به‌واسطه افزایش مقدار مواد مغذی خاک، باعث جبران تلفات مواد مغذی برای گیاه می‌شوند (۳، ۱۲ و ۱۸). در واقع با استفاده از این پلیمرها، شرایط برای تولید کودهای کنترل رهش همراه با بهبود وضعیت نگهداری آب خاک به‌خصوص برای مناطق خشک و نیمه‌خشک به وجود می‌آید (۱۴).

فرایند کوپلیمریزاسیون پیوندی یکی از شیوه‌های موجود برای ساخت پلیمرهای سوپرجاذب است که شامل کوپلیمریزاسیون مونومر روی شاخه اصلی پلیمر می‌شود (۲۹ و ۱۳). کوپلیمرهایی که بر مبنای سدیم آلژینات به‌عنوان شاخه اصلی پلیمر تهیه می‌شوند، امروزه توجه زیادی را به سمت خود جلب کرده‌اند (۲۷ و ۲۸). آلژینیک اسید یا در اختصار آلژینات یک پلی‌ساکارید غیریونی است که در دیواره سلول نوعی جلبک قهوه‌ای وجود دارد که در تماس با آب به شکل صمغ ژله‌ای تغییر شکل می‌دهد و قابلیت استفاده به‌عنوان شاخه اصلی پلیمر را دارد (۲۸). در این پژوهش از بیوچار تهیه شده از کنجاله کلزا در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در تهیه هیدروژل استفاده شد. بیوچار یک ماده کربنی حاوی هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای با آرایشی از گروه‌های عاملی سطحی است که جزء جامد باقیمانده فرایند پیرولیز محسوب می‌شود (۱۶). بر مبنای پژوهش‌های انجام شده در مورد قابلیت بیوچار در آزادسازی تدریجی مواد مغذی و عملکرد آن به‌عنوان هیدروژل، در این پژوهش به‌عنوان عامل نگهداشت نیتروژن در هیدروژل از بیوچار استفاده شده است.

راهکار دیگر برای مقابله با مشکلات پیش روی بخش کشاورزی، توسعه کشت و کار گیاهانی است که ضمن برآورده‌کردن نیازهای اقتصادی، دارای کمترین نیاز آبی و بیشترین تولید در شرایط کم‌آبی باشند. گیاهان دارویی، به لحاظ ژنتیکی و نیز داشتن برخی متابولیت‌های ثانویه و خصوصیات مورفولوژیک، در مقایسه با سایر گیاهان، پتانسیل تحمل به تنش بیشتری دارند و گزینه‌های مناسبی برای کشت و کار در شرایط تنش‌زا به حساب می‌آیند (۲۲). آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) یکی از گیاهان دارویی، معطر و اندمیک خانواده نعناع است که مورداستفاده فراوانی در صنایع مختلف مانند داروسازی و صنایع غذایی دارد و در مناطق گسترده‌ای از ایران رویش دارد (۶ و ۷).

لتچامو و گاسلین در سال ۱۹۹۴ در آزمایش گلخانه‌ای اثر سه سطح آب خاک (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) را روی گیاه آویشن مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند، بیشترین میزان تجمع ماده خشک در ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و بیشترین درصد اسانس در ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای به‌دست آمد (۱۷). همچنین در پژوهشی که در سال ۲۰۱۳ توسط بحرینی نژاد و همکاران روی تأثیر سه تیمار تخلیه ۲۰، ۵۰ و ۷۰ درصد آب

خاک روی آویشن دنایی انجام شده است، نشان می دهد که افزایش شدت تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد ماده خشک می‌شود (۶).

نوآوری پژوهش حاضر استفاده از بیوچار حاصل از کنجاله کلزا به‌عنوان نگهدارنده مواد مغذی در تولید هیدروژل است. از سوی دیگر از دو نوع مونومر اکریل‌آمید و اکریلیک اسید به‌صورت همزمان در فرایند کوپلیمریزاسیون پیوندی استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثرات متقابل تنش آبی و هیدروژل تهیه شده بر رشد، عملکرد و محتوای اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی در لایسیمترهایی حاوی خاک لوم شنی در منطقه اصفهان بود.

مواد و روش‌ها

سنتز کوپلیمرهای پیوندی

در این پژوهش، فرایند سنتز کوپلیمرهای پیوندی با استفاده از سدیم آلژینات به‌عنوان شاخه اصلی پلیمر که از شرکت R&M انگلستان تهیه شده بود و همچنین اکریلیک اسید (AA) و اکریلامید (AM) به‌عنوان مونومرها انجام شد که مونومرها از شرکت Merck آلمان تهیه شدند. متیلن بیس آکریل آمید (MBA) به‌عنوان عامل شبکه ساز (برای تشکیل شبکه پلیمری در هیدروژل و کمک به نگهداشت آب در ساختار شبکه) از شرکت Merck و آمونیوم پرسولفات به‌عنوان آغازگر واکنش از شرکت R&M تهیه شدند. کلسیم کلرید دی هیدرات ($CaCl_2.2H_2O$) به‌عنوان عامل ترسیب‌دهنده از شرکت R&M تهیه شد. سدیم آلژینات دارای گروه عاملی آب‌دوست زیادی است؛ در نتیجه در افزایش تورم نقش بسزایی دارد.

برای تهیه هیدروژل از بیوچار کنجاله کلزا تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت استفاده شد. برای تهیه بیوچار، پس از خشک شدن مواد اولیه، بقایا با استفاده از دستگاه آسیاب خرد شده و برای پیرولیز آماده شدند. محفظه بسته‌ای با یک در مجهز به ورودی گاز بی‌اثر و یک خروجی گازهای تولیدی تهیه شد. محفظه مدنظر برای تولید بیوچار درون کوره الکتریکی قرار گرفت. طی پیرولیز بقایای گیاهی جریان گاز نیتروژن در محیط برقرار بود. برخی از ویژگی‌های بیوچار تهیه شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای تهیه هیدروژل، ۸ گرم سدیم آلژینات در ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد و پس از انتقال آن به راکتور پلیمرسازی، به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و با دور همزن ۱۰۰۰ دور در دقیقه برای به‌دست آوردن مخلوطی یکدست به‌هم زده شد. سپس این مخلوط خنک شد و ۲۰ گرم اکریلیک اسید و اکریل‌آمید با نسبت وزنی ۵۰:۵۰ و ۰/۲ گرم MBA و ۱ گرم آمونیوم پرسولفات اضافه شد و به مدت ۱۲۰دقیقه با دور همزن ۱۰۰۰ دور در دقیقه به‌هم‌زده شد. بیوچار پودر شده با ژل حاصل مخلوط شد و تا رسیدن به یک مخلوط یکدست به‌هم زده شد. پس از متوقف کردن واکنش، پلیمر سنتزی با استفاده از محلول ۲مولار کلسیم کلرید دی هیدرات رسوب داده شد و به مدت یک ساعت در آن محلول باقی ماند. پلیمرهای سنتز شده از محلول خارج شده و پس از شست و شو با آب مقطر، یک شب تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. گفتنی است کوپلیمر پیوندی با استون رسوب و شست و شو داده شد تا مونومر واکنش نداده از آن به‌طور کامل حذف شود. جزئیات مربوط به ویژگی‌های هیدروژل تهیه شده در پژوهش بکی و عابدی کوپایی ارائه شده است (۵). درصد نیتروژن موجود در پلیمر تهیه شده، ۲۱ درصد بود.

آزمایش صحرایی و کشت آویشن

آزمایش‌های صحرایی این مطالعه طی زمستان ۹۳ تا پایان تابستان ۹۴ در مزرعه تحقیقاتی چاه انباری واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. برای این آزمایش از لایسیمترهای زهکش‌دار با قطر ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر به‌عنوان سایت اجرای آزمایش استفاده شد. مقادیر ۰ (شاهد)، ۱۰ و ۵۰ تن در هکتار از هیدروژل برای افزودن به خاک با بافت لوم شنی استفاده شد. ویژگی‌های خاک استفاده شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های بیوچار تهیه شده از کنجاله کلزا در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد

N	C	H	S	O	pH	EC	SA
kg $100kg^{-1}$						$dS\ m^{-1}$	$m^2\ g^{-1}$
۱۴/۸	۶۰/۱۵	۵/۱	۰/۵	۱۹/۴۵	۸/۶۷	۲	۷۰

جدول ۲. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در لایسیمترها

OM	EC	pH	شن	سیلت	رس
kg $100kg^{-1}$	dS/m	—	درصد		
۱/۱	۰/۹۵	۷/۵	۵۷	۲۴	۱۹

گیاهان کشت‌شده در لایسیمتر در معرض سه رژیم آبیاری متفاوت قرار گرفتند (آبیاری کامل، ۵۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه). برای محاسبه نیاز آبی از داده‌های هواشناسی محل استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار Cropwat که بر اساس معادله پنمن‌مانتیث عمل می‌کند، با دادن میانگین آمار هواشناسی منطقه برای هر ماه، به‌صورت جداگانه تبخیر و تعرق مربوط به آن ماه به‌دست می‌آید. برای هریک از تیمارهای موجود، سه تکرار در نظر گرفته شد. بذر آویشن دنایی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان در بهمن‌ماه ۱۳۹۳ تهیه شد و اسفندماه بذرها به‌اندازه چندبرابر موردنیاز کشت شد. نشاها در هفته دوم اردیبهشت ۱۳۹۴ به زمین و به درون لایسیمترهایی که با مقادیر مشخص هیدروژل و خاک پر شده بودند، انتقال یافت. درون هر لایسیمتر، ۳ گیاه با فاصله مشخص از یکدیگر کاشته شد. در ۳ هفته اول کشت، هیچ‌گونه تیمار کم آبیاری اعمال نشد و گیاهچه‌ها به‌صورت ۲ بار در هفته به‌صورت دستی آبیاری شدند. آبیاری هر هفته انجام گرفت و پس از آنکه گیاه به شرایط سبزینه‌ای مناسب رسید، هر ۱۰ روز آبیاری انجام می‌شد. باتوجه‌به اینکه حجم آب ورودی به هر لایسیمتر از طریق شیرهای تعبیه شده روی انتهای هر لوله قابل‌تعیین بود، براین‌اساس حجم آب وارد شده به هر لایسیمتر تعیین می‌شد. عملیات کنترل علف‌های هرز طی دوره کشت چندین بار و به‌صورت دستی انجام گرفت. برداشت نمونه‌ها در اواخر شهریور که بیش از نیمی از بوته‌ها به‌گل‌نشسته بود، انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت، توزین و پس از محاسبه وزن تر در پاکت‌های کاغذی نگهداری و سپس در هوای آزاد و سایه، خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. برداشت در زمان گل‌دهی کامل گیاهان انجام گرفت و گیاهان برداشت‌شده پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت تقریبی یک هفته در سایه خشک و سپس برای تعیین عملکرد ماده خشک توزین شدند. سرشاخه‌های گلدار از هر لایسیمتر در مرحله گلدهی و از ارتفاع ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر برداشت شد و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد و پس از خشک‌شدن در سایه در حرارت حدود ۳۵ درجه سانتیگراد، وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و به کمک دستگاه اسانس‌گیری طرح کلونجر که بر اساس دارونامه اروپا طراحی شده است، صورت گرفت (۸). در این روش مقدار ۱۰۰ گرم اندام‌های هوایی گونه آویشن دنایی برای هر یک از مراحل برداشت که با آسیاب خرد شده بود، درون بالن ریخته شد. سپس به محتویات داخل بالن آب مقطر اضافه شد، تاحدی‌که سطح گیاه را به‌طور کامل بپوشاند. سپس با تنظیم میزان حرارت و سرعت عبور آب سرد از مبرد، تقطیر شروع شد. مدت‌زمان اسانس‌گیری برای تمام تکرارها ۲ ساعت بود. نمونه‌ها پس از ۲ ساعت اسانس‌گیری و جداسازی از ستون دستگاه با سرنگ مخصوص جمع‌آوری و اسانس حاصل برای هر واحد آزمایشی توسط

سولفات سدیم بدون آب، آبگیری شد و در ظرف‌های دربسته تیره‌رنگ، دور از نور و در یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. اسانس آویشن که به اسانس تم موسوم است، در مجاورت نور فاسد می‌شود. وزن مخصوص آن بین ۰/۹۱۵ تا ۰/۹۳۵ است و باید در محل خنک، شیشه‌های دربسته به‌طور کامل پر و دور از نور نگهداری شود. عملکرد اسانس عبارت از محتوای اسانس تولیدشده در واحد سطح زمین (در مزرعه) و یا واحد گیاه (در آزمایش گلدانی) است و از طریق حاصلضرب محتوای اسانس در عملکرد محصول تولیدشده در واحد سطح زمین و یا واحد گیاه به‌دست می‌آید.

نتایج و بحث

وزن خشک و تر اندام رویشی و ارتفاع گیاه

جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس مربوط به آثار اصلی و متقابل دو عامل سطح آبیاری و هیدروژل را بر وزن خشک و تر اندام رویشی و ارتفاع گیاه آویشن نشان می‌دهد. باتوجه‌به این که سطح معناداری آزمون F برای اثر تیمار هیدروژل و اثر متقابل آن‌ها، کمتر از ۰/۰۱ است، دیده می‌شود که اثر تنش رطوبتی، هیدروژل و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر وزن خشک و تر گیاه، در سطح ۱ درصد معنادار است. البته اثر متقابل این دو عامل بر ارتفاع گیاه در سطح ۵ درصد معنادار است. برای مقایسه میانگین‌های سطوح هر عامل، از آزمون تعقیبی استفاده می‌شود. تحلیل واریانس نشان می‌دهد، در کدامیک از ابعاد بین تیمارها اختلاف وجود دارد، اما نشان نمی‌دهد کدام زوج میانگین‌ها با یکدیگر متفاوت است؛ بنابراین از آزمون‌های تعقیبی برای بررسی تفاوت‌ها استفاده می‌شود. نتایج این آزمون برای اثر تنش آبی در جدول ۴ و برای اثر هیدروژل در جدول ۵ آورده شده است. باتوجه‌به جدول ۴، از آن‌جا که سطح معناداری آزمون تعقیبی در هر سه ردیف کمتر از ۰/۰۱ است، دیده می‌شود که در سطح ۱ درصد، میانگین وزن خشک، تر و ارتفاع گیاه در تیمار آبیاری کامل نسبت به دیگر تیمارهای آبیاری بیشتر است.

باتوجه‌به جدول ۴ نتیجه می‌شود، در سطح ۱ درصد، بین میانگین وزن خشک، وزن تر و ارتفاع گیاه در تیمارهای آبیاری کامل و ٪۷۰ نیاز آبی گیاه، تیمارهای آبیاری کامل و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و همچنین بین تیمارهای ۷۰٪ و ۵۰٪ نیاز آبی گیاه تفاوت معنادار وجود دارد. در واقع باتوجه‌به مقایسه میانگین‌ها در این جدول می‌توان گفت، میانگین صفات مورد اندازه گیری در کاربرد ۵۰ تن در هکتار هیدروژل بیش از کاربرد ۱۰ تن در هکتار و تیمار بدون هیدروژل است.

مشابه با نتایج این آزمایش، لباسچی و شریفی عاشورآبادی اثر سطوح مختلف تنش خشکی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) را بر چند گیاه دارویی بررسی کردند و نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد، افزایش سطح تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک گیاهان موردمطالعه شد (۱۵).

در پژوهشی که بابایی و همکاران روی اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در گیاهان آویشن انجام دادند، با افزایش تنش خشکی، وزن تر و وزن خشک گیاه نسبت به شاهد کاهش نشان داد. این پژوهشگران روند کاهشی را تحت‌تأثیر تخصیص بیشتر زیست‌توده تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها و یا در اثر کاهش میزان کلروفیل و یا بازدهی فتوسنتز دانستند (۴). در پژوهش بحرینی نژاد و همکاران (۶)، وزن خشک و تر اندام هوایی گیاه آویشن دنایی بر اثر تنش خشکی کاهش چشمگیری نشان داد که این پژوهشگران علت اصلی این امر را کاهش ارتفاع و سطح برگ گیاه بر اثر تنش خشکی دانستند. در پژوهش دیگری که توسط استومایر و همکاران در سال ۲۰۰۴ انجام شد، بیشترین وزن خشک تولیدی گیاه آویشن در شرایط تنش آبی متوسط به‌دست آمد (۲۵).

باتوجه‌به جدول ۵ و مقایسه میانگین‌های وزن خشک، وزن تر و ارتفاع گیاه در سطوح مختلف مصرف هیدروژل نتیجه می‌شود که در سطح ۱ درصد، بین میانگین‌های وزن خشک، وزن تر و ارتفاع گیاه در سطوح مختلف هیدروژل تفاوت معنادار وجود دارد. در واقع باتوجه‌به مقادیر اختلاف

جدول ۳. آزمون مدل عاملی برای بررسی اثرات اصلی و متقابل دو عامل آبیاری و هیدروژل روی وزن خشک، وزن تر و ارتفاع گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن خشک اندام رویشی	وزن تر اندام رویشی	ارتفاع گیاه
مدل	۸	۵۱۳۰۷۶/۲**	۳۷۴۰۳۲۵/۹**	۲۲/۹**
ثابت	۱	۳۳۴۵۳۴۴۱/۳**	۲۴۳۸۷۵۵۸۷/۳**	۱۲۷۵۴/۴۹**
سطح آبیاری	۲	۱۹۷۴۱۳۳**	۱۴۳۹۱۴۲۹/۶**	۷۶/۸**
هیدروژل	۲	۶۹۱۰۷/۴**	۵۰۳۷۹۳/۳**	۱۴/۴**
تنش آبی*هیدروژل	۴	۴۵۳۲/۳**	۳۳۰۴۰/۳**	۰/۳۴*
خطا	۱۸	۵۹۶/۵	۴۳۴۸/۴**	۰/۱۲

**: در سطح احتمال ۱٪ خطا معنی‌دار است.، *: در سطح احتمال ۵٪ خطا معنی‌دار است. ، NS : از نظر آماری معنی‌دار نیست.

جدول ۴. مقایسه چندگانه میانگین وزن خشک، وزن تر و ارتفاع گیاه برحسب سطح آبیاری

سطح آبیاری	پارامتر مورد بررسی		
	میانگین وزن خشک گیاه ($kg\ ha^{-1}$)	میانگین وزن تر گیاه ($kg\ ha^{-1}$)	میانگین ارتفاع گیاه (cm)
آبیاری کامل	۱۵۸۳/۴	۴۲۷۵/۳	۲۳/۶
۷۰ درصد نیاز آبی گیاه	۱۱۰۹/۱	۲۹۹۴/۶	۲۳/۲
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه	۶۴۶/۸	۱۷۴۶/۳	۱۸/۴

در هر ستون تیمارهای حداقل دارای یک حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر اساس آزمونLSD است.

جدول ۵. مقایسه چندگانه میانگین وزن خشک، وزن تر و ارتفاع گیاه برحسب هیدروژل

سطح هیدروژل (تن در هکتار)	میانگین وزن خشک گیاه($kg\ ha^{-1}$)	میانگین وزن تر گیاه ($kg\ ha^{-1}$)	میانگین ارتفاع گیاه (cm)
۰	۱۰۱۹/۷	۲۷۵۳/۱	۲۰/۴
۱۰	۱۱۲۶/۲	۳۰۴۰/۸	۲۱/۸
۵۰	۱۱۹۳/۴	۳۲۲۲/۳	۲۲/۹

در هر ستون تیمارهای حداقل دارای یک حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر اساس آزمونLSD است.

میانگین‌ها، می‌توان گفت میانگین این صفات در سطح بدون هیدروژل کمتر از سطح کاربرد ۱۰ و ۵۰ تن در هکتار هیدروژل است. همچنین میانگین این صفات در سطح ۱۰ تن در هکتار هیدروژل کمتر از سطح ۵۰ تن در هکتار است.

استفاده از هیدروژل در شرایط تنش خشکی سبب افزایش وزن تر و خشک گیاه گردیده است که این امر به دلیل افزایش

ظرفیت نگهداری آب، افزایش آب قابل‌دسترس، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود شرایط رشد گیاه است. دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی کافی، به‌خصوص نیتروژن از طریق تأثیر بر روی تقسیم و بزرگ‌شدن سلول‌ها در افزایش اجزای رشد رویشی بسیار مؤثر است (۷ و ۱۰).

نتایج حاصل از پژوهشی که در سال ۱۳۸۸، عابدی کوپایی و مسفروش روی کاربرد پلیمرسوپرجاذب بر عملکرد و ذخیره عناصر غذایی در خیار گلخانه‌ای انجام دادند، نشان داد استفاده از پلیمر سوپرآب آ ۲۰۰ به علت بهبود تهویه ریشه، از طریق جذب آب ثقلی در فاصله کوتاهی پس از آبیاری و جلوگیری از تراکم خاک، باعث ایجاد محیط مناسب برای رشد گیاه می‌شود و گیاه در این شرایط آب و املاح را بهتر جذب می‌نماید (۱).

نتایج حاصل از پژوهش نجفی علیشاه و همکاران با کاربرد چهار سطح پلیمر سوپرجاذب آکوسورب (۲، ۴ و ۸ گرم در کیلوگرم خاک) و سه دور آبیاری (۳، ۶ و ۹ روز) نشان داد، مصرف ۲ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک باعث افزایش شاخص‌های رشد، درصد ماده خشک میوه و بوته و تولید حداکثر عملکرد در خیار سبز گلخانه‌ای شد (۲۰).

ارتفاع بوته، وزن تر و خشک سرشاخه‌های گلدار مانند هر اندام رویشی یا زایشی دیگر به‌شدت تحت‌تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرند (۷). پارامترهای رشد رویشی با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابند و تنش خشکی موجب کاهش مقدار آب، آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش رشد سلول‌ها و همچنین رشد رویشی می‌شود و در نتیجه موجب ایجاد اختلال در فتوسنتز، تعرق و فرایندهای متابولیکی گیاه می‌شود (۳۰ و ۱۵). علت کاهش ارتفاع با افزایش تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ‌شدن سلولی و کاهش رشد و نمو سلول، به‌خصوص در ساقه و برگ، به دلیل عدم وجود فشار درون سلول در شرایط تنش خشکی است (۳۰ و ۲۴).

کاهش وزن خشک گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به علت کاهش تورژسانس باشد که منجر به کاهش رشد و توسعه سلول‌ها به‌ویژه سلول‌های ساقه و برگ می‌شود. زمانی که اندازه برگ کوچک باشد، ظرفیت جذب نور و فتوسنتز کاهش می‌یابد و به دنبال آن رشد و کارایی گیاه نیز کاهش می‌یابد (۲۳ و ۲۴).

عملکرد و محتوای اسانس

بر مبنای جدول ۶، اثر سطح آبیاری، کاربرد هیدروژل و اثر متقابل این دو عامل بر محتوای اسانس در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اگرچه اثر تیمارهای مورد استفاده روی عملکرد اسانس گیاه آویشن در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل این دو پارامتر اثر معنی‌داری روی عملکرد اسانس گیاه آویشن نداشت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، با افزایش شدت تنش، محتوای اسانس بیشتر شده و این در حالی است که عملکرد اسانس در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار بدون تنش کاهش نشان داد.

اگرچه تنش خشکی محتوای اسانس اکثر گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد، اما عملکرد تولید اسانس تحت شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد؛ زیرا برهمکنش بین مقدار درصد اسانس تولیدی و عملکرد اندام گیاه دو مؤلفه مهم و تعیین‌کننده مقدار اسانس تولیدی گیاه است (۲). باتوجه‌به خصوصیات مثبت هیدروژل در کاهش اثرات کمبود آب، در این پژوهش کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل به‌طور معنی‌داری درصد اسانس گیاه دارویی آویشن را افزایش داد.

کمبود آب در گیاهان دارویی و معطر علاوه بر اختلالات فیزیولوژیک مانند کاهش فتوسنتز و تنفس می‌تواند باعث تغییر در عملکرد و ترکیب اسانس شود. متابولیت‌های ثانویه گیاه به‌وسیله عوامل محیطی تغییر می‌کند و کمبود آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جنبه‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مطرح شده است (۲۳). افزایش محتوای اسانس در اثر تنش را به دو عامل افزایش تراکم غدد اسانس در اثر کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به تولید ترپن‌ها نسبت می‌دهند (۱۹). در حقیقت رقابت بین سیستم‌های دفاعی و رشد به سود سیستم دفاعی می‌انجامد. وقتی تنش از حد تحمل گیاه

جدول ۶. آزمون مدل عاملی برای بررسی اثرات اصلی و متقابل دو عامل آبیاری و هیدروژل بر محتوا و عملکرد اسانس گیاه آویشن

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		محتوای اسانس	عملکرد اسانس
مدل	۸	۰/۴۸**	۱۱۰/۱**
ثابت	۱	۱۳۹/۵**	۱۵۵۹۷/۵**
سطح آبیاری	۲	۱/۸**	۳۸۸/۹**
هیدروژل	۲	۰/۰۹۹**	۹۹/۹**
تنش آبی*هیدروژل	۴	۰/۰۰۳**	۰/۶۸NS
خطا	۱۸	۰	۰/۳۳

**: در سطح احتمال ۱٪ خطا معنی‌دار است، *: در سطح احتمال ۵٪ خطا معنی‌دار است. ، NS : از نظر آماری معنی‌دار نیست.

بیشتر باشد، محتوای اسانس گیاه به‌دلیل اختلال شدید در تبادل دی اکسید کربن و در نتیجه اختلال در فتوسنتز کاهش خواهد یافت. تنش خشکی مقدار محتوای اسانس اکثر گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد؛ زیرا در موارد بروز تنش متابولیت‌های بیشتری تولیدشده و وجود این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول می‌شود (۴ و ۹) .

لتچامو و گاسلین اثر سه رژیم رطوبتی ۹۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای را بر درصد اسانس گیاه آویشن بررسی کرده و یافتند که بیشترین درصد و عملکرد اسانس در شرایط ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای به‌دست آمد که این نتیجه در توافق با یافته‌های این پژوهش بود (۱۷). در پژوهش دیگری پیرامون بررسی اثرات مقادیر مختلف ازت روی رشد و میزان اسانس آویشن دنایی در طی چهارفصل زراعی در ازمیر، عملکرد ماده خشک گیاه با افزایش مصرف ازت افزایش قابل‌توجهی داشت. همچنین میزان کل اسانس از ۰/۷۸ تا ۳/۱ درصد متغیر بود و کود ازت اثر معنی‌داری روی میزان کل اسانس و یا حتی درصد تیمول نداشت (۷).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش قدرت جذب آب و همچنین کاهش آثار منفی تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه، از هیدروژل در شرایط تنش خشکی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد، افزودن هیدروژل تهیه‌شده بر مبنای سدیم آلژینات و بیوچار به خاک باعث افزایش وزن خشک، تر و ارتفاع گیاه در شرایط تنش آبی شد. از سوی دیگر با افزایش تنش خشکی، وزن خشک، تر و ارتفاع گیاه به‌صورت چشمگیری کاهش یافت. درارابطه‌با اسانس تولیدشده توسط گیاه نیز اگرچه درصد اسانس در شرایط تنش رطوبتی شدید افزایش‌یافته، ولی عملکرد اسانس به‌صورت چشمگیری تحت‌تأثیر قرار گرفته است. برمبنای نتایج به‌دست‌آمده، این امکان وجود دارد که با افزایش سطح کاربرد هیدروژل و افزایش تنش آبی در شرایط خشکسالی بتوان عملکرد قابل‌قبولی از محصول به‌دست آورد.

منابع مورد استفاده

1. Abedi Koupai, J., M. Mesforoush. 2009. Evaluation of Superabsorbent Polymer Application on Yield, Water and Fertilizer Use Efficiency in Cucumber (Cucumis sativus). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(3):100-111 (in Farsi).
2. Alkire, B. H., J. E. Simon, D. Palevitch and E. Putievsky. 1993. Water management for midwestern peppermint (Mentha piperita L.) growing in highly organic soel. Indiana, USA. Acta Horticulture 344: 544-556.
3. Azeem, B., K. KuShaari, Z. B. Man, A. Basit and T. H. Thanh. 2014. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Control Release* 181:11-21.
4. Babaee, K., M. Amini Dehaghi, S. A. M. Modares Sanavi, R. Jabbari. 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (Thymus vulgaris L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 26(2):251-239 (in Farsi).
5. Baki, M. and J. Abedi-Koupai. 2018. Preparation and characterization of a superabsorbent slow-release fertilizer with sodium alginate and biochar. *Journal of Applied Polymer Science* 135(10).
6. Bahreininejad, B., J. Razmjoo and M. Mirza. 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in Thymus daenensis. *International Journal of Plant Product* 7(1): 151–166.
7. Ceylan, A., E. Bayram and N, Ozay. 1994. The effects of N- Fertilizer on the yield and quality of Thymus vulgaris L. in ecological conditions of Bornova- Izmir. *Journal of Agriculture and Forest* 18 (4): 249-255.
8. Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for determination of essential oil. *Journal of the American Pharmacists Association* 17: 346-349.
9. Charles, O., R. Joly and J. E. Simon. 1994. Effect of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry* 29: 2837–2840.
10. Erkossa, T., K, Stahr. and G, Tabor. 2002. Integration of organic and inorganic fertilizers: effect on vegetable productivity. *Ethiopian Agriculture and Research Organization* 82: 247-256.
11. González, M. E., M. Cea, J. Medina, A. González, M. C. Diez, P. Cartes, C. Monreal and R. Navia. 2015. Evaluation of biodegradable polymers as encapsulating agents for the development of a urea controlled-release fertilizer using biochar as support material. *Science of The Total Environment* 505: 446–453.
12. Guo, M., M. Liu, F. Zhan and L. Wu. 2005. Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 44 (12): 4206-4211.
13. Han, T., L. Kumar, H. D. Rozman and M. A. Noor. 2003. GMA grafted sago starch as a reactive component in ultra violet radiation curable coatings. *Carbohydrate Polymers* 54: 509-516.
14. Kabiri, K. and M. Zohuriaan-Mehr. 2004. Porous superabsorbent hydrogel composites: synthesis, morphology and swelling rate. *Macromolecular Materials and Engineering* 289 (7): 653–661.
15. Lebaschy M. H., E. Sharifi Ashoorabadi. 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 20(3): 249-261 (in Farsi).
16. Lehmann. J., S, Joseph. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan: 1-12. London, UK.
17. Letchamo, W., and A, Gasselin. 1996. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of Thymus valgaris are influenced by light intensity and water supply. *Journal Of Horticultural Science* 71(1): 123-134.
18. Liu, M., L. Rui., F. Zhan., Z. Liu and A. Niu. 2007. Preparation of superabsorbent slow release nitrogen fertilizer by inverse suspension polymerization. *Polymer International* 56: 729–737.
19. Moradi, P., B. Ford-Lloyd and J. Pritchard. 2014. Plant-water responses of different medicinal plant thyme (Thymus spp.) species to drought stress condition. *Australian Journal of Crop Science* 8: 666-673.
20. Najafi Alishah, F., A. Golchin, M. Mohebi. The effects of Aquasorb water-absorbing polymer and irrigation frequency on yield, water use efficiency and growth indices of greenhouse cucumber. *Journal of Soil and Plant Interactions* 4(15) :1-13 (in Farsi).
21. Ni, X., Y, Wu., Z. Wu., L. W., G. Qiu and L. Yu. 2013. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosystems Engineering Journal* 115:274-282.
22. Omidbeigi, R. 1995. Cultivation of medicinal plants and their care tips. *Razi journal of Medical Herbs* 7:39-44 (in Farsi).
23. Petropoulos, S. A., D, Daferera., M. G, Polissiou.,. & Passam, H. C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oil of parsley. *Scientia Horticulturae* 115(4): 393-397.
24. Shao, H.B., L.Y. Chu., Ch, Jaleel., Zhao, Ch, X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies* 331: 215–225.
25. Sotomayor, J. A., R. M, Martiänez., A. J. Garciäa, and M. J. Jordaän. 2004. Thymus zygis Subsp. Gracilis: Watering

level effect on phytomass production and essential oil quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 5418-5424.
26. Wu, L., M. Liu and L. Rui. 2008. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Bioresource Technology* 72:240-247.
27. Xu, K., X. Xu. Z. Ding., M. Zhou. 2006. Synthesis and flocculability of sodium alginate grafted with acrylamide China. Particuology 4: 60–64.
28. Yin, Y., X, Ji., H. Dong., Y. Ying., H. Zheng. 2008. Study of the swelling dynamics with overshooting effect of hydrogels based on sodium alginate-g-acrylic acid. *Carbohydrate Polymers* 71: 682–689.
29. Zheng, Y., P, Li., J, Zhang and A, Wang. 2007. Study on superabsorbent composite XVI. Synthesis, characterization and swelling behaviors of poly(sodium acrylate)/vermiculite superabsorbent composites. *European Polymer Journal* 43: 1691-1698.
30. Ziaii, A. M., M. Moghadam, B. Kashefi. 2016. The effect of superabsorbent polymers on the morphological characteristics of the medicinal plant under drought stress conditions. *Ornamental Horticultural Science and Technology* 26: 99-110 (in Farsi).
31. Zohuriaan-Mehr, M., K. Kabiri. 2008. Superabsorbent polymer materials: A review. Iran. *Polymer Journal* 17, 451–477.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 28, No. 1, Spring 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Evaluation of Interaction between the Water Deficit and Hydrogel Produced based on Biochar on the Growth, Yield, and Oil Content of *Thymus daenensis*

M. Baki*, and J. Abedi Koupai[1]

(Received: June 9-2018 ; Accepted: August 5-2018)

Abstract

The improvement of water consumption efficiency is very significant, especially in arid and semi-arid regions. In this research, the effects of three hydrogel rates (0, 10, and 50 Mg ha^{-1}) and three irrigation regimes (50%, 70%, and 100% of water requirement) on growth, yield, and oil production of *Thymus daenensis* were studied in a lysimetric experiment. The process of hydrogel synthesis was performed with sodium alginate as the main bone of the polymer and acrylic acid and acrylamide as monomers with the rapeseed meal biochar was made at 300 ºC. The results showed that the essential oil content produced by the plant was impressed by the hydrogel application. The essential oil content increased with an increase in water deficit, but the essential oil yield decreased in the lysimeters with water deficit compared to the ones without water stress. Besides, the application of 50 Mg ha^{-1} hydrogel caused a 17% increase in the dry matter and a 12% increase in the plant's height. According to the results of this experiment, the application of hydrogel caused the improvement in most characteristics of the *Thymus daenensis* in water stress conditions.

Keywords: Medicinal plants, Water deficit, Hydrogel, Graft-copolymerization, Biochar

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author, Email: mina.bagi@yahoo.com