

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی کارایی مالچ پلاستیکی سیاه در تعدیل تنش آبی و سودمندی اقتصادی آن در کشت

بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)

سعید شیوخی سوغانلو^{۱*}، نیلوفر نجفی ایمن آبادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

چکیده

در این پژوهش به ارزیابی کارایی مالچ پلاستیکی سیاه در تعدیل اثرات تنش آبی و ارزیابی سودمندی اقتصادی آن در کشت بادرنجبویه پرداخته شد. آزمایش به صورت کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل اصلی مالچ پلاستیکی در دو سطح [بدون مالچ (NM) و مالچ پلاستیکی سیاه (BM)] و عامل فرعی تنش آبی در چهار سطح (FC100, FC80, FC60, FC40) بود. نتایج نشان داد که تنش آبی موجب کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ، زیست‌توده، ماده خشک، بهره‌وری آب و رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b، کلروفیل کل و کارتنوئید) شد. کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه توانست اثرات منفی تنش آبی را تعدیل کند؛ به‌گونه‌ای که صفات رشد و فیزیولوژیک گیاه در حضور مالچ بهبود یافت. مقایسه اقتصادی نشان داد که بالاترین سود خالص و نسبت سود به هزینه در تیمار تنش آبی ملایم (FC80) با مالچ پلاستیکی سیاه حاصل شد و استفاده از مالچ، علاوه بر افزایش عملکرد، موجب مقرون‌به‌صرفه شدن کشت بادرنجبویه گردید. بنابراین، تلفیق مدیریت آبیاری مناسب با کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر برای افزایش عملکرد، بهره‌وری آب و سودآوری اقتصادی در کشت بادرنجبویه در مناطق دارای اقلیم مرطوب نیز توصیه شود.

کلمات کلیدی: بهره‌وری آب، زیست‌توده، شاخص سود خالص، ظرفیت زراعی، کلروفیل

مقدمه

بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) یکی از گونه‌های مهم گیاهان دارویی و معطر از خانواده نعنائیان است که به‌دلیل عطر و خواص دارویی و کاربردهای فراوان در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی مورد توجه قرار گرفته است. این گیاه در بسیاری از کشورها به‌ویژه در ایران با هدف تولید اسانس، مواد موثره درمانی و فرآورده‌های تجاری کشت می‌شود و سطح زیر کشت آن در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان و بازارهای صادراتی رو به گسترش بوده است (Gordani c et al., 2025).

تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در سطح جهان به‌شمار می‌رود، به‌ویژه در مناطق خشک و

نیمه‌خشک که گیاهان دارویی مانند بادرنجبویه تحت شرایط محدودیت آب کشت می‌شوند (اسدی و همکاران، ۱۴۰۴). افزایش جمعیت و به‌دنبال آن افزایش تقاضا برای مصرف آب بخش کشاورزی را با چالش اساسی در تأمین منابع آب مواجه ساخته است (نجفی ایمن آبادی و همکاران، ۱۴۰۳). مشکل کم‌آبی در سال‌های اخیر در مناطق دارای اقلیم نیمه‌مرطوب نیز به‌دلیل کاهش بارندگی‌ها و عدم توزیع مناسب آن در طول دوره‌ی فصل رشد و نمو گیاهان موجب بروز نگرانی‌های جدی در پایداری تولید محصولات کشاورزی شده است (شیوخی و همکاران، ۱۴۰۴). تنش آبی باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان می‌شود که از پیامدهای مهم آن می‌توان به کاهش بازده فتوسنتزی، کاهش میزان کلروفیل و محدود شدن رشد و تولید زیست‌توده از اشاره کرد (Shiukhy-Soqanloo and Shamgani Mashhadi, 2026). در چنین شرایطی، اعمال مدیریت مناسب منابع آبی و اتخاذ روش‌های کاهش تبخیر، برای بهبود عملکرد و کیفیت محصول اهمیت اساسی دارد. شیوخی و همکاران بیان نمودند که با افزایش شدت تنش آبی، صفات رویشی و مورفولوژیکی ریحان دچار کاهش محسوس شد (شیوخی و همکاران، ۱۴۰۲). نتایج مطالعه اسدی و همکاران، نیز حاکی از آن بود که

۱- استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- دانش آموخته آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

*- ایمیل نویسنده مسئول: (Email: saeid.shiukhy@gmail.com)

DOI: [10.22034/ijid.2026.571531.2664](https://doi.org/10.22034/ijid.2026.571531.2664)

کار و ورونق اقتصادی کشاورزان را با چالش جدی مواجه سازد (عزیزی خاخیلی و همکاران، ۱۴۰۲). علیرغم مطالعات متعدد در زمینه اثر مالچ بر رشد گیاهان و مدیریت آب، پژوهش‌های محدودی وجود دارند که به‌طور همزمان پاسخ فیزیولوژیک بادرنجبویه به تنش خشکی با استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه و پیامدهای اقتصادی استفاده از آن را مورد بررسی قرار داده باشند. چنین رویکردی نیازمند تحلیل جامع از مزایا و محدودیت‌های این روش است تا بتوان پالایش علمی و عملی برای بهره‌برداران و تصمیم‌گیرندگان کشاورزی فراهم نمود. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی مالچ پلاستیکی سیاه در کاهش اثرات تنش آبی در کشت بادرنجبویه و همچنین بررسی اقتصادی استفاده از این روش برای بهبود بهره‌وری منابع آبی و افزایش بازده تولید انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی کارایی مالچ پلاستیکی سیاه در تعدیل تنش آبی و سودمندی اقتصادی آن در کشت بادرنجبویه، آزمایش به صورت کرت خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی شامل فاکتور اصلی مالچ پلاستیکی در دو سطح [بدون مالچ (NM) و مالچ پلاستیکی سیاه (BM)] و عامل فرعی تنش آبی در چهار سطح (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (FC)) در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. نشاء گیاه بادرنجبویه در ردیف‌هایی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۴۰ سانتی‌متر، در تاریخ ۱۰ اردیبهشت کشت شد. ابعاد کرت آزمایشی $1/80 \times 1/20$ متر (طول \times عرض) در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد، آبیاری نیز بصورت دستی انجام شد. به‌طوریکه ابتدا تمامی کرت‌ها به‌طور یکسان و به یک اندازه آبیاری شدند. رطوبت خاک با استفاده از تانسومتر پایش و زمانی که در تیمارهای بدون مالچ و مالچ پلاستیکی سیاه (FC100) رطوبت خاک به میزان ۷۰ درصد می‌رسید (SWC=70)، آبیاری انجام گرفته و در ادامه، متناسب با آنها سایر تیمارها بر اساس ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری می‌شدند. اطلاعات و جزییات بیشتر از میزان آب مصرفی و تعداد دور آبیاری در جدول ۱ ارائه گردید. لازم به ذکر است که تا مرحله ۸-۶ برگی شدن بوته‌ها، آبیاری کرت‌های آزمایشی با دور و مقدار یکسان بود و پس از این مرحله، تیمارهای تنش آبی اعمال شدند. برای جلوگیری از ورود باران به درون کرت‌ها، از سرپناه بارش^۱ استفاده شد. همچنین برداشت در تاریخ ۲۰ تیرماه انجام گرفت. اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی منطقه محل اجرای آزمایش در شکل (۱) و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۲) و ارائه گردید.

تیمارهای تنش آبی شدید و متوسط در مقایسه با تیمار تنش خفیف، ویژگی‌های رشدی گیاه خرفه را با کاهش قابل توجهی مواجه ساخت (اسدی و همکاران، ۱۴۰۴). شیوخی سوغانلو و همکاران اظهار داشتند که افزایش مدت زمان تأخیر در آبیاری باعث بروز تنش آبی شده و عملکرد فلفل را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۴). نتایج برخی از مطالعات از جمله؛ (Wang et al., 2022; Basal and Szabo, 2020; Medina et al., 2021) نیز مؤید پیامدهای نامطلوب تنش آبی بر عملکرد و خصوصیات گیاهان دارویی می‌باشد.

استفاده از مالچ پلاستیکی در بستر کشت گیاهان یکی از روش‌های مؤثر کشاورزی برای کاهش تبخیر آب، کنترل دما، جلوگیری از رشد علف‌های هرز و بهبود شرایط ریشه گیاهان می‌باشد (Amare and Desta, 2021). مالچ‌های پلاستیکی خرداقلیم اطراف گیاه را بواسطه اصلاح بودجه تابش و کاهش تلفات آب خاک تغییر داده و در نهایت موجب افزایش کیفیت محصول می‌شوند (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۳). سارکر و اوبا بیان کردند که کاربرد مالچ پلاستیکی کیفیت میوه را بدلیل وضعیت گرمایی و نوری که در محیط پیرامون گیاه ایجاد می‌کند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sarkar and Uba, 2018). ال-ساموندی و همکاران نیز اظهار داشتند که عملکرد محصول و کارایی مصرف آب گیاه در شرایط کاربرد مالچ، به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد (El-Samoudi et al., 2019). نتایج برخی مطالعات از جمله؛ (شیوخی سوغانلو و رائینی، ۱۳۹۶؛ Sener and Turemis, 2017) نشان داده‌اند که استفاده از مالچ پلاستیکی می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری آب، بهبود رشد گیاهان و افزایش عملکرد شود، به‌ویژه در شرایط کم‌آبی گردد.

با وجود مزایای کشاورزی، بررسی جنبه اقتصادی استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه بخش مهمی از تصمیم‌گیری برای کشت تجاری است. هزینه‌های اولیه تهیه و نصب این نوع مالچ، به‌ویژه در کشورهای که نرخ ارز بالا است، می‌تواند برای تولیدکنندگان چالش‌برانگیز باشد. از سوی دیگر، ارزیابی‌های اقتصادی در سیستم‌های تولید بادرنجبویه نشان داده‌اند که استفاده از روش‌های کشاورزی مناسب می‌تواند با افزایش عملکرد و کیفیت محصول نسبت سود به هزینه را به سطوح مطلوب برساند و پایداری اقتصادی تولید را افزایش دهد (Gordani'c et al., 2025). اهمیت تولید پایدار و اقتصادی گیاهان دارویی در کشور همواره با چالش‌های متعددی مواجه بوده است. بدلیل تغییرات اقلیمی و پیامدهای ناشی از آن بویژه ایجاد شرایط کم‌آبی و توزیع نامنظم بارش‌ها، حتی مناطق مرطوب نیز با محدودیت و نگرانی مواجه شده‌اند (علیزادگان و همکاران، ۱۴۰۰). بدیهی است که پیامدهای اقتصادی نامطلوبی از جمله؛ کاهش قابل توجه درآمد، افزایش هزینه‌های تولید و کاهش بهره‌وری منابع بر کاهش عملکرد کمی و کیفی محصولات تأثیر منفی بگذارد و کسب و

جدول ۱- اطلاعات تکمیلی از نحوه مدیریت آبیاری در طول دوره‌ی رشد ونمو گیاه بادرنجبویه

مالچ پلاستیکی سیاه				بدون مالچ				تیمار
FC40	FC60	FC80	FC100	FC40	FC60	FC80	FC100	
۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	تعداد دور آبیاری
۳۷۸	۵۶۷	۷۵۶	۹۴۵	۴۰۱	۶۰۱	۸۰۱	۱۰۰۲	میزان آب مصرفی کل (m ³ .ha ⁻¹)



شکل ۱- برخی از مشخصات آب و هوایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	کربن آلی O.C (%)	ماده آلی O.M (%)	هدایت الکتریکی EC*10 ³ (ds.m ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت (Texture)		
							رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
370	13	0.1	1.2	2	1.8	7.6	37	40	23

آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، می‌باشد.

$$WP = \frac{GY}{Wap} \quad (۱)$$

به‌منظور سنجش فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید بادرنجبویه، نخست ۰/۵ گرم از برگ جوان بالای برداشت و هر نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد درآمیخته شد، پس از آن نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار داده شدند. پس از سپری شدن ۲۴ ساعت، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شدند و با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر ثبت شد (بهاری پنه‌چوله و همکاران، ۱۴۰۳). با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه نمونه محاسبه شد. در پایان داده‌های بدست آمده با بهره‌گیری از نرم افزار SASver9.2 تجزیه و تحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

$$Chl\ a\ (mg/g.f.w) = 12.7(A663) - 2.69(A645) \times v / 1000 \times w \quad (۲)$$

$$Chl\ b\ (mg/g.f.w) = 12.9(A645) - 2.69(A663) \times v / 1000 \times w$$

در پایان مرحله رشد رویشی گیاه بادرنجبویه (شروع گلدهی)، شاخص سطح برگ با استفاده از نرم افزار Image J و برای یک سطح معین ۴۰۰ سانتی‌متر مربع حاصل از یک کوادرات (۲۰ × ۲۰) محاسبه شد. در این روش ابتدا برگ‌های سبز و سالم (از انتخاب برگ‌های زرد یا دچار بیماری و آفت‌زدگی پرهیز شد) بر روی یک صفحه کاغذی سفید رنگ قرار گرفته و عکس‌برداری انجام شد. سپس در بستر نرم افزار با استفاده از درجه‌بندی خط‌کش برحسب سانتی‌متر اقدام به تنظیمات مقیاس گردید و مساحت هر برگ با مرزبندی پیرامون برگ محاسبه شد (نجفی ایمن آبادی و همکاران، ۱۴۰۳). برای سنجش زیست‌توده بوته‌های برداشت شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم به‌دقت توزین شدند. و برای سنجش ماده خشک نیز بوته‌های برداشت شده در آون و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و پس از آن وزن خشک با توزین نمونه‌ها بدست آمد (شیوخی و همکاران، ۱۴۰۳). در این پژوهش بهره‌وری آب (WP) براساس رابطه (۱) محاسبه شد. این نمایه درک صحیحی از استفاده بهینه از منابع آب را بوجود آورده و نقش مهمی در شناسایی شیوه‌های آبیاری پایدار بازی می‌کند (Wang et al., 2023). که در آن، GY: عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، Wap میزان

(۳)

توده، ماده خشک و بهره‌وری آب معنی‌داری بود ($P \leq 0.05$). استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت بادرنجبویه تمامی صفات مورد اندازه‌گیری به استثناء ماده خشک را تحت تأثیر قرار داد و تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P \leq 0.05$). همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ بر صفات شاخص سطح برگ، زیست توده، ماده خشک و بهره‌وری آب معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، سطوح مختلف تنش آبی، تأثیر بسیار قابل توجهی بر میزان شاخص سطح برگ داشت. به‌طوریکه بیشترین میزان شاخص سطح برگ با ۲/۶ در تیمار FC100 مشاهده شد. این در حالی بود که در تیمارهای تنش آبی FC60، FC80 و FC40 میزان شاخص سطح برگ به ترتیب ۲/۳، ۱/۹ و ۱/۶ مشاهده شد، که هر یک نشان از کاهش ۱۱، ۲۷ و ۳۸ درصدی شاخص سطح برگ بود. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه تأثیر بسیار قابل توجهی بر تغییرات شاخص برگ داشت. به‌طوریکه میزان شاخص سطح برگ در تیمار BM با ۲/۳ در مقایسه با تیمار NM با ۱/۹، برتری کاملاً محسوسی را نشان داد. بر پایه یافته‌ها، اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ نیز میزان شاخص سطح برگ را با تغییرات متفاوتی مواجه ساخت. به‌طوریکه بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به ترکیب تیماری FC100-BM با ۲/۷ بود. در حالیکه کمترین میزان آن در ترکیب تیماری FC40-NM با ۱/۳ مشاهده شد (شکل ۲-الف).

بررسی عملکرد زیست‌توده نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی این صفت نیز متناسب با شدت تنش، دچار کاهش قابل توجهی شد. به‌طوریکه میزان عملکرد زیست‌توده در تیمارهای FC100، FC80، FC60 و FC40 به ترتیب ۹۸۰/۴، ۷۸۰/۸، ۴۷۷/۳ و ۲۴۸/۱ کیلو گرم در هکتار بود. همچنین استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه (BM) میزان عملکرد زیست‌توده را در مقایسه با تیمار بدون مالچ (NM) به میزان ۲۴ درصد افزایش داد.

نتایج ارزیابی اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ نیز حاکی از آن بود که بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده در ترکیب تیماری FC100-BM با ۱۰۸۶/۲ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین آن مربوط به ترکیب تیماری FC40-NM با ۱۹۰/۸ کیلو گرم در هکتار بود (شکل ۲-ب).

نتایج بررسی میزان تولید ماده خشک در بین تیمارهای تنش آبی در شکل ۲-پ ارائه گردید. همانطور که در شکل ۱-پ نیز مشاهده می‌شود، میزان عملکرد تولید ماده خشک در تیمار تنش آبی FC100 با ۳۰۰/۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین میزان را به خود اختصاص داد و در مقایسه با تیمارهای تنش آبی FC80، FC60 و FC40 به ترتیب با ۲۵، ۴۶ و ۵۵ درصد کاهش به ۲۲۳/۸، ۱۶۱/۳ و ۱۳۳/۱ کیلوگرم در هکتار رسید. همچنین یافته‌ها بیانگر آن بود که استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در مقایسه با تیمار بدون مالچ تفاوت چندانی بر میزان

$$\text{Chl a} * b \text{ (mg/g.f.w)} = 20.2(A645) - 8.02(A663) \times v / 1000 \times w \quad (۴)$$

$$\text{Cart (mg/g.f.w)} = 7.6(A480) - 1.49(A510) \times v / 1000 \times w \quad (۵)$$

به منظور ارزیابی اقتصادی استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت بادرنجبویه، هزینه‌های عملیات مختلف بر اساس قیمت های سال ۱۴۰۴ ارائه شده است. قیمت هر نشا بسته به کیفیت آن در بازار (۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ ریال) متفاوت است. در پژوهش حاضر هزینه هر نشاء ۱۲۰۰۰ ریال، درآمد کل حاصل فروش بادرنجبویه با ارزش ۴۰۰۰۰۰۰ ریال، هزینه هر متر مکعب آب مصرفی ۱۰۰۰۰ ریال و همچنین سایر هزینه‌های متغیر نیز در تولید نشا در نظر گرفته شدند. سپس شاخص های اقتصادی بر اساس روابط ۶ تا ۹ محاسبه شدند. سود ناخالص^۱ در واحد حجم آب از رابطه (۶) بهره گرفته شد که سود ناخالص را نسبت به میزان آب مصرفی در نظر می‌گیرد. در رابطه (۷) به جای در نظر گرفتن سود ناخالص در صورت کسر، مقدار سود خالص^۲ به عنوان عدد کسری تعیین می‌شود (Najafi et al, 2021; Shamgani-Mashhadi et al., 2024). در رابطه (۸) نسبت سود به هزینه^۳ (فحی و همکاران، ۱۳۹۸) و در رابطه (۹) نیز نسبت درآمد به هزینه^۴ بدست آمد.

$$BPD = \frac{GM}{TWC} , \quad GM = GY \times SP \quad (۶)$$

$$NBPD = \frac{NB}{TWC} , \quad NB = GM - TCP \quad (۷)$$

$$B/C = \frac{NB}{TCP} \quad (۸)$$

$$P/C = \frac{PC}{TCP} \quad (۹)$$

که در آن، GM: سود ناخالص (ریال)، GY: عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، SP: قیمت محصول (ریال)، NB: سود خالص، TCP: کل هزینه های انجام شده می‌باشند. تولید محصول (ریال در هکتار)، PC: درآمد کل و TWC: حجم آب مصرف‌شده (مترمکعب در هکتار) می‌باشند.

نتایج و بحث

- عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و مالچ پلاستیکی سیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد بادرنجبویه در جدول ۳ ارائه گردید. بر اساس نتایج، اثر اصلی تنش آبی بر صفات شاخص سطح برگ، زیست

- 1- Benefit Per Drop
- 2- Net Benefit Per Drop
- 3- Benefit-Cost Ratio
- 4- Profit-to-Cost Ratio

تولید ماده خشک نداشت. این در حالی بود که اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ بر میزان تولید ماده خشک اثرگذار بود. به طوریکه بیشترین و کمترین میزان ماده خشک در ترکیب‌های تیماری FC100-BM و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و کاربرد مالچ پلاستیکی بر برخی صفات عملکرد، بهره‌وری آب و رنگی‌های فتوسنتزی بادرنجبویه

میانگین مربعات (MS)								درجه آزادی (df)	منابع تغییر (S.O.V)
رنگی‌های فتوسنتزی			عملکرد و اجزای عملکرد						
کارتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	بهره‌وری آب	ماده خشک	زیست توده	شاخص سطح برگ		
۱۹/۰۵۸۷ ^{ns}	-/۰۱۱۶ ^{ns}	-/۰۰۱۶ ^{ns}	-/۰۰۲۳ ^{ns}	-/۰۰۰۴ ^{ns}	۲۱۹۸/۱۴۲۹ ^{ns}	۵/۸۷۲ ^{ns}	-/۰۰۱۶ ^{ns}	۲	بلوک
۳۳۲/۲۰۹۴ ^{**}	۰/۳۳۸۸ ^{**}	۰/۰۳۴۶ ^{**}	۰/۰۸۸۳ ^{**}	۰/۴۲۵۵ ^{**}	۳۳۰۱۹/۰ ^{**}	۶۴۱۸۸۸/۳۹۶ ^{**}	۱/۲۱۵۹ ^{**}	۳	تنش آبی
۲۷۷/۴۴ ^{**}	۱/۱۲۶۶ ^{**}	۰/۰۰۳۳ ^{ns}	۰/۱۶۸۳ ^{**}	۰/۷۳۵ ^{**}	۳۲۹۰/۰۴۱۶ ^{ns}	۱۶۸۹۹۱/۳۸۴ ^{**}	۱/۳۵۳۷ ^{**}	۱	مالچ
۰/۵۳۶۶ ^{ns}	-/۰۰۱۱ ^{ns}	-/۰۰۰۱ ^{ns}	-/۰۰۲۳ ^{ns}	-/۰۰۲۲۷ ^{**}	۴۹۵۰/۹۳۰۵ [*]	۴۶۲۱/۲۰۳ ^{**}	-/۰۴۸۱ [*]	۳	تنش آبی × مالچ
۱۶/۵۲۶۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۰۸	۱۴۴۳/۵۰۹۶	۱۸۳/۵	۰/۰۰۹۲	۱۴	خطا
-	-	-	-	-	-	-	-	۲۳	کل
۵/۸	۱۱/۶	۸/۷	۹/۰	۳/۸	۸/۵	۲/۱	۴/۴	-	ضریب تغییرات (C.V)

ns و *، ** به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند

مربوط به تیمار FC100 با ۰/۸۴ میلی گرم بر گرم بود. در حالی که در تیمارهای تنش آبی FC80، FC60 و FC40 میزان کلروفیل a به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۶۵ و ۰/۵۵ میلی گرم بر گرم مشاهده شد که نشان از کاهش ۱۳، ۲۳ و ۳۵ درصدی داشت (شکل ۳-الف). همچنین در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت (تیمار BM) بیشترین میزان کلروفیل a با ۰/۷۸ میلی گرم بر گرم به ثبت رسید. این در حالی بود که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار بدون مالچ (تیمار NM) با ۰/۶۱ میلی گرم بر گرم بود (شکل ۳-ب).

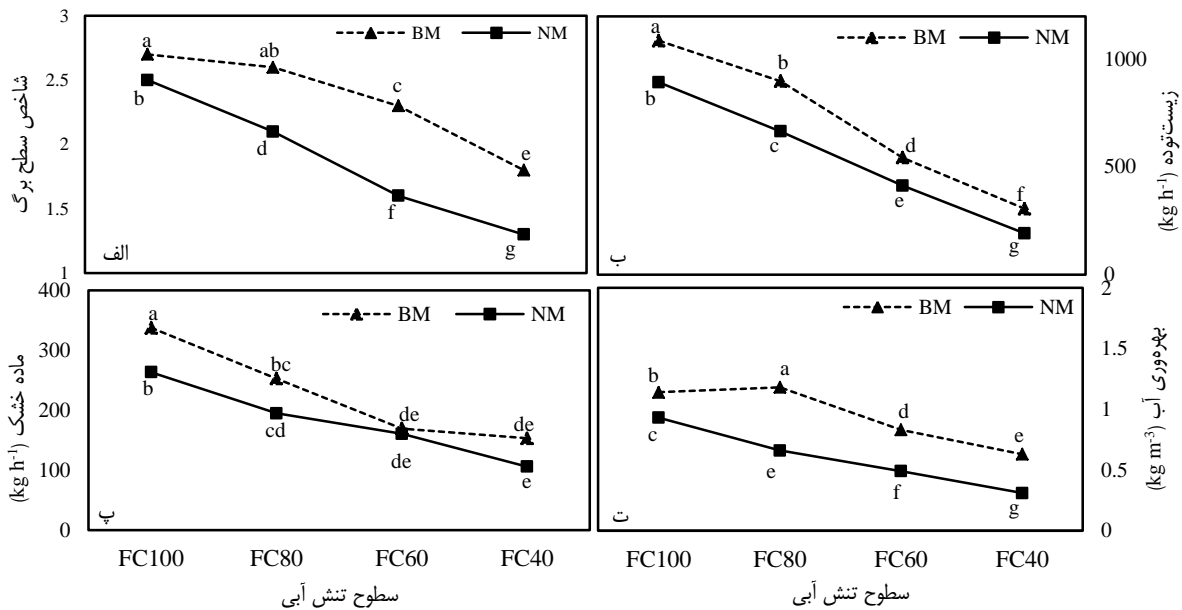
همچنین نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش آبی، میزان کلروفیل b دچار افت محسوسی شد. به طوریکه بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار FC100 با ۰/۴۵ میلی گرم بر گرم دیده شد و با ۱۳ درصد کاهش، در تیمار FC80 به میزان ۰/۳۹ میلی گرم بر گرم رسید. در حالیکه تیمارهای FC60 و FC40 به ترتیب با کاهش چشمگیر ۳۱ و ۳۸ درصدی همراه شده و با ۰/۳۱ و ۰/۲۸ میلی گرم بر گرم در رتبه بعدی قرار گرفتند. شایان ذکر است که تیمارهای FC60 و FC40 تفاوت چندانی با هم نداشتند (شکل ۴-الف). بر اساس نتایج بدست آمده، میزان کلروفیل b تحت تأثیر کاربرد یا عدم کاربرد مالچ قرار نگرفت و میان تیمارهای BM و NM تفاوت معنی-دار مشاهده نشد (شکل ۴-ب).

بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، میزان بهره‌وری آب در کشت گیاه بادرنجبویه در بین تیمارهای تنش آبی نیز دستخوش تغییرات متفاوتی شد. وجود تفاوت چشمگیر در بین تیمارهای FC100 و FC40 بسیار مشهود و قابل توجه بود. بر اساس نتایج بدست آمده، بالاترین میزان بهره‌وری آب در تیمار FC100 با ۱ کیلوگرم در مترمکعب ثبت شد و تیمارهای FC80، FC60 و FC40 به ترتیب با ۰/۹، ۰/۶ و ۰/۴ کیلوگرم در مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین یافته‌ها نشان دادند که تیمار BM با ۰/۹ کیلوگرم در مترمکعب در مقایسه با تیمار NM با ۰/۶ کیلوگرم در مترمکعب میزان بهره‌وری آب بالاتری داشت (شکل ۲-ت).

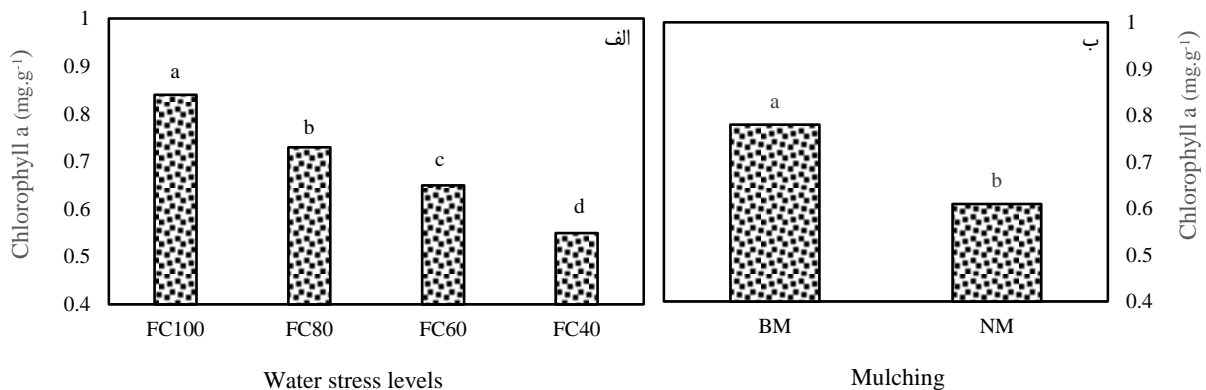
رنگی‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش آبی و مالچ بر فعالیت رنگی‌های فتوسنتزی در جدول ۳ ارائه گردید. بر اساس نتایج، اثر اصلی تنش آبی بر فعالیت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید معنی‌داری بود ($P \leq 0.05$). همچنین نتایج گویای آن بود که اثر اصلی مالچ نیز فعالیت رنگی‌های کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئید را تحت تأثیر قرار داد اما تأثیر چندانی بر فعالیت کلروفیل b نداشت. این در حالی بود که اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ بر فعالیت رنگی‌های فتوسنتزی معنی‌دار نبود.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان کلروفیل a



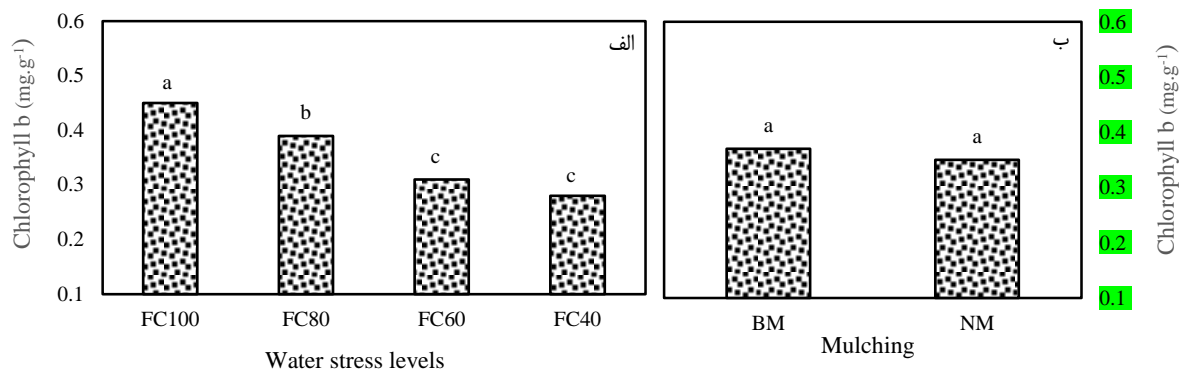
شکل ۲- بررسی اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ بر شاخص سطح برگ (الف)، زیست توده (ب)، ماده خشک (پ) و بهره‌وری آب (ت) بادرنجوبیه



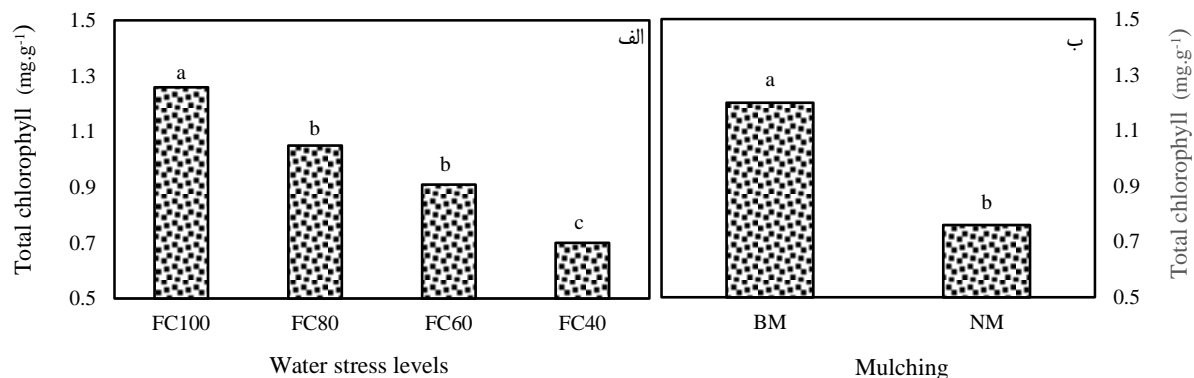
شکل ۳- بررسی اثر بخشی سطوح مختلف تنش آبی (الف) و کاربرد مالچ (ب) بر میزان کلروفیل a بادرنجوبیه

همچنین بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار BM با ۱/۲ میلی گرم بر گرم مشاهده شد و کمترین میزان آن، مربوط به تیمار شاهد با ۰/۷۶ میلی گرم بر گرم بود. در واقع استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت بادرنجوبیه توانست تا حدی اثر نامطلوب تنش آبی را تعدیل نماید و نتایج بهتری را نسبت به شرایط بدون مالچ ایجاد نمود (شکل ۵-ب).

یافته‌های حاصل از مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف تنش آبی بر میزان کلروفیل کل در شکل ۵-الف، نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار FC100 با ۱/۲۶ میلی گرم بر گرم برتری مشهودی با سایر سطوح تنش آبی داشت. این در حالی بود که تیمارهای FC60 و FC80 به ترتیب با ۱/۰۵ و ۰/۹۱ میلی گرم در گرم تفاوت معنی داری نداشتند اما در مقایسه با تیمار تنش آبی FC40 (۰/۷۰ میلی گرم در گرم) میزان کلروفیل کل بیشتری را نشان دادند.



شکل ۴- بررسی اثر بخشی سطوح مختلف تنش آبی (الف) و کاربرد مالچ (ب) بر میزان کلروفیل b بادرنجبویه



شکل ۵- بررسی اثر بخشی سطوح مختلف تنش آبی (الف) و کاربرد مالچ (ب) بر میزان کلروفیل کل بادرنجبویه

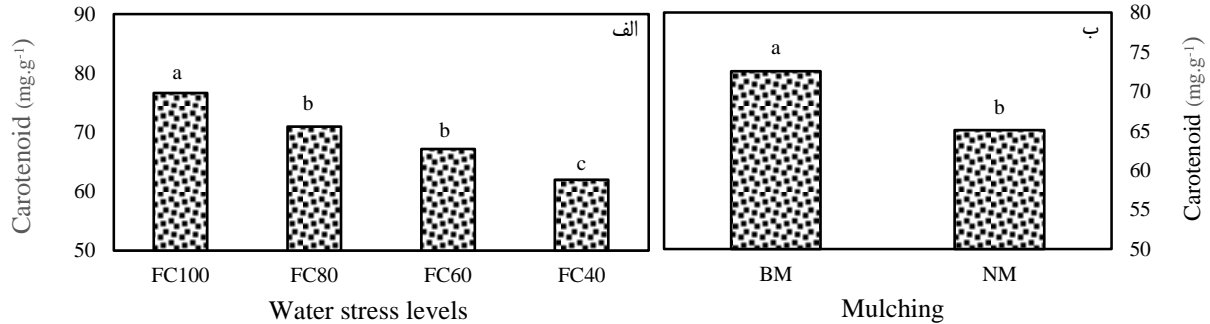
کلروپلاست نسبت داده می‌شود که در شرایط تنش خشکی به دلیل اختلال در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی رخ می‌دهد (Wang et al., 2025). تجمع ROS از طریق پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین‌های فتوسیستم و آسیب به غشاهای تیلاکوئیدی موجب کاهش پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Zheng et al., 2025). همچنین گزارش شده است که تنش آبی با ایجاد تغییرات فراساختاری در کلروپلاست از جمله تورم تیلاکوئیدها و اختلال در عملکرد فتوسیستم II به‌طور مستقیم سبب افت کلروفیل می‌گردد (Sherin et al., 2022). از سوی دیگر، کمبود آب از طریق محدود کردن جذب و متابولیسم نیتروژن، مهار فعالیت آنزیم‌های کلیدی بیوسنتز کلروفیل و افزایش مسیرهای تجزیه آن، سنتز این رنگیزه‌ها را نیز کاهش می‌دهد (Ashraf and Harris, 2013). نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه توانست تا حدودی از افت رنگیزه‌ها جلوگیری کند که این امر احتمالاً به دلیل بهبود وضعیت رطوبتی خاک، کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ پایداری کلروپلاست‌ها است، زیرا حفظ وضعیت آبی گیاه موجب کاهش تولید

همان‌طور که در شکل ۶-الف نیز مشاهده می‌شود، تغییرات میزان کارتنوئید نتایج مشابه با کلروفیل کل داشت. به‌طوریکه بیشترین میزان کارتنوئید را تیمار FC100 با ۰/۷۶/۷ میلی‌گرم بر گرم به خود اختصاص داد. در حالی که تیمارهای FC80 و FC60 به ترتیب با ۶۷/۲ و ۷۱/۰ میلی‌گرم در گرم تفاوت چندان قابل ملاحظه‌ای نشان ندادند اما در مقایسه با تیمار تنش آبی FC40 (۶۲/۰ میلی‌گرم در گرم) میزان کارتنوئید بیشتری را داشتند. بررسی تأثیر تیمارهای مالچ حاکی از تفاوت قابل توجه تیمارهای BM و NM بر میزان کارتنوئید داشت. نتایج نشان داد که تیمار BM با ۷۲/۶ میلی‌گرم در گرم در مقایسه با تیمار NM با ۶۵/۱ میلی‌گرم در گرم برتری محسوسی داشتند و میزان کارتنوئید را به میزان ۱۰ درصد افزایش داد (شکل ۶-ب).

کاهش معنی‌دار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید با افزایش شدت تنش آبی در این پژوهش نشان‌دهنده حساسیت بالای دستگاه فتوسنتزی بادرنجبویه به کمبود آب است. این کاهش عمدتاً به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در

کلروپلاست و اختلال در مسیرهای بیوسنتزی است، در حالی که مدیریت رطوبت خاک از طریق مالچ می‌تواند این اثرات را تعدیل نماید.

ROS و جلوگیری از تخریب ساختارهای فتوسنتزی می‌شود (Wang et al., 2025). بنابراین، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش خشکی نتیجه برهمکنش تخریب اکسیداتیو، آسیب ساختاری



شکل ۶- بررسی اثر بخشی سطوح مختلف تنش آبی (الف) و کاربرد مالچ (ب) بر میزان کلروفیل کل بادرنجبویه

متفاوت بود. از آنجا که تفاوت چندان قابل توجهی میان سود خاص و سود ناخالص و همچنین نسبت سود به هزینه و نسبت درآمد به هزینه مشاهده نشد بنابراین تنها به بررسی سود خالص و نسبت سود به هزینه پرداخته شد (جدول ۴).

شاخص‌های اقتصادی

نتایج تجزیه واریانس ارزیابی اقتصادی استفاده از مالچ پلاستیکی در بستر کشت گیاه بادرنجبویه تحت شرایط تنش آبی نشان داد که میزان شاخص‌های سود خالص، سود ناخالص، نسبت سود به هزینه و نسبت درآمد به هزینه در میان سطوح مختلف تنش آبی و مالچ

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ارزیابی اقتصادی کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه در کشت بادرنجبویه تحت شرایط تنش آبی

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	منابع تغییر
P/C	B/C	BPD	NBPD	df	S.O. V
۳/۶۱۱۴ ^{NS}	۳/۶۱۱۴ ^{NS}	۰/۰۰۳۸ ^{NS}	۰/۰۰۳۷ ^{NS}	۲	بلوک
۶۸۶۰/۷۱۹۶ ^{**}	۶۸۶۰/۷۱۹۶ ^{**}	۶/۵۶۳۶ ^{**}	۶/۵۷۷۱ ^{**}	۳	تنش آبی
۱۶۸۳/۷۰۲۱ ^{**}	۱۶۸۳/۷۱۹۶ ^{**}	۹/۵۷۶ ^{**}	۹/۴۲۵ ^{**}	۱	مالچ
۱۵۶/۱۲۰۳ ^{**}	۱۵۶/۱۲۰۳ ^{**}	۰/۷۹۹ ^{**}	۰/۷۹۳ ^{**}	۳	تنش آبی × مالچ
۱/۸۱۱۷	۱/۸۱۱۶	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۳	۱۴	خطا
-	-	-	-	۲۳	کل
۲/۱	۲/۲	۲/۱	۲	-	ضریب تغییرات (C.V)

NS و *، ** به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند

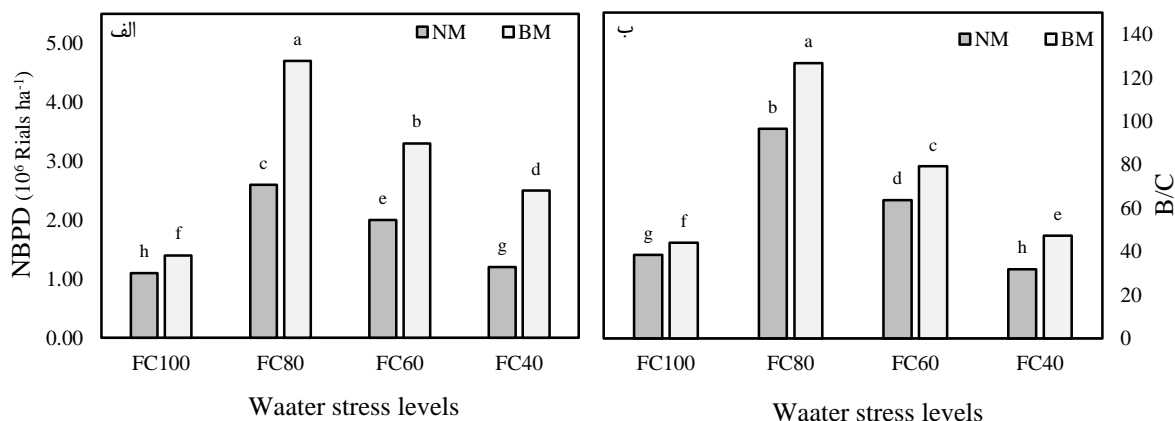
آن بود که ترکیب تیماری FC80-BM با ۴/۷ میلیون ریال در هکتار دارای بالاترین میزان این شاخص بود. در حالیکه کمترین میزان شاخص سود خالص مربوط به ترکیب تیماری FC100-NM با ۱/۱ میلیون ریال در هکتار بود (شکل ۷-الف). همچنین نتایج ارزیابی شاخص نسبت سود به هزینه به گونه‌ای بود که بالاترین میزان این شاخص در تیمار FC80 با ۱۱۱/۶ میلیون ریال در هکتار مشاهده شد و تیمارهای FC100، FC60 و FC40 به ترتیب با ۴۱/۲، ۷۱/۴ و ۶۴/۵ میلیون ریال در هکتار با کاهش بسیار چشمگیر ۳۶، ۶۳ و ۶۴ درصدی مواجه شدند. بر اساس نتایج حاصل، در تیمار NM میزان

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میزان شاخص سود خالص در میان تیمارهای تنش آبی مربوط به تیمار FC80 با ۳/۶ میلیون ریال در هکتار بود و تیمارهای FC60، FC40 و FC100 به ترتیب با ۲/۶، ۱/۸ و ۱/۲ میلیون ریال در هکتار در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. در شرایط استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه میزان شاخص سود خالص با ۲/۹ میلیون ریال در هکتار ثبت شد. این در حالی بود که در تیمار بدون مالچ میزان این شاخص کاهش ۴۱ درصدی یافت و به مقدار ۱/۷ میلیون ریال در هکتار رسید. همچنین اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ بر میزان شاخص سود خالص بیانگر

نوسانات قیمت آب و هزینه مالچ در بازار، تغییر قیمت این نهاده‌ها می‌تواند نسبت سود به هزینه و سود خالص را به طور چشمگیری تغییر دهد. تحلیل حساسیت اقتصادی که نوسانات قیمت آب یا مالچ را مد نظر قرار دهد، می‌تواند دید بهتری از پایداری اقتصادی سیستم فراهم کند و امکان ارزیابی خطرات اقتصادی مرتبط با تغییر شرایط بازار را ارائه نماید. اگرچه انجام یک تحلیل حساسیت کمی و مدل‌سازی دقیق نیازمند داده‌های بلندمدت اقتصادی و سناریوهای قیمت متنوع است، این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک جهت‌گیری مهم برای مطالعات آینده مدنظر قرار گیرد. بنابراین، نتایج فعلی ضمن نشان دادن سودآوری بالای استفاده از مالچ و مدیریت تنش آبی، محدودیت‌هایی در تحلیل پایداری اقتصادی تحت تغییر قیمت‌ها دارد و انجام تحلیل حساسیت به‌عنوان توصیه‌ای برای تحقیقات بعدی مطرح می‌شود.

شاخص سود به هزینه ۵۷/۶ میلیون ریال در هکتار مشاهده شد که در مقایسه با تیمار BM با ۷۴/۳ به میزان ۳۰ درصد افزایش یافت. در واقع استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت بادرنجبویه در مقایسه با تیمار بدون مالچ موجب سودآوری اقتصادی گردید و مقرون به‌صرفه بود. همچنین اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ بر میزان شاخص سود بر هزینه نشان داد که ترکیب تیماری FC80-BM با ۱۲۶/۸ بیشترین میزان شاخص سود بر هزینه را به خود اختصاص داد. این در حالی بود که کمترین میزان آن، مربوط به ترکیب تیماری FC40-NM با ۳۱/۸ بود (شکل ۷-ب).

نتایج اقتصادی نشان داد که بیشترین شاخص سود خالص و نسبت سود به هزینه مربوط به تیمار FC80 و به ویژه ترکیب FC80-BM بود، در حالی که کمترین سودآوری در تیمار FC100-NM مشاهده شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شدت تنش آبی و استفاده از مالچ تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر سودآوری دارند. با توجه به



شکل ۷- ارزیابی اقتصادی اثر برهمکنش تنش آبی و مالچ در کشت بادرنجبویه

افزایش عملکرد و بهره‌وری آب را ارتقا دهد، همسو است (Zambrano et al., 2024). نجفی ایمن‌آبادی و همکاران، (۱۴۰۳). برای رنگیزه‌های فتوسنتزی، تنش آبی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها شد که نشان از آسیب فیزیولوژیک به سیستم فتوسنتزی گیاه دارد. این الگو کاهش رنگیزه‌ها زیر تنش آبی در گیاهان دیگر نیز دیده شده و نشان می‌دهد که کاهش محتوای کلروفیل یکی از پاسخ‌های رایج به کمبود آب است (Abdallah et al., 2020). نتایج چن و همکاران نیز مؤید آن بود که فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش آبی دچار افت محسوسی شدند (Chen et al., 2016). چودهاری و همکاران نیز دلیل کاهش فعالیت کلروفیل‌های a، b و محتوای کارتنوئید را افزایش شدت تنش آبی دانستند (Choudhary et al., 2024). در مجموع، نتایج ما تأیید

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش آبی به‌طور معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد بادرنجبویه را کاهش داده است، به‌ویژه شاخص سطح برگ، زیست‌توده، ماده خشک و بهره‌وری آب که تحت سطوح شدیدتر تنش کاهش یافت. این پاسخ منفی گیاهان به کمبود آب با یافته‌های اخیر در محصولات زراعی مشابه (Tang et al., 2022؛ اسدی و همکاران، ۱۴۰۴؛ بهاری پنبه‌چوله و همکاران، ۱۴۰۳) مطابقت دارد؛ زیرا خشکی باعث محدودیت در جذب آب و کاهش فتوسنتز می‌شود که نهایتاً عملکرد را کاهش می‌دهد. استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه توانست اثرات منفی تنش آبی را تا حدی کاهش دهد؛ به‌طوری که صفات عملکردی مانند شاخص سطح برگ و زیست‌توده در حضور مالچ بهتر شدند. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات دیگر مبنی بر اینکه مالچ پلاستیکی می‌تواند حفظ رطوبت خاک، کاهش تبخیر و

تأثیر مدیریت دقیق آبیاری و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی خرفه (*Portulaca oleracea L.*) مدیریت آب در کشاورزی.

بهراری پنبه‌چوله، م.، موسوی بایگی، م. و شیوخی سوغانلو، س. ۱۴۰۳. ارزیابی تاثیر کاربرد پساب شهری بر انتشار دی‌اکسید کربن خاک، غلظت فلزات سنگین و عملکرد فلفل سبز. هواشناسی کشاورزی. ۱۳(۱): ۸۲-۹۴.

شیوخی سوغانلو، س. و رائینی، م. ۱۳۹۷. تاثیر مالچ پلاستیکی قرمز بر ویژگی‌های کیفی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارقام مختلف توت فرنگی. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۵(۳): ۱۳-۲۵.

شیوخی سوغانلو، س.، شامگانی مشهدی، م.، اسدی، پ. و باطبی، س. ۱۴۰۴. اثر تأخیر در آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی فلفل سبز در منطقه معتدل ساری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۹(۲): ۲۹۱-۳۰۴.

شیوخی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و قاسمی، ی. ۱۴۰۲. تاثیر تنش آبی و پساب شهری بر غلظت فلزات سنگین، عملکرد و ویژگی‌های کیفی ریحان (*Ocimum basilicum L.*). علوم باغبانی. ۳۷(۳): ۷۲۳-۷۳۹.

شیوخی سوغانلو، س.، مردان‌شاهی، م.، قاسمی، ی.، شامگانی مشهدی، ب. و اسدی، ز. ۱۴۰۳. ارزیابی اثر خرد اقلیمی مالچ‌های پلاستیکی رنگی در بستر کشت توت فرنگی، بر کسب و کار و اقتصاد خرد روستایی (مطالعه موردی: استان مازندران). راهبردهای کارآفرینی در کشاورزی. ۱۱(۱): ۵۷-۶۶.

عزیزی خالخیلی، ط.، رزاقی، ر. و منتی‌زاده، م. ۱۴۰۲. واکاوی چالش‌ها و راهکارهای بازاریابی محصولات گیاهان دارویی از دیدگاه کشاورزان استان مازندران. مطالعات کارآفرینی و توسعه پایدار کشاورزی. ۱۰(۳): ۱۹-۳۷.

فتحی، ر.، آسودار، م. ا. و یگانه، ر. ۲۰۲۰. نقش سطوح مختلف بهره برداری بر شاخص‌های اقتصادی و انرژی تولید گندم آبی (مطالعه موردی: شهرستان دهلران). تحقیقات غلات. ۹(۴): ۳۷۳-۳۸۴.

نجفی ایمن‌آبادی، ن.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و شیوخی سوغانلو، س. ۱۴۰۳. ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه (*Melissa officinalis L.*). آب و خاک. ۳۸(۶).

Abdallah, M. M. S., Bakry, B. A., El-Bassiouny, H. M. S. and El-Monem A. A. A. 2020. Growth, Yield and Biochemical Impact of Anti-transpirants on Sunflower Plant Grown under Water Deficit. Pakistan Journal of Biological Sciences. 23(4):454-

می‌کند که کاربرد مالچ پلاستیکی به‌عنوان یک روش مدیریتی می‌تواند اثرات مخرب تنش آبی را تعدیل کند، به‌ویژه از طریق افزایش نگهداری آب در خاک و بهبود شرایط رشد. این رویکرد می‌تواند به افزایش عملکرد و پایداری تولید کمک کند، همان‌طور که در مطالعات دیگر نیز مشاهده شده است. نتایج ارزیابی اقتصادی نشان داد که تنش آبی و کاربرد مالچ پلاستیکی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های اقتصادی کشت بادرنجبویه داشتند. بیشترین سود خالص و نسبت سود به هزینه در تیمار تنش آبی ملایم (FC80) مشاهده شد که بیانگر برتری اقتصادی مدیریت آبیاری در این سطح نسبت به آبیاری کامل یا تنش شدید است. کاهش سودآوری در تیمار FC100 را می‌توان به افزایش هزینه‌های مصرف آب و در مقابل، کاهش عملکرد اقتصادی در تیمارهای تنش شدید FC60 و FC40 را به افت عملکرد و زیست‌توده نسبت داد. کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه موجب افزایش معنی‌دار سود خالص و نسبت سود به هزینه در مقایسه با تیمار بدون مالچ شد. اگرچه استفاده از مالچ هزینه اولیه تولید را افزایش داد، اما افزایش عملکرد، بهبود بهره‌وری آب و کاهش اثرات منفی تنش آبی باعث شد که این هزینه جبران شده و سودآوری نهایی افزایش یابد. بیشترین شاخص‌های اقتصادی در ترکیب تیماری FC80-BM به‌دست آمد که نشان می‌دهد تلفیق تنش آبی ملایم با مالچ پلاستیکی، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌ترین تیمار در شرایط این تحقیق بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش شدت تنش آبی موجب کاهش عملکرد، بهره‌وری آب و فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی بادرنجبویه شد. در مقابل، کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه با بهبود شرایط رطوبتی خاک، توانست اثرات منفی تنش آبی را تا حدی کاهش داده و موجب بهبود صفات رشد و فیزیولوژیک گیاه شود. از دیدگاه اقتصادی، نتایج نشان داد که تیمار تنش آبی ملایم (FC80)، به‌ویژه در ترکیب با مالچ پلاستیکی سیاه، بالاترین سود خالص و نسبت سود به هزینه را به خود اختصاص داد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه همراه با مدیریت بهینه آبیاری، علاوه بر بهبود عملکرد و بهره‌وری آب، از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه بوده و گزینه‌ای مناسب برای کشت بادرنجبویه در شرایط بحران کم‌آبی و مناطق کم‌باران که شرایط مشابه با منطقه مورد مطالعه در این پژوهش را دارند، می‌باشد.

منابع

اسدی، پروین، مرادی، ح. و شیوخی سوغانلو، س. ۱۴۰۴. بررسی

- management in a humid region. *Agricultural Water Management*, 305:109106. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109106>.
- Shiukhy Soqanloo, S. and Shamgani Mashhadi, B. 2026. Urban wastewater effects on chlorophyll fluorescence parameters, water productivity, and soybean yield under drought stress. *Journal of Central European Agriculture*. 26(4):915-926. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.4.4495>.
- Tang, Z., Lu, J., Xiang, Y., Shi, H., Sun, T., Zhang, W., Wang, H., Zhang, X., Li, Z. and Zhang, F. 2024. Farmland mulching and optimized irrigation increase water productivity and seed yield by regulating functional parameters of soybean (*Glycine max* L.) leaves. *Agricultural Water Management*. 298: 108875. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108875>
- Wang, S., Xiong, J., Yang, B., Yang, X., Du, T., Steenhuis, T.S. and Kang, S. 2023. Diversified crop rotations reduce groundwater use and enhance system resilience. *Agricultural Water Management*. 276: 108067. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108067>
- Wang, X., Wu, Z., Zhou, Q., Wang, X., Song, S. and Dong, S. 2022. Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. *Frontiers in Plant Science*. 12: 809692. doi: 10.3389/fpls.2021.809692
- Zambrano, J. L., Cartagena, Y., Sangoquiza, C., Pincay, A., Parra, A. R., Manguashca, J., Rivadeneira, J. L., Subía, C., and Park, C. H. 2024. Exploring Plastic Mulching as a Strategy for Mitigating Drought Stress and Boosting Maize Yield in the Ecuadorian Andes. *Water*. 16(7): 1033. <https://doi.org/10.3390/w16071033>
- Wang, S., Ma, Q., Li, C., Zhang, S., & Liu, X. 2025. Chloroplast Responses to Drought: Integrative Mechanisms and Mitigation Strategies. *International Journal of Molecular Sciences*. 26(24): 11872. <https://doi.org/10.3390/ijms262411872>
- Zheng, C., Chen, J.P., Wang, X.W. and Li P. 2025. Reactive Oxygen Species in Plants: Metabolism, Signaling, and Oxidative Modifications. *Antioxidants (Basel)*. 22; 14(6):617. doi: [10.3390/antiox14060617](https://doi.org/10.3390/antiox14060617).
- Sherin, G., Raj Aswathi, K. P. and Puthur, J. T. 2022. Photosynthetic functions in plants subjected to stresses are positively influenced by priming. *Plant Stress*. 4: 100079. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100079>
- Ashraf, M. and Harris, P.J.C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 51(2): 163-190. doi: [10.1007/s11099-013-0021-6](https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6)
466. doi: 10.3923/pjbs.2020.454.466. PMID: 32363831.
- Amare, G. and Desta, B. 2021. Colored plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 8(4):1-9. doi.org/10.1186/s40538-020-00201-8
- Basal, H. and Szabo, A. 2020. Effects of drought on crop yield stability: A review. *Agricultural Water Management*. 240: 106-115.
- Chen, Y., Liu, L., Guo, Q. et al. Effects of different water management options and fertilizer supply on photosynthesis, fluorescence parameters and water use efficiency of *Prunella vulgaris* seedlings. 2016. *Biological Research*. 49: 12. <https://doi.org/10.1186/s40659-016-0069-4>
- Choudhary, K., Singh, J. and Meena, N.K. 2024. Water volumes and mulches affect plant growth, leaf nutrient status and orchard soil mineral content of sweet orange cv. Mosambi. *Scientific Reports*. 14: 23919. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73262-6>
- El-Samnoudi I. M., El-Aty, A., Ibrahim, M. and El-Tawwab, A. R. 2019. Combined effect of poultry manure and soil mulching on soil properties, physiological responses, yields and water-use efficiencies of sorghum plants under water stress. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 50: 1-14. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1671445>.
- Gordanić, S.V., Radanović, D., Rajković, M., Lukić, M., Dragumilo, A., Mrdan, S., Batinić, P., Čutović, N., Mikić, S. and Prijić, Ž. 2025. Influence of Mulching and Planting Density on Agronomic and Economic Traits of *Melissa officinalis* L. *Horticulturae*. 11: 866. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11080866>
- Medina, E., Kim, S. H., Yun, M. and Choi, W. G. 2021. Recapitulation of the Function and Role of ROS Generated in Response to Heat Stress in Plants. *Plants*. 10 (2): 371. doi: 10.3390/plants10020371.
- Najafi, S., Khaledian, M. and Rezaei, M. 2021. Evaluation of water productivity with three rice genotypes under different irrigation regimes and nitrogen fertilizer treatments in Rasht, northern Iran. *Irrigation and Drainage*. 70 (4): 679–689.
- Sarker, U. and Uba, Sh. 2018. Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of Amaranthus leafy vegetable. *BMC Plant Biology*. 18(258): 1-15. doi: 10.1186/s12870-018-1484-1.
- Shamgani-Mashhadi, B., Nadi, M., Darzi-Naftchali, A. and Soqanloo, S. S. 2024. Improving sustainability of rice-canola rotation through water and nitrogen

Effectiveness of Black Plastic Mulch in Mitigating Drought Stress and Its Economic Benefits in Lemon Balm (*Melissa officinalis*) Cultivation

S. Shiukhy Soqanloo*¹, N. Najafi Imanabadi²

Received: Jan.08, 2025

Accepted: Apr.26, 2026

Abstract

This study evaluated the **effectiveness of black plastic mulch in mitigating water stress and its economic benefits in lemon balm (*Melissa officinalis* L.) cultivation**. The experiment was conducted using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The main factor was plastic mulch at two levels [No mulch (NM) and black mulch (BM)], and the sub-factor was water stress at four levels (FC100, FC80, FC60, and FC40). The results indicated that water stress significantly reduced leaf area index, biomass, dry matter, water use efficiency, and photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, total chlorophyll, and carotenoid content). Application of black plastic mulch mitigated the negative effects of water stress, enhancing plant growth and physiological traits. Economic analysis revealed that the highest net NBP (Net profit per drop) and B/C (benefit/cost) ratio were obtained under mild water stress (FC80) combined with black mulch. In addition to improving yield, the use of mulch enhanced the economic feasibility of lemon balm cultivation. Therefore, integrating optimal irrigation management with black plastic mulch application can be recommended as an **effective strategy to improve yield, water productivity, and economic profitability in lemon balm cultivation**, even under humid climatic conditions.

Keywords: Biomass, Chlorophyll, Field capacity, NBP, Water productivity

1- Assistant Professor of Agro-Meteorology, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources (SANRU), Mazandaran, Iran

2- Graduate in Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources (SANRU), Mazandaran, Iran

(*- Corresponding Author E-mail: saeid.shiukhy@gmail.com)