فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۱۵۹-۱۸۰
https://doi.org/10.22034/12.57.159

مقاله پژوهشی

ارزیابی همبستگی و تجزیه علیت بین صفات فیتوشیمیایی و رنگدانه‌ها با ماده خشک اکوتیپ-های مختلف نعناع تحت تنش شوری

سیدجابر حسینی[۱]، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی[۱*]، همت‌الله پیردشتی[۲]، سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی[۱]، علی مختصی بیدگلی[۱]، سعید حضرتی[۳] و مهسا رفعتی آلاشتی[۴]

[۱] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۳] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

[۴] گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵)

چکیده

دستیابی به ماده خشک بالا در گیاهان یکی از مهم‌ترین اهداف فیزیولوژیست‌های گیاهی است. در این راستا شناخت صفات تأثیرگذار در تولید ماده خشک گیاهان ضروری به نظر می‌رسد. همچنین تنش شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد گیاهان را محدود کرده و صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا جهت درک ارتباط بین عملکرد ماده خشک با صفات آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی نعناع تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات (۱۸ اکوتیپ نعناع شامل گونه‌های *longifolia*، *pulegium*، *spicata*، *rotundifolia*، *mozafariani* و *piperita*، تنش شوری در سطوح شاهد، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و زمان برداشت در دو سطح) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری بر همبستگی بین ماده خشک با سایر صفات مورد مطالعه اثرگذار بود. همچنین تجزیه علیت در سطوح مختلف تنش شوری نشان داد که صفت کلروفیل کل از اثر مستقیم بسیار بالایی برخوردار بود. از سویی دیگر در سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد ماده خشک گیاه همبستگی بالاتری با صفات مورد بررسی در مقایسه با سطوح پایین‌تر تنش شوری داشت. همچنین همبستگی بین کلیه صفات در برداشت اول و دوم در مواجه با تنش شوری متفاوت بود. صفت رنگدانه آنتوسیانین در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد ماده خشک داشت. نقش غیرمستقیم رنگدانه کاروتنوئید نیز در تنش شدید مشهود بود. مبتنی بر تجزیه علیت تمامی صفات مورد مطالعه شامل محتوای فنل و فلاونوئید کل، رنگدانه‌های آنتوسیانین و کاروتنوئید برای اثرگذاری بر عملکرد ماده خشک به صفت کلروفیل کل وابستگی شدید داشتند.

کلمات کلیدی: آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان، تجزیه علیت، کاروتنوئید، همبستگی

مقدمه

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tahmaseb@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

گونه‌های مختلف نعناع (*Mentha* spp) یکی از پُرمصرف‌ترین گیاهان دارویی است که کاربرد بسیار زیادی در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی- بهداشتی و پزشکی دارد. این گیاه دارای ترکیبات فیتوشیمیایی متعددی است که در طب سنتی ایران به‌عنوان ضدنفخ، ضدباکتری، تسهیل‌کننده هضم غذا و غیره استفاده می‌شود (Sangma *et al*., 2018; Khalvandi *et al*., 2019; Brahmi *et al*., 2018).

تنش شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد گیاهان را محدود کرده و صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Khalvandi *et al*., 2019; Acosta-Motos *et al*., 2017; Yang and Guo, 2018). نعناع از جمله گیاهان دارویی است که دارای خصوصیت تحمل نسبی به تنش شوری است (خالوندی و همکاران، ۱۳۹۶). در پرورش گیاهان دارویی و معطر، حصول عملکرد ماده خشک بالا یکی از مهم‌ترین اهداف فیزیولوژیست‌های گیاهی است. در این راستا شناخت صفات اثرگذار در تولید ماده خشک اجتناب‌ناپذیر است.

در گیاهان تعداد بسیار زیادی فراورده تولید می‌شود که بخش اعظم آن‌ها رنگی است و به رنگدانه یا رنگیزه معروف هستند. تعدادی از این رنگدانه‌ها فتوسنتزی هستند و نقش بسیار مهمی در فتوسنتز و تولید فراورده‌های فتوسنتزی دارند (Lin *et al*., 2017; Pullagurala *et al*., 2018). کلروفیل‌ها از مهم‌ترین رنگیزه‌های دریافت‌کننده نور در گیاهان است که در برگ‌های سبز و دیگر اندام‌های سبز گیاهی دیده می‌شوند و به دلیل نقش بسیار مهمی که در فرآیند فتوسنتز دارا هستند، از مهم‌ترین مولکول‌های ارگانیک در سطح جهان به شمار می‌روند (Anjum *et al*., 2017). مطالعات متعددی نشان داده است که گیاهان در مواجه با تنش شوری از فعالیت فتوسنتزی کمتری برخوردارند و در نتیجه میزان رشد گیاه، سطح برگ و محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ خالوندی و همکاران، ۱۳۹۷). علی‌رغم این که آستانه تحمل به شوری در گیاهان متفاوت است، اما به‌طورکلی تنش شوری کاهش رشد گیاهان را در پی دارد. این کاهش رشدونمو عمدتاً به مقوله افت ظرفیت فتوسنتزی مربوط است که خود می‌تواند معلول کاهش در محتوای کلروفیل به دلیل کاهش آنزیم‌های دخیل در سنتز این رنگدانه باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ خالوندی و همکاران، ۱۳۹۷؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۲).

آنتوسیانین نیز از رنگدانه‌های غیرفتوسنتزی است که در فرآیند جذب نور و انتقال آن به کلروفیل نقش اساسی را به عهده دارند و از این طریق در افزایش تولید فراورده‌های فتوسنتزی مؤثر واقع می‌شوند. از سویی دیگر آنتوسیانین و کاروتنوئید جز آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی نیز محسوب می‌شوند و در فرایند محافظت نوری نقش دارند (Li *et al*., 2017; Moustaka *et al*., 2020). ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی نظیر فنل و فلاونوئیدها دارای اثرات بسیار مهمی در حوزه زیست‌شناسی سلولی هستند و از طریق جمع‌آوری و حذف رادیکال‌های آزاد در جلوگیری از جهش ژنی نقش مهمی را در حفظ و پایداری سلول‌های گیاهی بر عهده دارند (Khalvandi *et al*., 2019; Csepregi and Hideg, 2018; Bautista *et al*., 2016). گیاهان در مواجه با تنش شوری دچار تغییرات بیوشیمیایی بسیاری می‌شوند به‌طوریکه تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را در پی دارد و این امر تعادل ردوکس سلولی را مختل نموده و موجب پدیدآمدن تنش اکسیداتیو می‌گردد (Li *et al*., 2017). تنش اکسیداتیو نقش مخربی را در سطح سلولی در پی دارد، به‌طوریکه موجب غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها، پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب ساختار غشا و همچنین تولید و تجمع مالون دی‌آلدئید می‌گردد (خالوندی و همکاران، ۱۳۹۸؛ خالوندی و همکاران، ۱۳۹۷؛ کاشانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ اسکندری و همکاران، ۱۳۹۸). از سویی دیگر گیاهان جهت مقابله با آثار مخرب پدیدآمده در مواجه با تنش شوری از راهکارهای متفاوتی استفاده می‌کنند. گیاهان با سنتز ترکیبات مختلف دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی مانند فنل و فلاونوئیدها، آنتوسیانین و کاروتنوئید در مقابل گونه‌های مضر اکسیژن نوزاد صف‌آرایی می‌کنند و موجب حذف و یا غیرفعال نمودن رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Khalvandi *et al*., 2019; Csepregi and Hideg, 2018;

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Bautista *et al*., 2016). فنل و فلاونوئیدها علاوه بر این که آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند، جز متابولیت‌های ثانویه گیاهی نیز محسوب می‌گردند و به شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری قرار می‌گیرند (Trivellini *et al*., 2016).

امروزه بررسی پدیده‌های زیستی به‌خصوص در حوزه علوم گیاهی بدون بهره‌گیری از دانش ریاضی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این راستا یافتن روابط بین صفات مختلف مورد مطالعه و درک اثرگذاری آن‌ها بر هم از مباحث مهم و ضروری در فیزیولوژی گیاهی به شمار می‌رود. تعیین ضریب همبستگی بین صفات و همچنین شناخت رابطه علت و معلولی بین آن‌ها فرصت بسیار مناسبی را برای پژوهشگران علوم زیستی فراهم می‌نماید تا مناسب‌ترین ترکیب اجزا را که منتهی به متغیر وابسته می‌شود، انتخاب نمایند. در این نوع از مطالعات تکیه بر نتایج همبستگی ساده نمی‌تواند نتایج مطلوب و عمیقی را در پی داشته باشد. لذا محاسبه اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر متغیر وابسته مبتنی بر روش تجزیه علیت اجتناب‌ناپذیر است (de Almeida *et al*., 2018). تعداد زیادی از محققان از روش تجزیه علیت و همبستگی برای یافتن ارتباط بین صفات و همچنین بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم در گیاهان گندم (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۶)، برنج (قربانی و همکاران، ۱۳۹۸)، ذرت (کردی و همکاران، ۱۳۹۵)، جو (تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸)، کلزا (ارشدی‌بیدگلی و همکاران، ۱۳۹۷) و سویا (عابدی و همکاران، ۱۳۹۸) استفاده نمودند. هدف از انجام این مطالعه استفاده از تجزیه علیت و همبستگی برای بررسی ارتباط بین عملکرد ماده خشک گیاه نعناع با صفات آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی در شرایط تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

بذرهای گونه‌های *longifolia*، *pulegium*، *spicata*، *rotundifolia*، *mozafariani* از بانک ژن واقع در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع تهیه شدند و سپس در سینی‌های کاشت بذرها کشت و تولید نشا صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت‌پلات (۱۸ اکوتیپ نعناع، تنش شوری در سطوح شاهد، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و زمان برداشت در دو سطح) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار در محل گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی تبرستان صورت گرفت. ویژگی‌های مربوط به اکوتیپ‌های مختلف مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. شرایط گلخانه با دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد، دوره روشنایی و تاریکی به‌ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت و رطوبت نسبی ۶۰ درصد تنظیم شد. در این آزمایش گلدان‌هایی با قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده و هر گلدان از کوکوپیت (۴۰٪) + پرلیت (۶۰٪) به میزان مساوی پر شد. آزمایش به‌صورت هیدروپونیک انجام شد و از محلول غذایی هوگلند برای تغذیه گیاهان مورد کشت استفاده شد (Hogland and Armon, 1950). جهت اعمال تنش شوری از نمک کلرید سدیم استفاده شد. اعمال تیمار تنش شوری ۱۵ روز پس از کاشت نشاهای ۳۰ روزه اعمال شد. اعمال تیمار شوری جهت جلوگیری از وارد آمدن شوک به گیاه در سطوح ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور تدریجی صورت گرفت، به‌طوریکه در هر مرحله از شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر اعمال شد تا به سطوح ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر برسد. همچنین برای جلوگیری از تجمع املاح در بستر کشت، شستشو در دوره‌های زمانی معین انجام شد. تنش شوری در محلول غذایی هوگلند وارد شد و تا پایان دوره رشد اعمال گردید. برداشت اول ۷۰ روز پس از کاشت و برداشت دوم ۶۷ روز پس از برداشت اول صورت گرفت. به منظور تعیین وزن خشک بوته‌های برداشت‌شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس با ترازوی دیجیتال توزین شدند. همچنین صفات مختلف شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل، کلروفیل کل، کاروتنوئید و آنتوسیانین اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فنلی کل: ابتدا مقدار ۲ گرم از نمونه پودرشده اندام هوایی گیاه نعناع با ترازو وزن شد و در داخل ارلن ریخته شد و به آن، ۲۰ میلی‌لیتر از حلال متانول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱- گونه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و مکان مربوط به اکوتیپ‌های مختلف مورد مطالعه

شماره اکوتیپ	گونه	مکان	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
E_1	*longifolia*	مازندران-هزار جریب	۳۶°۴۵۲۴"	۵۳°۲۸۰۶"	۳۸۹
E_2	*longifolia*	فارس-شیراز	۲۹°۷۴۴۷"	۵۲°۴۵۹۰"	۱۴۹۱
E_3	*longifolia*	کردستان-سنندج، روستای دولت‌آباد	۳۵°۲۰۰۰"	۴۷°۹۹۹۹"	۲۰۳۹
E_4	*longifolia*	مرکزی-اراک	۳۴°۱۱۱۵"	۴۹°۳۱۱۱"	۲۰۳۰
E_5	*longifolia*	گلستان-رامیان	۳۶°۵۵۱۳"	۵۵°۰۶۵۵"	۷۸۰
E_6	*longifolia*	تهران	۳۵°۵۲۲۹"	۵۲°۹۳۸۳"	۱۹۴۰
E_7	*longifolia*	زنجان	۳۶°۴۲۳۵"	۴۸°۰۷۰۳"	۱۸۰۰
E_8	*longifolia*	سمنان-دامغان	۳۶°۲۷۴۸"	۵۴°۱۷۳۸"	۲۳۰۰
E_9	*longifolia*	ایلام-دهلران	۳۲°۵۳۰۷"	۴۷°۰۰۳۰"	۸۰۷
E_{10}	*pulegium*	مرکزی-تفرش	۳۴°۴۷۰۳"	۴۹°۵۸۰۰"	۱۵۵۰
E_{11}	*pulegium*	مرکزی-خمین	۳۳°۳۶۳۵"	۵۰°۰۱۵۰"	۱۸۰۸
E_{12}	*pulegium*	خراسان جنوبی-سربیشه	۳۲°۳۲۲۳"	۶۵°۱۱۳۹"	۱۸۱۷
E_{13}	*pulegium*	مازندران	۳۲°۳۷۰۳"	۵۱°۲۵۹۰"	۱۶۶۲
E_{14}	*spicata*	اصفهان-نجف‌آباد	۳۲°۱۸۵۴"	۵۱°۴۳۰۷"	۱۶۵۲
E_{15}	*spicata*	یزد	۳۱°۱۵۸۸"	۵۴°۳۰۸۹"	۱۲۴۳
E_{16}	*rotundifolia*	ایلام-ایوان	۳۳°۵۱۰۸"	۴۶°۱۱۰۴"	۱۱۴۲
E_{17}	*mozafariani*	هرمزگان-بندرعباس	۲۷°۵۰۱۴"	۵۶°۱۸۰۵"	۱۱۱۷
E_{18}	*piperita*	مازندران-ساری	۳۶°۷۷۰۰"	۵۳°۰۵۹۹"	۱۲۵۵

اضافه گردید و در دستگاه التراسونیک با قدرت ۱۰۰ وات و فرکانس ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه عمل عصاره‌گیری انجام گرفت. برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره (۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) با ۵۰۰ میکرولیتر از فولین سیوکالتو (۱۰ درصد حجمی/حجمی) مخلوط شد. پس از گذشت پنج دقیقه، مقدار ۵۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۷ درصد به مخلوط فوق افزوده گردید و جذب نمونه‌ها (پس از گذشت دو ساعت در تاریکی) در ناحیه ۷۶۵ نانومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش از گالیک اسید به عنوان استاندارد استفاده شد (Haghighi *et al*., 2012).

اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فلاونوئیدی کل: برای منظور مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره (۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) با ۵۰ میکرولیتر آلومینیوم کلرید (۲ درصد حجمی/حجمی) و ۱۰۰ میکرولیتر استات آمونیوم (۱ مولار) مخلوط شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه، جذب نمونه‌ها در ناحیه ۴۲۶ نانومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش از کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده شد (Haghighi *et al*., 2012).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: برای بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها از روش DPPH و ماده استاندارد اسید آسکوربیک استفاده شد. ابتدا ۲ میلی‌گرم از عصاره‌ها در ۱ میلی‌لیتر متانول حل شد و سپس غلظت‌های مختلف (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) تهیه گردید. به ۵۰ میکرولیتر از هر کدام از محلول‌های تهیه‌شده، ۵۵۰ ماکرولیتر محلول DPPH اضافه شد و در شرایط تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. سپس جذب تمام محلول‌ها و نمونه‌های شاهد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد (Hazrati *et al*.,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

2019). توسط رابطه ۱ درصد مهارکنندگی برحسب میکروگرم بر میلی‌لیتر محاسبه و در ادامه مقدار IC50 تعیین شد.

رابطه (۱)

$$\text{درصد مهار کنندگی} = \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب کنترل}}{\text{جذب کنترل}} \times 100$$

اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید: به منظور سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. برای استخراج این رنگیزه‌ها ۰/۲ گرم از نمونه برگی در استون ۸۰ درصد سائیده شد. پس از صاف‌کردن به وسیله کاغذ صافی، جذب نمونه‌ها در طول‌موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد.

اندازه‌گیری آنتوسیانین: بر طبق روش Krizek و همکاران (۱۹۹۳) مقدار ۰/۲ گرم برگ در ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد، سپس عصاره حاصل سانتریفیوژ و محلول رویی به مدت یک ساعت در تاریکی قرار گرفت. میزان جذب در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفوتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد.

به منظور انجام محاسبات آماری شامل تجزیه علیت و تعیین ضریب همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه از نرم‌افزار آماری SAS9.1 استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون مبتنی بر رابطه ۲ محاسبه گردید.

رابطه (۲)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y})^2}}$$

نتایج

نتایج مربوط به برداشت اول: نتایج مربوط به همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط شاهد در جدول ۲ نشان داده شد. بر پایه نتایج حاصل از تجزیه همبستگی مشاهده شد که صفت ماده خشک گیاه دارویی نعناع با صفات کلروفیل کل (۰/۸۵) و محتوای فلاونوئید کل (۰/۲۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین بین آنتوسیانین و کاروتنوئید همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۲۷) وجود داشت. از سویی دیگر رابطه بین محتوای فلاونوئید کل با صفات آنتوسیانین (۰/۲۷)، کلروفیل کل (۰/۴۲) و کاروتنوئید (۰/۲۵) نیز مثبت و معنی‌دار بود، اما صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی تنها با صفات محتوای فنل (۰/۳۷) و فلاونوئید کل (۰/۳۳) و کاروتنوئید (۰/۲۸) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همچنین قابل ذکر است که در شرایط عدم اعمال تنش شوری و در برداشت اول هیچ‌گونه همبستگی منفی و معنی‌دار بین کلیه صفات مورد مطالعه وجود نداشت.

جهت تفکیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم اثرگذار بر صفت ماده خشک در تجزیه همبستگی از تجزیه علیت استفاده شد. نتایج تجزیه علیت در سطح شاهد و در برداشت اول در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تجزیه علیت در همبستگی بین صفات محتوای فلاونوئید کل و ماده خشک نشان داد که بیشترین میزان تأثیرگذاری بر صفت ماده خشک مربوط به اثر غیرمستقیم صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۳۸ بود. علاوه بر این اثر مستقیم و منفی صفت محتوای فلاونوئید کل بر ماده خشک به میزان ۰/۱۴- بود. در بین صفات مورد مطالعه متغیرهای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل کل دارای اثر غیرمستقیم صفر بودند که نشان‌دهنده خاصیت خنثی غیرمستقیم این دو صفت در ارتباط با ماده خشک به لحاظ فیزیولوژیکی است. اما از سویی دیگر نتایج تجزیه علیت در ارتباط بین دو صفت کلروفیل کل و ماده خشک تا حدود بسیار زیادی متفاوت بود، به‌طوریکه اثر مستقیم صفت کلروفیل کل (۰/۹۱) در مقایسه با اثر غیرمستقیم سایر صفات از سهم بسیار بالاتری برخوردار بود. نتایج مربوط به اثرات غیرمستقیم نشان داد که اثر غیرمستقیم صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و کاروتنوئید صفر بوده است و دو صفت محتوای فلاونوئید کل (۰/۰۶-) و آنتوسیانین (۰/۰۱-) دارای اثر غیرمستقیم منفی بوده‌اند که البته از سهم همبستگی کمتری برخوردار بودند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۲- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط عدم اعمال تنش (شاهد) در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۳۷**	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۳۳*	۰/۳۸**	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۱۹	۰/۲۳*	۰/۴۲**	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۲۸*	۰/۳۱*	۰/۲۵*	۰/۰۴	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۲۰	۰/۲۴*	۰/۲۷*	-۰/۰۹	۰/۲۷*	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۵*	۰/۸۵**	۰/۰۰	-۰/۰۶	۱

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.

جدول ۳- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط عدم اعمال تنش (شاهد) در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۵	۰/۱۸	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۵	۰/۲۱	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۶
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۴	۰/۳۸	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲۵*
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۶	۰/۹۱	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۸۵**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۰۱	۰/۰۷	-۰/۰۶

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثرغیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.

جدول ۴- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط تنش شوری ۲/۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۴۹**	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۴۴**	۰/۲۹*	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۹	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۲۸*	۰/۲۸*	۰/۲۰	۰/۱۱	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۵۳**	۰/۴۹**	۰/۳۶**	۰/۱۳	۰/۳۱*	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۹۲**	۰/۰۹	۰/۰۷	۱

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۵- اثرات مستقیم و غیر- مستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری ۲/۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۱۵
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۱۲
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۶
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۳	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۹۲**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۱۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۹
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۰	-۰/۰۶	۰/۰۷

*** و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.**

نتایج مربوط به همبستگی بین صفات مورد مطالعه در سطح تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و در برداشت اول در جدول ۴ نشان داده شده است. در سطح تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بین صفت کلروفیل کل و ماده خشک همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۹۲) مشاهده شد. همچنین رابطه بین صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی و صفات محتوای فنل کل (۰/۴۹)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۴۴)، کاروتنوئید (۰/۲۸) و آنتوسیانین (۰/۵۳) مثبت و معنی‌دار بود. علاوه بر این بین رنگدانه آنتوسیانین با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۵۳)، محتوای فنل کل (۰/۴۹)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۶) و کاروتنوئید (۰/۳۱) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. رنگدانه کاروتنوئید نیز با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۲۸) و محتوای فنل کل (۰/۲۸) همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد.

نتایج حاصل از تجزیه علیت مربوط به سطح تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و برداشت اول در جدول ۵ نشان داده شده است. بر پایه نتایج حاصل از تجزیه علیت مربوط به سطح تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که در رابطه بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک اثر مستقیم صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۹۳ دارای بشترین میزان در بین اثرات مستقیم و غیرمستقیم بود. همچنین اثر غیرمستقیم صفات محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و کاروتنوئید برابر یا صفر بود و نشان‌دهنده عدم تأثیرگذاری این صفات به‌طور غیرمستقیم در ارتباط به ماده خشک است. علاوه بر این نتایج تجزیه علیت نشان داد که اثرات غیرمستقیم صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۰۱) و آنتوسیانین (۰/۰۱-) بسیار ناچیز بودند و در مقابل اثر مستقیم صفت کلروفیل کل از سهم بسیار کمتری برخودار بودند.

نتایج تجزیه همبستگی در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که بین صفت ماده خشک با صفات محتوای کلروفیل کل (۰/۷۶) و فنل کل (۰/۲۴)ارتباط مستقیم و معنی‌دار وجود دارد (جدول ۶). همچنین بین صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی و صفات محتوای فنل کل (۰/۴۵)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۴۳)، کاروتنوئید (۰/۲۵) و آنتوسیانین (۰/۳۰) ارتباط مستقیم و معنی‌دار مشاهده شد. بین رنگدانه آنتوسیانین و کاروتنوئید (۰/۳۵) رابطه معنی‌دار در جهت مثبت وجود داشت. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که بین صفت محتوای فنل کل و صفات محتوای فلاونوئید کل (۰/۴۶)، کاروتنوئید (۰/۳۰) و ماده خشک (۰/۲۴) همبستگی معنی‌دار در جهت مثبت مشاهده شد. علاوه بر این رنگدانه کاروتنوئید با صفت محتوای فلاونوئید کل (۰/۲۷) رابطه قوی و معنی‌دار در جهت مثبت داشت.

نتایج تجزیه علیت در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۷ نشان داده شده است. بر پایه نتایج تجزیه علیت در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۶- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط تنش شوری ۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۴۵**	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۴۳**	۰/۴۶**	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۳	۰/۲۱	-۰/۰۲	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۲۵*	۰/۳۰*	۰/۲۷*	۰/۰۴	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۳۰*	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۳۵**	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۱۷	۰/۲۴*	-۰/۰۴	۰/۷۶	۰/۰۴	۰/۱۶	۱

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.**

جدول ۷- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۱۸	۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۱۷
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۸	۰/۰۷	-۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۲۴*
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۸	۰/۰۳	-۰/۱۳	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۴
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۷۵	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۷۶**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۴
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۵	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۱۶

*** و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.**

خصوص ارتباط بین صفات محتوای فنل کل و ماده خشک مشاهده شد که صفت محتوای فنل کل از اثر مستقیم بالایی برخوردار نبود. علاوه بر این اثر غیرمستقیم صفت کلروفیل کل با میزان ۰/۱۶ بیشترین میزان را در بین مجموعه اثرات مستقیم و غیرمستقیم دارا بود. همچنین صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی از اثر غیرمستقیم قابل توجهی در جهت مثبت برخوردار بود (۰/۰۸). در صورتی که صفت محتوای فلاونوئید کل با داشتن اثر غیرمستقیم در جهت منفی (۰/۰۶-) نقش خود را در رابطه با صفت ماده خشک در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد. بررسی اثرات غیرمستقیم در رابطه همبستگی بین محتوای فلاونوئید کل و ماده خشک نشان داد که رنگدانه کاروتنوئید تأثیری در این رابطه به صورت غیرمستقیم نداشت. همچنین رنگدانه آنتوسیانین نیز با داشتن سهم ناچیز در بین اثرات غیرمستقیم (۰/۰۱-) نقشی مشابه رنگدانه کاروتنوئید را بر عهده داشت. از سویی دیگر براساس نتایج تجزیه همبستگی رابطه بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک بسیار قوی و در جهت مثبت بود (۰/۷۶). نتایج تجزیه علیت در خصوص بررسی رابطه بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک نشان داد که صفت کلروفیل کل از اثر مستقیم بسیار بالایی برخودار بود (۰/۷۵). همچنین نتایج تجزیه علیت نشان داد که صفات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۸- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط تنش شوری ۷/۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۳۰*	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۲۱	۰/۱۲	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۲۸*	۰/۳۷**	۰/۲۶*	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۱۹	۰/۲۳	-۰/۰۳	۰/۰۴	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۵۰**	۰/۴۱**	۰/۱۳	۰/۳۳*	۰/۳۵**	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۲۵*	۰/۳۲*	۰/۲۴*	۰/۸۲**	۰/۰۹	۰/۳۰*	۱

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.**

محتوای فلاونوئید کل و رنگدانه کاروتنوئید دارای نقش خنثی بر صفت ماده خشک بوده‌اند و میزان اثر غیرمستقیم برای این صفات صفر بوده است. صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل کل با میزان ۰/۰۱ از اثرگذاری بسیار کمی در بین اثرات غیرمستقیم مورد مطالعه برخوردار بودند. همچنین رنگدانه آنتوسیانین با میزان ۰/۰۱- از سهم بسیار ناچیزی در بین اثرات غیرمستقیم برخودار بود و فاقد نقش تعیین‌کننده در اثرگذاری بر ماده خشک گیاه دارویی نعناع به صورت غیرمستقیم بوده است.

نتایج تجزیه همبستگی مربوط به تنش شوری سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۸ نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که صفت ماده خشک با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۲۵)، محتوای فنل کل (۰/۳۲)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۲۴)، کلروفیل کل (۰/۸۲) و آنتوسیانین (۰/۳۰) همبستگی معنی‌دار و در جهت مثبت داشت. از سویی دیگر همبستگی بین صفت رنگدانه آنتوسیانین با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۵۰)، محتوای فنل کل (۰/۴۱)، کلروفیل کل (۰/۳۳) و کاروتنوئید (۰/۳۵) از رابطه قوی و مثبت برخودار بود. در بین تمامی صفات مورد مطالعه رنگدانه کاروتنوئید تنها با صفت رنگدانه آنتوسیانین همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت و با سایر صفات مورد بررسی دارای هیچ رابطه معنی‌داری نبود. محتوای فنل کل نیز با صفات کلروفیل کل (۰/۳۷) و رنگدانه آنتوسیانین (۰/۴۱) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت اما رابطه معنی‌داری با رنگدانه کاروتنوئید در سطح تنش شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نشد. از سویی دیگر عدم وجود رابطه معنی‌دار مثبت بین محتوای فنل و فلاونوئید کل از جمله نتایج مهم این آزمایش در شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین کلروفیل کل نیز با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۲۸)، محتوای فنل کل (۰/۳۷)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۲۶) و ماده خشک (۰/۸۲) رابطه مثبت و معنی‌دار داشت.

نتایج مربوط به تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه در تنش شوری سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۹ نشان داده شده است. بر پایه خروجی‌های حاصله از تجزیه علیت در خصوص رابطه همبستگی بین صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ماده خشک مشاهده شد که صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی از اثر مستقیم (۰/۰۱) بسیار کمی برخوردار بود و بیشترین تأثیر خود را به‌طور غیرمستقیم از طریق صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۲۲ داشته است. اثرات غیرمستقیم صفات محتوای فنل کل و رنگدانه آنتوسیانین صفر بوده است که نشان از عدم نقش‌آفرینی غیرمستقیم این دو صفت دارد. بررسی تجزیه علیت مبتنی بر رابطه بین صفات محتوای فنل کل و ماده خشک نشان داد که صفت محتوای فنل کل دارای اثر مستقیم صفر بوده است و بیشترین تأثیر خود را از طریق اثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۹- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت اول

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۲۵*
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۳۲*
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۴*
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۲**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۹
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۳۰*

*** و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.**

غیرمستقیم صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۳۰ اعمال نموده است. علاوه بر این رنگدانه کاروتنوئید نیز با داشتن سهم ۰/۰۱ از تأثیر حداقلی به صورت غیرمستقیم برخوردار بود. سایر صفات شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فلاونوئید کل و رنگدانه آنتوسیانین دارای اثر غیرمستقیم صفر در رابطه بین صفات محتوای فنل کل و ماده خشک بوده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه علیت براساس رابطه بین صفات محتوای فلاونوئید کل و ماده خشک نشان داد که صفت محتوای فلاونوئید کل دارای اثر مستقیم بسیار کمی به میزان ۰/۰۳ بوده است، در صورتی که صفت کلروفیل کل به صورت غیرمستقیم و به میزان ۰/۲۱ بیشترین نقش را در رابطه همبستگی با صفت ماده خشک داشت. همچنین در رابطه بین صفات محتوای فلاونوئید کل و ماده خشک صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل، رنگدانه کاروتنوئید و آنتوسیانین دارای اثر غیرمستقیم صفر بوده‌اند و عدم نقش‌آفرینی این صفات به صورت غیرمستقیم در همبستگی با صفت ماده خشک در سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشخص گردید. بیشترین رابطه همبستگی بین صفات مورد مطالعه با صفت ماده خشک در تنش شوری سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مربوط به رابطه بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک بود که نشان‌دهنده اهمیت صفت کلروفیل کل در شرایط تنش شدید است. نتایج تجزیه علیت نشان داد که نقش اثر مستقیم صفت کلروفیل کل در همبستگی با ماده خشک به میزان ۰/۸۱ بسیار بالا بوده است. در مقابل در بین اثرات غیرمستقیم تنها صفت محتوای فلاونوئید کل به میزان ۰/۰۱ دارای نقش حداقلی بوده است و سایر صفات مورد مطالعه دارای اثر غیرمستقیم صفر بودند. تجزیه علیت براساس رابطه بین صفات رنگدانه آنتوسیانین و ماده خشک نشان داد که اثر مستقیم رنگدانه آنتوسیانین به میزان صفر بوده است و عدم نقش‌آفرینی این صفت به صورت مستقیم در تنش شوری سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر اثبات گردید. علاوه بر رنگدانه آنتوسیانین که به صورت مستقیم هیچ‌گونه تأثیری بر عملکرد ماده خشک نداشت، سایر صفات مورد مطالعه شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و محتوای فلاونوئید کل دارای اثر غیرمستقیم صفر بودند. در بین اثرات غیرمستقیم برآورد شده تنها دو صفت کلروفیل کل و رنگدانه کاروتنوئید اثر غیر-مستقیم به ترتیب به میزان ۰/۲۷ و ۰/۰۲ بر همبستگی با ماده خشک در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر داشتند.

نتایج مربوط به برداشت دوم: نتایج مربوط به همبستگی بین صفات در شرایط عدم اعمال تنش شوری (شاهد) در جدول ۱۰ نشان داده شده است. در سطح شاهد صفت ماده خشک با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۱۹)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۲) و کلروفیل کل (۰/۸۶) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. براساس نتایج به دست آمده رنگدانه آنتوسیانین با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۴۲)، محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱۰- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط عدم اعمال تنش (شاهد) در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۵۶**	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۴۴**	۰/۲۴*	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۳۱*	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۴۵**	۰/۱۸	۰/۳۰*	۰/۰۹	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۴۲**	۰/۳۹**	۰/۴۳**	۰/۰۸	۰/۳۶**	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۳۲*	۰/۸۶**	۰/۰۰	۰/۰۲	۱

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.**

فنل کل (۰/۳۹)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۴۳) و رنگدانه کاروتنوئید (۰/۳۶) رابطه مثبت و معنی‌دار نشان داد. علاوه بر این رنگدانه کاروتنوئید با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۴۵) و محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۰) نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. کلروفیل کل در بین تمامی صفات مورد مطالعه تنها با دو صفت محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۱) و ماده خشک (۰/۸۶) رابطه قوی و معنی‌دار در جهت مثبت داشت. همچنین محتوای فلاونوئید کل با همه صفات مورد مطالعه در آزمایش حاضر همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت.

نتایج تجزیه علیت مربوط به عدم اعمال تنش شوری در جدول ۱۱ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از تجزیه علیت مبتنی بر رابطه همبستگی بین صفات محتوای فلاونوئید کل و ماده خشک مشاهده شد که صفت محتوای فلاونوئید کل با داشتن اثر مستقیم به میزان ۰/۱۰ از نقش‌آفرینی چشمگیری برخوردار نبود. در مقابل صفت کلروفیل کل با داشتن اثر غیرمستقیم ۰/۲۶ از تأثیرگذاری قابل‌توجهی در سطح شاهد برخوردار بود. علاوه بر این صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی با داشتن سهم ۰/۰۵ از همبستگی کل نقش ناچیزی را در تأثیرگذاری بر ماده خشک به صورت غیرمستقیم بر عهده داشتند. سایر صفات مورد مطالعه شامل محتوای فنل کل (۰/۰۲-)، رنگدانه کاروتنوئید (۰/۰۳-) و آنتوسیانین (۰/۰۳-) به صورت غیرمستقیم و در جهت منفی بر رابطه همبستگی با ماده خشک تأثیرگذار بودند. تجزیه علیت مبتنی بر رابطه همبستگی بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک نشان داد صفت کلروفیل کل با داشتن سهم ۰/۸۳ از همبستگی کل بیشترین اثر را در رابطه بین دو صفت به صورت مستقیم دارا بود. همچنین دو صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فلاونوئید کل به مقدار ناچیز و به صورت غیرمستقیم در جهت مثبت نقش‌آفرینی کردند، در صورتی که سایر صفات مورد مطالعه دارای اثر غیرمستقیم در جهت منفی بودند.

نتایج مربوط به تجزیه همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۱۲ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصل از تجزیه همبستگی در سطح تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که بین صفت ماده خشک و صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۳۶)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۲۷) و کلروفیل کل (۰/۹۰) رابطه مثبت و معنی‌دار وجود داشت. هر دو رنگدانه مورد بررسی (کاروتنوئید و آنتوسیانین) با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و محتوای فلاونوئید کل همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. همچنین رنگدانه‌های کاروتنوئید و آنتوسیانین دارای رابطه همبستگی مثبت و معنی‌دار به میزان ۰/۳۵ بودند. علاوه بر این صفت محتوای فلاونوئید کل با همه صفات مورد بررسی به جز صفت محتوای فنل کل دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. همچنین صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی با همه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱۱- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط عدم اعمال تنش (شاهد) در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۱۲	-۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۵	-۰/۰۵	-۰/۰۳	۰/۱۹
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۷	-۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۵	-۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۱۱
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۵	-۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۲۶	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۳۲*
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۸۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۸۶**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۵	-۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۰۰
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۵	-۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	-۰/۰۴	-۰/۰۷	۰/۰۲

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.

جدول ۱۲- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط تنش شوری ۲/۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۲۶*	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۳۸**	۰/۲۰	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۳۷**	۰/۱۵	۰/۳۰*	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۲۸*	۰/۳۳*	۰/۲۴*	۰/۰۷	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۲۹*	۰/۴۵**	۰/۲۹*	۰/۱۲	۰/۳۵**	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۳۶**	۰/۱۷	۰/۲۷*	۰/۹۰**	-۰/۰۱	۰/۱۱	۱

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.

جدول ۱۳- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۳۳	-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۳۶**
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۳	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۱۷
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۲۷	-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۲۷*
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۸۹	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۰**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۷	-۰/۱۲	۰/۰۰	-۰/۰۱
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۱	-۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۱۱

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱۴- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط تنش شوری ۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۴۵**	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۳۴*	۰/۲۹*	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۲۶*	۰/۱۵	۰/۰۸	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۳۴*	۰/۳۶**	۰/۲۵*	۰/۱۸	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۲۸*	۰/۴۱**	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۳۵**	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۷۷**	-۰/۰۲	۰/۰۰	۱

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.**

صفات مورد مطالعه همبستگی معنی‌دار در جهت مثبت داشت. صفت کلروفیل کل هم با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۳۷)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۰) و ماده خشک (۰/۹۰) همبستگی معنی‌دار در جهت مثبت داشت.

نتایج تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۱۳ نشان داده شده است. تجزیه علیت مبتنی بر تفکیک همبستگی بین صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ماده خشک نشان داد که صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی از اثر مستقیم بسیار کمی به میزان ۰/۰۵ برخوردار بود و بیشترین اثرگذاری بر ماده خشک از طریق صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۳۳ درصد و به صورت غیرمستقیم صورت گرفت. علاوه بر این صفت محتوای فنل کل به میزان ۰/۰۲ به صورت غیرمستقیم در جهت مثبت و صفت رنگدانه کاروتنوئید به میزان ۰/۰۳- به صورت غیرمستقیم و در جهت منفی بر همبستگی با ماده خشک نقش داشتند. در رابطه همبستگی بین محتوای فلاونوئید کل و ماده خشک مشاهده شد که صفت محتوای فلاونوئید کل دارای اثر مستقیم صفر بود و بخش اعظم تأثیرگذاری بر ماده خشک را اثر غیرمستقیم کلروفیل کل به میزان ۰/۲۷ به خود اختصاص داد. همچنین صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز به میزان بسیار ناچیز از طریق غیرمستقیم در این رابطه نقش ایفا نمود. از سویی دیگر بر-اساس تفکیک همبستگی بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک براساس تجزیه علیت مشاهده شد که صفت کلروفیل کل از اثرگذاری مستقیم چشمگیری به میزان ۰/۸۹ برخوردار بود.

براساس نتایج همبستگی بین صفات در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که ماده خشک با صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۷۷ همبستگی معنی‌دار در جهت مثبت داشت (جدول ۱۵). رنگدانه آنتوسیانین با صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۲۸)، محتوای فنل کل (۰/۴۱) و رنگدانه کاروتنوئید (۰/۳۵) همبستگی معنی‌دار و در جهت مثبت را نشان داد. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که کلیه صفات مورد بررسی به استثناء ماده خشک با صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. صفت کلروفیل کل نیز تنها با دو صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ماده خشک همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد.

نتایج تجزیه علیت مربوط به کلیه صفات مورد بررسی در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در جدول ۱۶ نشان داده شده است. تفکیک رابطه همبستگی کل بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک مبتنی بر روش تجزیه علیت نشان داد که صفت کلروفیل کل از اثرگذاری بسیار زیادی به صورت مستقیم و به میزان ۰/۸۱ برخوردار بود. همچنین نتایج نشان داد که رنگدانه‌های کاروتنوئید و آنتوسیانین از تأثیرگذاری غیرمستقیم و در جهت منفی برخوردار بودند. علاوه بر این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱۵- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۱	-۰/۰۶	-۰/۰۴	۰/۱۹
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۱۲	-۰/۰۶	-۰/۰۷	۰/۱۴
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۰۶
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۸۱	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۷۷**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۵	-۰/۱۷	-۰/۰۶	-۰/۰۲
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۵	-۰/۰۶	-۰/۱۶	۰/۰۰

*** و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.**

جدول ۱۶- ضریب همبستگی بین کلیه صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع تحت شرایط تنش شوری ۷/۵ دسی-زیمنس بر متر در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۱						
(۲) محتوای فنل کل	۰/۴۲**	۱					
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۳۱*	۰/۲۷*	۱				
(۴) کلروفیل کل	۰/۲۲	۰/۴۳**	۰/۳۱*	۱			
(۵) کاروتنوئید	۰/۳۵**	۰/۲۲	۰/۲۷*	۰/۱۴	۱		
(۶) آنتوسیانین	۰/۴۵**	۰/۲۴*	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۴۹**	۱	
(۷) ماده خشک	۰/۱۷	۰/۲۹*	۰/۲۸*	۰/۷۶**	۰/۱۷	۰/۱۷	۱

*** و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند.**

جدول ۱۷- اثرات مستقیم و غیرمستقیم حاصل از تجزیه علیت براساس کلیه صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت دوم

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	همبستگی با ماده خشک
(۱) فعالیت آنتی‌اکسیدانی	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۱۷
(۲) محتوای فنل کل	۰/۰۰	-۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۲۹*
(۳) محتوای فلاونوئید کل	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۲۸*
(۴) کلروفیل کل	۰/۰۰	-۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۷۶**
(۵) کاروتنوئید	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۱۷
(۶) آنتوسیانین	۰/۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۱۷

*** و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد هستند. ضریب موجود در قطر اصلی نشان‌دهنده اثر اصلی صفت مورد مطالعه و سایر ضرایب موجود در هر ردیف نشان‌دهنده اثر غیرمستقیم صفات مورد مطالعه است.**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

اثرات غیرمستقیم صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فلاونوئید کل در این رابطه صفر بود.

نتایج تجزیه همبستگی بین کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت دوم در جدول ۱۷ آمده است. بر پایه نتایج تجزیه همبستگی مشاهده شد که صفت ماده خشک با صفات محتوای فنل کل (۰/۲۹)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۲۸) و کلروفیل کل (۰/۷۶) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همچنین نتایج نشان داد که صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی با صفات محتوای فنل کل (۰/۴۲)، محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۱)، رنگدانه کاروتنوئید (۰/۳۵) و آنتوسیانین (۰/۴۵) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. از سویی دیگر محتوای فنل کل با همه صفات مورد مطالعه به استثناء رنگدانه کاروتنوئید همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. کلروفیل کل تنها با دو صفت محتوای فنل کل (۰/۴۳) و محتوای فلاونوئید کل (۰/۳۱) همبستگی مثبت و معنی دار داشت.

نتایج تجزیه علیت در سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر و در برداشت دوم در جدول ۱۷ نشان داده شده است. در رابطه همبستگی بین محتوای فنل کل و ماده خشک مشاهده شد که اثر مستقیم صفت محتوای فنل کل چشمگیر نبود و از سویی دیگر این اثرگذاری در جهت منفی صورت گرفت. همچنین بیشترین میزان اثر غیرمستقیم مربوط به صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۳۳ بود. محتوای فلاونوئید کل نیز رفتار مشابهی نظیر صفت محتوای فنل کل داشت و از اثر مستقیم بسیار کمی برخوردار بود. براساس نتایج تجزیه علیت اثر مستقیم محتوای فلاونوئید کل به میزان ۰/۰۴ بود و در بین اثرات غیرمستقیم صفت کلروفیل کل بیشترین سهم را به خود اختصاص داد. اثرات غیرمستقیم صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه آنتوسیانین صفر برآورد شد. تجزیه علیت مبتنی بر رابطه همبستگی بین صفات کلروفیل کل و ماده خشک نشان داد که بیشترین میزان تأثیرگذاری مربوط به اثر مستقیم صفت کلروفیل کل به میزان ۰/۷۸ بود. سایر صفات مورد بررسی در آزمایش حاضر در سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر دارای اثرات غیرمستقیم بسیار ناچیز بودند.

بحث

حصول میزان بیشتری از عملکرد ماده خشک گیاهی یکی از اهداف پژوهش‌های حوزه گیاهی است. از سویی دیگر تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری بر صفات فیزیولوژیک گیاهان و در نتیجه بر تولید ماده خشک گیاهی اثر قابل توجهی دارد. در این راستا بررسی همبستگی بین صفات مختلف و تأثیر آن بر ماده خشک و همچنین برآورد اثرات مستقیم و غیرمستقیم اثرگذار بر ماده خشک تحت شرایط عدم تنش و تنش شوری از موارد مهم در فیزیولوژی گیاهی است. با توجه به این که گیاه نعناع گیاهی است که در طول یک سال در چند چین مورد برداشت قرار می‌گیرد. بدین منظور بررسی تأثیر زمان برداشت بر خصوصیات گونه‌های مختلف گیاه نعناع در مواجه با تنش شوری و همچنین درک چگونگی ارتباط بین صفات در برداشت اول و دوم از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. نتایج آزمایش حاضر در سطوح مختلف تنش شوری حاکی از وجود همبستگی در برخی از صفات مورد مطالعه بود. نتایج نشان داد که در همه سطوح تنش شوری اعمال‌شده کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی‌داری با ماده خشک تولید شده داشت و بیانگر اهمیت کلروفیل کل در تولید ماده خشک گیاهی است. از آنجایی که تولید فراورده‌های فتوسنتزی نقش بسزایی در تولید ماده خشک دارد، نقش‌آفرینی کلروفیل‌ها در تولید ماده خشک در مواجهه گیاهان با تنش شوری از جایگاه خاصی برخوردار است (Lin *et al*., 2017; Pullagurala *et al*., 2018). محققان متعددی به نقش کلروفیل‌ها در ساخت فراورده‌های فتوسنتزی و اهمیت آن‌ها در شرایط تنش شوری اشاره کردند (Wu *et al*., 2018; Kalaji *et al*., 2018; Hatam *et al*., 2020). از سویی دیگر وجود نقش پر رنگ کلروفیل کل در ارتباط با صفت ماده خشک مختص برداشت اول نبود و در برداشت دوم نیز از چنین سازوکار مؤثری برخوردار بود. این نتیجه بیانگر نقش مؤثر کلروفیل در عملکرد ماده خشک گیاهان دارد، زیرا تنش شوری و همچنین برداشت‌های مختلف نتوانست از اهمیت ارتباط کلروفیل کل با عملکرد ماده خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

بکاهد. براساس نتایج بدست آمده از تجزیه همبستگی در برداشت اول مشاهده شد که با اعمال تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تنها صفت کلروفیل کل با عملکرد ماده خشک همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، در صورتی که در شرایط شاهد علاوه بر کلروفیل کل صفت محتوای فلاونوئید کل نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد تنش شوری ملایم (۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) مکانیسم‌های مقاومت در گیاه را فعال نکرده است و تمام انرژی خود را بر صفت کلروفیل کل صرف کرده است. اما با افزایش تنش شوری به سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت اول آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی محتوای فنول کل موجبات مقاومت به تنش را در گیاه دارویی نعناع را فراهم نموده و دارای اثرگذاری مثبت در رابطه با عملکرد ماده خشک بوده است. مطالعات فیزیولوژی گیاهی نشان داد که تغییرات ایجادشده در میزان سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان برای افزایش تحمل در برابر تنش شوری است (Sarker and Oba, 2019; Latef *et al*., 2017). علاوه بر این نتایج تجزیه همبستگی در سطح شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر تأییدکننده نظریه بکارگیری آنتی‌اکسیدان-های غیرآنزیمی به عنوان یک مکانسیم بسیار اثرگذار در مواجه با تنش شوری بود، زیرا در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعداد بسیار زیادی از ترکیبات دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و آنتوسیانین دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد ماده خشک گیاه نعناع بودند و از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد بوجود آمده در اثر تنش شوری حمایت لازم را از گیاه به منظور حفظ رشدونمو و تولید عملکرد ماده خشک به همراه داشتند. تعدادی از محققین بر این باورند که داشتن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قوی گیاه را در برابر صدمات ناشی از تنش شوری حفظ می‌کند (Khalvandi *et al*., 2019; Csepregi and Hideg, 2018; Bautista *et al*., 2016). مطالعه خالوندی و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که با افزایش تنش شوری سنتز آنتوسیانین در گیاه نعناع تحریک گردید و مقدار آن در برگ افزایش یافت. همچنین محققین ابراز نمودند که صفاتی شامل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل در گیاهان مختلف و در مواجه با تنش شوری نقش مهمی را در از بین‌بردن رادیکال‌های آزاد به عهده دارند(Khalvandi *et al*., 2019; Csepregi and Hideg, 2018; Bautista *et al*., 2016). بررسی‌های صورت‌گرفته در خصوص برداشت دوم و مقایسه آن با نتایج برداشت اول نشان‌دهنده تفاوت آشکار بین دو برداشت مورد مطالعه بود و بیانگر تأثیر تیمار برداشت در خصوصیات گیاه دارویی نعناع در مواجه با تنش شوری بود. نتایج همبستگی مربوط به برداشت دوم در سطوح شاهد، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که نقش ترکیبات حاوی آنتی‌اکسیدان‌های در ارتباط با عملکرد ماده خشک نسبت به برداشت اول کمتر بود. به نظر می‌رسد پس از برداشت اول گیاه نعناع رشدیافته از نظر سیستم ریشه‌ای توسعه یافته است و در ابتدای رشد مرحله دوم گیاه دارای یک سیستم ریشه‌ای کارآمد بود که از نظر جذب آب و مواد غذایی از کارایی بهتری برخوردار بود. از آنجایی که در شرایط تنش جذب آب و مواد غذایی از ریشه کاهش پیدا می‌کند (Shams *et al*., 2019; Shahbaz *et al*., 2017; Rady *et al*., 2017) داشتن سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته می‌تواند نقش مؤثری بر جذب آب و مواد غذایی و همچنین رشد بهتر گیاهان داشته باشد (Buhtz *et al*., 2017; Rehman *et al*., 2016). همچنین مهیا بودن آب و مواد غذایی کافی برای رشد گیاه تحت شرایط تنش که توسط ریشه‌های توسعه‌یافته جذب می‌شود فرصت مطلوبی را برای سهولت رشد گیاه فراهم نموده و نیاز گیاه را جهت توسعه سیستم آنتی‌اکسیدانی و همچنین مصرف انرژی جهت سنتز آن‌ها را کاهش می‌دهد. از سویی دیگر نتایج مربوط به برداشت‌های اول و دوم در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس متفاوت بود، به‌طوریکه در برداشت دوم گیاه دارویی نعناع از آنتی‌اکسیدان‌های فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فلاونوئید کل در جهت ارتباط با ماده خشک استفاده نمود. به نظر می‌رسد چون در برداشت اول بار اصلی ارتباط به عملکرد گیاه را صفت کلروفیل کل به عهده داشت، در برداشت دوم نیاز مبرم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

به کمک صفات فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فلاونوئید کل پیدا نمود تا ضعف موجود در برداشت اول را به این طریق جبران نماید. نتایج تجزیه علیت در برداشت اول و دوم در سطح شاهد نشان داد که صفت محتوای فلاونوئید کل دارای اثر مستقیم بسیار ناچیز بود و نقش پنهان کلروفیل کل را بر تأثیرگذاری در عملکرد ماده خشک آشکار نمود. بر پایه یافته‌های آزمایش حاضر به نظر می‌رسد با حضور صفت محتوای فلاونوئید کل سامانه فتوسنتزی گیاه با کارایی بهینه مربوط به کلروفیل کل بیشترین میزان فراورده‌های خود را به تولید عملکرد ماده خشک اختصاص داد. از سویی دیگر در برداشت اول و دوم در سطح شاهد اثرگذاری کلروفیل کل به صورت مستقیم مشهود بود و استقلال خود را در تولید ماده خشک بدون دخالت دیگر صفات فیزیولوژیک به اثبات رساند. در برداشت اول در سطح ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر نقش مستقیم کلروفیل کل بسیار پررنگ بود، ولی در برداشت دوم نقش مستقیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی بسیار ناچیز بود و اثر پنهان کلروفیل کل خودنمایی نمود. همچنین محتوای فلاونوئید کل با تأثیر بر کلروفیل کل توانست بر ماده خشک اثرگذار باشد. در سطح ۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت اول و دوم اثر مستقیم کلروفیل کل نقش مهمی در عملکرد ماده خشک داشت. همچنین محتوای فنل کل در برداشت اول با تأثیرگذاری بر کلروفیل کل به صورت پنهان تأثیر مثبت بر عملکرد ماده خشک داشت. بر مبنای نتایج بدست آمده در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در برداشت اول فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فلاونوئید کل دارای اثر مستقیم بسیار ناچیزی بودند و با اثرگذاری بر کلروفیل کل نقش پنهان خود را ایفا نمودند. آنتوسیانین نیز در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به صورت پنهان و با تأثیر بر کاروتنوئید و کلروفیل توانست اثر مثبت بر عملکرد ماده خشک را محقق نماید. اما در برداشت دوم و در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر نقش مستقیم محتوای فنل کل به صورت پنهان با اثرگذاری بر کلروفیل کل در ارتباط با عملکرد ماده خشک ایفای نقش نمود. نقش‌آفرینی آنتوسیانین در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر نشان‌دهنده اثر این رنگدانه مهم در شرایط تنش شوری شدید بود. به نظر می‌رسد گیاه نعناع در شرایط تنش شدید برای جبران خسارات وارده به گیاه از ظرفیت آنتوسیانین استفاده لازم را صورت داده است. تعدادی از محققان به نقش مهم آنتوسیانین در فتوسنتز و مقاومت در برابر تنش در شرایط مواجه با تنش شوری اشاره نمودند (Karimi *et al*., 2020; Goharrizi *et al*., 2019; Kim *et al*., 2017). از دیگر موارد جالب توجه در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس و برداشت اول تأثیر آنتوسیانین بر کاروتنوئید بود که منجر به اثرگذاری بر عملکرد ماده خشک شد. برخی از محققین گزارش کردند که کاروتنوئید یکی از سازوکارهای مهم در فتوسنتز گیاهان است و اهمیت کاروتنوئید در سطوح بالای تنش چشمگیرتر است (Rahneshan *et al*., 2018; Sarker and Oba, 2019). سنتز رنگدانه‌های آنتوسیانین همبستگی مستقیمی با میزان کربوهیدرات موجود در سلول‌های گیاهی دارد (Huang *et al*., 2019). نتایج برخی مطالعات نشان داد که سنتز آنتوسیانین در هماهنگی کامل با تجزیه کلروفیل افزایش یافت (Li *et al*., 2019). مطالعات صورت‌گرفته نشان داد که حتی اگر گیاهان مصمم به تولید آنتوسیانین باشند، تا شرایط محیطی مطلوب فراهم نشود سنتز آنتوسیانین امکان‌پذیر نخواهد بود. از آنجایی که به لحاظ فرایند فیزیولوژیک، سنتز آنتوسیانین در گیاهان با تجمع قندها تحریک می‌گردد، هر عاملی که موجبات افزایش قند را در گیاهان امکان‌پذیر کند در نهایت سنتز آنتوسیانین را رونق می‌بخشد (Piccolo *et al*., 2020). سیستم دفاعی غیرآنزیمی در گیاهان شامل ترکیبات آنتی‌اکسیدان مانند کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها، اسید آسکوربیک، توکوفرول‌ها و ترکیبات فنلی است (Semida *et al*., 2016; Taibi *et al*., 2016). به نظر می‌رسد عدم نقش‌آفرینی آنتوسیانین در برداشت دوم و در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مربوط به توسعه سیستم ریشه‌ای قوی در مرحله دوم رشد بود، زیرا با داشتن شرایط بهتری نسبت به مرحله اول رشد نیاز به رنگدانه‌های کمکی الزام‌آور نمی‌باشد. دانشمندان فیزیولوژی گیاهی بر این باورند که کلروفیل‌ها با سنتز متابولیت‌های اولیه مسیر را برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

ساخت متابولیت‌های ثانویه هموار می‌سازند (Turner *et al.*, 2016; Vardhan and Shukla, 2017).

نتیجه‌گیری

عملکرد ماده خشک گیاهان یک صفت کمی است که از تعداد بسیار زیادی از صفات اثر می‌پذیرد. در آزمایش حاضر نیز رابطه عملکرد ماده خشک با دیگر صفات مورد مطالعه گیاه نعناع در مواجه با تنش شوری دستخوش تغییر قرار گرفت. نتایج نشان داد که رفتار گیاه در دو برداشت اول و دوم متفاوت بود و در سطوح مختلف مورد بررسی پاسخ متفاوتی حاصل شد. در سطوح بالای تنش شوری نقش رنگدانه آنتوسیانین بسیار حائز اهمیت بود و همچنین نقش پنهان کاروتنوئید در سطح ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشهود بود. همچنین براساس نتایج حاصل از تجزیه علیت کلروفیل کل دارای نقش کلیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم بود. همچنین نتایج برداشت دوم نشان داد که در رشد مجدد، گیاه نعناع پس از برداشت اول وابستگی کمتری به آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی داشت. از نتایج مهم آزمایش حاضر پاسخ متفاوت گیاه نعناع در برداشت‌های مختلف و همچنین در سطوح مختلف تنش شوری بود. به نظر می‌رسد گیاهان در هر شرایطی از مکانیسم‌های مختلفی برای رشد بهره می‌گیرند. از سویی دیگر نقش تعیین‌کننده کلروفیل کل در تمامی سطوح تنش مورد بررسی در برداشت‌های اول و دوم محرز بود. اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم کلروفیل کل نشان از اهمیت این صفت فیزیولوژیک در رشد گیاهان دارد. از دیگر نتایج مهم این آزمایش این بود که آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی قادر نیستند به صورت مستقیم بر عملکرد ماده خشک تأثیرگذار باشند و تأثیرگذری آن‌ها همیشه وابسته به رنگدانه راهبردی کلروفیل است.

منابع

ارشدی بیدگلی، مهدیه، امیری اوغان، حسن، فتوکیان، محمدحسین، و علیزاده، بهرام (۱۳۹۷). بررسی تنوع و ارزیابی روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus* L.). *مجله اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۰(۲۷)، ۱۱۵-۱۲۴. https://doi.org/10.29252/jcb.10.27.115

اسکندری، مرتضی، سعادتی، صفورا، پناهی، شاداب، اخبارفر، قاسم، و قبادی، سیروس (۱۳۹۸). اثر متیل جاسمونات بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه گشنیز در شرایط تنش شوری. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۰)، ۲۴۳-۲۵۶. DOR:20.1001.1.23222727.1398.8.30.15.9

بی‌همتا، محمدرضا، شیرکوند، مهدی، حسن‌پور، جواد، و افضلی‌فر، امین (۱۳۹۶). ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط آبیاری و تنش خشکی. *مجله اصلاح گیاهان زراعی*، ۹(۲۴)، ۱۱۹-۱۳۶. https://doi.org/10.29252/jcb.9.24.119

تقی‌زاده، زینب، صبوری، حسین، حسینی‌مقدم، حسین، فلاحی، حسینعلی، و کاتوزی، مهناز (۱۳۹۸). تنوع ژنتیکی و روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد در نسل‌های جو حاصل از تلاقی بادیا × کویر با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. *مجله اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۱(۳۰)، ۱۹۷-۱۸۸. https://doi.org/10.29252/jcb.11.30.188

حسینی، سید جابر، طهماسبی‌سروستانی، زین‌العابدین، پیردشتی، همت‌الله، مدرس‌ثانوی، سید علی محمد، مختصی‌بیدگلی، علی و حضرتی، سعید (۱۳۹۸). بررسی تنوع و تخمین سطح برگ در اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی نعناع با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی و رگرسیونی تحت شرایط تنش شوری. *مجله اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۱(۳۲)، ۵۹-۷۳. https://doi.org/10.29252/jcb.11.32.59

خالوندی، معصومه، عامریان، محمدرضا، پیردشتی، همت‌الله، برادران فیروزآبادی، مهدی و غلامی، احمد (۱۳۹۶). برهمکنش قارچ *Piriformospora indica* با گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) بر کمیت و کیفیت اسانس و برخی پارامترهای فیزیولوژیک تحت تنش شوری. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۶(۲۱)، ۱۶۹-۱۸۴. DOR:20.1001.1.23222727.1396.6.21.16.8

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

خالوندی، معصومه، عامریان، محمدرضا، پیردشتی، همت‌الله، برادران فیروزآبادی، مهدی، و غلامی، احمد (۱۳۹۷). اثر متیل جاسمونات بر برخی پارامترهای فتوسنتزی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) در شرایط شور. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۷(۲۳)، ۲۳۳-۲۴۸. DOR:20.1001.1.23222727.1397.7.23.5.8

خالوندی، معصومه، عامریان، محمدرضا، پیردشتی، همت‌الله، برادران فیروزآبادی، مهدی، و غلامی، احمد (۱۳۹۸). مطالعه خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در واکنش به تنش شوری تحت تأثیر همزیستی با قارچ *priformospora indica*. *مجله تولید گیاهی*، ۲۶(۱)، ۱-۱۹. https://doi.org/10.22069/JOPP.2018.11244.2041

عابدی، زهرا، نجفی‌زرینی، حمید، عمادی، سید مصطفی، و باقری، نادعلی (۱۳۹۸). ارزیابی روابط بین صفات زراعی و فیزیولوژیکی سویا و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سویا تحت تأثیر کاربرد گوگرد. *مجله اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۱(۲۹)، ۱۳۴-۱۴۲. https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.134

قربانی، حمیدرضا، سمیع‌زاده لاهیجی، حبیب‌الله، ربیعی، بابک، و اله‌قلی‌پور، مهرزاد (۱۳۹۸). بررسی ارتباط عملکرد و صفات زراعی همبسته در برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از تجزیه رگرسیون و علیت. *مجله اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۱(۳۱)، ۱۱۵-۱۲۳. https://doi.org/10.29252/jcb.11.31.115

کاشانی، آزاده، پیردشتی، همت‌الله، بی‌پروا، پوریا، و عمادی، سید مصطفی (۱۳۹۸). پاسخ صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کلزا (*Brassica napus* L.) به کاربرد نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده تحت تنش شوری. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۰)، ۹۵-۱۱۳. DOR:20.1001.1.23222727.1398.8.30.6.0

کردی، سجاد، دانشور، ماشاالله، سیاح‌فر، منوچهر، و شاه‌کرمی، قدرت‌الله (۱۳۹۵). مطالعه همبستگی و تجزیه علیت عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک هیبریدهای ذرت دانه‌ای تحت روش‌های مختلف کوددهی نیتروژن. *مجله پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲(۲۹)، ۶۶-۷۴. https://doi.org/10.22092/AJ.2016.109600

نوروزی، حسین، روشنفکر، حبیب‌الله، حسیبی، پیمان، و مسگرباشی، موسی (۱۳۹۲). ارزیابی برخی خصوصیات فتوسنتزی دو رقم ارزن علوفه‌ای در شرایط تنش شوری. *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۲(۴)، ۷۵-۸۴. DOR:20.1001.1.23222727.1392.2.4.7.7

Acosta-Motos, J. R., Ortuno, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, *7*(1), 18. https://doi.org/10.3390/agronomy7010018

Anjum, S. A., Tanveer, M., Hussain, S., Ashraf, U., Khan, I., & Wang, L. (2017). Alteration in growth, leaf gas exchange, and photosynthetic pigments of maize plants under combined cadmium and arsenic stress. *Water, Air, and Soil Pollution*, *228*(1), 13. https://doi.org/10.1007/s11270-016-3187-2

Bautista, I., Boscaiu, M., Lidon, A., Llinares, J. V., Lull, C., Donat, M. P., & Vicente, O. (2016). Environmentally induced changes in antioxidant phenolic compounds levels in wild plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, *38*(1), 9. https://doi.org/10.1007/s11738-015-2025-2

Brahmi, F., Nury, T., Debbabi, M., Hadj-Ahmed, S., Zarrouk, A., Prost, M., & Lizard, G. (2018). Evaluation of antioxidant, anti-inflammatory and cytoprotective properties of ethanolic mint extracts from Algeria on 7-Ketocholesterol-Treated Murine RAW 264.7 Macrophages. *Antioxidants*, *7*(12), 184. https://doi.org/10.3390/antiox7120184

Buhtz, A., Hohe, A., Schwarz, D., & Grosch, R. (2017). Effects of *Verticillium dahliae* on tomato root morphology considering plant growth response and defense. *Plant Pathology*, *66*(4), 667-676. https://doi.org/10.1111/ppa.12595

Csepregi, K. & Hideg, E. (2018). Phenolic compound diversity explored in the context of photo-oxidative stress protection. *Phytochemical Analysis*, *29*(2), 129-136. https://doi.org/10.1002/pca.2720

de Almeida Rios, S., da Cunha, R. N. V., Lopes, R., Barcelos, E., da Rocha, R. N. C., & de Lima, W. A. A. (2018). Correlation and Path analysis for yield components in Dura oil palm germplasm. *Industrial Crops and Products*, *112*, 724-733. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.054

Goharrizi, K. J., Riahi-Madvar, A., Rezaee, F., Pakzad, R., Bonyad, F. J., & Ahsaei, M. G. (2019). Effect of salinity stress on enzymes' activity, ions concentration, oxidative stress parameters, biochemical traits, content of sulforaphane, and CYP79F1 gene expression level in *Lepidium draba* Plant. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*, 1075-1094. https://doi.org/10.1007/s00344-019-10047-6

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Haghighi, Z., Modarresi, M., & Mollayi, S. (2012). Enhancement of compatible solute and secondary metabolites production in *Plantago ovata* Forsk. by salinity stress. *Journal of Medicinal Plants Research, 6*(18), 3495-3500. https://doi.org/10.5897/JMPR12.159

Hatam, Z., Sabet, M. S., Malakouti, M. J., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Homaee, M. (2020). Zinc and potassium fertilizer recommendation for cotton seedlings under salinity stress based on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses. *South African Journal of Botany, 130*, 155-164. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.032

Hazrati, S., Ebadi, M. T., Mollaei, S., & Khurizadeh, S. (2019). Evaluation of volatile and phenolic compounds, and antioxidant activity of different parts of *Ferulago angulata* (schlecht.) Boiss. *Industrial Crops and Products, 140*, 111589. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111589

Hogland, D. R. & Armon, D. I. (1950). The Water Culture Method for Growing Plants Without Soil. *Circular, 347*. California Agricultural Experiment Station. University of California, Berkeley. CA.

Huang, Z., Wang, Q., Xia, L., Hui, J., Li, J., Feng, Y., & Chen, Y. (2019). Preliminarily exploring of the association between sugars and anthocyanin accumulation in apricot fruit during ripening. *Scientia Horticulturae, 248*, 112-117. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.012

Kalaji, H. M., Rackova, L., Paganova, V., Swoczyna, T., Rusinowski, S., & Sitko, K. (2018). Can chlorophyll-a fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill? *Environmental and Experimental Botany, 152*, 149-157. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.001

Karimi, S., Karami, H., Vahdati, K., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2020). Antioxidative responses to short-term salinity stress induce drought tolerance in walnut. *Scientia Horticulturae, 267*, 109322. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109322

Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Keramati, S., & Hosseini, J. (2019). Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crops and Products, 127*, 195-202. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.072

Kim, J., Lee, W. J., Vu, T. T., Jeong, C. Y., Hong, S. W., & Lee, H. (2017). High accumulation of anthocyanins via the ectopic expression of AtDFR confers significant salt stress tolerance in *Brassica napus* L. *Plant Cell Reports, 36*(8), 1215-1224. https://doi.org/10.1007/s00299-017-2147-7

Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya, A., & Mirecki, R. M. (1993). UV-B response of cucumber seedlings grown under metal halide and high-pressure sodium/deluxe lamps. *Physiologia Plantarum, 88*(2), 350-358. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05509.x

Latef, A. A. H. A., Alhmad, M. F. A., & Abdelfattah, K. E. (2017). The possible roles of priming with ZnO nanoparticles in mitigation of salinity stress in lupine (*Lupinus termis*) plants. *Journal of Plant Growth Regulation, 36*(1), 60-70. https://doi.org/10.1007/s00344-016-9618-x

Li, D., Zhang, X., Li, L., Aghdam, M. S., Wei, X., Liu, J., & Luo, Z. (2019). Elevated CO_2 delayed the chlorophyll degradation and anthocyanin accumulation in postharvest strawberry fruit. *Food Chemistry, 285*, 163-170. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.150

Li, H., Chang, J., Chen, H., Wang, Z., Gu, X., Wei, C., & Zhang, X. (2017). Exogenous melatonin confers salt stress tolerance to watermelon by improving photosynthesis and redox homeostasis. *Frontiers in Plant Science, 8*, 295. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00295

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Lin, J., Wang, Y., Sun, S., Mu, C., & Yan, X. (2017). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, photosynthesis and photosynthetic pigments of *Leymus chinensis* seedlings under salt-alkali stress and nitrogen deposition. *Science of the Total Environment, 576*, 234-241. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.091

Moustaka, J., Tanou, G., Giannakoula, A., Adamakis, I. D. S., Panteris, E., Eleftheriou, E. P., & Moustakas, M. (2020). Anthocyanin accumulation in poinsettia leaves and its functional role in photo-oxidative stress. *Environmental and Experimental Botany, 175*, 104065. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104065

Piccolo, E. L., Landi, M., Massai, R., Remorini, D., & Guidi, L. (2020). Girled-induced anthocyanin accumulation in red-leafed *Prunus cerasifera*: Effect on photosynthesis, photoprotection and sugar metabolism. *Plant Science, 294*, 110456. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110456

Pullagurala, V. L. R., Adisa, I. O., Rawat, S., Kalagara, S., Hernandez-Viezcas, J. A., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). ZnO nanoparticles increase photosynthetic pigments and decrease lipid peroxidation in soil grown cilantro (*Coriandrum sativum*). *Plant Physiology and Biochemistry, 132*, 120-127. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.037

Rady, M. M., Taha, R. S., Semida, W. M., & Alharby, H. F. (2017). Modulation of salt stress effects on *Vicia faba* L. plants grown on a reclaimed-saline soil by salicylic acid application. *Romanian Agricultural Research, 34*, 175-185.

Rahneshan, Z., Nasibi, F., & Moghadam, A. A. (2018). Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions, 13*(1), 73-82. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1424355

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Rehman, M. Z. U., Rizwan, M., Ali, S., Fatima, N., Yousaf, B., Naeem, A., & Ok, Y. S. (2016). Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (*Zea mays* L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 133*, 218-225. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.023

Sangma, C., Kumar, V., Gat, Y., Kaushal, M., Suri, S., & Panghal, A. (2018). Optimization of preparation process for a blended beverage developed from chayote, sugarcane, and mint and coriander extract. *International Journal of Vegetable Science, 24*(5), 432-444. https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1434262

Sarker, U. & Oba, S. (2019). Salinity stress enhances color parameters, bioactive leaf pigments, vitamins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus* leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 99*(5), 2275-2284. https://doi.org/10.1002/jsfa.9423

Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Howladar, S. M., & Rady, M. M. (2016). Foliar-applied alpha-tocopherol enhances salt-tolerance in onion plants by improving antioxidant defence system. *Australian Journal of Crop Science, 10*(7), 1030. https://doi/10.3316/informit.327621977858527

Shahbaz, M., Abid, A., Masood, A., & Waraich, E. A. (2017). Foliar-applied trehalose modulates growth, mineral nutrition, photosynthetic ability, and oxidative defense system of rice (*Oryza sativa* L.) under saline stress. *Journal of Plant Nutrition, 40*(4), 584-599. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1263319

Shams, M., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Agar, G., Kul, R., & Yildirim, E. (2019). Nitric oxide mitigates salt stress effects of pepper seedlings by altering nutrient uptake, enzyme activity and osmolyte accumulation. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 25*(5), 1149-1161. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00692-2

Taibi, K., Taibi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhodja, M., & Mulet, J. M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany, 105*, 306-312. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011

Trivellini, A., Lucchesini, M., Maggini, R., Mosadegh, H., Villamarin, T. S. S., Vernieri, P., & Pardossi, A. (2016). Lamiaceae phenols as multifaceted compounds: Bioactivity, industrial prospects and role of "positive-stress". *Industrial Crops and Products, 83*, 241-254. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.039

Turner, M. F., Heuberger, A. L., Kirkwood, J. S., Collins, C. C., Wolfrum, E. J., Broeckling, C. D., & Jahn, C. E. (2016). Non-targeted metabolomics in diverse sorghum breeding lines indicates primary and secondary metabolite profiles are associated with plant biomass accumulation and photosynthesis. *Frontiers in Plant Science, 7*, 953. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00953

Vardhan, P. V. & Shukla, L. I. (2017). Gamma irradiation of medicinally important plants and the enhancement of secondary metabolite production. *International Journal of Radiation Biology, 93*(9), 967-979. https://doi.org/10.1080/09553002.2017.1344788

Wu, Y., Jin, X., Liao, W., Hu, L., Dawuda, M. M., Zhao, X., & Yu, J. (2018). 5-Aminolevulinic acid (ALA) alleviated salinity stress in cucumber seedlings by enhancing chlorophyll synthesis pathway. *Frontiers in Plant Science, 9*, 635. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00635

Yang, Y. & Guo, Y. (2018). Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt-stress responses. *New Phytologist, 217*(2), 523-539. https://doi.org/10.1111/nph.14920

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Investigating of correlation coefficient and path analysis between phytochemical and pigments traits with dry matter of different ecotypes of mint under salinity stress

Seyyed Jaber Hosseini[1], Zeinolabedin Tahmasebi-Sarvestani[1*], Hemmatollah Pirdashti[2], Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavi[1], Ali Mokhtassi-Bidgoli[1], Saeid Hazrati[3] and Mahsa Rafati Alashti[4]

[1] Department of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
[4] Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: 2020/04/26, Accepted: 2023/04/25)

Abstract

Obtaining a high dry matter yield is one of the most important goals of plant physiologists. In this regard, it is necessary to know the effective traits in the production of plant dry matter. Salinity stress is also one of the most important non-biological stresses that limits plant growth and affects the morphological, physiological and biochemical properties of plants. Therefore, in order to understand the relationship between dry matter yield and antioxidant properties, photosynthetic and non-photosynthetic pigments of mint under salinity stress, an experiment was conducted as a factorial split-plot (18 mint ecotypes, including *longifolia*, *pulegium*, *spicata*, *rotundifolia*, *mozafariani* and *piperita*, salinity stress at control, 2.5, 5 and 7.5 dS/m levels and harvest stage at 2 stages), based on a randomized complete block design with four replications. The results showed that salinity stress affected the correlation between dry matter and other studied traits. Also, path analysis at different levels of salinity stress showed that total chlorophyll traits had a very high direct effect on dry matter yield. On the other hand, at a 7.5 dS/m salinity level, the dry matter yield of the plant depended on a greater number of traits compared to lower-salinity stress levels. Also, the correlation between traits in the first and second harvest stages was different. The anthocyanin pigment trait had a positive and significant correlation with dry matter yield at 7.5 dS/m. The indirect role of carotenoid pigment was also evident in severe stress. Based on path analysis, all the studied traits, including non-enzymatic antioxidants and anthocyanin and carotenoid pigments, were strongly dependent on the total chlorophyll trait to affect the dry matter yield.

Keywords: Anthocyanins, Antioxidants, Carotenoids, Correlation, Path analysis

Corresponding author, Email: tahmaseb@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]